

УДК 006.91:681.121

**ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ТОРЦЕВИХ ЗВУЖУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ***А.Г. Винничук, О.Є. Середюк, Б.В. Костів**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна, e-mail: feivt@nung.edu.ua*

*Розглянутий алгоритм вимірювання витрати газоподібних середовищ з використанням торцевих звужувальних пристроїв як первинних перетворювачів при побудові діагностувальних установок для побутових лічильників газу. Охарактеризовані метрологічні аспекти практичного застосування комплексного коефіцієнта витрати торцевих звужувальних пристроїв при вимірюванні витрати природного газу.*

*Ключові слова: торцевий звужувальний пристрій, комплексний коефіцієнт витрати, побутовий лічильник газу, діагностувальна установка, природний газ.*

*Рассмотрен алгоритм измерения расхода газообразных сред с использованием торцевых сужающих устройств как первичных преобразователей при построении диагностирующих установок для бытовых счетчиков газа. Охарактеризованы метрологические аспекты практического применения комплексного коэффициента расхода торцевых сужающих устройств при измерении расхода газа.*

*Ключевые слова: торцевое сужающее устройство, комплексный коэффициент расхода, бытовой счетчик газа, диагностирующая установка, природный газ.*

*The measure flow algorithm of gaseous media with using of frontal narrowing devices as primary converters in the diagnostic installations construction for domestic gas meters was considered. Metrological aspects of the practical application of integrated flow coefficients frontal narrowing devices in the natural gas measurement consumption were characterized.*

*Keywords: frontal narrowing devices, integrated flow coefficient, household gas meter, diagnostic installation, natural gas.*

Широке застосування природного газу в комунально-побутовій сфері зумовлює встановлення побутових лічильників газу (ПЛГ) у багатьох споживачів. У той же час велика кількість ПЛГ в Україну підлягають періодичній повірці, яка є досить дорогою за вартістю і передбачає демонтаж лічильника, доставку до місця перевірки і повторний монтаж в газоспоживача. Тому доцільним є визначення метрологічних характеристик ПЛГ впродовж міжповірочного інтервалу і безпосередньо на місці експлуатації, так як забраковані при перевірці лічильники деякий час до проведення періодичної перевірки здійснюють неправильний облік природного газу. Разом з тим при знятті ПЛГ та доставці до місця повірки їх метрологічні характеристики можуть бути змінені і не відповідати фактичним. Таким чином потребує вирішення питання дослідження правильності функціонування ПЛГ впродовж міжповірочного інтервалу безпосередньо на місці експлуатації, що за своєю суттю є діагностуванням ПЛГ і

вирішення цього може бути здійснено за допомогою випробувальної установки.

Нові тенденції створення еталонних установок для метрологічних досліджень і діагностування ПЛГ відносяться до розроблення мобільних установок для вимірювання об'єму природного газу, які технологічно підключаються до газової лінії, що з'єднує ПЛГ з квартирним газоспоживаючим обладнанням [1]. Такі установки вже створені в Росії [2, 3]. При цьому, як приклад, в мобільній установці "КРАБ-М" [2] як еталонні засоби використовуються струменеві і роликово-лопатеві лічильники на витрати газу в діапазоні (0,03-6) м<sup>3</sup>/год з основною похибкою ± 0,5%, а в переносній установці СПУ-3 [3] - струменевий витратомір на витрати (0,02-40) м<sup>3</sup>/год з основною похибкою ± 1%.

Найбільш істотною проблемою при створенні еталонних метрологічних установок для ПЛГ є необхідність розробки еталонних лічильників на малі витрати та їх калібрування на природному газі. Тому випробувальна

установка для діагностування ПЛГ повинна забезпечувати можливість перевірки метрологічних характеристик ПЛГ на місці експлуатації, що вимагає необхідності її мобільного виконання [4, 5]. Метою роботи є дослідження практичних аспектів застосування торцевих звужувальних пристроїв в складі випробувальних установок для діагностування ПЛГ з використанням повітря або природного газу як робочого середовища.

Випробувальна установка для діагностування ПЛГ (рис.1) передбачає її підключення до газової лінії після ПЛГ [5]. Спалювання газу здійснюється на виході випробувальної установки за принципом дії звичайної газової плити (пічки). Випробувальна установка підключається замість газоспоживного обладнання. Первинними витратовимірними засобами розробленої випробувальної установки є попередньо проградуйовані торцеві звужувальні пристрої (ЗП<sub>1</sub>...ЗП<sub>3</sub>), які обладнані пальниками П<sub>1</sub>...П<sub>3</sub> для спалювання газу. При діагностуванні газ з виходу ПЛГ, розміщеного між вхідним К<sub>5</sub> і вихідним К<sub>6</sub> кранами, подається до вхідного патрубку випробувальної установки. У ній газ через відкритий один або кілька (в залежності від заданої витрати) кранів К<sub>1</sub>...К<sub>3</sub> подається до ЗП<sub>1</sub>...ЗП<sub>3</sub> з наступним його спалюванням у пальниках П<sub>1</sub>...П<sub>3</sub>. Установка містить також вентиль К<sub>4</sub> для регулювання робочого значення витрати газу через ПЛГ. У з'єднувальних трубопроводах установки перед звужувальними пристроями розміщені давачі надлишкового тиску  $P$ , температури  $T$  і густини природного газу  $\rho$ , сигнали з яких надходять на комп'ютер. Одночасно при роботі випробувальної установки на комп'ютер подаються дані про початкові і кінцеві покази ПЛГ за час пропуску одного значення контрольного об'єму газу. Необхідними вхідними параметрами при діагностуванні ПЛГ також є атмосферний тиск і температура навколишнього середовища, компонентний склад природного газу (вимірний газовим хроматографом під час випробувань) та фактичні конструктивні параметри газової мережі споживача (довжина, матеріал і діаметр трубопроводу, кількість і характер згинів, наявність звужень-розширень в ньому).

Алгоритм функціонування випробувальної установки для діагностування ПЛГ базується на застосуванні такої розробленої авторами математичної моделі [3]:

$$V_{LP} = \tau \sqrt{\frac{P_C}{\rho_C T_C} \frac{T_L K_L}{P_L}} \times$$

$$\times \sum_{i=1}^n \alpha_i \varepsilon_i F_i \sqrt{2 \Delta p_{3Pi} \frac{P_{3Pi}}{T_{3Pi} K_{3Pi}}}, \quad (1)$$

$$p_{3Pi} = f(p_L, T_L, \rho_L, K_L, p_A, T_{OC}, y_P), \quad (2)$$

$$T_{3Pi} = f(T_L, p_L, \rho_L, K_L, p_A, T_{OC}, y_T), \quad (3)$$

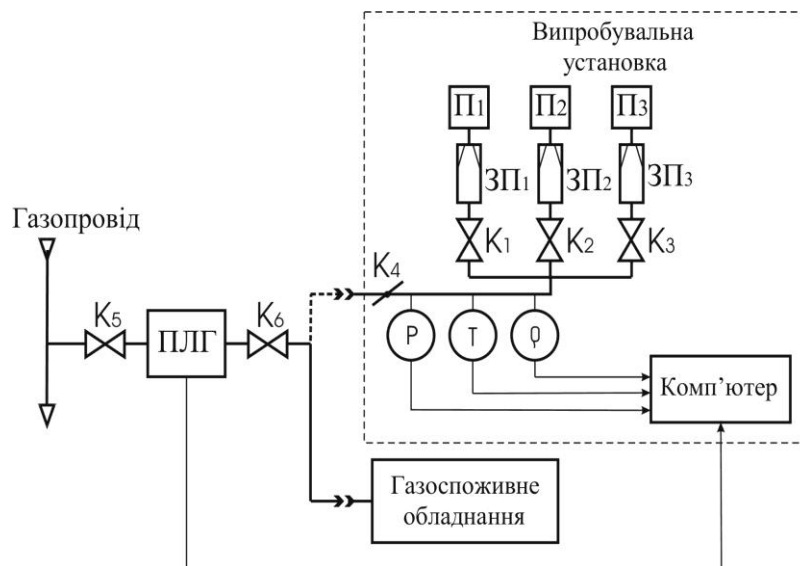
$$\delta_L = \frac{V_L - V_{LP}}{V_{LP}} \cdot 100, \% , \quad (4)$$

де  $p_{3Pi}$ ,  $T_{3Pi}$  – тиск та температура газу перед торцевим ЗП;  $p_L$ ,  $T_L$  – тиск та температура газу у ПЛГ;  $K_{3Pi}$ ,  $K_L$  – коефіцієнт стисливості газу перед торцевим ЗП і у ПЛГ відповідно;  $p_C$ ,  $T_C$ ,  $\rho_C$  – тиск, температура і густина природного газу за стандартних умов;  $p_A$  – атмосферний тиск;  $T_{OC}$  – температура оточуючого середовища;  $y_P$ ,  $y_T$  – комплексні фактори для зміни тиску і температури, відповідно, які є функціями довжини, діаметра, шорсткості внутрішньої поверхні, місцевих опорів та інших параметрів з'єднувальних трубопроводів між ПЛГ і торцевими ЗП;  $\delta_L$  – похибка ПЛГ при їх діагностуванні.

Для практичної реалізації випробувальної установки для діагностування ПЛГ в умовах експлуатації було використано: торцеві ЗП з попередньо визначеним комплексного коефіцієнта витрати, давач тиску фірми ROZEMOUNT Model 2024 (верхня межа вимірювання 4кПа, границя допустимої зведеної похибки  $\pm 0,25\%$ ), давач температури типу РТ-0102-Щ2-ТО-К-РЕ (верхня межа вимірювання 50<sup>0</sup>С, границя допустимої зведеної похибки  $\pm 0,6\%$ ), з'єднувальні сталеві труби, гнучкий шланг, індивідуально розроблені пальники та ноутбук з програмним забезпеченням для реалізації алгоритму обчислень.

Для підвищення точності випробувальної установки запропоновано використання методології, яка передбачає експериментальне визначення комплексного коефіцієнта витрати  $\alpha F \varepsilon$  торцевих ЗП на робочому еталоні об'єму газу. При дослідженнях використовувався робочий еталон дзвонового типу Темпо-1 з відносною похибкою передавання одиниці об'єму газу  $\pm 0,15\%$  в діапазоні витрат (0,016...10) м<sup>3</sup>/год. Ця похибка кількісно буде оцінювати невилучену систематичну похибку (НСП)  $\Theta_{\alpha F \varepsilon}$  визначення комплексного коефіцієнта  $\alpha F \varepsilon$ .

Оцінка середнього квадратичного відхилення (СКВ) середнього значення, що характеризує випадкову складову похибки визначення добутку  $\alpha F \varepsilon$ , здійснювалося за



**Рисунок 1 – Схема випробувальної установки для діагностування ПЛГ на базі торцевих звужувальних пристроїв**

алгоритмом:

$$\overline{\sigma}[\alpha F\varepsilon] = \sqrt{\left(\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial \tau} \cdot \overline{\sigma}[\tau]\right)^2 + \left(\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial p_{оз}} \cdot \overline{\sigma}[p_{оз}]\right)^2 + \left(\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial T_{оз}} \cdot \overline{\sigma}[T_{оз}]\right)^2 + \left(\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial T_{зп}} \cdot \overline{\sigma}[T_{зп}]\right)^2 + \left(\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial p_{зп}} \cdot \overline{\sigma}[p_{зп}]\right)^2}, \quad (5)$$

де  $\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial \tau}$ ,  $\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial p_{оз}}$ ,  $\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial T_{оз}}$ ,  $\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial T_{зп}}$ ,  $\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial p_{зп}}$ ,

$\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial \Delta p_{зп}}$  – коефіцієнти вагомості впливу часу, тиску під дзвоном, температури під дзвоном, температури на вході торцевого ЗП, тиску на вході торцевого ЗП та надлишкового тиску на ЗП на результат визначення добутку  $\alpha F\varepsilon$ , відповідно;  $\overline{\sigma}[\tau]$ ,  $\overline{\sigma}[p_{оз}]$ ,  $\overline{\sigma}[T_{оз}]$ ,  $\overline{\sigma}[T_{зп}]$ ,  $\overline{\sigma}[p_{зп}]$ ,  $\overline{\sigma}[\Delta p_{зп}]$  – СКВ середнього значення вхідних параметрів: часу, тиску під дзвоном, температури під дзвоном, температури на вході ЗП, тиску на вході ЗП, відповідно.

Обчислення СКВ середнього значення для кожного вхідного параметра здійснювалося за залежністю, конкретизованою для вимірювання часу відтворення контрольного об'єму:

$$\overline{\sigma}[\tau] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tau_i - \bar{\tau})^2}{n(n-1)}}, \quad (6)$$

де  $\tau_i$  – час протікання контрольного об'єму при  $i$ -тому вимірюванні;  $\bar{\tau}$  – середнє значення часу протікання контрольного об'єму за  $n$  вимірювань.

За аналогічною формулою знаходять СКВ для інших вхідних параметрів.

Результати обчислень за формулами (5)÷(6) із врахуванням коефіцієнтів вагомості, які обчислені на базі формули (1), показали, що значення СКВ середнього значення експериментально визначеного добутку  $\alpha F\varepsilon$  не перевищує 0,055%.

Для можливості практичного використання комплексних коефіцієнтів витрати торцевих ЗП була проведена їх апроксимація як функція від числа  $Re$ . Процедура апроксимації внесла певну методичну похибку  $\Theta_{(\alpha F\varepsilon)a}$ . Для оцінки її величини вибираємо максимальне відносне значення СКВ апроксимації, тобто  $\Theta_{(\alpha F\varepsilon)a} = \pm 0,1\%$ .

Ще однією складовою визначення  $\alpha F\varepsilon = f(Re)$  є похибка  $\Theta_{Re}$  від визначення  $Re$ , оскільки по його значенню за апроксимаційними залежностями визначається величина комплексного коефіцієнта витрати  $\alpha F\varepsilon$ . Виходячи з цього, нам необхідно оцінити похибку визначення числа  $Re$  з врахуванням її коефіцієнту вагомості, а саме:

$$\Theta_{Re} = \frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial Re} \cdot \frac{\delta_{Re}}{\alpha F\varepsilon}, \quad (7)$$

де  $\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial Re}$  – значення коефіцієнта вагомості

зміни  $Re$ ;  $\delta_{Re}$  - похибка визначення  $Re$ .

Наприклад, при протіканні природного газу через ЗП з входним внутрішнім діаметром  $D=2,5$  мм з витратою  $0,25$  м<sup>3</sup>/год, що відповідає  $Re=2050$ , і середньому значенню комплексного коефіцієнта витрати  $\alpha F\varepsilon=2 \cdot 10^{-7}$ , згідно (7) похибка  $\Theta_{Re}=0,007\%$ .

Для вибору алгоритму обчислення сумарної похибки установки необхідно оцінити співвідношення  $\Theta/S$  – границь НСП  $\Theta/S$  і випадкових складових похибки  $\Theta/S$  [6], використовуючи формулу:

$$\Theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^n \Theta_i^2}, \quad (8)$$

де  $k$  – коефіцієнт залежності НСП від вибраної довірчої ймовірності при їх рівномірному розподілі (для довірчої ймовірності  $0,99$   $k=1,41$  [7]).

Оскільки для практично всіх відомих еталонних витратовимірювальних установок є справедливою умова  $0,8 < \Theta/S < 8$  [8], то похибка визначення комплексного коефіцієнта витрати торцевого ЗП обчислюється за формулою:

$$\delta = K_{\Sigma} S_{\Sigma}, \quad (9)$$

де  $K_{\Sigma} = (\varepsilon + \Theta) / \left[ S_{\alpha F \varepsilon} + \sqrt{\sum_{i=1}^n \Theta_i^2 / 3} \right]$  - коефіцієнт залежності від співвідношення випадкової

похибки і НСП;  $S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Theta_i^2 / 3 + S_{\alpha F \varepsilon}^2}$  -

оцінка сумарного середнього квадратичного відхилення результату вимірювання;  $\varepsilon = t_q \cdot S_{\alpha F \varepsilon}$  - довірчі границі випадкової похибки визначення добутку  $\alpha F \varepsilon$  ( $t_q$ ) – коефіцієнт Стюдента при довірчій ймовірності  $0,99$  і числі спостережень  $n=5$  рівний  $4,604$  [7]).

Підставляючи в (9) числові значення всіх вище розрахованих складових похибки, отримуємо  $\delta = \pm 0,19\%$ .

## ВИСНОВКИ

На базі торцевих ЗП розроблена випробувальна установка для діагностування ПЛГ на місці їх експлуатації [9], яка сприяє економії затрат при проведенні метрологічного нагляду за ПЛГ, оскільки зникає необхідність здійснення матеріально затратних операцій демонтажу-монтажу ПЛГ і їх транспортування до відповідних організацій по проведенню державного метрологічного нагляду. Однак, на сьогоднішній день, її практичне застосування потребує розроблення відповідних нормативних документів метрологічного спрямування.

Здійснений метрологічний аналіз практичного застосування торцевих звужувальних пристроїв підтвердив можливість їх практичного використання при вимірюванні витрати природного газу в складі випробувальної установки.

1. Середюк О.Є. Сучасний стан метрологічного забезпечення побутових лічильників газу / О.Є. Середюк, А.Г. Винничук, Л.А. Витвицька, З.П. Лютак // Методи та прилади контролю якості. – 2011. - №26. – С. 65-70. 2. Установка для поверки счетчиков газа «КРАБ-М» / [http://www.irga.ru/Produktion/sredstva-poverki/Krab\\_M.html](http://www.irga.ru/Produktion/sredstva-poverki/Krab_M.html). 3. Установка для поверки счетчиков газа СПУ-3 / <http://www.turbo-don.ru>. 4. Середюк О.Є. Мобільна установка для бездемонтажного діагностування побутових лічильників газу / О.Є. Середюк, А.Г. Винничук // Нафтогазова енергетика – 2007. - №3. – С.76-80. 5. Seredyuk Orest. Wyznaczenie parametrow metrologicznych gazomierza domowego bez jego demontazu / O. Seredyuk, A. Vynnychuk, L. Vitvitskiy, Z. Warsza // Polski Instalator. – 2011. – №11. – Р. 44-51. 6. ГСОЕИ. Эталоны. Способы выражения погрешностей: ГОСТ 8.381-80 (СТ СЭВ 403-76). – [Введен с 1981-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 9 с. 7. Володарський Є.Т. Статистична обробка даних: навч. посіб. для студ. вищих навч. закл. / Є.Т. Володарський, Л.О. Кошева – Київ: НАУ, 2008. – 308 с. 8. Середюк О.Є. Метрологічне забезпечення відтворення і передавання одиниць об'єму та об'ємної витрати природного газу: дис. ... доктора техн. наук: 05.01.02/ Середюк Оrest Євгенович. – Івано-Франківськ, 2009. – 384 с. 9. Середюк О.Є. Дослідження випробувальної установки на базі торцевих звужувальних пристроїв для діагностування побутових лічильників газу / О.Є. Середюк, А.Г. Винничук // Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання: 6-та міжнар. наук.-техн. конф., 29.11-02.12.2011 р., м. Івано-Франківськ: зб. тез доп. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011. – С. 243-248.

Поступила в редакцію 12.12.2011 р.

Рекомендовано до друку Оргкомітетом 6-ї Мн/т конференції «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання».