

МЕТОДИ І ПРИЛАДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДКОЇ І ГАЗОПОДІБНОЇ ФАЗ

УДК 681.121:389

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ

© Бестелесний¹⁾ А.Г., Власюк²⁾ Я.М., Кісіль³⁾ І.С., Прудніков¹⁾ Б.І., Середюк³⁾ О.Є.,
Чеховський³⁾ С.А., 2007

¹⁾ВАТ «Івано-Франківськгаз»

²⁾НАК «Нафтогаз України», м. Київ

³⁾Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Проаналізовані вітчизняні і закордонні теоретичні і експериментальні дослідження лічильників газу на повітрі і природному газі. Встановлено неоднозначність отриманих результатів і відсутність єдиної методології щодо врахування впливу параметрів природного газу на похибку лічильників газу. Розроблена методика експериментальних досліджень впливу параметрів природного газу на метрологічні характеристики лічильників газу і конкретизовані практичні аспекти її реалізації за допомогою створеної єдиної в Україні калібрувальної установки з використанням природного газу як робочого середовища

Однією із передумов раціонального використання природного газу як складової енергетичної безпеки держави є належний його облік, що на теренах України потребує суттєвого вдосконалення [1,2]. Технічним і метрологічним підґрунтям цього є той факт, що всі лічильники газу згідно чинного нормативного документа [3] та існуючої технічної реалізації [4] проходять метрологічну атестацію і повірку на повітрі, а працюють на природному газі. Це є однією із складових появи можливої похибки при обліку природного газу і, як наслідок, виникнення втрат цього енергетичного палива і сировини для нафтохімічної промисловості.

Останні вітчизняні і закордонні теоретичні і експериментальні дослідження [5-7] свідчать про те, що робота лічильників газу на повітрі і природному газі відбувається дещо по різному і різниця похибок обліку газу при цьому може становити до 0,5% і більше. Це пояснюється насамперед конструкцією засобів вимірювальної техніки і особливостями їх технологічного виготовлення.

Дослідженням особливостей повірки лічильників газу в робочих умовах присвячена стаття

[8], в якій подаються результати моделювання фізичних процесів роторних і турбінних лічильників, а також градувальні характеристики на повітрі і природному газі закордонних турбінних лічильників типу TRZ і SM-R1-X. Однак отримані результати стосуються перш за все можливостей їх застосування для еталонів передавання [9], а не для робочих засобів обліку газу.

На сьогоднішній день практично відсутні дані щодо експериментальних досліджень на природному газі вітчизняних промислових лічильників газу. Є відомості тільки про дослідження в цій сфері окремих зразків побутових лічильників [10], які не містять узагальненої інформації про вплив параметрів природного газу на метрологічні характеристики засобів вимірювання.

Про теоретичні дослідження метрологічних характеристик турбінних лічильників газу на реальному середовищі повідомляється в [11]. При цьому розроблені розрахункові моделі, які базуються на комп'ютерному моделюванні, зокрема, CFD-технологіях, і методики розрахунку метрологічних характеристик турбінних лічильників газу для широкого діапазону зміни робочих умов природного

газу з метою підвищення точності вимірювань. Однак в [11] конкретні моделі не наводяться і про їх достовірність не вказується. Тому експериментальне дослідження впливу фізико-хімічних параметрів природного газу на метрологічні властивості засобів обліку є необхідним і доцільним в галузі витративимірювання природного газу.

Крім того, практично відсутні наукові публікації щодо висвітлення методичних аспектів проведення експериментальних досліджень лічильників на реальному природному газі.

Метою даної роботи є розроблення методики впливу параметрів природного газу на метрологічні характеристики лічильників газу і її практична реалізація на вітчизняній еталонній витративимірювальній установці з використанням природного газу як робочого середовища.

Базою для проведення експериментальних досліджень є випробувальна установка з

метрологічним статусом калібрувальної для лічильників на природному газі, яка створена у ВАТ «Івано-Франківськгаз». Установка змонтована на території однієї із газорозподільних підстанцій, що постачають природний газ в м. Івано-Франківськ. Установка виконана у вигляді лабораторії безпосередньо на території газорозподільної підстанції і відповідає усім вимогам і нормам техніки безпеки щодо об'єктів даного типу. Вказана лабораторія складається з двох приміщень. В одному з них знаходиться випробувальна установка для випробування та перевірки засобів вимірювань об'єму та об'ємної витрати газу на природному газі, а в другому приміщенні є операторська, де знаходиться пульт керування установкою, система збору та обробки інформації на базі ПЕОМ та система керування вентиляцією, опаленням та сигналізацією приміщень. Загальний вигляд установки наведений на рис.1.



Рис. 1. Загальний вигляд установки для експериментальних досліджень лічильників на природному газі

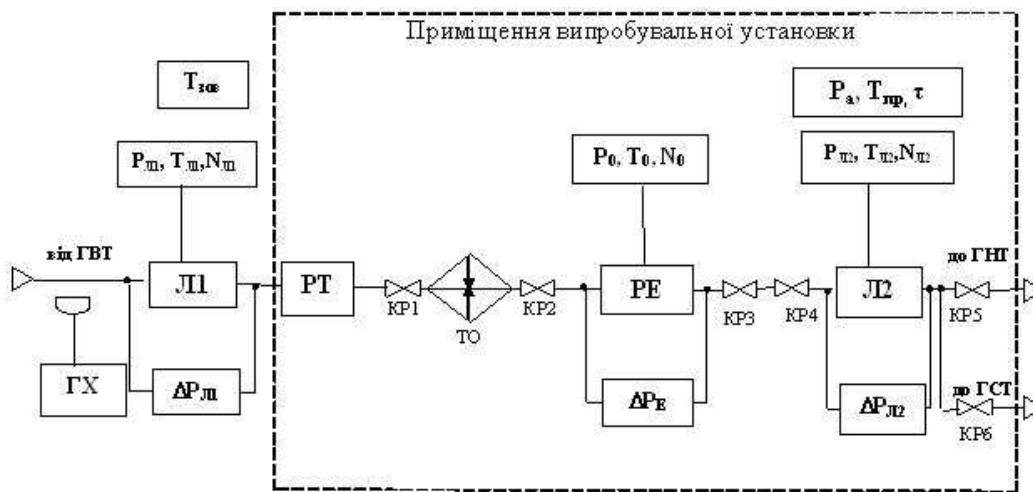
Установка приєднана до газопроводів високого (до 0,6 МПа), середнього (до 0,3 МПа) та низького (до 5кПа) тисків шляхом безпосереднього вривання вхідних та вихідних газопроводів установки в існуючі газопроводи газорозподільної підстанції. Її принцип дії полягає у послідовному пропусканні потоку природного газу через робочі еталони і досліджувані лічильники газу з безпосереднім зліченням показів

вказаних засобів вимірювання об'єму газу. При цьому характерною особливістю є метрологічна атестація робочих еталонів за умови їх функціонування на природному газі, що досягається коригуванням градувальної характеристики еталонів стосовно робочих параметрів природного газу.

Установка атестована як калібрувальна на природному газі в діапазоні витрат за робочих умов від 0,65 до 2500 м³/год з границею основної відносної похибки $\pm 0,33\%$ при абсолютних тисках (0,1...0,2)МПа і $\pm 0,35\%$ при абсолютних тисках (0,2...0,6)МПа. В склад установки входять чотири роторні робочі еталони об'єму газу типів GSM G10 (діапазон витрат від 0,65 до 16 м³/год), Delta G65 (діапазон витрат від 6 до 65 м³/год), Delta G250 (діапазон витрат від 40 до 400 м³/год), Delta G650 (діапазон витрат від 100 до 1000 м³/год) і один турбінний робочий еталон типу TZ/Fluxi G1600 (діапазон витрат від 250 до 2500 м³/год).

З метою дослідження впливу тиску і температури природного газу на метрологічні характеристики лічильників розроблена функціональна схема для проведення експериментальних досліджень (рис.2), яка забезпечує можливість регулювання тисків, температури і витрати природного газу. Особливістю розробленої схеми є застосування двох випробувальних ділянок (безпосередньо в умовах зовнішнього середовища, де монтується лічильник Л1) і в приміщенні випробувальної установки, де монтується лічильник Л2. Технологічна схема забезпечує протікання газу з газопроводу високого

тиску послідовно через Л1, РТ, ТО, РЕ, Л2 і до ГНТ або ГСТ (рис.2). При цьому відкриттям кранів КР5 або КР6 досягається задання високих або низьких значень робочих тисків на РЕ і Л2, а наявність кранів КР1 – КР4 забезпечує як зміну заданих значень робочих витрат природного газу, так і можливість функціонування вказаних вимірювальних засобів на різних робочих тисках, зокрема, на високому для РЕ і низькому для Л2, або на високому для Л1 і високому (або низькому) для РЕ. Конструкцією передбачена можливість зміни місця монтажу Л1 і Л2 або монтажу відповідних вставок замість них при дослідженні тільки одного лічильника. ТО забезпечує підігрівання або охолодження природного газу перед РЕ до стандартних умов або умов, які передбачені метрологічною атестацією. При цьому спочатку можна проводити дослідження Л1 на «холодному» природному газі, а потім після його перемонтажу на місце Л2 визначати такі самі метрологічні характеристики при «нагрітому», наприклад до стандартних умов, природному газі. Контрольно-вимірювальні засоби, які необхідні для проведення експериментальних досліджень, наведені на рис.2 і пояснені в написі під рисунком.



РТ – регулятор тиску; РЕ – робочий еталон; Л1, Л2 – досліджувані лічильники газу; ТО – теплообмінник; КР1-КР5 – крани регулюючі; ГВТ, ГНТ, ГСТ – газопроводи високого, низького і середнього тиску відповідно; ГХ – газовий хроматограф, P_0 , $P_{Л1}$, $P_{Л2}$ – вимірювачі тиску на робочому еталоні і лічильнику газу відповідно; T_0 , $T_{Л1}$, $T_{Л2}$ – вимірювачі температури на робочому еталоні і лічильниках газу Л1, Л2 відповідно; N_0 , $N_{Л1}$, $N_{Л2}$ – вимірювачі кількості імпульсів на робочому еталоні і лічильниках газу Л1, Л2 відповідно; $\Delta P_РЕ$, $\Delta P_{Л1}$, $\Delta P_{Л2}$ – вимірювачі перепаду тиску на робочому еталоні і лічильниках газу Л1, Л2 відповідно; $T_{зов}$, $T_{пр}$ – вимірювачі температури зовнішнього повітря і температури в приміщенні випробувальної установки; P_a – вимірювач атмосферного тиску; τ – хронометр

Рис. 2. Функціональна схема експериментальних досліджень впливу тиску і температури природного газу на метрологічні характеристики лічильників газу

Методика визначення метрологічних характеристик лічильників газу передбачає побудову кривої залежності похибки лічильника δ від витрати природного газу Q за робочих умов для різних значень тисків, а також аналогічного сімейства графіків $\delta=f(Q)$ при різних значеннях температури.

При дослідженнях впливу тиску газу основну відносну похибку лічильників визначають за об'ємних витрат Q_{min} ; $0,2Q_{max}$; $0,5Q_{max}$; $0,7Q_{max}$ та Q_{max} . Задання витрати та збір інформації з установки здійснюють згідно експлуатаційної документації на неї та шляхом зміни положень кранів регулюючих КР1-КР6. При цьому спочатку задають на робочому еталоні РЕ тиск 0,4 МПа, а на лічильнику Л2 надлишковий тиск 3 кПа і фіксують фактичну температуру природного газу.

Для кожного вимірювання за вказаних вище витрат обчислюють значення еталонного об'єму, що пройшов через лічильник газу і робочий еталон за такими формулами:

$$V_{LC} = V_L \cdot \frac{P_L}{P_C} \cdot \frac{T_C}{T_L} \cdot \frac{1}{K_L}; \quad (1)$$

$$V_{OC} = V_O \cdot \frac{P_O}{P_C} \cdot \frac{T_C}{T_O} \cdot \frac{1}{K_O}, \quad (2)$$

де V_{LC} і V_{OC} - об'єм газу, приведений до стандартних умов, який виміряний лічильником і робочим еталоном відповідно; V_L і V_O - об'єм газу виміряний лічильником і робочим еталоном за робочих умов відповідно; P_L і P_O - абсолютний тиск газу у лічильнику і робочому еталоні відповідно; T_L і T_O - абсолютна температура газу у лічильнику і робочому еталоні відповідно; P_C і T_C - абсолютний тиск і абсолютна температура які відповідають стандартним умовам відповідно; K_L і K_O - коефіцієнт стисливості природного газу за умов лічильника і робочого еталона відповідно.

Відносну похибку лічильника δ_L за результатами виміряних значень об'єму обчислюють за формулою:

$$\delta_L = \frac{V_{LC} - V_{OC}}{V_{OC}} \cdot 100, \%. \quad (3)$$

Підставляючи (1) і (2) в (3), отримуємо такий кінцевий вираз для розрахунку відносної похибки лічильника δ_L :

$$\delta_L = \left[\frac{V_L}{V_O} \cdot \frac{P_L}{P_O} \cdot \frac{T_O}{T_L} \cdot \frac{K_O}{K_L} - 1 \right] \cdot 100, \%. \quad (4)$$

При цьому значення витрати за робочих умов лічильника Q_L , яке необхідне для побудови залежності $\delta=f(Q)$, обчислюють з врахуванням усереднення за інтервал часу τ відліченого робочим еталоном контрольного об'єму V_O і приведенням його до робочих умов лічильника газу:

$$Q_L = \frac{V_O}{\tau} \cdot \frac{P_O}{P_L} \cdot \frac{T_L}{T_O} \cdot \frac{K_L}{K_O}. \quad (5)$$

Експериментальні дослідження і обчислення згідно (4)-(5) продовжують за інших робочих умов лічильника газу, тобто зміною положення кранів КР3-КР6 (рис.2) задають значення тисків 0,1; 0,2; 0,4 МПа, а температуру газу залишають незмінною порівняно з попередніми дослідженнями.

При дослідженні впливу температури спочатку досліджувальний лічильник монтують на першій випробувальній ділянці, тобто на місці лічильника Л1, і задають мінімальну робочу витрату Q_{min} . Далі вмикають теплообмінник ТО і зміною його режиму роботи задають температуру газу перед РЕ до $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Обчислення проводять згідно алгоритму (4)-(5) і їх повторюють за інших вибраних витрат Q_L досліджуваного лічильника. Після цього лічильник встановлюють на другу випробувальну ділянку на місце Л2 і операції визначення похибки повторюють. Це дає можливість отримати аналогічні характеристики $\delta=f(Q)$ при функціонуванні лічильника на природному газі за стандартних умов по температурі.

Таким чином, розроблена методика відкриває можливості експериментального дослідження метрологічних характеристик різних типів та типорозмірів лічильників при умові їх функціонування на реальному природному газі. Це дозволяє в перспективі запровадити коригування паспортних метрологічних характеристик робочих засобів обліку природного газу а також вдосконалити чинні нормативні документи, що визначають метрологічні характеристики засобів вимірювання під час їх експлуатації. Крім того, отримані результати відкривають можливості для експериментальних досліджень експлуатаційних характеристик нових і проєктованих засобів з метою їх вдосконалення, а також сприятимуть за результатами досліджень їх конструктивному вдосконаленню. Поряд з цим визначення чисел Рейнольдса (Re) для кожного експерименту забезпечує можливість побудови залежностей $\delta=f(Re)$ і коригування метрологічних характеристик лічильників газу з урахуванням умов їх експлуатації,

тобто реалізація методик згідно [8]. В кінцевому результаті практична реалізація методики буде сприяти підвищенню точності обліку природного газу і зменшенню його втрат.

1. Гончарук М.І., Чеховський С.А., Середюк О.Є. *Раціональне використання природного газу як одна із складових збереження його ресурсів // Нафтова і газова промисловість.* – 2005. - №2. – С.3-10. 2. Домницький Р. *Вимірювання кількості та показників якості природного газу як складова енергетичної безпеки країни//Метрологія та прилади.* – 2006. - №3. – С.10-11. 3. ДСТУ 3383-96. *Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу.* 4. *Державний спеціальний еталон одиниці об'єму та об'ємної витрати газу / І.С.Бродин, І.С. Петришин, А.Г. Бестелесний, П.І.Дикий // Український метрологічний журнал.* – 1997. - №3. – С.31-34. 5. *Вимірювання витрати та кількості газу: Довідник / М.П.Андрійшин, С.О.Канєвський, О.М.Карпаш, О.Є.Середюк та ін.* – Івано-Франківськ: ПП "Сімік", 2004. – 160с. 6. *Турбинные счетчики газа фирмы Schlumberger Rombach типа TZ/Рекламний проспект*

фирмы Schlumberger. – 1996. – 12с. 7. *Rotary Meter / Рекламний проспект фірми Romet Limited.* – Bul. No 303,2001. – 26р. 8. *Петришин І.С., Безгачнюк Я.В. Особливості повірки лічильників газу при робочих умовах // Український метрологічний журнал.* – 2006. - №2. – С.46-48. 9. *Петришин І.С., Безгачнюк Я.В., Середюк Д.О. Впровадження еталонів передавання в повірочну практику засобів вимірювальної техніки об'єму та об'ємної витрати газу// Український метрологічний журнал.* – 2006. - №4. – С.55-59. 10. *Бродин Ю.І. Дослідження відмінностей в роботі приладів обліку газу на природному газі та на повітрі // Вісник НТУУ "КПІ" ПРИЛАДОБУДУВАННЯ.* – 2003. – Вип. 26. – С.40-44. 11. *Расчетный анализ влияния свойств природного газа и рабочих условий на метрологические характеристики турбинных счетчиков газа по сравнению с традиционными условиями их поверки на воздухе/Я.М.Власюк, В.А.Осиевский, В.А.Яцевский и др.//Приладобудування-2006: Стан та перспективи: Зб. тез доповідей п'ятої наук.-техн. конф. (м. Київ, 25-26 квітня 2006р.),-К.: ПБФ НТУУ "КПІ".* – 2006. – С.282-283.