

МЕТОДИ І ПРИЛАДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДКОЇ І ГАЗОПОДІБНОЇ ФАЗ

УДК 389:6

АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДЕРЖАВНОГО ПЕРВИННОГО ЕТАЛОНА ОДИНИЦЬ ВИТРАТИ РІДИНИ

© Косач Н.І., 2006

ННЦ „Інститут метрології”, м. Харків

Представлено результати аналізу функціонування державного первинного еталона одиниць об'ємної та масової витрати рідини після впровадження у метрологічну практику України. Описано його конструктивні та метрологічні характеристик

У теперішній час проблему обліку води та енергоресурсів в Україні піднято на державний рівень. У цьому зв'язку гостро встає питання впровадження, застосування та метрологічного забезпечення засобів обліку споживання холодної і гарячої води, а також витрати теплоносіїв. Вирішення цього питання неможливо без створення відповідної метрологічної бази, і, в першу чергу, державних еталонів одиниць витрати рідини та теплоти.

Одним з таких еталонів, який безпосереднім чином впливає на процес обліку споживання водоресурсів, є Державний первинний еталон одиниць витрати рідини, створений у Національному науковому центрі „Інститут метрології”. Аналізу функціонування цього еталона і присвячено дана робота.

Створений еталон одиниць об'ємної витрати рідини в діапазоні від $2,8 \cdot 10^{-4}$ до $2,8 \cdot 10^{-2}$ м³/с, масової витрати рідини в діапазоні від $2,8 \cdot 10^{-1}$ до 28 кг/с, об'єму рідини в діапазоні від 0,1 до 3,0 м³ та маси рідини в діапазоні від 100,0 до 3000 кг, що протікає по трубопроводу, введений в дію у вересні 2004р. та затверджений Наказом Держспожив-стандарту України №245 від 3 листопада 2004 р.

Для забезпечення функціонування створеного еталона та єдності вимірювання витрати рідини в Україні розроблено та надано чинності з 01.10.2005 р. ДСТУ 4403:2005 „Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'ємної та масової витрати рідини й об'єму та маси рідини, що протікає по трубопроводу”.

В створеному еталоні реалізований метод статичного зважування, який дозволяє здійснити

найбільш точно на даний час визначення маси та об'єму, масової й об'ємної витрати рідини, що протікає по трубопроводу. Суть методу полягає в тому, що витрата рідини визначається за масою рідини, яка протікає по трубопроводу за фіксований інтервал часу:

$$q_m = \frac{m}{\tau}; \quad q_v = \frac{V}{\tau} = \frac{m}{\rho \cdot \tau}, \quad (1)$$

де q_m – масова витрати рідини, кг/с; q_v – об'ємна витрата рідини, м³/с; m – маса рідини, що протікає по трубопроводу, кг; τ – інтервал часу, за який рідина пройшла по трубопроводу, с; $V = \frac{m}{\rho}$ – об'єм рідини, що пройшла по трубопроводу, м³; ρ – густина рідини, кг/м³.

Маса рідини, що пройшла по трубопроводу та потрапила у відповідний (вимірювальний) бак, визначається шляхом його зважування за формулою:

$$m = K \cdot \frac{P_1 - P_0}{1 - \rho_a / \rho}, \quad (2)$$

де $K = (1 - \rho_a / \rho_p) / g = 0,10192174$ – коректувальний коефіцієнт, с²/м; P_1 – вага бака з рідиною, яка потрапила до баку за час вимірювань; P_0 – вага баку з рідиною, яка можливо залишилася у ньому до зважування; g – прискорення вільного падіння.

Згідно з (1) та (2) розрахункові формули для визначення об'єму рідини, середньої масової та об'ємної витрати рідини за час τ представимо у вигляді:

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{m}{\rho} = K \cdot \frac{P_1 - P_0}{\rho - \rho_a}, \\
 q_m &= \frac{m}{\tau} = \frac{K}{\tau} \cdot \frac{P_1 - P_0}{1 - \rho_a / \rho}, \\
 q_v &= \frac{V}{\tau} = \frac{q_m}{\rho} = \frac{K}{\tau} \cdot \frac{P_1 - P_0}{\rho - \rho_a}. \quad (3)
 \end{aligned}$$

Для реалізації методу статичного зважування, еталон обладнаний наступними системами і приладами:

системою збирання та зважування рідини; вимірювальною ділянкою з запірною арматурою, яка представляє собою елемент проточного тракту еталона (трубопроводу), призначену для монтажу витратомірів, яким передаються одиниці витрати (які повіряються, тестуються) та оснащена пристроями підготовки і забезпечення нормальної кінематичної структури потоку на їх вході;

системою заправлення та збереження робочої рідини, яка представляє собою резервуар з необхідним її запасом, оснащений показчиком рівня води та арматурою для заправлення та зливу;

системою напірною (системою створення, стабілізації, передачі, вимірювання та автоматичного регулювання витрати, що забезпечує її постійні наперед визначені значення у вимірювальній ділянці еталона);

системою відділення повітря з рідини та пристроїв демпфірування (згладжування) пульсацій витрати у прогонному тракці еталона;

системою вимірювання кліматичних параметрів, в тому числі системою визначення густини рідини, що вимірюється, та системою визначення густини, температури, вологості, тиску повітря;

пультом керування роботою еталона, який містить у собі систему реєстрації, обробки і подання результатів досліджень у формі, зручній для передачі одиниць витрати еталонним ЗВТ, яким передається одиниця (які повіряються або атестуються).

Система збору та зважування рідини (СЗЗ), що використана у створеному еталоні, виконана у відповідності з рекомендаціями ISO 4185 - документом, який визначає „метод вимірювання потоку рідини шляхом її зважування”, та містить вимірювальний бак для збирання рідини (БВ), перекидний (відхиляючий) пристрій (ПП), ваговимірювальний пристрій (ВП), вимірювач часових інтервалів (ВІ).

БВ представляє собою циліндричний резервуар місткістю біля 3 м³ з конічним дном, який виготовлений з листової сталі 12Х18Н10Т товщиною 6 мм. БВ обладнаний системою зливу рідини і лоромислом з карданною розв'язкою його підвісу.

ПП представляє собою пересувний прилад, призначений для перекидання (перенапрямку руху) потоку, що протікає по вимірювальній ділянці еталона через ЗВТ, якому передається одиниця, що відтворюється еталоном, по черзі - в бак для збереження води або у вимірювальний бак, що зважується, і навпаки. Однією з вимог, що пред'являються до ПП - це його швидкодія. Час його руху повинен бути не більше 0,1с. Це пов'язано зі зменшенням можливості появи значної помилки при вимірюванні часу наповнення вимірювального бака.

Враховуючи вищевикладене, розроблена та упроваджена у державному еталоні оригінальна (що відрізняється від рекомендацій ISO 4185) конструкція ПП у вигляді одноканального щілинного насадка, поворот якого навколо горизонтальної осі, що встановлена у околиці центру тяжіння насадка, відносно вертикальної площини симетрії ПП - гідравлічної центральної лінії, здійснюється за допомогою соленоїдів. В процесі атестації еталона встановлено, що створений ПП має швидкодію з асиметрією руху не більше, ніж 0,004 с [1].

ВП у еталоні реалізований на базі динамометричного методу за допомогою підвищування БВ на змінному наборі прецизійних (Ultra Precision) тензорезистивних електронних давачів розтягування фірми Sartorius AG класу С6 з вимірювальними блоками QCT 01 (невизначеність вимірювань є не більшою ніж 0,001 % відповідно їх сертифікатам індивідуального тестування, здійсненого GWT - Global Weighing Technologies GmbH).

З метою забезпечення максимальної точності вимірювання ваги бака з рідиною в діапазоні від 900 кг (така вага порожнього баку) до 4000 кг застосовуються три наступні набори давачів:

1^й набір, який включає е давач тензометричний PR 6246/13С6 з номінальним навантаженням 1000 кг;

2^й набір, який включає давач тензометричний PR 6246/23С6 з номінальним навантаженням 2000 кг;

3^й набір, який включає два паралельно з'єднаних давачів тензометричних PR 6246/23С6 з номінальним навантаженням 2000 кг кожний, тобто з сумарним номінальним навантаженням 4000 кг.

В залежності від відтворюваних еталоном витрат рідини використовується 1^й, 2^й або 3^й набір давачів виходячи з того, що вимірювання повинні виконуватися наприкінці їх діапазону навантаження, що і забезпечує максимальну точність вимірювання.

Кожний з наборів оснащений індивідуальним вимірювальним блоком. Усі блоки настроєні на максимальне число точок дискретизації $n=6 \cdot 10^4$, тобто забезпечують максимальну дозвольну здатність (точність вимірювання). Зокрема, для PR 6246/13С6 вона становить 2 г.

Вимірювальна ділянка (ВД) створеного еталона для нормалізації кінематичної структури потоку, що відтворюється, була виконана істотно більш довгою, ніж це рекомендується МІ 164-78 і складає 8,5 м до та 5,4 м після ЗВТ, тобто при її максимальному діаметрі 200 мм (DN200) прямолінійні ділянки трубопроводу до та після ЗВТ дорівнюють 42DN і 27DN відповідно. Це обумовлено тим, що відтворення одиниць витрати, об'єму та маси рідини еталоном в значній мірі визначається ступенем гідродинамічної подібності потоку у тому перерізу вимірювальної ділянки, в якому встановлюється ЗВТ і якому передається одиниця та потребує при заданих числах Рейнольдса (Re) ідентичності профілю швидкості. Причому цей профіль повинен бути стабілізованим і підтримуватись (відтворюватись) незмінним у всьому інтервалі міжетапційного циклу еталона. Крім того, з метою упорядкування процесу стабілізації потоку, відсторонення можливої його закрутки та створення прямокутної (ударної) епюри швидкостей на вході до ВД встановлено хонікомб, який складається із ступеневого конфузору, форкамери з відповідною дискримінаційною сіткою, струменеспрямовувача та сопла Вітошинського. Все це дозволило забезпечити в місці встановлення ЗВТ, яким передаються одиниці витрати, об'єму та маси рідини, які відтворюються еталоном, потрібний потік з нормальною кінематичною структурою зі строго огранованою радіальною складовою швидкості [1, 2].

Системи напірна (СН) та відділення повітря з рідини (ПВ) і пристрої демпфірування (ПД) еталона призначені, в першу чергу, для стабілізуваня, підготовки потоку рідини у проточному тракті еталона до вимірювальної ділянки еталона. Необхідність цього продиктовано тим, що точність відтворення одиниць витрати в еталоні визначається стабільністю течії рідини в його проточному тракті. Разом з тим експлуатація витратомірних установок, гідравлічних стендів для випробування моделей гідромашин та елементів гідросистем показує, що витрата рідини, яка проходить через їх проточні тракти, має визначену нестабільність навіть при незмінній настройці регулюючих органів установок. Це обумовлено наявністю у проточних трактах установок гідродинамічних пульсацій швидкості, які пов'язані з роботою насосів, турбулентністю, переміжністю, процесами зриву потоку (типа Кармана) і т.п. ефектами в потоці рідини. Наявність цієї нестабільності потоку може викликати похибку вимірювань витрати рідини, тому що при незбіжності фаз моментів початку та кінця інтервалу осереднення величина витрати, що вимірюється Q_{cp} , буде відрізнятися від середньої протягом часу Q_o , тобто $\Delta_{нф} = Q_{cp} - Q_o \neq 0$. Оскільки фаза коливань витрати, що відповідає початку інтервалу осереднення,

звичайно випадкова, а інтервал осереднення не корельовано із структурою потоку, ця похибка буде випадковою величиною і її значення може змінюватися у проточних трактах реальних гідравлічних установок в границях $\pm (5 - 20)\%$. Для дискримінації цих пульсацій швидкості потоку та, як наслідок -- витрати, у проточному тракті еталона застосовано безпосередньо за насосами для „згладжуваня” пульсацій витрати, що створюються ними, ресивер – циліндричний колектор DN 200 довжиною ~ 3200 мм, після ресивера – відповідний двохступеневий гідродинамічний фільтр – аналог електричного RC-фільтра та належний інтервал осереднення миттєвих значень результатів вимірювань витрат, що відтворюються еталоном. Все це дозволило знизити пульсації витрати рідини у проточному тракті еталона та звести їх до величин, які не перевищують $\pm 0,04\%$. Як система відділення повітря з рідини використовується грибоквий фільтр [1].

В цілому, на основі результатів виконаних досліджень при атестації еталона як Державного первинного було констатовано, що створений Державний первинний еталон одиниць об'ємної витрати рідини в діапазоні від $2,8 \cdot 10^{-4}$ до $2,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$, масової витрати рідини в діапазоні від $2,8 \cdot 10^{-1}$ до 28 кг/с, об'єму рідини в діапазоні від 0,1 до 3,0 м^3 та маси рідини в діапазоні від 100,0 до 3000 кг забезпечує відтворення, зберігання і передачу зазначених одиниць витрати рідини з метрологічними характеристиками на рівні кращих еталонів розвинених країн світу, а саме: НСП (θ_s), СКВ (S_θ) та розширена невизначеність (U) еталона при відтворенні одиниць маси та об'єму рідини, масової та об'ємної витрати рідини, що протікає по трубопроводу, а також похибки передачі розмірів цих одиниць дорівнюють:

$$\begin{aligned} \theta_{Bm} &= 2,86 \cdot 10^{-4}; & \theta_{Bv} &= 2,86 \cdot 10^{-4}; \\ \theta_{Bq_m} &= 8,17 \cdot 10^{-5}; & \theta_{Bq_v} &= 8,23 \cdot 10^{-5}; \\ S_{Bm} = S_{Bv} &= 1,76 \cdot 10^{-5}; & S_{Bq_m} = S_{Bq_v} &= 1,45 \cdot 10^{-5}; \\ S_{\varepsilon\Sigma Bm} &= 1,67 \cdot 10^{-4}; & S_{\varepsilon\Sigma Bv} &= 1,67 \cdot 10^{-4}; \\ S_{\varepsilon\Sigma q_m} &= 4,94 \cdot 10^{-5}; & S_{\varepsilon\Sigma q_v} &= 4,97 \cdot 10^{-5}; \\ U &= 0,02 \%. \end{aligned}$$

За час експлуатації еталона на ньому здійснено повірку (атестацію, передачу одиниць) більш, ніж 60 витратомірів, витратомірів-лічильників, лічильників витрати рідини, з яких понад 10 – високоточні коріолісові і електромагнітні витратоміри-лічильники з похибкою $\pm 0,2\%$.

Виконані роботи підтвердили правильність реалізованих в еталоні методик вимірювання, метрологічних, технічних і конструктивних рішень, а також його високі метрологічні характеристики.

1. *Большаков В.Б., Косач Н.І., Корольов В.Б., Бабаков А.В. Державний еталон одиниць витрати*

рідини// Матеріали 4 міжнародної науково-практичної конф. „Проблеми обліку теплоти та води в Україні”. - К., -2004.- С.23-31. 2. МИ 164-78. Методика определения геометрических параметров рабочих участков поверочных расходомерных установок.

УДК 389:681.121.089

АНАЛІЗ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ПЕРЕДАВАННІ ОДИНИЦІ ВИТРАТИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

© Середюк О.С., Витвицька Л.А., 2006

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Приведені результати аналізу невизначеності вимірювання при побудові еталону передавання одиниці об'єму і об'ємної витрати природного газу на базі витратоміра змінного перепаду тиску. Здійснена кількісна оцінка невизначеності при експериментальному визначенні градувального коефіцієнта витратоміра змінного перепаду тиску

Питання економного та раціонального використання природного газу поряд з впровадженням нових більш точних засобів його обліку зумовлює необхідність вдосконалення метрологічного забезпечення. Це в повній мірі стосується як еталонних витратовимірних засобів, так і нормативних документів щодо відтворення і передавання одиниць вимірювання.

Проведений аналіз останніх досліджень стосовно розроблення і застосування еталонних засобів витратометрії природного газу показав, що переважна більшість розробок стосується проектування і впровадження спеціальних за конструкцією робочих еталонів [1,2], якими можна здійснювати градування і перевірку робочих засобів з використанням повітря як робочого середовища. Дослідження нових технічних рішень і перспектив застосування еталонів у витратометрії природного газу [3-4] акцентують увагу на необхідності проведення метрологічних досліджень витратовимірної техніки безпосередньо на природному газі, для реалізації чого на даний момент відсутні нормативно-метрологічні документи. Це питання не вирішене також і в рамках чинної в Україні Державної повірочної схеми [5], згідно з якою Державний спеціальний еталон одиниць об'єму і об'ємної витрати газу [6] функціонує на повітрі, а

методологія передавання відтворюваних ним одиниць потребує вдосконалення.

Поряд з цим значна увага останніх науково-практичних досліджень приділена розробці методології звірення державних і вихідних еталонів за допомогою еталонів передавання одиниць об'єму і витрати з використанням робочого середовища як повітря [3,7,8], так і природного газу [9]. Результати досліджень засвідчують складність практичної реалізації градування і перевірки витратовимірної техніки на природному газі, а також недостатність вивчення питання передавання одиниць об'єму природного газу при зміні робочого середовища. Перші вітчизняні наукові напрацювання в цьому напрямку шляхом застосування перерахунку градувальних характеристик робочих еталонів (турбінних лічильників) з повітря на газ опубліковані в [10]. Ще одна із нових методологій передавання одиниць об'єму або витрати природного газу у контексті з Державною повірочною схемою розглянута в [11,12]. Однак ці дослідження передавання одиниць вимірювання стосуються перш за все технічного обґрунтування доцільності і можливості їх реалізації і зовсім не оцінюють метрологічні характеристики засобів передавання.

Метою роботи є проведення аналізу невизначеності вимірювання при передаванні