

ВПЛИВ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ЗВ'ЯЗКІВ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ ГАЗУ НА ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ ЙОГО ОБ'ЄМУ ЛІЧИЛЬНИКАМИ ГАЗУ

© Химко О., Пістун Є., 2004

In this work we analyzed the errors of gas accounting systems with manual correction of meterage by performance parameter average. These errors are caused by correlation between pressure and flow of gas.

Постановка проблеми. Найпоширенішими засобами обліку природного газу дотепер залишаються лічильники газу. Слід зазначити, що лічильники газу вимірюють об'єм газу лише в робочих умовах, тобто при робочих значеннях тиску і температури газу, а нам потрібні значення об'єму газу в стандартних умовах, тобто при стандартних значеннях тиску і температури, оскільки власне за цими значеннями виконують взаєморозрахунки за газ. Отже, системи обліку газу з такими лічильниками повинні забезпечувати приведення вимірюваного об'єму газу при робочих значеннях тиску і температури до стандартних умов. Таке приведення, зазвичай, виконують так: додатково вимірюють та реєструють за допомогою відповідних самописних приладів тиск і температуру газу, опрацюванням діаграм цих приладів визначають усереднені, наприклад, за добу, значення вимірюваних параметрів, за якими й коригують покази лічильника газу. Однак така методика приведення об'єму не враховує взаємозв'язок між витратою газу, тобто зміною об'єму в часі, і тиском газу, що призводить до значних похибок визначення об'єму газу в стандартних умовах.

Аналіз останніх досліджень. Основною задачею сьогодення для вибору систем обліку газу є забезпечення їх високої точності [1]. Це саме стосується і лічильників газу. Ця задача може розв'язуватись, з одного боку, за допомогою застосування сучасної високоточної технічної бази обліку [2—4], а також за рахунок вдосконалення методик опрацювання результатів вимірювань, які, до речі, можуть бути автоматизовані. Так, для прикладу, застосовувана методика визначення кількості газу за методом змінного перепаду тиску [5] за усередненими значеннями параметрів газу власне внаслідок неврахування коливань параметрів та їх взаємозв'язків теж призводить до значних похибок вимірювання [6—8]. Подібна задача виникає, як вказувалось вище, і в системах обліку з лічильниками газу, зокрема на рівні приведення вимірюваного об'єму газу при робочих значеннях тиску і температури до стандартних умов. Процедура такого приведення виконується за залежністю:

$$V_c = V_n \cdot \frac{P}{P_c} \cdot \frac{T_c}{T} \cdot \frac{1}{K}, \quad (1)$$

де v_c — об'єм природного газу в стандартних умовах; v_n — об'єм газу в робочих умовах за показами лічильника; p, p_c — тиск газу в робочих і стандартних умовах; t, t_c — температура газу в робочих і стандартних умовах; κ — коефіцієнт стискуваності газу. з (1) виводиться так званий коефіцієнт корекції $K_{кор}$ показів лічильника газу

$$K_{кор} = \frac{P}{P_c} \cdot \frac{T_c}{T} \cdot \frac{1}{K} \quad (2)$$

Для систем обліку з лічильниками газу та з автоматичним вимірюванням тиску і температури газу, в яких приведення виміряного об'єму газу до стандартних умов виконується за усередненими значеннями тиску і температури газу, точність такого приведення взагалі не аналізувалась і не досліджувалась.

Задачі досліджень. Метою цієї роботи є виявлення та оцінка кореляційних зв'язків між витратою і тиском газу в газопроводі при його поданні та обліку на типові технологічні об'єкти та аналіз впливу цих взаємозв'язків на точність обліку газу, зокрема отримання аналітичних залежностей для оцінки похибок вимірювання.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо типовий технологічний об'єкт (котлоагрегат), який споживає за заданим часовим графіком певні об'єми газу. Газ на такий об'єкт подається через відповідні технологічні газопроводи, в яких зі збільшенням навантаження на котлоагрегат, тобто зі збільшенням витрати газу, тиск газу, як правило, зменшується. Це зумовлюється залежними від витрати газу втратами тиску на самому газопроводі і, особливо, на різноманітних місцевих гідравлічних опорах, розташованих на цьому газопроводі. Отже, існує явно виражений взаємозв'язок між цими технологічними параметрами потоку газу.

Аналіз результатів виконаних нами досліджень показав, що коефіцієнт кореляції між вказаними параметрами потоку газу в реальних технологічних системах завжди має від'ємні значення, досягаючи максимальних значень $-0,8$ — $-0,9$.

Для прикладу розглянемо певний процес подачі газу в котлоагрегат, для якого витрата Q газу змінюється упродовж доби так, як показано на рисунку. Зміна витрати Q газу супроводжується одночасною зміною тиску P газу.

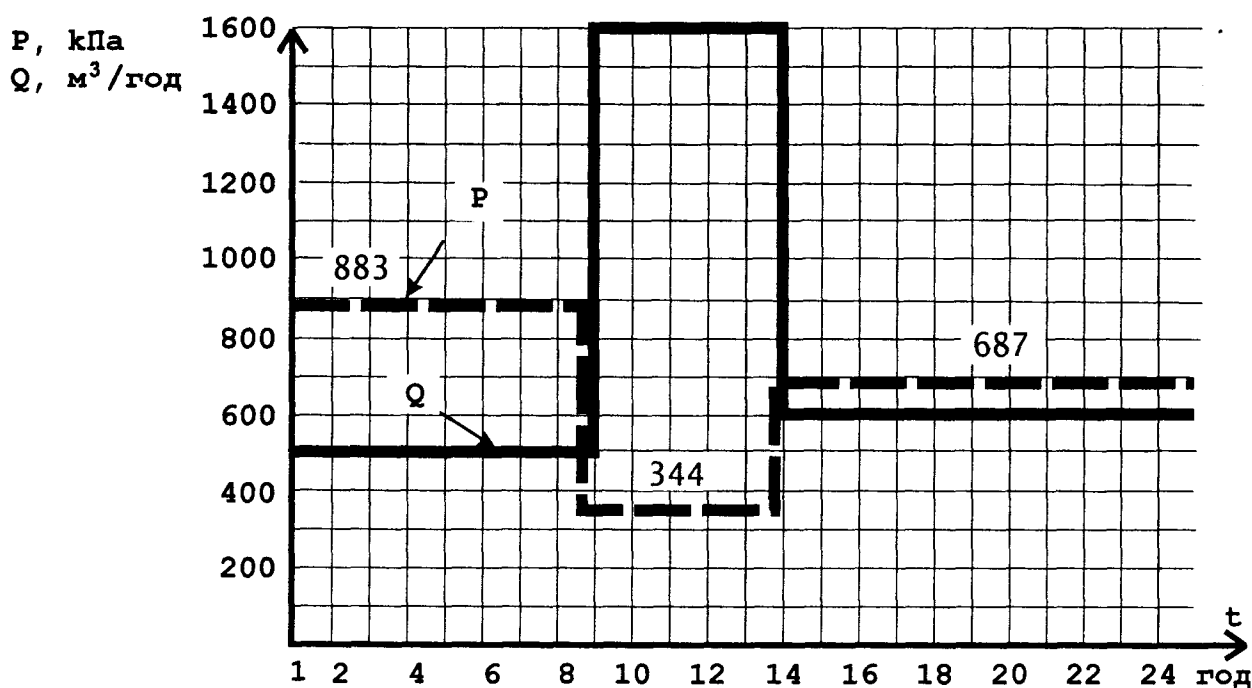


Рис. 1. Зміна абсолютного тиску P та витрати Q протягом доби.

У такому разі середня витрата газу за годину — це виміряний лічильником об'єм газу за цю саму годину. Розраховують середні значення тиску та температури газу за годину чи за добу в таких системах за допомогою планіметрів за реалізаціями діаграм відповідних самописців. Для цього прикладу середні значення витрати і тиску як погодинні, так і за добу, наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Значення технологічних параметрів у процесі вимірювання кількості газу

Години доби	Витрата Q (м ³ /год)	Тиск P (Па)
1	500	883000
2	500	883000
3	500	883000
4	500	883000
5	500	883000
6	500	883000
7	500	883000
8	500	883000
9	1600	344000
10	1600	344000
11	1600	344000
12	1600	344000
13	1600	344000
14	600	687000
15	600	687000
16	600	687000
17	600	687000
18	600	687000
19	600	687000
20	600	687000
21	600	687000
22	600	687000
23	600	687000
24	600	687000
Математичне сподівання $M(X)$ за добу	775	680875
Відхилення асолютне $\sigma(X)$ за добу	$\sigma(P)=425,5$	$\sigma(Q)=193075,2$
Відхилення відносне $\sigma_{\%}(X)=\sigma(X)/M[X]$, безрозмірне	$\sigma_{\%}(P)=0,55$	$\sigma_{\%}(Q)=0,28$
Коефіцієнт кореляції	$r_{QP} = -0.94$	

Відомо, що середнє значення функції може бути розраховане за середніми значеннями аргументів функції тільки за умови, якщо функція лінійна та відсутні кореляційні зв'язки між аргументами функції [10]. Для таких умов залежність (1) могла б бути подана через середні значення параметрів потоку газу, тобто через їх математичні сподівання як

$$V_c = \frac{1}{P_c} \cdot \frac{T_c}{M[T]} \cdot \frac{M[P]}{K} \int_{t_n}^{t_k} Q dt = \frac{1}{P_c} \cdot \frac{T_c}{M[T]} \cdot \frac{M[P]}{K} \cdot M[Q] \cdot (t_k - t_n), \quad (2)$$

де $M[Q]$, $M[P]$, $M[T]$ — відповідно математичні сподівання витрати, тиску та температури за проміжок часу $(t_k - t_n)$, як правило за добу, а $M[Q] \cdot (t_k - t_n) = V_{fl}$. Власне таку залежність часто застосовують для знаходження V_c , наприклад, в [9]. Однак об'єм V_c , приведений до стандартних умов за залежністю (1), є нелінійною функцією відносно температури і коефіцієнта стискуваності, та залежатиме від кореляційних зв'язків між витратою, температурою і тиском газу.

Отже, відповідно до [10] у разі застосуванні залежності (2) будуть виникати додаткові похибки визначення V_c , зумовлені вказаними чинниками, і їх значення залежатимуть від коливань параметрів потоку газу, тобто визначатимуться значеннями дисперсій цих параметрів потоку газу $\sigma^2(X)$.

Оскільки коливання температури газу упродовж доби є порівняно незначними, то відповідно до мети роботи ми проаналізуємо лише вплив на результат розрахунку коливань витрати Q і тиску P газу та кореляційних зв'язків між ними.

Для такого випадку залежність (2) подамо як

$$V_c = Y \cdot M[Q] \cdot M[P], \quad (3)$$

де $Y = \frac{1}{P_c} \cdot \frac{T_c}{M[T]} \cdot \frac{1}{K} \cdot (t_k - t_n)$. Якщо цю функцію розписати відповідно до загальних правил

знаходження математичного сподівання [10], то отримаємо

$$M[V_c] = Y \cdot M[P] \cdot M[Q] + \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2 V_c}{dP^2} \sigma^2(P) + \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2 V_c}{dQ^2} \sigma^2(Q) + \frac{d^2 V_c}{dPdQ} \times r_{QP} \cdot \sigma(P) \cdot \sigma(Q) \quad (4)$$

Враховуючи, що другі похідні дорівнюють нулеві $\frac{d^2 V_c}{dP^2} = 0, \frac{d^2 V_c}{dQ^2} = 0$ в зв'язку з лінійністю функції по витраті Q та тиску P , одержимо:

$$M[V_c] = Y \cdot M[P] \cdot M[Q] + Y \cdot \sigma(P) \cdot \sigma(Q) \cdot r_{QP}. \quad (5)$$

Коефіцієнт r_{QP} кореляції між тиском та витратою визначається як:

$$r_{QP} = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - M[Q]) \cdot (P_i - M[P])}{n \cdot \sigma(Q) \cdot \sigma(P)}. \quad (6)$$

Очевидно, результати розрахунків за залежностями (3) та (5) дадуть різні результати. Нормованою сьогодні залишається залежність (3) згідно із [9]. Оцінити похибку залежності (3) та фактично оцінити вплив кореляційних зв'язків між тиском та витратою можна за формулою

$$\delta_{r_{QP}} = \frac{V_c - M[V_c]}{M[V_c]} \cdot 100 \%. \quad (7)$$

Залежність (7) можна спростити до вигляду:

$$\delta_{r_{QP}} = \frac{-r_{QP} \cdot \sigma(Q) \cdot \sigma(P)}{r_{QP} \cdot \sigma(Q) \cdot \sigma(P) + M[Q] \cdot M[P]} \cdot 100 \%. \quad (8)$$

За діаграмами планіметрів, які застосовують у таких системах для реєстрації зміни параметрів потоку, можливо розрахувати і їх відхилення від середніх значень, і їх дисперсії, а після цього і коефіцієнт кореляції. Тобто, не змінюючи будови системи, не вводячи додаткових приладів, маємо реальну можливість знаходити дійсне значення об'єму.

Розрахуємо значення похибки $\delta_{r_{QP}}$ для вищенаведеного на рис. 1 та у таб. 1 прикладу.

Результати розрахунків об'єднані у табл. 2.

Дійсні та середні значення параметрів природного газу за добу

Значення об'єму $M[Vc]$ природного газу за добу, залежність(4)	110153,5 м ³
Значення об'єму Vc природного газу за добу, залежність(3)	128952,6 м ³
Значення похибки δ_{rQP}	17.06 %

Як видно із табл. 2, при максимальних коефіцієнтах кореляції ця похибка може становити близько 20 %. В системах обліку газу такої будови вона буде визначальною, оскільки похибки планіметрів та самого лічильника є на порядок меншими.

Висновки. Показано, що за рахунок кореляційних зв'язків між тиском та витратою газу в системах обліку природного газу за допомогою лічильників можуть виникати похибки. Нехтування такими похибками спотворює результати вимірювання, тобто не дає змогу коректно виконати приведення виміряного лічильником газу до стандартних умов. Пропонується, приводячи об'єм газу до стандартних умов, враховувати похибку кореляції витрати і тиску, і тим самим усувати істотні неточності у зведеннях балансу і обліку газу.

1. Пістун Є.П. Облік та економія природного газу // *Нафт. і газова пром-сть.* — 2000. — № 2. — С. 43—47.
2. Гордієнко І.А., Пономарьов Ю.В., Єксаров Є.В. Комп'ютерні технології у витратометрії і метрології засобів вимірювання потоку газу // *Нафт. і газова пром-сть,* 1997. — № 4. — С.46—47.
3. Пістун Є.П., Дубіль Р.Я., Прокопець А.Б., Кирилюк В.В., Онисик С.Б. Нові технічні засоби обліку природного газу // *Збірник матеріалів IV Міжнар. наук.-практ. конф "Проблеми економії енергії".* — Львів, 2003. — С. 329—330.
4. Пістун Е.П., Дубиль Р.Я. Новые возможности метода переменного перепада давления при измерении расхода и количества энергоносителей // *Труды 12-й Междунар. н.-п. конф. "Совершенствование измерений расхода жидкости, газа и пара".* — СПб, 2002. — С. 277—284.
5. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами. РД 50-213-80. — М., 1982.
6. Пістун Е. П. О погрешностях определения среднесуточного значения расхода газа, измеряемого методом переменного перепада давления // *Республ. Межвед. научн.-техн. сб. Контрольно-измерительная техника.* — Львов, 1985. — Вып. 37. — С. 11—14.
7. Пістун Е.П., Хымко М.П. Погрешности определения среднего суточного расхода газа, измеряемого методом переменного перепада давления // *Метрология,* 1990, № 9, с. 33—39.
8. Исследование корреляционных связей между параметрами потоков при измерении расхода природного газа в магистральных газопроводах / Е.П. Пістун, И.С. Крук, М.П. Химко // *Контрол.-измер. техника.* — Львов, 1990. — Вып. 48. — С. 3—6.
9. Правила подачі та використання природного газу в народному господарстві України. *Держнафтогаз.* — К., 1994.
10. Г. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. — М., 1969.