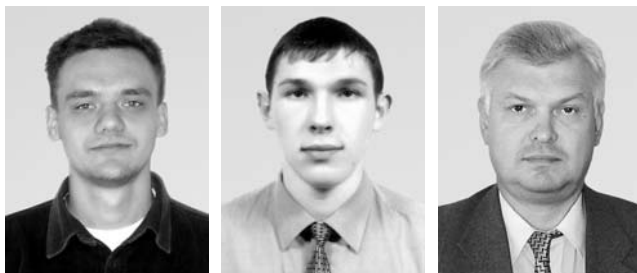


УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ СТАБІЛІЗАЦІЇ ВИТРАТИ ГАЗУ В УСТАНОВКАХ ЕКВІВАЛЕНТНОГО ВИТІСНЕННЯ РІДИНИ

Т.І. Присяжнюк, інженер ДП "Івано-Франківськстандартметрологія"

О.А. Бас, молодший науковий співробітник ДП "Івано-Франківськстандартметрологія"

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



Т.І. Присяжнюк

О.А. Бас

І.С. Петришин

Запропоновано вдосконалений спосіб стабілізації витрати газу в установках еквівалентного витіснення рідини шляхом використання посудини Маріотта, вдосконаленої шляхом повертання торця газовивідної трубки вгору на 180° , що забезпечує постійне значення витрати. Це дало можливість сформувати спрямований потік бульбашок у верхню частину посудини Маріотта, не змінюючи значення гідростатичного тиску.

The improved method of equalization of gas flow in installations of equivalent ousting the liquid with using vessel of Mariott improved with turning the end face flue tube up to 180° what provides constant flow value. This is given an opportunity to form directed flow of bubbles in the higher part of vessel of Mariott without changing value of hydro statistic pressure.

Установки еквівалентного витіснення застосовуються в якості еталонів об'єму та об'ємної витрати газу в багатьох країнах (Чехії, Словаччині, Нідерландах, у тому числі і в Україні [1]). Разом із їх конструктивною простотою це підтверджує їх високу перспективність для виготовлення еталонної бази вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу.

Принцип дії установок відтворення витрати методом еквівалентного витіснення полягає у зважуванні об'єму рідини, витісненої газом, який пройшов через засіб вимірювання, що повіряється або випробовується. При цьому для визначення об'ємної витрати газу необхідно знати густину рідини та час її витіснення.

Як показали дослідження [2], при врахуванні всіх впливових факторів випадкова складова похибки відтворення об'ємної витрати такої установки не перевищує 0,01 % у діапазоні витрат від 1 до

4 м³/год. Разом із тим, дослідження метрологічних характеристик цих установок у діапазоні витрат від 0,001 до 0,0016 м³/год практично не проводилися.

Проблема досягнення стабільності витрати в установках такого типу, відзначена в роботах [3, 4], має місце, при тому що відтворення одиниці об'єму газу здійснюється з високою точністю. Основним чинником нестабільності витрати є зміна гідростатичного тиску рівня стовпа рідини, що витікає.

Рівняння вимірювання установки еквівалентного витіснення рідини з урахуванням коефіцієнта лінійного розширення масла описується таким виразом [5]:

$$V_D = \frac{P_E T_D}{T_E P_D} \frac{m}{\rho_m} \left(1 + \frac{\rho_{н.п.}}{\rho_m} \right),$$

де V_D – об'єм повітря, що пройшов через дослідну ділянку; P_D , P_E – тиск повітря на дослідній ділянці і в ємності відповідно; T_D , T_E – температура повітря на дослідній ділянці і в ємності відповідно; m – маса масла в ємності; $\rho_{н.п.}$ – густина навколишнього повітря; ρ_m – густина масла.

У роботі [6] детально висвітлено роботу еталонної установки еквівалентного витіснення. Резерви підвищення точності відтворення одиниці об'єму газу практично вичерпані, що вказано в [3, 4]. Разом із тим, це не стосується резервів підвищення точності відтворення одиниці витрати газу. Одним із варіантів підвищення точності відтворення витрати газу є спосіб, запропонований в [4], а також використання автоматичного стабілізатора витрати [3]. Авторами було запропоновано інший метод – стабілізацію рівня рідини в контейнері за допомогою посудини Маріотта [7]. Проведені експериментальні дослідження показали високу ефективність застосування цього методу стабілізації, що дало можливість підвищити стабільність відтворення витрати до 0,2 % [6]. Разом із тим, авторами одночасно виявлено недоліки конкретної реалізації посудини Маріотта (рис. 1).

Оскільки стабілізація рівня в посудині 12 забезпечується шляхом використання рідинного затвора 13, існує певна дискретність зміни рівня Δh , зумовлена розміром бульбашок, що піднімаються в контейнер 1. Також було виявлено, що для забезпечення можливості перевірки витратомірів, для яких характерний високий перепад тиску (напри-

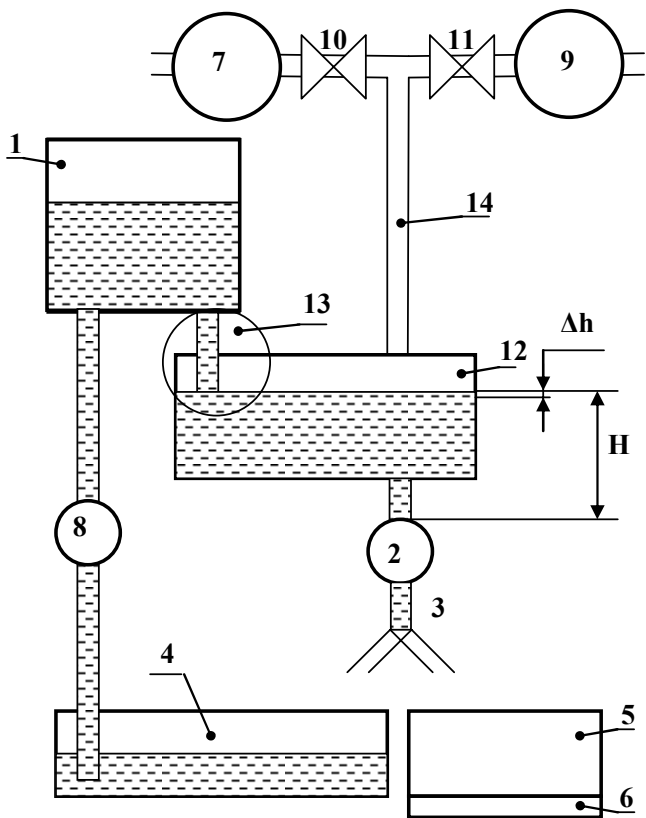


Рис. 1. Схема установки еквівалентного витіснення зі стабілізацією рівня: 1 – контейнер; 2 – регулятор витрати; 3 – дивертор; 4, 5 – баки; 6 – вага; 7 – витратомір; 8 – насос; 9 – задавач витрати газу дзвонового типу; 10, 11 – крани; 12 – посудина Маріотта; 13 – рідинний затвор; 14 – газувідна трубка

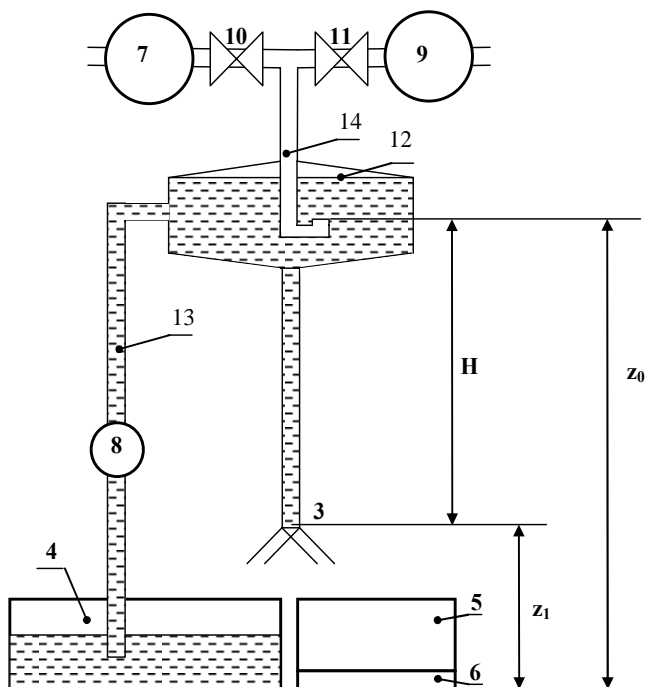


Рис. 2. Схема установки еквівалентного витіснення зі стабілізацією витрати: 3 – дивертор; 4, 5 – баки; 6 – вага; 7 – витратомір; 8 – насос; 9 – задавач витрати газу дзвонового типу; 10, 11 – крани; 12 – посудина Маріотта; 13 – наповнювальна трубка; 14 – газувідна трубка

клад, ламінарних), необхідно максимізувати висоту стовпа рідини H . Має місце певна конструктивна складність стабілізатора витрати, зумовлена використанням двох контейнерів 1, 12.

Як відомо, існує два варіанти конструкції посудини Маріотта: постійного рівня і постійної витрати [8]. Описаний вище варіант використання посудини Маріотта забезпечує постійний рівень в ємності 12. Витрата при цьому задається регулятором витрати 2, а стабільний рівень забезпечує постійний гідростатичний тиск на ньому.

Авторами запропоновано модернізацію установки для усунення зазначених недоліків. Вибрано інший тип посудини Маріотта, вдосконалений шляхом повертання торця газувідної трубки 14 уверх на 180° , що забезпечує постійне значення витрати. Це дало можливість сформувати спрямований потік бульбашок у верхню частину посудини Маріотта, не змінюючи висоту H , що забезпечує постійний гідростатичний тиск на диверторі. Також відпадає необхідність у використанні контура 1, регулятора витрати 2 та рідинного затвора 13 (рис. 2).

Таким чином, за наявності визначеного розподілу тисків у посудині Маріотта можна за допомогою рівняння Бернуллі знайти об'ємну витрату рідини через насадку дивертора 3, яка визначається геометричними параметрами посудини 12 і тиском на вході, а також параметрами насадки дивертора. Рівняння Бернуллі для такого випадку має вигляд [9]

$$z_0 + \frac{p_0}{\rho \cdot g} + \frac{V_0^2}{2g} = z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2g} + \left(a + \lambda \cdot \frac{h}{d} \right) \cdot \frac{V_H^2}{2g}, \quad (1)$$

де z_0 – висота торця газувідної трубки; z_1 – висота торця насадки дивертора; p_0 – абсолютний тиск на виході газувідної трубки; p_1 – абсолютний тиск на виході насадки дивертора; ρ – густина рідини; g – прискорення вільного падіння; V_0 – швидкість рідини у посудині Маріотта; V_1 – швидкість рідини на виході з посудини Маріотта; V_H – швидкість рідини у насадку; a – коефіцієнт кінетичної енергії; λ – коефіцієнт гідравлічного тертя; h – висота насадки; d – діаметр насадки.

Аналіз формули (1) показує, що для зменшення швидкісного напору, який залежить від швидкості поверхні рідини V_0 , доцільно вибрати діаметр посудини Маріотта значно більшим від діаметра насадки дивертора. У цьому випадку швидкість поверхні рідини V_0 буде значно меншою від швидкості V_H рідини через насадку. Якщо вибрати діаметр посудини Маріотта рівним 0,5 м, а насадка – 0,001 м, то

$$\frac{V_0}{V_H} = \frac{d^2}{d_0^2} = \frac{1}{500^2} = 4 \cdot 10^{-6},$$

де d_0 – діаметр посудини Маріотта. Тоді доданок $V_0^2/2g$, який характеризує швидкісний напір, можна прийняти рівним нулю [9].

У рівнянні (1) $z_0 - z_1 = H$, тому формулу (1) можна записати як

$$H + \frac{p_0 - p_1}{\rho \cdot g} = \frac{\left(a + \lambda \cdot \frac{h}{d}\right) \cdot V_H^2 + V_1^2}{2g} \quad (2)$$

Коефіцієнт гідравлічного тертя λ для ламінарного потоку визначається з формули Пуазейля:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}, \quad (3)$$

де Re – значення числа Рейнольдса, яке дорівнює:

$$\text{Re} = \frac{V_H \cdot d}{\nu} \quad (4)$$

(ν – кінематична в'язкість рідини).

З урахуванням (3), (4) рівняння (2) буде мати вигляд

$$H + \frac{p_0 - p_1}{\rho \cdot g} = \frac{\left(a + \frac{64 \cdot \nu \cdot h}{V_H \cdot d^2}\right) \cdot V_H^2 + V_1^2}{2g}, \quad (5)$$

що можна записати як

$$a \cdot V_H^2 \cdot d^2 + 64 \cdot V_H \cdot \nu \cdot h - \frac{d^2}{\rho} \cdot [2 \cdot (H \cdot \rho \cdot g + p_0 - p_1) - \rho \cdot V_1^2] = 0. \quad (6)$$

Тоді рівняння (2), розв'язане відносно V_H , з урахуванням (6) буде мати вигляд

$$V_H = - \left[32\nu \cdot h \cdot \rho - (\rho \cdot (1024\nu^2 \cdot h^2 \cdot \rho - a \cdot d^4 \times \right. \\ \left. \times (2 \cdot (-\rho \cdot H \cdot g - p_0 + p_1) + \rho \cdot V_1^2))^{0.5} \right] / (\rho \cdot a \cdot d^2). \quad (7)$$

Об'ємна витрата рідини через насадок при відомій швидкості витікання V_H обчислюється за формулою

$$Q_n = V_H \cdot \omega_n, \quad (8)$$

де Q_n – об'ємна витрата рідини через насадок; ω_n – площа поперечного перерізу насадок, яка визначається як

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot d^2}{4}. \quad (9)$$

Підставивши формули (9) і (7) в (8), отримаємо робочу формулу визначення одиниць об'ємної витрати рідини для установки еквівалентного витіснення:

$$Q_n = -\pi \cdot \left[32\nu \cdot h \cdot \rho - (\rho \cdot (1024\nu^2 \cdot h^2 \cdot \rho - a \cdot d^4 \times \right. \\ \left. \times (2 \cdot (-\rho \cdot H \cdot g - p_0 + p_1) + \rho \cdot V_1^2))^{0.5} \right] / (4\rho \cdot a).$$

Для визначення оптимальних значень параметрів робочої формули її розв'язок необхідно проводити у зворотному порядку, а саме: установити конкретний діапазон значень одиниць об'ємної витрати рідини, які будуть відтворюватися установкою еквівалентного витіснення, і геометричні

параметри насадка дивертора і за формулою (8) визначити значення швидкості в насадку.

Отже, якщо діапазон значень одиниць об'ємної витрати становить від $2,78 \cdot 10^{-7}$ до $4,44 \cdot 10^{-6}$ м³/с (від 1 до 16 л/год), діаметри насадка – від 0,001 м (для максимального значення об'ємної витрати) і 0,00025 м (для мінімального значення об'ємної витрати), то значення швидкостей у насадку (з формул (8), (9)) будуть дорівнювати:

$$V_{H1} = \frac{4 \cdot Q_{\max}}{\pi \cdot d_{\max}^2} = \frac{4 \cdot 4,44 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot 0,001^2} = 5,66 \text{ (м/с);}$$

$$V_{H2} = \frac{4 \cdot Q_{\min}}{\pi \cdot d_{\min}^2} = \frac{4 \cdot 2,78 \cdot 10^{-7}}{3,14 \cdot 0,00025^2} = 5,66 \text{ (м/с).}$$

Ламінарність потоку підтверджується формулою

$$\text{Re} = \frac{V_H \cdot d}{\nu} = 1258 < 2320.$$

Як виходить з формули (5), в'язкість рідини впливає на значення витрати через насадок як

$$\left(a + \frac{64 \cdot \nu \cdot h}{V_H \cdot d^2}\right) \cdot V_H^2.$$

Разом із тим, для ламінарного потоку $a=2$ [9], а для заданих параметрів насадка і в'язкості рідини $\nu=4,5 \cdot 10^{-6}$ м²/с при максимальній витраті

$$\frac{64 \cdot \nu \cdot h}{V_H \cdot d^2} = 0,025$$

очевидно, що перший доданок значно більший за другий, а тому вплив в'язкості на витрату за цих обставин незначний.

Для визначення наступного параметра V_1 – швидкості рідини на виході з посудини Маріотта – необхідно, ґрунтуючись на законі збереження речовини, записати умову нерозривності потоку:

$$V_H \cdot \omega_n = V_1 \cdot \omega_1. \quad (10)$$

Відповідно до рівняння (10), швидкість V_1 буде визначатися як

$$V_1 = \frac{V_H \cdot d^2}{d_v^2} = \frac{5,66 \cdot 0,001^2}{0,035^2} = 0,0046 \text{ (м/с),}$$

де d_v – діаметр отвору на виході з посудини Маріотта.

При цьому можливо визначити необхідну величину висоти H для заданої витрати:

$$H = \frac{-2p_0 + 2p_1 + \rho \cdot a \cdot V_n^2 + \rho \cdot V_1^2}{2\rho \cdot g} + 32 \cdot V_n \cdot \nu \cdot \frac{h}{g \cdot d^2} = 3,306 \text{ (м).}$$

Висновок. У результаті проведеного аналізу встановлено, що витрата рідини через насадок дивертора в установці еквівалентного витіснення з посудиною Маріотта даної конструкції залежить від геометричних параметрів установки, густини

рідини, перепаду тисків та коефіцієнта кінетичної енергії. Усі ці величини можуть бути визначені з високою точністю, що, таким чином, дає можливість точно задати значення необхідної витрати за допомогою насадка і витримувати його незмінним у процесі проведення вимірювання.

Список літератури

1. Wright John D. What is the “best” transfer standard for gas flow? / John D.Wright (www.cstl.nist.gov).
2. Jos G.M. van der Grinten. From Paris to Westerbork and ... abroad. – Nederlands Meetinstituut, Juni 1995. – P. 1–5.
3. Петришин І.С. Науково-методологічні та технічні засади забезпечення точності вимірювань витрати природного газу: дис. ... д.т.н. / І.С. Петришин. – Івано-Франківськ, 2007. – 381 с.
4. Петришин І.С. Розширення діапазону відтворюваних витрат вторинного еталона об'єму і об'ємної витрати газу ВЕТУ 03-01-01-08 / І.С. Пет-

- ришин, Т.І. Присяжнюк, Н.І. Петришин // Методи та прилади контролю якості. – 2010. – № 24. – С. 69–72.
5. Петришин І.С. Математична та метрологічна моделі вторинного еталона одиниці об'єму та об'ємної витрати газу / І.С. Петришин, Я.В. Безгачнюк // Український метрологічний журнал. – 2007 – № 2. – С. 40–42.
6. Grinten J.G.M. The primary standard for gas flow measurement in the Netherlands / J.G.M. Grinten // The Flomeko '93 conference, 26–28 October 1993. – Seoul, Korea, 1993.
7. Присяжнюк Т.І. Спосіб стабілізації витрати газу в установках еквівалентного витіснення рідини / Т.І. Присяжнюк, І.С. Петришин // Метрологія та прилади. – 2011. – № 3. – С. 27–29.
8. Степин Б.Д. Техника лабораторного експеримента в химии: учеб. пособие для вузов / Б.Д. Степин. – М.: Химия, 1999. – 600 с.
9. Френкель Н.З. Гидравлика / Н.З. Френкель. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956. – 456 с.

УДК 681.121

ПРОГНОЗНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕТАЛОННИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ

М.В.Кузь, кандидат технічних наук, доцент Івано-Франківського університету права ім. Короля Данила Галицького



Запропоновано здійснювати прогноз зміни метрологічних характеристик еталонних лічильників газу впродовж міжповірного інтервалу на основі технологічного прогону, завдяки чому буде забезпечуватися відповідність харак-

теристик еталонних лічильників газу під час їх експлуатації.

It is proposed to forecast change of metrological characteristics of reference gas counters during verification interval on the basis of technological run, owing to which conformity of characteristics of reference gas counters during their operation will be provided.

При негативних результатах перевірки, коли визначені значення похибки перевищують границі допустимої відносної похибки, лічильник газу признається непридатним до подальшого застосування. А це свідчить про те, що якийсь період часу облік газу цим лічильником був недостовірним.

Набагато гіршою є ситуація, коли отримуються негативні результати перевірки еталонного лічильни-

ка газу, наслідком чого є невідповідність метрологічних характеристик частини лічильників газу, які піддавалися повірці на повірочній установці, до складу якої входить цей еталонний лічильник.

Еталонні лічильники газу, які не пройшли повірку [1], можуть підлягати державній метрологічній атестації [2] після проведення профілактичних робіт або ремонту. Під час проведення атестації визначається коефіцієнт перетворення еталонного лічильника для *i*-го вимірювання за даного *j*-го значення об'ємної витрати:

$$K_{ji} = \frac{N_{ji}}{V_{ji}},$$

де N_{ji} – кількість імпульсів з еталонного лічильника; V_{ji} – об'єм, що пройшов через еталонний лічильник, приведений до умов державного первинного або вторинних еталонів.

Середнє значення коефіцієнта перетворення еталонного лічильника за *j*-го значення об'ємної витрати визначається за формулою

$$\bar{K}_j = \frac{\sum_{i=1}^n K_{ji}}{n},$$

де n – кількість вимірювань за *j*-го значення об'ємної витрати.

Після цього визначаються довірчі границі відносної похибки еталонного лічильника.

За отриманими результатами досліджень еталонного лічильника розраховуються, з використанням методу найменших квадратів, коефіцієнти апроксимаційного полінома виду

$$K(q) = A_{-2}q^{-2} + A_{-1}q^{-1} + A_0 + A_1q^1 + A_2q^2,$$

де A_i – коефіцієнти апроксимаційного полінома; q – об’ємна витрата газу.

Відхилення експериментальних точок від значень, розрахованих за апроксимаційним поліномом, такі:

$$e_j = \frac{\bar{K}_j - K(q_j)}{K(q_j)} \cdot 100.$$

Наступною процедурою є технологічний прогін: еталонний лічильник устанавлюється на повірочну устанавку або будь-яку трубну конструкцію, в якій створюється номінальна витрата протягом 24 годин безперервної роботи. Після такого прогону здійснюється оцінка відтворюваності для j -го значення об’ємної витрати, яка обчислюється за формулою

$$\delta_{Bj} = \frac{(\bar{K}_{Bj} - \bar{K}_j)}{\bar{K}_j} \cdot 100,$$

де K_{Bj} – коефіцієнт перетворення еталона за j -го значення об’ємної витрати, що визначений після технологічного прогону еталонного лічильника. 24 години технологічного прогону – це надто малий проміжок часу у порівнянні з міжпіврочним інтервалом (1 рік), для того щоб відбулася значна зміна метрологічних характеристик еталонного лічильника газу.

Метою цієї роботи є розроблення моделей для прогнозування зміни метрологічних характеристик еталонних лічильників газу впродовж міжпіврочного інтервалу.

Порядок прогнозування такий.

У методичному документі [2] зазначено, що перед проведенням державної метрологічної атестації еталонний лічильник газу повинен пройти технологічний прогін протягом не менше 200 год. за номінальної витрати.

Автором цієї роботи пропонується визначати коефіцієнти перетворення еталонного лічильника за всіх витрат, значення яких наведено в [2], перед технологічним прогоном та через кожні, наприклад, 24 год.

Оскільки еталонні лічильники виготовляються на основі відібраних зразків із серійно виготовлених турбінних, роторних чи барабанних лічильників газу, то зміна їхніх метрологічних характеристик під час експлуатації має аналогічний характер. Після введення в експлуатацію еталонного лічильника виникає необхідність у двох додаткових параметрах [3]. Лічильнику властивий дрейф метрологічних характеристик. Дрейф D є повільною в часі зміною метрологічних характеристик еталонного лічильника газу. Дрейф еталонного лічильника може бути оцінений і супроводжуватися його власною невизначеністю U_D , яка може мати тип А або тип В, або обидва типи. В [3] указано, що якщо дрейф визначається під час процедури затвердження типу, то складова U_D матиме тип В, при перекалібруваннях – тип А.

Імовірні характеристики еталонного лічильника при його роботі за j -витрати в кожний момент часу протягом 200 год. прогону наведено на рис. 1. Штриховими лініями зображено метрологічні характеристики (відносна похибка δ та розширена невизначеність U) еталонного лічильника газу, визначені під час технологічного прогону, та прогнозовані характеристики, нерозривними лініями – допустимі межі відносної похибки $\delta_{\text{доп}}$.

Прогнозовані характеристики еталонного лічильника визначають шляхом апроксимації мет-

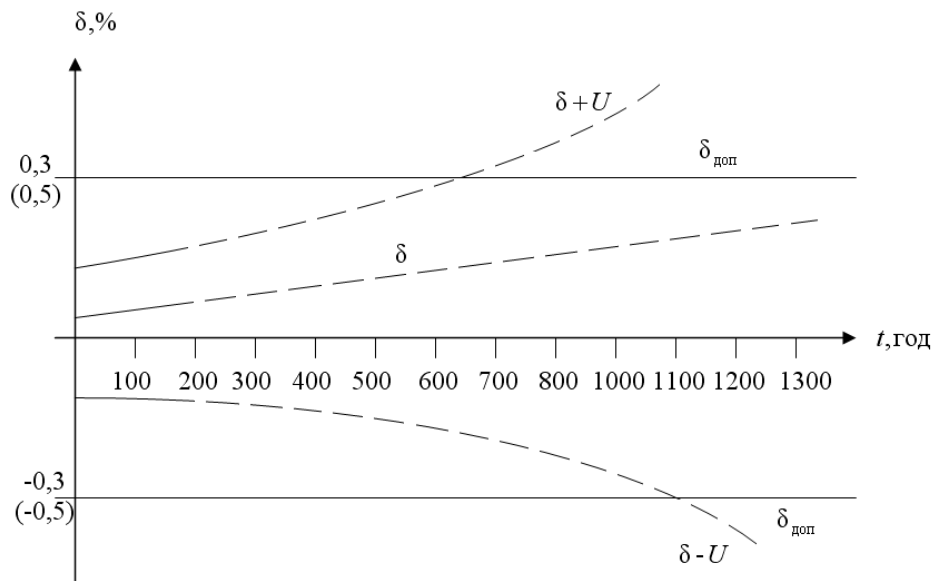


Рис. 1. Зміна невизначеності та похибки в часі

рологічних характеристик, отриманих під час технологічного прогону (200 год.). Сучасне програмне забезпечення персональних комп'ютерів дозволяє, на основі експериментальних даних, визначати рівняння апроксимації різних типів (лінійні, поліноми різних порядків, логарифмічні, експоненціальні та ін.).

Як видно з рис. 1, в момент часу $t=650$ год. лінію допустимої межі відносної похибки перетинає лінія невизначеності. Тому із цього моменту найбільш імовірно, що метрологічні характеристики еталонного лічильника газу не будуть знаходитися в межах вимог до точності, тобто межах відносної похибки. Із цього моменту виникає необхідність чергової повірки еталонного лічильника, а можливо, і його переатестації.

Момент невідповідності метрологічних характеристик еталонних лічильників газу при їх експлуатації протягом міжповірочного інтервалу можна визначити за допомогою прогнозних апроксимаційних залежностей (рис. 1) шляхом удосконалення програмного забезпечення повірочних установок, до складу яких входять ці еталонні лічильники. Автором цієї роботи пропонується до складу програмного забезпечення включити процедуру перевірки відповідності метрологічних характеристик еталонних лічильників газу, яка полягає в такому. Програма через певні проміжки часу (наприклад, 1 год.) роботи еталонного лічильника (до складу повірочної установки входять в основному три еталонних лічильники, тому ресурс їхньої роботи менший за загальний ресурс роботи установки: найбільша питома частка часу роботи в еталонного лічильника, що працює в найнижчому діапазоні витрат, найменша – у діапазоні високих витрат) на основі апроксимаційної залежності $\delta=f(t)$, визначеної індивідуально для кожного еталонного лічильника, перевіряє чи $\delta+U=\delta_{\text{доп}}$, чи $\delta-U=\delta_{\text{доп}}$. У разі виявлення такої рівності програма видає повідомлення про недопустимість подальшої експлуатації цього еталонного лічильника та необхідність його повірки, або взагалі блокується робота програмного забезпечення повірочної установки, що унеможливить відображення результатів роботи установки.

Блок-схему алгоритму роботи описаної процедури наведено на рис. 2.

На основі розробленого алгоритму можна модернізувати існуюче програмне забезпечення повірочних установок лічильників газу та удосконалити методику атестації еталонних лічильників з введенням в неї процедури прогнозування метрологічних характеристик, чим забезпечиться відповідність

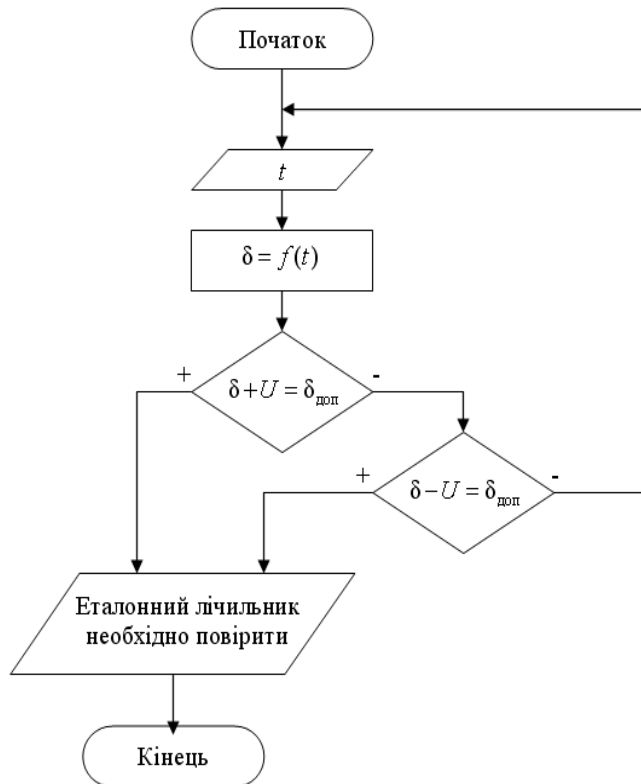


Рис. 2. Алгоритм процедури перевірки відповідності метрологічних характеристик еталонних лічильників газу

характеристик еталонних лічильників газу під час їх експлуатації протягом міжповірочного інтервалу.

Предметом подальших наукових досліджень будуть експериментальні дослідження зміни метрологічних характеристик еталонних лічильників газу під час технологічного прогону.

Список літератури

1. Метрологія. Еталонні лічильники газу: Методика повірки. – [Чинна від 2004-07-09]. – Івано-Франківськ: ДП “Івано-Франківськстандартметрологія”, 2004. – 8 с. – (Методичний документ з метрології).
2. Метрологія. Еталонні лічильники газу: Типова програма та методика державної метрологічної атестації. – [Чинна від 2006-05-18]. – Івано-Франківськ: ДП “Івано-Франківськстандартметрологія”, 2006. – 11 с. – (Методичний документ з метрології).
3. Gas supply systems. Natural gas measuring stations. Functional requirements: EN 1776:1998. – [Чинний від 1998-12-06]. – 44 с. – (Європейський стандарт).