

Ю.О. Подчашинський, д.т.н., проф.
Л.О. Чепук, к.т.н.
І.А. Омельчук, ст. викладач
Л.Й. Шавурська, асистент
Н.Ю. Мазурчук, студент

Державний університет «Житомирська політехніка»

Оцінка точнісних характеристик ультразвукового методу в інформаційно-вимірювальній системі обліку газу

Використання інформаційно-вимірювальних систем на підприємствах нафтогазової галузі дає змогу покращити облік витрати газу. З усіх відомих методів вимірювання витрат детально вивчено, відпрацьовано і доведено до стандартизованих у повному обсязі тільки метод змінного перепаду тиску. Тенденції розвитку витратомірної техніки останніх років дозволяють вважати ультразвуковий метод одним із кращих завдяки, зокрема, можливості безконтактного вимірювання будь-яких речовин, надійності прийнятно-передавальних елементів, що зумовлено відсутністю рухомих частин, і, теоретично, необмеженим діапазоном вимірювань. Розглянуто принцип вимірювань витрат газу за допомогою ультразвукового перетворювача витрати (УЗПВ), заснований на тому, що ультразвуковий імпульс, спрямований уздовж потоку, поширюється швидше за ультразвуковий імпульс, що спрямований проти потоку. Наведено методику розрахунку витрати газу, приведеного до стандартних умов ($P = 0,101325$ МПа, $T = 293,15$ °К). Розглянуто методику розрахунку оцінки похибки вимірювань при обмеженій вихідній інформації, коли для засобів вимірювань (ЗВ) нормовані лише такі метрологічні характеристики: межі значень основної похибки, що допускаються; межі значень додаткових похибок, що допускаються при найбільших відхиленнях зовнішніх впливових величин від нормальних значень, або максимально допустимі значення коефіцієнтів впливу.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система; ультразвуковий метод вимірювання; похибка вимірювання витрат газу.

Актуальність теми. Використання інформаційно-вимірювальних систем дає змогу покращити облік витрати газу. З усіх відомих методів вимірювання витрат детально вивчено, відпрацьовано і доведено до стандартизованих у повному обсязі тільки метод змінного перепаду тиску. Тенденції розвитку витратомірної техніки останніх років дозволяють вважати ультразвуковий метод одним із кращих завдяки, зокрема, можливості безконтактного вимірювання будь-яких речовин, надійності прийнятно-передавальних елементів, що зумовлено відсутністю рухомих частин, і, теоретично, необмеженому діапазону вимірювань.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори. Методи вимірювання витрати та кількості газу розглянуто у роботах М.П. Андріїшина [1], К.І. Хансуварова [2]. Ультразвуковий метод обліку витрат газу розглянуто у роботах П.П. Кремлевського [3, 4], В.К. Хамідуліна [5].

Метою статті є оцінка точності вимірювання об'єму природного газу інформаційно-вимірювальною системою обліку газу.

Викладення основного матеріалу. У [6] сформульовано вимоги до методів вимірювання витрати газу, до автоматичного визначення витрати та об'ємної кількості газу. Для вимірювання витрати газу обраний ультразвуковий метод. Сукупна величина допустимої похибки, що вноситься системою обліку газу (враховуючи передачу каналами зв'язку, перерахунок, архівування та надання даних), має бути не більше:

- $\pm 0,5-2,0$ % – для нормальної та робочої витрати газу;
- $\pm 0,5$ % – для тиску газу;
- $\pm 0,25$ % – для температури газу.

Принцип вимірювань за допомогою ультразвукового перетворювача витрати (УЗПВ) заснований на тому, що ультразвуковий імпульс, спрямований уздовж потоку, поширюється швидше за ультразвуковий імпульс, що спрямований проти потоку [7].

Різниця часу проходження ультразвукового імпульсу, а також час проходження імпульсів у напрямку потоку газу та проти нього залежать від середньої швидкості газу вздовж акустичного шляху.

Формула для розрахунку середньої швидкості потоку вздовж акустичного шляху має вигляд [8]:

$$\bar{u} = \frac{L_p^2(\tau_1 - \tau_2)}{2d\tau_1\tau_2} = \frac{L_p^2\Delta\tau}{2d\tau_1\tau_2}. \quad (1)$$

Середня швидкість потоку вздовж акустичного шляху може бути визначена шляхом прямого вимірювання часу проходження ультразвукового імпульсу у напрямку і проти напрямку руху потоку газу (часоімпульсним методом), а також з використанням фазового або частотного методу.

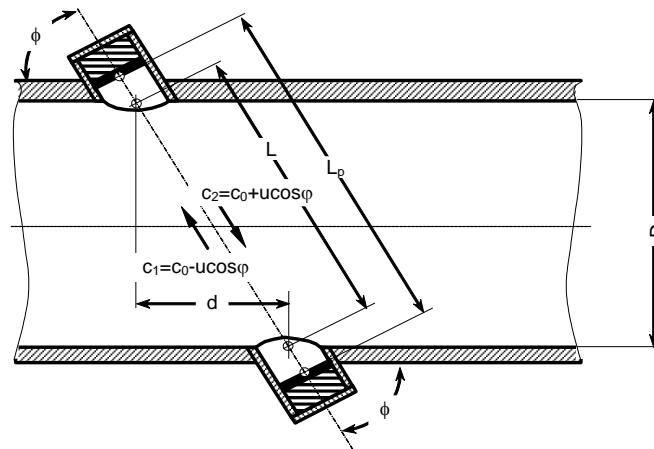


Рис. 1. Схема однопроменевого ультразвукового перетворювача витрати з прямим променем

Фазовий метод заснований на вимірі фазових кутів двох постійних ультразвукових коливань з циклічною частотою ω та їх фазових зрушень, що виникають від різниці часів проходження цими коливаннями однієї й тієї ж відстані по потоку і проти нього.

Циклічна частота залежно від частоти коливань визначається за такою формулою [8]:

$$\omega = 2\pi f. \quad (2)$$

При проходженні ультразвукового імпульсу однієї й тієї ж відстані по потоку і проти нього фазові кути набудуть значення:

$$\chi_1 = \omega \tau_1 = 2\pi f \tau_1, \quad (3)$$

$$\chi_2 = \omega \tau_2 = 2\pi f \tau_2. \quad (4)$$

З рівнянь (1), (3) та (4) випливає, що

$$\bar{u} = \frac{L_P^2 \pi f (\chi_1 - \chi_2)}{d \chi_1 \chi_2}. \quad (5)$$

Частотний метод заснований на залежності різниці частот повторення коротких імпульсів або пакетів ультразвукових коливань від різниці часів проходження цими коливаннями однієї відстані L_P по потоку і проти нього.

У частотно-імпульсних витратомірах виробляються короткі імпульси, які надходять до ПЕА з інтервалами, рівними часу проходження ультразвуку у напрямку потоку та проти нього [8].

Тоді:

$$f_1 = \frac{1}{\tau_1}, \quad (6)$$

$$f_2 = \frac{1}{\tau_2}, \quad (7)$$

$$f_2 - f_1 = \frac{1}{\tau_2} - \frac{1}{\tau_1} = \frac{\Delta \tau}{\tau_1 \tau_2}. \quad (8)$$

Формула (1) з урахуванням рівняння (8) набуде вигляду:

$$\bar{u} = \frac{L_P^2}{2d} (f_2 - f_1). \quad (9)$$

Мале значення величини $f_2 - f_1$ у частотних витратомірів є істотним недоліком, що утруднює точне вимірювання витрати газу.

У частотно-пакетних витратомірах виробляються не короткі імпульси, а безперервні сигнали протягом усього часу проходження ними акустичного шляху.

Розрахунок витрати газу, приведеної до стандартних умов

Витрата газу має вимірюватися в одиницях об'ємної витрати, що зведені до стандартних умов ($P = 0,101325$ МПа, $T = 293,15$ °К).

Процедура розрахунку витрати газу за стандартних умов залежить від складу застосовуваних засобів вимірювання (ЗВ). При використанні вимірювача щільності для визначення ρ і ρ_c розрахунок витрати газу, приведеного до стандартних умов, виконують таким чином [9]:

а) визначають змінні параметри середовища: ρ (щільність при робочих умовах), ρ_c (щільність при стандартних умовах) і q_0 (об'ємна витрата при робочих умовах) за показаннями ультразвукового перетворювача витрат (УЗПВ);

б) розраховують витрати q_c (об'ємна витрата, приведена до стандартних умов) за формулою:

$$q_c = q_0 \frac{\rho}{\rho_c} = q_0 \frac{pT_c}{p_cTK} = q_0 \frac{pT_cZ_c}{p_cTZ} \quad (10)$$

Розрахунок витрати газу за відсутності ЗВ щільності газу в робочих умовах та наявності ЗВ щільності газу за стандартних умов виконують у такій послідовності:

а) вимірюють змінні параметри середовища: P (абсолютний тиск газу), T (термодинамічна температура газу, $T = 273,15 + t$, де t – температура середовища), q_0 за показаннями УЗПВ;

б) вимірюють або використовують умовно постійне значення ρ_c ;

в) визначають повний компонентний склад газу хроматографічним методом;

г) визначають вміст у газі діоксиду вуглецю та азоту;

д) розраховують коефіцієнт стисливості газу K ;

е) розраховують за формулою (1) витрати q_c .

За відсутності ЗВ щільності газу в робочих та стандартних умовах розрахунок витрати газу виконують у такій послідовності:

а) вимірюють змінні параметри середовища: P , T , q_0 за показаннями УЗПВ;

б) визначають повний компонентний склад газу або використовують умовно-постійні значення мольних або об'ємних часток компонентів газу;

в) якщо для розрахунку коефіцієнта стисливості застосовують метод NX19 або рівняння стану GERG-91, то розраховують густину газу за стандартних умов згідно з ДСТ 30319.1 [10];

г) розраховують коефіцієнт стисливості газу K ;

д) розраховують за формулою (10) витрати q_c .

Реєстрацію показань параметрів ЗВ газу і обробку результатів вимірювань проводять за допомогою обчислювача витрати.

Оцінка похибки результатів вимірів

Розглянемо процедуру розрахунку оцінки похибки вимірювань при обмеженій вихідній інформації, коли для засобів вимірювань (ЗВ) нормовані лише такі метрологічні характеристики:

– межі значень основної похибки, що допускаються;

– межі значень додаткових похибок, що допускаються при найбільших відхиленнях зовнішніх впливових величин від нормальних значень, або максимально допустимі значення коефіцієнтів впливу.

Крім того, відсутня інформація про вид функції розподілу зовнішніх впливових величин і частотних характеристик змін вимірюваної величини та зовнішніх величин, що впливають.

Межа складової відносної похибки вимірювань параметра (y), спричиненої основною похибкою вимірювального перетворювача або ЗВ, розраховують за формулами:

а) за відомої абсолютної похибки

$$\delta_{oy} = \frac{\Delta y}{y} \cdot 100 \% ; \quad (11)$$

б) за відомої наведеної основної похибки:

– якщо нормуюче значення вимірюваного параметра дорівнює діапазону шкали, то

$$\delta_{oy} = \gamma \frac{y_e - y_n}{y} , \quad (12)$$

– якщо нормуюче значення вимірюваного параметра дорівнює верхній межі вимірювань, то

$$\delta_{oy} = \gamma \frac{y_e}{y} . \quad (13)$$

Межу складової відносної додаткової похибки вимірювань параметра (y), викликану зовнішньою величиною, що впливає, розраховують за такими формулами:

– при нормуванні меж допустимих значень похибки за найбільших відхилень зовнішньої величини, що впливає, від нормального значення

$$\delta_{oy} = \delta_{od} = \frac{\Delta_d}{y} 100 \% = \gamma_d \frac{y_e - y_n}{y} , \quad (14)$$

де δ_{od} , Δ_d , γ_d – відносна, абсолютна та наведена додаткові похибки;

– при нормуванні меж допустимих значень коефіцієнтів впливу

$$\delta_{oy} = \delta_{od} \frac{\Delta X_p}{\Delta X} = \frac{\Delta_d}{y} \frac{\Delta X_p}{\Delta X} 100\% = \gamma_d \frac{\Delta X_p}{\Delta X} \frac{y_g - y_n}{y}, \quad (15)$$

де ΔX_p – найбільше відхилення зовнішньої величини, що впливає, від нормального значення.

Довірчі межі, в межах яких знаходиться значення вимірюваного параметра з урахуванням додаткових складових похибок та похибки, спричиненої основною похибкою вимірювального перетворювача або ЗВ, розраховують за такою формулою:

$$\delta_y = \left[\delta_{oy}^2 + \sum_i^n \delta_{\theta yi}^2 \right]^{0.5}, \quad (16)$$

де n – кількість впливових величин; $\delta_{\theta yi}$ – додаткова похибка від i -ї величини, що впливає.

Похибку параметра (y), що визначається непрямым методом, який пов'язаний з функціональною залежністю з параметрами (y_i) (наприклад, температурою, тиском, компонентним складом)

$$y = F(y_1, y_2, \dots, y_n),$$

розраховують за формулою:

$$\delta_y = \left[\delta_{mF}^2 + \sum_i^n \theta_{yi}^2 \delta_{yi}^2 \right]^{0.5}, \quad (17)$$

де δ_{mF} – методична похибка функціональної залежності; δ_{yi} – похибка вимірювання i -го параметра, що вимірюється; θ_{yi} – коефіцієнт впливу i -го вимірюваного параметра на величину параметра (y), що визначається.

Коефіцієнт впливу розраховують за такою формулою:

$$\theta_{yi} = F'_{yi} \frac{y_i}{y}, \quad (18)$$

де F'_{yi} – часткова похідна функції F за параметром y_i .

Якщо невідомий математичний взаємозв'язок параметра (y) з параметрами y_i або диференціювання функції F ускладнено, коефіцієнт впливу розраховують за формулою:

$$\theta_{yi} = \frac{\Delta y}{\Delta y_i} \frac{y_i}{y}, \quad (19)$$

де Δy – зміна параметра (y), що визначається, при зміні вимірюваного параметра на величину Δy_i .

Якщо параметр вимірюваного середовища прийнятий за умовно-постійну величину, то похибка цього параметра розраховується за такою формулою:

$$\delta = \left[\delta_{yg}^2 + \left(\frac{y_{\max} - y_{\min}}{y_{\max} + y_{\min}} 100 \right)^2 \right]^{0.5}, \quad (20)$$

де δ_{yg} – похибка ЗВ, що застосовується для оцінки діапазону зміни параметра.

Відносну похибку вимірювання об'ємної витрати газу, приведеної до стандартних умов, у разі застосування щільноміра для визначення щільності ρ розраховують за формулою:

$$\delta_{V_c} = \left(\delta_{qo}^2 + \delta_g^2 + \delta_{\rho_c}^2 + \delta_{\rho}^2 \right)^{0.5}, \quad (21)$$

де δ_{qo} – похибка вимірювання об'ємної витрати за допомогою УЗПВ; δ_{ρ_c} – похибка вимірювання щільності газу, приведеного до стандартних умов; δ_{ρ} – похибка вимірювання щільності за робочих умов; δ_g – похибка обчислювача.

Відносну похибку вимірювання об'єму газу, приведеного до стандартних умов, за відсутності вимірювача щільності розраховують за формулою:

$$\delta_{V_c} = \left(\delta_{qo}^2 + \delta_g^2 + \theta_p^2 \delta_p^2 + \theta_T^2 \delta_T^2 + \delta_K^2 \right)^{0.5}, \quad (22)$$

або

$$\delta_{V_c} = \left(\delta_{qo}^2 + \delta_g^2 + \theta_p^2 \delta_p^2 + \theta_T^2 \delta_T^2 + \delta_Z^2 + \delta_{Z_c}^2 \right)^{0.5}, \quad (23)$$

де δ_p – похибка вимірювання абсолютного тиску; δ_T – похибка вимірювання температури; δ_K – загальна похибка розрахунку коефіцієнта стисливості; δ_Z , δ_{Z_c} – похибки розрахунку факторів стисливості.

У разі застосування обчислювача, у якого похибка нормована з урахуванням похибки вимірювань P , T та похибки розрахунку коефіцієнта стисливості, δ_{V_c} визначають за формулою:

$$\delta_{V_c} = \left(\delta_{qo}^2 + \delta_g^2 \right)^{0,5}. \quad (24)$$

У разі застосування обчислювача, у якого похибка нормована без урахування похибки розрахунку коефіцієнта стисливості, але з урахуванням похибки вимірювань P , T , величину δ_{V_c} визначають за формулою:

$$\delta_{V_c} = \left(\delta_{qo}^2 + \delta_g^2 + \delta_K^2 \right)^{0,5}. \quad (25)$$

Відносно похибку вимірювання об'ємної витрати δ_{qo} в робочих умовах розраховують за формулою:

$$\delta_{qo} = \left\{ \sum_1^n [\delta_{y_i}]^2 \right\}^{0,5}, \quad (26)$$

де n – кількість послідовно з'єднаних вимірювальних перетворювачів або ЗВ, що використовуються для вимірювання витрати (наприклад, УЗПВ та ЗВ для реєстрації та інтегрування його показань); δ_{y_i} – похибка i -го вимірювального перетворювача або ЗВ (наприклад, похибка УЗПВ та похибка ЗВ, що застосовується для реєстрації та інтегрування його показань) з урахуванням додаткових похибок [див. формулу (26)].

Основна похибка УЗПВ визначається за результатами його повірки (калібрування) та наводиться у паспорті на УЗПВ.

Якщо градування УЗПВ здійснювалося за температури та тиску, що відрізняються від робочих, а алгоритм не передбачає врахування цієї обставини, то при вимірюванні витрати газу виникає додаткова похибка, зумовлена зміною геометричних розмірів УЗПВ:

– у разі фланцевого з'єднання УЗПВ та вимірювального трубопроводу (ВТ)

$$\delta_{oqo} = -3 \left(\alpha \Delta T + \frac{D}{4dE} \Delta P \cdot 10^{-6} \right), \quad (27)$$

– у разі зварного з'єднання УЗПВ та ВТ

$$\delta_{oqo} = -3\alpha \Delta T - \frac{7D}{4dE} \Delta P \cdot 10^{-6}, \quad (28)$$

де $\Delta T = T - T_{\text{град}}$ – різниця температур газу за робочих умов та при проведенні градування УЗПВ ($T_{\text{град}}$); $\Delta P = P - P_{\text{град}}$ – різниця тиску газу при робочих умовах і при проведенні градування УЗПВ ($P_{\text{град}}$).

Враховують похибку δ_{oqo} , якщо її значення перевищує $\pm 0,1$ %. Допускається коригувати показання УЗПВ на величину такої похибки.

Похибки вимірювання абсолютного тиску газу при застосуванні перетворювачів абсолютного тиску розраховують за формулою:

$$\delta_P = \left\{ \sum_1^n [\delta_{y_i}]^2 \right\}^{0,5}, \quad (29)$$

де n – кількість послідовно з'єднаних вимірювальних перетворювачів або ЗВ, що використовуються для вимірювання абсолютного тиску; δ_{y_i} – похибка i -го вимірювального перетворювача або ЗВ з урахуванням додаткових похибок.

Похибки вимірювання абсолютного тиску при застосуванні перетворювача надлишкового тиску розраховують за формулою:

$$\delta_P = \left\{ \left(\frac{P_u}{P} \right)^2 \sum_1^n [\delta_{y_i}]^2 + \left(\frac{P_b}{P} \right)^2 \delta_{Pb}^2 \right\}^{0,5}, \quad (30)$$

де n – кількість послідовно з'єднаних вимірювальних перетворювачів або ЗВ, що використовуються для вимірювання надлишкового тиску; δ_{y_i} – похибка i -го вимірювального перетворювача або ЗВ з урахуванням додаткових похибок; δ_{Pb} – похибка вимірювання атмосферного тиску.

Похибки вимірювання температури газу розраховують за формулою:

$$\delta_T = \frac{100(t_a - t_n)}{273,15 + t} \left\{ \sum_{i=1}^n \left[\frac{\Delta y_i}{y_{ai} - y_{ni}} \right]^2 \right\}^{0,5}, \quad (31)$$

де n – кількість послідовно з'єднаних вимірювальних перетворювачів або ЗВ, що використовуються для вимірювання температури; Δy_i – абсолютна похибка i -ого вимірювального перетворювача або ЗВ з урахуванням додаткових похибок.

Оскільки похибка первинних перетворювачів температури нормується в абсолютних одиницях (див. [11] та [12]), формула (31) наведена з використанням абсолютних похибок.

Розрахунок похибки δ_{ρ_c} виконують, виходячи з наведених нижче положень.

При використанні щільномера похибку δ_{ρ_c} визначають за формулами (11–13) і (16), залежно від методу нормування похибки щільномера.

Якщо при вимірюванні щільності застосовується більше одного вимірювального перетворювача або ЗВ з відомими похибками $\delta_{\rho_{ci}}$, то похибку δ_{ρ_c} визначають за формулою:

$$\delta_{\rho_c} = \left(\sum_{i=1}^n \delta_{\rho_{ci}}^2 \right)^{0,5}, \quad (32)$$

де n – кількість вимірювальних перетворювачів або ЗВ.

При розрахунку ρ_c методом непрямих вимірів, похибку δ_{ρ_c} визначають відповідно до вимог нормативних документів, які регламентують цей метод.

При визначенні значення ρ_c за відомим компонентним складом газу за ГОСТ 30319.1 [10] похибку δ_{ρ_c} визначають за формулами, наведеними у зазначеному стандарті.

При використанні щільномера похибку δ_{ρ} визначають за формулами (11–13) і (16), залежно від методу нормування похибки щільномера.

Якщо для вимірювання густини застосовують більше одного послідовно з'єданого вимірювального перетворювача або ЗВ з відомими похибками $\delta_{\rho_{ci}}$, то похибку δ_{ρ} знаходять за формулою:

$$\delta_{\rho} = \left(\sum_{i=1}^n \delta_{\rho_{ci}}^2 \right)^{0,5}, \quad (33)$$

де n – кількість вимірювальних перетворювачів або ЗВ.

Похибки δ_{X_i} визначають відповідно до нормативних документів, які встановлюють методи та ЗВ компонентного складу середовища.

Якщо метрологічні характеристики газоаналізаторів (або інших ЗВ концентрацій компонентів газу) нормуються максимальною абсолютною похибкою ΔX_i визначення i -ї концентрації X_i , то похибки δ_{X_i} визначаються за формулою:

$$\delta_{X_i} = 100 \frac{\Delta X_i}{X_i}. \quad (34)$$

Допускається під час проведення розрахунків приймати $\delta_{X_i} = \delta_{N_i}$.

Похибки фактора та коефіцієнта стисливості розраховують без урахування похибки вимірювань тиску та температури.

Похибка визначення коефіцієнта стисливості розраховують за формулою:

$$\delta_K = (\delta^2 + \delta_{\theta}^2)^{0,5}, \quad (35)$$

де δ – похибка розрахунку коефіцієнта стисливості (див. табл. 1 [13]); δ_{θ} – похибка розрахунку коефіцієнта стисливості, пов'язана з похибкою вимірювання вихідних даних.

Значення δ_{θ} визначають за формулами:

– при розрахунку K за рівняннями стану AGA8-92DC або ВНІЦ СМВ [14, 15]:

$$\delta_{\theta} = \left(\sum_{i=1}^n \theta_{X_i}^2 \delta_{X_i}^2 \right)^{0,5}, \quad (36)$$

де θ_{X_i} – коефіцієнт впливу мольної або об'ємної частки i -го компонента газу на величину коефіцієнта стисливості; δ_{X_i} – похибка визначення мольної або об'ємної частки i -го компонента газу;

– при розрахунку K методом NX19 мод. або за рівнянням стану GERG-91 мод. похибку $\delta_{\text{вд}}$ розраховують за формулою:

$$\delta_{\text{вд}} = \theta_{\rho_c} \delta_{\rho_c}, \quad (37)$$

де θ_{ρ_c} – коефіцієнти впливу щільності природного газу за стандартних умов, вмісту азоту та діоксиду вуглецю на коефіцієнт стисливості; δ_{ρ_c} – похибки визначення густини природного газу за стандартних умов.

Коефіцієнти впливу θ_p та θ_T , які використовуються у формулах (22) та (23), а також коефіцієнт впливу θ_{ρ_c} , необхідний для обліку похибки вимірювань ρ_c при визначенні похибки коефіцієнта стисливості, розраховують за формулами:

$$\theta_p = 1 - P \frac{K'_p}{K}, \quad (38)$$

$$\theta_T = 1 + T \frac{K'_T}{K}, \quad (39)$$

$$\theta_{\rho_c} = \rho_c \frac{K'_{\rho_c}}{K}, \quad (40)$$

де K'_p , K'_T і K'_{ρ_c} – часткові похідні K за тиском, температурою та щільністю за стандартних умов відповідно.

Значення K'_p , K'_T і K'_{ρ_c} допускається визначати за формулами:

$$K'_p = \frac{\Delta K_p}{\Delta P}, \quad (41)$$

$$K'_T = \frac{\Delta K_T}{\Delta T}, \quad (42)$$

$$K'_{\rho_c} = \frac{\Delta K_{\rho_c}}{\Delta \rho_c}, \quad (43)$$

де ΔK_p – зміна величини коефіцієнта стисливості при зміні тиску на величину ΔP ; ΔK_T – зміна величини коефіцієнта стисливості при зміні температури на величину ΔT ; ΔK_{ρ_c} – зміна величини коефіцієнта стисливості при зміні щільності за стандартних умов на величину $\Delta \rho_c$.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Розглянуто принцип вимірювань витрат газу за допомогою ультразвукового перетворювача витрати. Наведено методику розрахунку витрати газу, приведеного до стандартних умов ($P = 0,101325$ МПа, $T = 293,15$ °К). Розглянуто методику розрахунку оцінки похибки вимірювань при обмеженій вихідній інформації, коли для засобів вимірювань (ЗВ) нормовані лише такі метрологічні характеристики: межі значень основної похибки, що допускаються; межі значень додаткових похибок, що допускаються при найбільших відхиленнях зовнішніх впливових величин від нормальних значень, або максимально допустимі значення коефіцієнтів впливу.

Список використаної літератури:

1. Андрійшин М.П. Вимірювання витрати та кількості газу : довідник / М.П. Андрійшин. – Івано-Франківськ : ПП «Сімик», 2004. – 160 с.
2. Хансуваров К.І. Техніка вимірювання тиску, витрат кількості та рівню рідини, газу та пару / К.І. Хансуваров, В.Г. Цейтлін. – К. : Наукова думка, 2015. – 86 с.
3. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества : справочник / П.П. Кремлевский. – Л. : Машиностроение, 1989. – 701 с.
4. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ : справочник: Кн. 2 / П.П. Кремлевский ; под общ. ред. Е.А. Шорникова. – СПб. : Политехника, 2004. – 412 с.
5. Хамидулин В.К. Ультразвуковые контрольно-измерительные устройства и системы / В.К. Хамидулин. – Л. : Изд-во Ленинградского университета, 1989. – 248 с.
6. Формулювання та аналіз та вимог до метрологічного забезпечення інформаційно-вимірювальної системи обліку газу / Ю.О. Подчаїнський та інші // Технічна інженерія. – 2021. – № 2 (88). – С. 86–94.
7. Витрати і кількість газу. Методика (метод) вимірювань за допомогою ультразвукових перетворювачів витрати : ГОСТ 8.611-2013. – 2013.
8. Мазурчук Н.Ю. Ультразвуковий метод вимірювання витрати газу / Н.Ю. Мазурчук, І.А. Омельчук, Л.О. Четюк // Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки, 16–20, 26 травня. – Житомир : Житомирська політехніка, 2022. – С. 60.

9. Мазурчук Н.Ю. Оцінка похибки результатів вимірів об'ємної витрати газу / Н.Ю. Мазурчук, Ю.О. Подчашинський, Л.О. Чепюк // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2022) : Тези XV міжнародної науково-практичної конференції, 17–18 травня. – К. : НАУ, 2022. – С. 185–186.
10. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки. Межгосударственный стандарт (41965) : ГОСТ 30319.1-96.
11. Преобразователи термоэлектрические. Общие технические условия (ДСТУ 2857-94) : ГОСТ 6616-94.
12. Термопреобразователи сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний : ДСТУ 2858:2015
13. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости. Межгосударственный стандарт (41964) : ГОСТ 30319.2-96.
14. Measurement of fluid flow in closed conduits – Methods using transit-time ultrasonic flowmeters. Technical report : ISO/TR 12765:1998(E)
15. Measurement of Gas by Ultrasonic Meters Transmission Measurement Committee Operating Section : Report № 9 / American Gas Association. – 1997.

References:

1. Andrii'shyn, M.P. (2004), *Vymirjuvannja vytraty ta kil'kosti gazu, dovidnyk*, PP «Simyk», Ivano-Frankivs'k, 160 p.
2. Hansuvarov, K.I. and Cejtin, V.G. (2015), *Tehnika vymirjuvannja tysku, vytrat kil'kosti ta rivnju ridyny, gazu ta paru*, Naukova dumka, K., 86 p.
3. Kremlevskii, P.P. (1989), *Raskhodomy i schetchiki kolichestva, spravochnik*, Mashinostroenie, L., 701 p.
4. Kremlevskii, P.P. (2004), *Raskhodomy i schetchiki kolichestva veshchestv, spravochnik*, Kn. 2, in Shornikov, E.A. (ed.), Politehnika, SPb., 412 p.
5. Khamidulin, V.K. (1989), *Ul'trazvukovy kontrol'no-izmeritel'nye ustroistva i sistemy*, Izd-vo Leningradskogo universiteta, L., 248 p.
6. Podchashyn's'kyj, Ju.O. et al. (2021), «Formuljuvannja ta analiz ta vymog do metrologichnogo zabezpechennja informacijno-vymirjuval'noi' systemy obliku gazu», *Tehnichna inzhenerija*, No. 2 (88), pp. 86–94.
7. GOST 8.611-2013 (2013), *Vytraty i kil'kist' gazu. Metodyka (metod) vymirjuvan' za dopomogoj ul'trazvukovyh peretvorjuvachiv vytraty*.
8. Mazurchuk, N.Ju., Omel'chuk, I.A. and Chepjuk, L.O. (2022), «Ul'trazvukovyj metod vymirjuvannja vytraty gazu», *Tezy Vseukrai'ns'koi' naukovo-praktychnoi' on-line konferencii' z'dobuvachiv vyshhoi' osvity i molodyh uchenyh, prysvjachenoi' Dnju nauky*, 16–20, 26 travnja, Zhytomyr's'ka politehnika, Zhytomyr, pp. 60.
9. Mazurchuk, N.Ju., Podchashyn's'kyj, Ju.O. and Chepjuk, L.O. (2022), «Ocinka pohybky rezul'tativ vymiriv ob'jemnoi' vytraty gazu», *Integrovani intelektual'ni robototekhnichni kompleksi (IIRTК-2022)*, Tezy XV mizhnarodnoi' naukovo-praktychnoi' konferencii', 17–18 travnja, NAU, K., pp. 185–186.
10. GOST 30319.1-96, *Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки, Межгосударственный стандарт (41965)*.
11. GOST 6616-94 (1994), *Преобразователи термоэлектрические. Общечие технические условия (DSTU 2857-94)*.
12. DSTU 2858:2015 (2015), *Termopreobrazovateli soprotivleniya. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy*.
13. GOST 30319.2-96 (1996), *Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости, Межгосударственный стандарт (41964)*.
14. ISO/TR 12765:1998(E), *Measurement of fluid flow in closed conduits – Methods using transit-time ultrasonic flowmeters*, Technical report.
15. American Gas Association (1997), *Report N. 9. Measurement of Gas by Ultrasonic Meters Transmission Measurement Committee Operating Section*.

Подчашинський Юрій Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0002-8344-6061>.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи;
- цифрова обробка сигналів і відеозображень;
- метрологія, засоби вимірювання;
- системний аналіз складних технічних систем.

Чепюк Ларіна Олексіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0002-8072-8186>.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи;
- цифрова обробка сигналів і відеозображень;
- метрологія, засоби вимірювання;
- системний аналіз складних технічних систем.

Омельчук Ігор Анатолійович – старший викладач кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0003-4674-0058>.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи;
- метрологія, засоби вимірювання;
- системний аналіз складних технічних систем.

Шавурська Людмила Йосипівна – асистент кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0001-6544-0961>.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи;
- цифрова обробка сигналів і відеозображень;
- системний аналіз складних технічних систем.

E-mail: auts@ztu.edu.ua.

Мазурчук Надія Юрійвна – студентка групи МТ-2 Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи;
- метрологія, засоби вимірювання;
- системний аналіз складних технічних систем.

Podchashynskyi Yu.O., Chepiuk L.O., Omelchuk I.A., Shavurska L.Yo., Mazurchuk N.Yu.

**Estimation of the accuracy characteristics of the ultrasonic method
in the information and measurement system for gas metering**

The use of information-measuring systems at oil and gas enterprises allows improving gas consumption accounting. Of all the known methods for measuring flow rates, only the method of variable pressure drop has been studied in detail, developed and brought to standardized in full. The trends in the development of flow measurement technology in recent years make it possible to consider the ultrasonic method as one of the best, due, in particular, to the possibility of non-contact measurement of any substances, the reliability of transceiver elements due to the absence of moving parts, and, theoretically, an unlimited measurement range. The principle of gas flow measurement using an ultrasonic flow transducer is considered, based on the fact that an ultrasonic pulse directed along the flow propagates faster than an ultrasonic pulse directed against the flow. A procedure for calculating the gas flow rate reduced to standard conditions ($P = 0.101325 \text{ MPa}$, $T = 293.15 \text{ °K}$) is described. The paper considers a method for calculating the estimate of measurement error with limited initial information, when only the following metrological characteristics are normalized for measuring instruments: limits of permissible values of the basic error; limits of permissible values of additional errors at the greatest deviations of external influencing quantities from normal values, or the maximum permissible values of the influence coefficients.

Keywords: information-measuring system; ultrasonic measurement method; gas flow measurement error.

Стаття надійшла до редакції 12.10.2022.