

УДК 681.121.84:681.11.035

## УСТАНОВКА ЕКВІВАЛЕНТНОГО ВИТІСНЕННЯ ІЗ СТАБІЛІЗАЦІЄЮ ВИТРАТИ З КОМУТОВАНИМИ ТОРЦЕВИМИ СОПЛАМИ

*Т.І. Присяжнюк, І.С. Петришин, О.А. Бас*

*ДП “Івано-Франківськстандартметрологія”*

*вул. Вовчинецька, 127, м. Івано-Франківськ, 76000, тел. (03422)3-02-00,*

*e-mail: [dcsms@if.ukrtel.net](mailto:dcsms@if.ukrtel.net)*

*Проведено аналіз існуючих установок еквівалентного витіснення. Сформульовано основні питання, що потребують вирішення. Запропоновано в якості регулятора витрати використати керований клапанами набір сопел, відкаліброваних на витрати, які відповідають  $2^n$  л/год, де  $n$  – порядковий номер сопла. При такому підборі сопел забезпечується регулювання витрати з дискретністю 1 л/год в діапазоні від 1 до 255 л/год при використанні всього восьми сопел з пропускною здатністю 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 і 128 л/год. Проведено метрологічний аналіз установки еквівалентного витіснення зі стабілізацією витрати з комутованими торцевими соплами. Ключові слова: установка еквівалентного витіснення, посудина Маріотта, дивертор, вимірювання малих витрат, регулятор витрати.*

*Проведен анализ существующих установок эквивалентного вытеснения. Сформулированы основные вопросы, требующие решения. Предложено в качестве регулятора расхода использовать управляемый клапанами набор сопел, откалиброванных на расходы, соответствующие  $2^n$  л/ч, где  $n$  - порядковый номер сопла. При таком подборе сопел обеспечивается регулирование расхода с дискретностью 1 л/ч в диапазоне от 1 до 255 л/ч при использовании всего восьми сопел с пропускной способностью 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 и 128 л/час. Проведен метрологический анализ установки эквивалентного вытеснения со стабилизацией расхода с коммутуруемыми торцевыми соплами.*

*Ключевые слова: установка эквивалентного вытеснения, сосуд Мариотта, дивертор, измерение малых расходов, регулятор расхода.*

*The analysis of existing installations of equivalent displacement. The basic issues to be addressed. Proposed as a flow control valves use the managed set of nozzles, calibrated for expenses related  $2^n$  l/h, where  $n$  - serial number nozzle. With such a selection of nozzles provides flow control in increments of 1 l/h in the range of 1 to 255 l/h with only eight nozzles with capacity of 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 and 128 l/h. Metrological analysis conducted installation equivalent replacement costs stabilized, switched end nozzles. Keywords: installation of equivalent displacement, Mariotte vessel, divertor, low flow, flow control unit.*

Установки еквівалентного витіснення широко застосовуються для відтворення витрат в діапазоні від 0,001 м<sup>3</sup>/год до 16 м<sup>3</sup>/год. Вони використовуються в якості державних та первинних еталонів в Нідерландах, Чехії, Словаччині, Хорватії. Особливістю установок, яка забезпечує високу точність відтворення об'єму газу, є визначення об'єму газу через масу витісненої рідини, яка може бути визначена з високою точністю. При цьому для визначення об'ємної витрати газу необхідно знати густину рідини та час її витіснення. Проте в установках даного типу основним предметом досліджень залишається стабільність відтворення витрати.

Як показали дослідження [1], при

урахуванні всіх впливових факторів випадкова складова похибки задання витрати такої установки не перевищує 0,01 %.

Аналіз еталонних установок рідинного витіснювання показує, що проблема стабільності відтворення одиниці об'ємної витрати виникає в основному за рахунок зміни гідростатичного тиску рівня стовпа рідини, що витікає [2]. Для зменшення цього впливу різними авторами пропонувалися технічні рішення, які спрямовані на забезпечення стабільності витікання рідини. Наприклад, використання регульованих гідроопорів, примусове перекачування рідини з заданою витратою [3], стабілізація рівня рідини [4] або

швидкості витікання рідини через торцевий насадок [5].

Авторами встановлено, що найбільш перспективним способом є стабілізація витрати через стабілізацію швидкості витікання рідини за допомогою посудини Маріотта. При цьому забезпечується висока стабільність витрати через торцеве сопло.

Недоліком установок такого типу є незручність регулювання витрати, оскільки при заданій швидкості витікання для зміни витрати необхідно замінювати торцеве сопло. Таким чином, постала необхідність створення установки еквівалентного витіснення з можливістю регулювання витрати.

На даний момент існує велика необхідність в установках відтворення витрати в діапазоні витрат від  $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$  до  $0,25 \text{ м}^3/\text{год}$  для перевірки витратомірів мікровитрат та малих витрат. Це, перш за все, ротаметри медичного та технологічного призначення, витратоміри барабанного типу, ламінарні витратоміри. Для забезпечення регулювання витрати у даному діапазоні запропоновано використовувати керований клапанами набір сопел, відкаліброваних на витрати, які відповідають  $2^n \text{ л/год}$ , де  $n$  – порядковий номер сопла. При такому підборі сопел забезпечується регулювання витрати з дискретністю  $1 \text{ л/год}$  в діапазоні від  $1$  до  $255 \text{ л/год}$  при використанні всього восьми сопел з пропускною здатністю  $1, 2, 4, 8, 16, 32, 64$  і  $128 \text{ л/год}$ . Схема установки зображена на рис. 1.

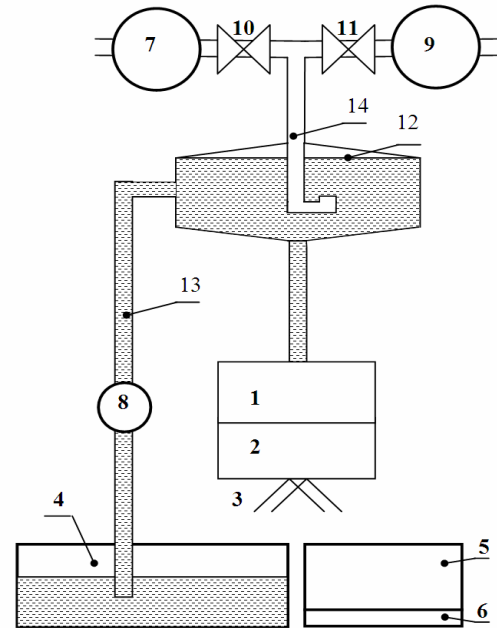
Встановлення витрати при використанні стандартних регуляторів є процедурою, яка вимагає певного часу, оскільки для визначення її необхідне проходження певного об'єму газу, достатнього для проведення обчислення витрати. На малих витратах ця ситуація особливо сильно виражена. Тому використання набору коматованих сопел різко підвищує продуктивність проведення повірочних операцій, особливо при наявності автоматичної системи управління установкою.

Рівняння вимірювання установки еквівалентного витіснення було встановлено в [2]:

$$V = \frac{P_c \cdot T_d}{T_c \cdot P_d} \times \frac{m}{\rho_{0,m} + \alpha(T_m - 273,15)} \times \frac{1 - \rho_{н.п.}/\rho_s}{1 - \rho_{н.п.}/(\rho_{0,m} + \alpha(T_m - 273,15))} \quad (1)$$

де  $V$  – пропущений об'єм рідини;  $P_c, T_c$  – тиск, температура повітря в проміжній ємності;  $P_d, T_d$  – тиск, температура повітря в дослідній

ділянці;  $T_m$  – температура робочої рідини;  $\rho_{0,m}$  – густина масла при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $g$  – прискорення вільного падіння ( $g = 9,8085 \text{ м/с}^2$ ),  $\alpha$  – коефіцієнт теплового розширення масла;  $\rho_s$  – густина стандартних зважуваних об'єктів ( $8000 \text{ кг/м}^3$ );  $\rho_{н.п.}$  – густина навколишнього повітря.



- 1 – блок клапанів; 2 – блок торцевих сопел;  
3 – дивертор; 4, 5 – баки; 6 – вага;  
7 – витратомір; 8 – насос; 9 – еталон витрати газу дзвонового типу; 10, 11 – крани;  
12 – посудина Маріотта; 13 – наповнювальна трубка; 14 – газовідна трубка

**Рисунок 1 – Схема установки еквівалентного витіснення зі стабілізацією витрати**

За допомогою цього рівняння знаходиться об'ємна витрата газу:

$$Q = V / t, \quad (2)$$

де  $t$  – час заміру.

Рівняння витрати установки еквівалентного витіснення зі стабілізацією витрати було встановлено в [5]:

$$Q_n = \frac{-p \left[ 32nh - \sqrt{(1024n^2h^2 - ad^4(2(-Hg - p_0 + p_1) + V_1^2))} \right]}{4 \cdot a} \quad (3)$$

де  $\rho$  – густина рідини,  $\eta$  – кінематична в'язкість рідини,  $h$  – висота насадка,  $d$  – діаметр насадка,  $H$  – висота рівня від торця газовідної трубки в посудині Маріотта до торця насадка дивертора,  $a$  – коефіцієнт кінетичної енергії,  $V_1$  – швидкість рідини на виході з посудини Маріотта,  $p_0$  –

абсолютний тиск на виході газовідної трубки;  $p_l$  – абсолютний тиск на виході насадка дивертора.

При діленні формули (1) на  $t$  і з врахуванням того, що об'ємна витрата рідини виражається через масу, густину і час як:

$$Q_n = \frac{m}{t \cdot (r_{0,m} + a(T_m - 273,15))}, \quad (4)$$

можна підставити формули (3, 4) у формулу (1), і, прийнявши  $r = r_{0,m}$ , отримаємо рівняння об'ємної витрати газу для установки еквівалентного витіснення зі стабілізацією витрати:

$$Q_m = \frac{P_c}{T_c} \times \frac{T_d}{P_d} \cdot \left[ -p \frac{32nh\rho}{\epsilon} - \sqrt{\rho \left( 1024n^2 h^2 \rho - ad^4 \left( 2(-\rho Hg - p_0 + p_1) + \rho V_1^2 \right) \right)} \right] \cdot (5)$$

$$\frac{ae}{\epsilon} \frac{1 - \rho_{n,n}/\rho_s}{1 - \rho_{n,n}/(\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15))} \cdot \frac{\bar{h}}{4 \times r_{0,m} \times a}$$

З метою оцінки метрологічних характеристик установки проведено її метрологічний аналіз.

Для визначення похибки задання витрати рівняння (5) було продиференційовано по основних впливових складових.

Введені заміни:

$$A = \frac{ae}{\epsilon} \frac{1 - \rho_{n,n}/\rho_s}{1 - \rho_{n,n}/(\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15))} \cdot \frac{\bar{h}}{4}, \quad (6)$$

$$B = \frac{-p32nh}{4r_{0,m}a} + \sqrt{\frac{0_m(1024n^2 h^2 - ad^4(2(-0_m Hg - p_0 + p_1) + 0_m V_1^2))}{4r_{0,m}a}} \quad (7)$$

$$C = (0_m(1024^2 h^2 - ad^4(2(-0_m Hg - p_0 + p_1) + 0_m V_1^2)))^{0,5}, \quad (8)$$

Коефіцієнти впливу:

$$\frac{\partial Q_m}{\partial P_c} = \frac{T_d}{P_d \times T_c} \times B \times A; \quad (9)$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial T_c} = \frac{-P_c \times T_d}{P_d \times T_c^2} \times B \times A; \quad (10)$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial T_d} = \frac{P_c}{P_d \times T_c} \times B \times A; \quad (11)$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial P_d} = \frac{-P_c \cdot T_d}{P_d^2 \cdot T_c} \cdot B \cdot A; \quad (12)$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial t} = \frac{P_c \cdot T_d}{P_d \cdot T_c} \cdot B \cdot A; \quad (13)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial h} = \frac{-8P_c T_d \rho V(-C + 32vh\rho_{0,m})}{P_d T_c C \rho_s (\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15)) - \rho_{n,n}} \cdot (14)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = \frac{-8P_c T_d \rho V(-C + 32vh\rho_{0,m})(\rho_{n,n} - \rho_s)(\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15))}{P_d T_c C \rho_s (\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15)) - \rho_{n,n}}; \quad (15)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial d} = \frac{P_c T_d \rho d^3 (-2Hg + V_1^2) \rho_{0,m} - 2p_0 + 2p_1}{2P_d T_c C \rho_s (\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15)) - \rho_{n,n}} \cdot (16)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = \frac{-P_c T_d \rho V(\rho_{n,n} - \rho_s)(\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15))}{8P_d T_c C a^2 \rho_s (\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15)) - \rho_{n,n}} \cdot (17)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial H} = \frac{-P_c T_d \rho_{0,m} d^4 (\rho_{n,n} - \rho_s) \times (\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15))}{4P_d T_c C \rho_s (\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15)) - \rho_{n,n}}; \quad (18)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial p_0} = \frac{-P_c T_d \rho d^4 (\rho_{n,n} - \rho_s) \times (\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15))}{4P_d T_c C \rho_s (\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15)) - \rho_{n,n}}; \quad (19)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial p_1} = \frac{P_c T_d \rho d^4 (\rho_{n,n} - \rho_s) \times (\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15))}{4P_d T_c C \rho_s (\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15)) - \rho_{n,n}}; \quad (20)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial V_1} = \frac{P_c T_d \rho_{0,m} d^4 V_1 (\rho_{n,n} - \rho_s) \times (\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15))}{4P_d T_c C \rho_s (\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15)) - \rho_{n,n}}; \quad (21)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial r_{n,n}} = \frac{(\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15)) - \rho_s \times P_c T_d \rho}{4 \times (\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15)) - r_{n,n}^2 \times \rho_s \times a \rho_{0,m} \times P_d \times T_c} \cdot (22)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial T_m} = \frac{-P_c T_d \rho (-C + 32vh\rho_{0,m}) \times (\rho_{n,n} - \rho_s) \times \rho_{n,n} \times a}{4T_c P_d \rho_{0,m} \times a \times \rho_s \times (\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15)) - \rho_{n,n}}; \quad (23)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = \frac{P_c T_d \rho (-C + 32vh\rho_{0,m}) \times (\rho_{n,n} - \rho_s) \times \rho_{n,n} \times (T_m - 273,15)}{4 \times T_c \times P_d \times \rho_{0,m} \times a \times \rho_s \times (\rho_{0,m} + a(T_m - 273,15)) - \rho_{n,n}} \cdot (24)$$

За результатами вимірювання параметрів інформаційно-вимірювальних каналів та геометричних параметрів установки визначено наступні значення:

висота насадка 0,0005 м:

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} = 0,00049; \quad \Delta h = 0,00005, \quad (25)$$

$$S_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (h_i - \bar{h})^2}{n \cdot (n-1)}} = 0,000015; \quad (26)$$

діаметр насадка 0,001м:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} = 0,00102; \quad \Delta d = 0,00005, \quad (27)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (d_i - \bar{d})^2}{n \cdot (n-1)}} = 0,000025; \quad (28)$$

висота рівня від торця газовідної трубки в посудині Маріотта до торця насадка дивертора 3,5м:

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n} = 3,504; \quad \Delta H = 0,0005, \quad (29)$$

$$S_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}{n(n-1)}} = 0,001; \quad (30)$$

інформаційно-вимірвальний канал тиску водяної пари:  
101,325 кПа:

$$\bar{P}_j = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ij}}{n} = 101,322, \quad (31)$$

$$S_{P_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{ij} - \bar{P}_j)^2}{n(n-1)}} = 0,003, \quad (32)$$

$$\Delta P_{C_j} = \bar{P}_j - P_{зад_j} = 0,005; \Delta P_E = 0,002, \quad (33)$$

$$\Delta P_j = \Delta P_{C_j} + \Delta P_E = 0,007; \quad (34)$$

інформаційно – вимірвальний канал температури 293,15 К:

$$\bar{T}_j = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ij}}{n} = 293,17; S_{T_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{ij} - \bar{T}_j)^2}{n(n-1)}} = 0,037, \quad (35)$$

$$\Delta T_{C_j} = \bar{T}_j - T_{зад_j} = 0,095; \Delta T_E = 0,02, \quad (36)$$

$$\Delta T_j = \Delta T_{C_j} + \Delta T_E = 0,115; \quad (37)$$

інформаційно-вимірвальний канал часу 1800с:

$$\bar{t}_j = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ij}}{n} = 1799,89, \quad (38)$$

$$S_{t_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_{ij} - \bar{t}_j)^2}{n(n-1)}} = 0,062, \quad (39)$$

$$\Delta t_{C_j} = \bar{t}_j - t_{зад_j} = 0,064, \quad (40)$$

$$\Delta T_E = 0,03; \quad (41)$$

$$\Delta t_j = \Delta t_{C_j} + \Delta T_E = 0,094; \quad (42)$$

похибка, зумовлена швидкістю спрацювання перекидного пристрою:

$$\Delta t = \bar{t}_1 - \bar{t}_2 = 0,1. \quad (43)$$

Об'єм газу визначається за формулою:

$$V = Q_m \cdot t, \quad (44)$$

де  $Q_m$  – значення об'ємної витрати газу,  $t$  – час, за який здійснюється вимірювання об'єму газу

Значення об'ємної витрати газу визначається за формулою (5).

Густина навколишнього повітря визначається як:

$$r_{н.н.} = \frac{0,00348353}{T_a} (P_a - 0,378010 \cdot j \cdot P_{HB}), \quad (45)$$

$P_a$  – атмосферний тиск, Па,  $T_a$  – температура навколишнього повітря, К,  $\phi$  – відносна вологість повітря, %,  $P_{HB}$  – тиск насиченої

$$P_{HB} = e^{(XT_a^2 + YT_a + G + JT_a^{-1})} \quad (46)$$

де  $X = 1,2811805 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-2}$ ;  $Y = -1,9509874 \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$ ;  $G = 34,04926034$ ;  $J = -6,3536311 \cdot 10^3 \text{ K}$ .

Спочатку оцінюється похибка визначення густини навколишнього повітря спираючись на рівняння (52). Попередньо оцінено, що вплив похідних величин не суттєвий, тому добуток похідних на похибки замінено відносними значеннями НСП впливових величин.

$$\Delta_{r_{н.н.}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta T_a}{T_a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P_a}{P_a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta j}{j}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P_{HB}}{P_{HB}}\right)^2} = 0,03, \quad (47)$$

$$S_{r_{н.н.}} = \sqrt{\left(\frac{S_{T_a}}{T_a}\right)^2 + \left(\frac{S_{P_a}}{P_a}\right)^2 + \left(\frac{S_j}{j}\right)^2 + \left(\frac{S_{P_{HB}}}{P_{HB}}\right)^2} = 0,01. \quad (48)$$

Значення НСП і СКВ визначають при номінальних значеннях вхідних параметрів.

НСП відтворення одиниці об'єму газу установкою еквівалентного витіснення рідини розраховується за наступною формулою:

$$\Theta_v = 1,1 \sqrt{\left(\frac{\Delta P_c}{P_c}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P_d}{P_d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T_c}{T_c}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T_d}{T_d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(\frac{\Delta n}{n}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p_0}{p_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p_1}{p_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_1}{V_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r_{н.н.}}{r_{н.н.}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T_m}{T_m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2} = 0,126, \quad (49)$$

де  $\Delta n, \Delta a, \Delta a$  – похибки визначення значень сталих величин, взяті з довідкової літератури.

СКВ відтворення одиниці об'єму газу дзвоною установкою розраховується за наступною формулою[6]:

$$S_v = \sqrt{\left(\frac{S_{P_c}}{P_c}\right)^2 + \left(\frac{S_{P_d}}{P_d}\right)^2 + \left(\frac{S_{T_c}}{T_c}\right)^2 + \left(\frac{S_{T_d}}{T_d}\right)^2 + \left(\frac{S_h}{h}\right)^2 + \left(\frac{S_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{S_H}{H}\right)^2 + \left(\frac{S_{p_0}}{p_0}\right)^2 + \left(\frac{S_{p_1}}{p_1}\right)^2 + \left(\frac{S_{V_1}}{V_1}\right)^2 + \left(\frac{S_{r_{н.н.}}}{r_{н.н.}}\right)^2 + \left(\frac{S_{T_m}}{T_m}\right)^2 + \left(\frac{S_t}{t}\right)^2} = 0,061. \quad (50)$$

НСП відтворення одиниці об'ємної витрати газу визначається, як:

$$\Theta_v = 1,1 \sqrt{\left(\frac{\Delta P_c}{P_c}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P_d}{P_d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T_c}{T_c}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T_d}{T_d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(\frac{\Delta n}{n}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p_0}{p_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p_1}{p_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_1}{V_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r_{н.н.}}{r_{н.н.}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T_m}{T_m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2} = 0,12, \quad (51)$$

СКВ відтворення одиниці об'ємної витрати газу:

$$S_V = \sqrt{\left(\frac{S_{P_c}}{P_c}\right)^2 + \left(\frac{S_{P_d}}{P_d}\right)^2 + \left(\frac{S_{T_c}}{T_c}\right)^2 + \left(\frac{S_{T_d}}{T_d}\right)^2 + \left(\frac{S_h}{h}\right)^2 + \left(\frac{S_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{S_H}{H}\right)^2 + \left(\frac{S_{p_0}}{p_0}\right)^2 + \left(\frac{S_{p_1}}{p_1}\right)^2 + \left(\frac{S_{V_1}}{V_1}\right)^2 + \left(\frac{S_{r_{n,n}}}{r_{n,n}}\right)^2 + \left(\frac{S_{T_m}}{T_m}\right)^2 + \left(\frac{S_t}{t}\right)^2} = 0,06. \quad (52)$$

Сумарну похибку відтворення розміру одиниці об'єму газу робочим еталоном обчислюють за формулою:

$$d_V = t_\Sigma \sqrt{S_V^2 + \frac{1}{3} \sum \Theta_V^2}, \quad (53)$$

де  $S_V$  – СКВ відтворення розміру одиниці об'єму газу,  $\Theta_V$  – НСП відтворення розміру одиниці об'єму газу,  $t_\Sigma$  – квантильний множник, який визначається за формулою:

$$t_\Sigma = \frac{\Theta + t_s \cdot S}{S_\Theta + S}, \quad (54)$$

$t_s$  – квантиль Стьюдента для відповідної довірчої ймовірності та кількості вимірювань ( $t_s = 1,96$ ).

$$t_\Sigma = \frac{0,126 + 1,96 \cdot 0,061}{\frac{0,126}{\sqrt{3}} + 0,061} = 1,82, \quad (55)$$

$$d_V = 1,82 \cdot \sqrt{0,061^2 + \frac{1}{3} \cdot 0,126^2} = 0,17. \quad (56)$$

Сумарна похибка відтворення розміру одиниці об'ємної витрати газу робочим еталоном:

$$d_q = t_\Sigma \sqrt{S_q^2 + \frac{1}{3} \sum \Theta_q^2}, \quad (57)$$

$$t_\Sigma = \frac{0,12 + 1,96 \cdot 0,06}{\frac{0,12}{\sqrt{3}} + 0,06} = 1,81, \quad (58)$$

$$d_V = 1,81 \cdot \sqrt{0,06^2 + \frac{1}{3} \cdot 0,12^2} = 0,17. \quad (59)$$

## ВИСНОВКИ

Встановлено, що установка еквівалентного витіснення зі стабілізацією витрати може забезпечувати точність відтворення одиниці

об'ємної витрати на рівні 0,2%. Використання комутованих сопел забезпечує швидке і зручне встановлення заданої витрати газу. Управління витратою легко піддається автоматизації. Установка такого типу може використовуватися в якості робочого еталона в діапазоні витрат від 0,001 до 0,25 м<sup>3</sup>/год.

1. Петришин І. С. Метрологічне забезпечення вимірювань об'єму та об'ємної витрати природного газу в комунально-побутовій сфері (діапазон витрат від 2,8x10<sup>-6</sup> до 4,4x10<sup>-3</sup> м<sup>3</sup>/с) (від 0,01 до 16 м<sup>3</sup>/год) [Текст]: 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 [Текст]: дис. докт. техн. наук: 22.02.07 / Петришин Ігор Степанович. - Івано-Франківськ, 2007. - 381с. 3. Grinten J.G.M.: The primary standard for gas flow measurement in the Netherlands, The Flomeko '93 conference 26-28 October 1993, Seoul, Korea. 4. Присяжнюк Т.І. Спосіб стабілізації витрати газу в установках еквівалентного витіснення рідини / Т.І. Присяжнюк, І.С. Петришин // Метрологія та прилади : наук.-виробн. журн. - 2011 - N 3 - с.27-29. 5. Присяжнюк Т.І. Вдосконалення способу стабілізації витрати газу в установках еквівалентного витіснення рідини / Т.І. Присяжнюк, О.А. Бас, І.С. Петришин // Український метрологічний журнал – 2012 - №4. 6. Робочий еталон одиниць об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні від 2,77•10<sup>-7</sup> м<sup>3</sup>/с до 4,44•10<sup>-6</sup> м<sup>3</sup>/с. Програма та методика державної метрологічної атестації / Петришин І.С., Присяжнюк Т.І., Бас О.А. [Чинна від 2012-03-27] Наказ № 131 ДП “Івано-Франківськстандартметрологія” від 27.03.2012

Поступила в редакцію 06.11.2012р.

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