

УДК 681.121

А.Г. Винничук

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА КОЕФІЦІЄНТ РОЗШИРЕННЯ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА У ЗВУЖУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ ПОБУТОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ

Розглянуто можливість застосування методу змінного перепаду тиску при вимірюванні витрати газу за умов діагностування побутових лічильників газу. Запропоноване застосування поправкового коефіцієнту для розрахунку коефіцієнта розширення робочого середовища в торцевих звужувальних пристроях при зміні виду робочого середовища (повітря-природний газ). Наведені результати моделювання значень коефіцієнта розширення і поправкового коефіцієнта розширення при вимірюванні витрати торцевими звужувальними пристроями.

Ключові слова: природний газ, побутовий лічильник газу, діагностування, коефіцієнт розширення, звужувальний пристрій.

Вступ

Питання комерційного обліку природного газу в комунально-побутовій сфері з кожним роком набуває все більшої актуальності. Впродовж останніх років неухильно зростає кількість встановлених побутових лічильників газу (ПЛГ) в помешканнях житлового фонду населення. З метою підвищення точності обліку природного газу доцільним є дослідження правильності функціонування ПЛГ впродовж міжповірочного інтервалу і безпосередньо на місці експлуатації. Що дасть можливість підвищити точність і достовірність обліку газу.

На даний час основним методом вимірювання витрати і об'єму природного газу при його видобуванні, транспортуванні та обліку є метод змінного перепаду тиску з використанням діафрагм і сопел як стандартних первинних перетворювачів. До його найважливіших переваг відноситься простота конструктивного виконання первинного перетворювача, а також можливість метрологічної атестації і перевірки звужувального пристрою розрахунково-опосередкованим шляхом за даними вимірювань геометричних розмірів трубопроводу та звужувального пристрою та перевіркою працездатності функціонування алгоритму вимірювання об'єму і витрати. Водночас цей метод не забезпечує можливості застосування для створення зразкових витратовимірювальних засобів, оскільки визначення деяких параметрів здійснюється розрахунковим шляхом. Недостатньо дослідженою є сфера вимірювання витрат газу, методом змінного перепаду тиску за малих чисел Рейнольдса з використанням при цьому нестандартних звужувальних пристроїв (ЗП).

Для вирішення питання перевірки правильності функціонування ПЛГ можна використовувати спосіб визначення їх метрологічних характеристик за допомогою діагностувальних установок [1]. Прин-

цип їх дії передбачає використання опосередкованого вимірювання об'єму газу [2], а методика проведення діагностування полягає у порівнянні контрольного об'єму газу, виміряного діагностувальною установкою, із об'ємом облікованим ПЛГ. Первинними перетворювачами для вимірювання контрольного об'єму газу в діагностувальних установках використані спеціальні ЗП торцевого типу.

Одним із параметрів алгоритму, який застосовується при діагностуванні ПЛГ, а саме визначення контрольного об'єму газу, є коефіцієнт розширення [1]. Його значення розраховується стосовно конкретного торцевого ЗП, а також від тиску, температури, компонентного складу газу.

Аналіз літературних джерел показав, що відомими є алгоритми розрахунку коефіцієнта розширення стандартних [3] та спеціальних [4] ЗП. Проте вони не можуть бути застосовані для розрахунку коефіцієнта розширення торцевих ЗП використаних в діагностувальній установці для ПЛГ, оскільки відмінність їх конструкції та умов застосування спричинять значну неточність результату вимірювання контрольного об'єму газу. Зважаючи, що як первинні перетворювачі для вимірювання об'єму та об'ємної витрати вибрані саме торцеві ЗП не стандартизованої конструкції, необхідно дослідити зміну коефіцієнта розширення природного газу при проходженні через ЗП.

Метою роботи є дослідження зміни коефіцієнта розширення природного газу при протіканні через торцеві ЗП за умов проведення діагностування ПЛГ на реальному середовищі.

Виклад основного матеріалу

Коефіцієнт розширення газоподібного середовища при проходженні через ЗП характеризує зміну його густини і є функцією від зміни тиску, модуля ЗП (відношення площ вихідного і вхідного отвору ЗП) і коефіцієнта адиабати газу.

Згідно [4], для різних видів нестандартних ЗП наведені різні формули для обчислення коефіцієнта розширення. Зважаючи на те, що торцевий ЗП, який вибраний для вимірювання контрольного об'єму в установці для діагностування ПЛГ є циліндричним з конусним входом, розглянемо вирази для обчислення коефіцієнта розширення конусної діафрагми ϵ_K і циліндричного сопла ϵ_C відповідно:

$$\epsilon_K = 0,25 + 0,75 \cdot \sqrt{(1 - \Delta p/p)^{\frac{2}{\kappa}} \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1}} \cdot \sqrt{\frac{1 - (1 - \Delta p/p)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}}}{\Delta p/p} \cdot \frac{1 - m^2}{1 - m^2 \cdot (1 - \Delta p/p)^{2/\kappa}}}, \quad (1)$$

де m – модуль ЗП; $p, \Delta p$ – абсолютний та надлишковий тиск на ЗП відповідно; κ – показник адиабати газоподібного середовища, який згідно [6] обчислюється за виразом:

$$\kappa = 1,556(1 + 0,074x_a) - 3,9 \cdot 10^{-4} T(1 - 0,68x_a) - 0,208\rho_c + (p/T)^{1,43} [384(1 - x_a)(p/T)^{0,8} + 26,4x_a], \quad (2)$$

де x_a – молярна концентрація азоту; ρ_c – густина газу за стандартних умов; T – абсолютна температура газу.

Для циліндричних сопел, згідно [4] коефіцієнт розширення обчислюється таким чином:

$$\epsilon_C = \sqrt{(1 - \Delta p/p)^{\frac{2}{\kappa}} \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1}} \times \sqrt{\frac{1 - (1 - \Delta p/p)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}}}{\Delta p/p} \cdot \frac{1 - m^2}{1 - m^2 \cdot (1 - \Delta p/p)^{2/\kappa}}}. \quad (3)$$

Для визначення границь та характеру зміни значення коефіцієнтів розширення ЗП відомих кон-

струкцій (конусних діафрагм та циліндричних сопел) в роботі проведено дослідження виразів (1)-(3) виходячи з умов функціонування побутових лічильників газу. А саме, для розрахунків коефіцієнта були використані вхідні параметри з наступними діапазонами зміни густини та компонентного складу природного газу (за даними ПАТ “Івано-Франківськгаз” впродовж 2013 р.): молярна концентрація азоту $0,0075 \div 0,0424$ відн. од. та диоксиду вуглецю $0,0005 \div 0,0056$ відн.од., густина $0,68 \div 0,72$ кг/м^3 і за таких вибраних параметрів потоку: абсолютний тиск $0,101825 \div 0,103325$ МПа, абсолютна температура $283 \div 293$ К природного газу. Розрахунки здійснювалися з використанням програмного середовища MathLab [5].

Виходячи з вище вказаних умов значення коефіцієнта адиабати згідно (2) буде знаходитись в межах $(1,3 \dots 1,31)$, а для повітря цей коефіцієнт рівний 1,4.

З метою порівняння результатів обчислень за (1) і (3), а також з врахуванням різних значень коефіцієнта адиабати для природного газу і повітря, побудуємо графічні залежності коефіцієнта розширення від перепаду тиску на ЗП ($m=0,16$) в діапазоні $(0,5 \dots 2)$ кПа (рис. 1).

Слід зазначити, що значення коефіцієнта розширення при значеннях коефіцієнта адиабати в діапазоні $(1,3 \dots 1,31)$ практично співпадають, тому на графіку відображено коефіцієнт розширення тільки для значення 1,3.

На основі проведених обчислень та графічної інтерпретації (рис. 1), можна зробити висновок, що зміна коефіцієнта адиабати при переході від повітря до природного газу, спричиняє максимальну зміну коефіцієнта розширення на $0,00062$ або $0,083$ %, при надлишковому тиску 2 кПа.

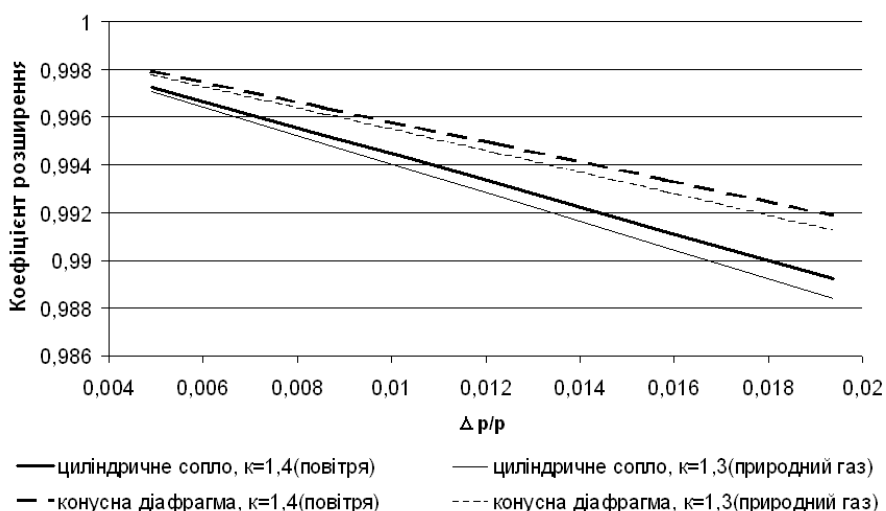


Рис. 1. Модулювання коефіцієнта розширення робочого середовища для деяких типів ЗП

З метою зниження похибки від визначення коефіцієнта розширення при переході від повітря до природного газу пропонується ввести поправковий

коефіцієнт на зміну коефіцієнта розширення, як функцію від співвідношення $\Delta p/p$:

$$k_c = f(\Delta p/p). \quad (4)$$

Поправковий коефіцієнт на зміну значення коефіцієнта розширення k_{\square} визначається співвідношенням коефіцієнтів розширення для одного і того ж ЗП, розрахованих для природного газу і повітря відповідно (рис. 2). Його введення дасть можливість використовувати результати експериментальних досліджень отриманих на повітрі в якості робочого середовища при подальшому функціонуванні ЗП на природному газі.

Для безпосереднього визначення функціональної залежності (4) здійснюємо апроксимацію залежностей (рис. 2).

Для циліндричних сопел дана залежність має вигляд:

$$k_{\varepsilon} = -0,043 \frac{\Delta p}{p} + 1. \quad (5)$$

Для конусних діафрагм дана залежність набуває вигляду:

$$k_{\varepsilon} = -0,032 \frac{\Delta p}{p} + 1. \quad (6)$$

Зважаючи на те, що значення параметрів тиску, температури, концентрації азоту та густини газу можуть змінюватися у вказаних вище межах для умов функціонування ПЛГ, необхідно дослідити вплив зміни кожного параметра на коефіцієнт розширення. На основі проведених розрахунків можна зробити висновок, що характер і величина зміни коефіцієнта розширення в залежності від досліджуваних фізико-хімічних параметрів природного газу є неодинаковими за знаком і ступенем впливу. З метою оцінки вагомості впливу кожного вхідного параметра для розрахунку коефіцієнта розширення на його величину слід розрахувати коефіцієнти вагомості:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial q_i} \cong \frac{\varepsilon_{q_i}^{\max} - \varepsilon_{q_i}^{\min}}{q_{\max} - q_{\min}}, \quad (7)$$

де q_{\max} , q_{\min} – максимальне та мінімальне значення вхідного параметра відповідно; $\varepsilon_{q_i}^{\max}$, $\varepsilon_{q_i}^{\min}$ – значення коефіцієнта розширення при максимальному та мінімальному значенню вхідного параметра, відповідно (табл. 1).

Оскільки розмірна вагомість впливу вхідного параметра на коефіцієнт розширення не дає можливість співставити ступінь впливу різних вхідних параметрів, доцільно застосувати розрахунок коефіцієнта вагомості як безрозмірної величини.

Такий підхід дасть можливість оцінити ступінь впливу зміни кожного із впливових факторів за умови його зміни на 1 %. З урахуванням цього формула (7) набуває такого вигляду:

$$\frac{\partial \varepsilon'}{\partial q_i} \cong \frac{\varepsilon_{q_i}^{\max} - \varepsilon_{q_i}^{\min}}{[(q_{\max} - q_{\min}) \cdot 100\% / \bar{q}_i]}, \quad (8)$$

де $\frac{\partial \varepsilon'}{\partial q_i}$ – безрозмірний коефіцієнт вагомості впливу

i -го вхідного параметра на обчислення коефіцієнта розширення; \bar{q}_i – середнє значення i -го вхідного параметра.

В роботі проведений аналіз впливу виду зужувального пристрою та зміни робочого середовища на величину коефіцієнта розширення ε . На його основі можна зробити висновок, що при зміні робочого середовища (з повітря на природний газ) коефіцієнт розширення для циліндричних сопел зменшиться на 0,08 % (при надлишковому тиску 2 кПа), а для конусних діафрагм на 0,06 %, при таких самих умовах [5].

Для алгоритму функціонування розрахунок поправочного множника на зміну робочого середовища k_{ε} здійснюється виходячи з припущення, що використаний в установці ЗП є циліндричним соплом. Тому слід врахувати похибку визначення коефіцієнта k_{ε} зважаючи на той факт, що конструкція ЗП є

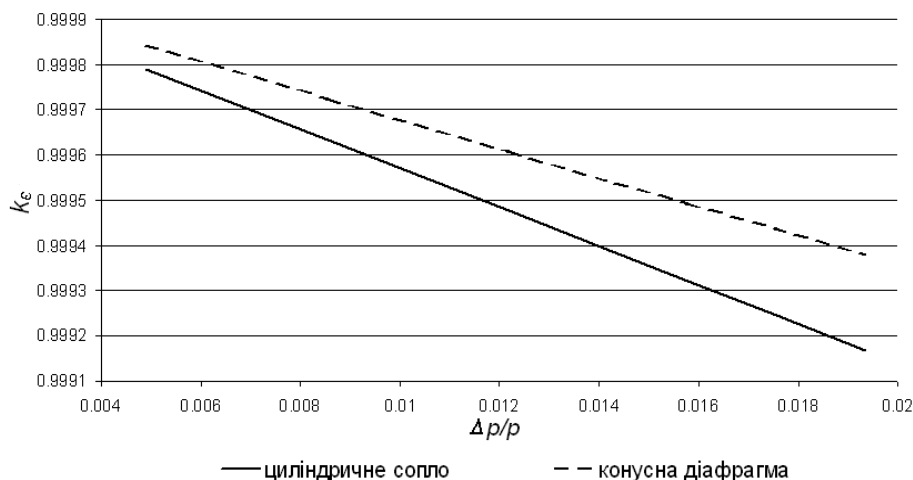


Рис. 2. Моделювання поправочного коефіцієнта розширення робочого середовища k_{\square} для різних типів ЗП

Значення розмірного та безрозмірного коефіцієнтів вагомості вхідних параметрів розрахунку коефіцієнта розширення природного газу

Вхідний параметр	$\frac{\partial \varepsilon}{\partial q_i}$, 1/[розм. вх. парам.]	$\frac{\partial \varepsilon'}{\partial q_i}$, 1/%
Молярна концентрація азоту, відн.од.	$1,06 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-6}$
Густина, кг/м ³	$-1,15 \cdot 10^{-3}$	$-8,0 \cdot 10^{-6}$
Абсолютна температура, К	$-0,002 \cdot 10^{-3}$	$-6,0 \cdot 10^{-6}$
Надлишковий тиск, Па	$-0,0058 \cdot 10^{-3}$	$-72,1 \cdot 10^{-6}$

проміжною між циліндричним соплом і конусною діафрагмою. Прийmemo цю похибку рівною різниці максимальних відхилень значень коефіцієнта розширення при роботі на повітрі і на природному газі для конусної діафрагми і циліндричного сопла, а саме $\Theta_{kc} = \pm 0,02$ %.

Висновки

Результати обчислень показали, що найбільш впливовим фактором на зміну коефіцієнта розширення є надлишковий тиск. Розраховане значення зміни коефіцієнта розширення при зміні надлишкового тиску в діапазоні від 0,5 до 2 кПа становить 0,87 %. При зміні інших вхідних параметрів воно суттєво менше. Тому для умов функціонування установок на базі торцевих ЗП для дослідження ПЛГ та компонентного складу газу, що використовується в комунально-побутовій сфері, з метою підвищення точності вимірювань, зміну коефіцієнта розширення необхідно враховувати.

Список літератури

1. Середюк О.Є. Техніко-метрологічні засади побудови діагностувальних установок для побутових лічильників газу / О.Є. Середюк, С.А. Чеховський, А.Г. Винничук // *Нафтова і газова промисловість*. – 2006. – № 6. – С. 38–42.

2. Пат. 16522 У Україна, МПК (2006) G 01 F 25/00. Спосіб діагностування та перевірки побутових лічильників газу/ Середюк О.Є., Чеховський С.А., Винничук А.Г. та ін. – №и200601289; заявл. 09.02.06; опубл. 15.08.06, Бюл.№8.

3. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами: РД 50-213-80. – [Введен с 1982-01-01]. – М: Изд-во стандартов, 1982. – 318 с.

4. Методические указания. Расход жидкостей и газов. Методика выполнения измерений с помощью специальных сужающих устройств: РД 50-411-83. – [Введен с 1983-06-17]. – М: Изд-во стандартов, 1984. – 52 с.

5. Середюк О.Є. Дослідження коефіцієнта розширення природного газу за умов метрологічних досліджень побутових лічильників / О.Є. Середюк, А.Г. Винничук // *Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2011): 1-ша МНК пам'яті професора Володимира Поджаренка, 18–20.10.2011р., Вінниця: зб. тез доп.* – Вінниця: ВНТУ. – 2011. – С. 112.

6. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки: ГОСТ 30319.1-96. – [Введен с 2000-01-01]. – К.: Госстандарт Украины, 1999. – 16 с. – (Межгосударственный стандарт).

Надійшла до редколегії 16.10.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Є. Середюк, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА КОЭФФИЦИЕНТ РАСШИРЕНИЯ СУЖАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ БЫТОВЫХ СЧЕТЧИКОВ ГАЗА

А.Г. Винничук

Рассмотрена возможность применения метода переменного перепада давления для диагностирования бытовых счетчиков газа. Предложено применение поправочного коэффициента для расчета коэффициента расширения рабочей среды в торцевых сужающих устройствах при изменении вида рабочей среды (воздух-природный газ). Приведены результаты моделирования значения коэффициента расширения и поправочного коэффициента расширения торцевых сужающих устройств.

Ключевые слова: природный газ, бытовой счетчик газа, диагностирование, коэффициент расширения, сужающие устройства.

STUDY OF NATURAL GAS PARAMETERS IN EXPANSION COEFFICIENT NARROWING DEVICES FOR DIAGNOSING DOMESTIC GAS METERS

A.G. Vynnychuk

The possibility of applying the method of alternating pressure differential diagnosis for domestic gas meters was considered. Application of correction factor for the calculation of the expansion narrowing devices by changing working environment (air, natural gas) in diagnosing devices was proposed. The results of modeling of the expansion coefficient and correction factor expansion socket narrowing devices was following.

Keywords: natural gas, domestic gas meters, diagnostics, expansion coefficient, narrowing device.