

АНАЛІЗ ЗМІНИ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОМИСЛОВИХ РОТОРНИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ ПІД ЧАС ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

© Матіко Ф.Д., 2014

Досліджено зміну основної похибки промислових роторних лічильників газу під час їх експлуатації. Встановлено що основна похибка роторного лічильника газу і облікований ним об'єм є корельованими величинами. Підтверджена значущість коефіцієнтів кореляції для перевірюваних значень витрати. На основі опрацювання масивів експериментальних даних, отриманих за результатами метрологічної перевірки роторних лічильників РГ-100, РГ-К-100, побудовані аналітичні залежності похибки середньостатистичного лічильника від облікованого об'єму. Встановлено, що у цих лічильниках присутня від'ємна за знаком невиключена систематична похибка, яка має постійну та прогресуючу складові. Отримані аналітичні залежності похибки лічильників від облікованого об'єму газу дають можливість оцінити зміну основної похибки лічильників типорозміру РГ-100, РГ-К-100 за їх облікованим об'ємом і, відповідно, прийняти рішення про виконання їх позачергової метрологічної перевірки. Це дає змогу зменшити невиключену систематичну складову похибки вимірювання об'єму газу і в такий спосіб зменшити дисбаланс об'єму газу у газорозподільних організаціях.

Ключові слова: лічильники газу, метрологічна перевірка, основна похибка, систематична похибка, облікований об'єм, кореляція, регресійна залежність.

The change of main error of industrial rotary gas meters during their operation is studied in this paper. It was determined that the main error of the rotary gas meter and the measured volume are correlated values. Significance of the correlation coefficients for the validated flowrate values was confirmed. Analytical dependence of average error of the meter on the measured volume was constructed based on the processing of experimental results of metrological inspection of rotary meters RG-100, RG-K-100. It was found that these meters have negative unexcluded systematic error which has constant and progressive components. These analytical dependences of meters error on the measured gas volume enable to estimate the change of main error of meters RG-100, RG-100-K using their measured volume and consequently to decide when it is time to make the metrological verification. This will provide the reduction of unexcluded systematic error of measurement of gas volume and therefore reduction of imbalances of gas volume in gas distribution organizations.

Key words: gas meters, metrological verification, main error, systematic error, measured volume, correlation, regression dependence.

Постановка проблеми

Протягом часу експлуатації лічильників газу їх метрологічні характеристики внаслідок дії багатьох чинників змінюються. Зміна метрологічних характеристик відбувається, зокрема, внаслідок механічного зношування рухомих частин, забруднення внутрішніх поверхонь лічильника, зміни характеристик змащувальних матеріалів. Контроль зміни метрологічних характеристик лічильників здійснюється під час періодичних метрологічних перевірок.

Метрологічну перевірку промислових лічильників виконують після їх очищення та промивання згідно із вимогами методик їх перевірки, зокрема [1]. Незважаючи на це, під час метрологічних перевірок виявляють певну частину лічильників, метрологічні характеристики яких

не відповідають вимогам нормативних документів, зокрема Правил обліку [2]. Наприклад, основна похибка лічильника перевищує допустиме значення у кілька разів. Тобто лічильник працює певну частину міжперевірювального інтервалу (інтервалу між метрологічними перевірками) у режимі метрологічної відмови і цим спричиняє появу дисбалансу об'єму газу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Вимоги до метрологічних характеристик промислових лічильників газу та вузлів обліку на їх основі викладені у нормативних документах [2–5]. Рекомендаціями Міжнародної організації законодавчої метрології [2] визначено кілька класів точності лічильників газу (0,5, 1,0, 1,5) та межі відносної похибки лічильників для кожного класу. В той самий час європейським стандартом EN 12480:2002, а відповідно, і державним стандартом [3] встановлені межі основної відносної похибки для роторних лічильників, що відповідають класу точності 1,0:

$$\begin{aligned} & - \pm 2,0 \% \text{ для витрати із діапазону } Q_{min} \leq Q \leq Q_t ; \\ & - \pm 1,0 \% \text{ для витрати із діапазону } Q_t \leq Q \leq Q_{max}. \end{aligned} \quad (1)$$

Ці межі основної відносної похибки унормовані також Правилами обліку [4] для промислових лічильників усіх типів, що застосовуються у складі вузлів обліку газу.

Стосовно випробувань на довговічність стандартом [3] встановлена вимога, щоб після напрацювання лічильника 1000 годин за витрати Q_{max} різниця похибки лічильника між початком і кінцем випробування за усіх витрат випробування не перевищувала $1/3$ від максимально допустимої похибки (1).

У [5] викладена методика розрахунку основної відносної похибки вимірювання об'єму газу за стандартних умов за допомогою вимірювальних комплексів на основі лічильників та корегувальників об'єму газу та наведено залежності для врахування додаткових складових похибки вимірювання, однак не визначений перелік додаткових складових похибок та способів їх визначення. У методиці [5] не розглядаються також питання стабільності метрологічних характеристик лічильників газу під час їх експлуатації.

Формулювання цілі статті

Мета роботи – проаналізувати зміни основної похибки промислових роторних лічильників газу під час їх експлуатації за результатами чергової метрологічної перевірки (далі перевірки) лічильників, на основі чого розробити заходи щодо зменшення прогресуючих складових похибки вимірювання об'єму газу і, відповідно, зменшення дисбалансів у газорозподільних організаціях.

Виклад основного матеріалу

Одним із параметрів, які впливають на зміну основної похибки лічильника, є облікований об'єм (покази) лічильника газу. Облікований об'єм характеризує інтенсивність роботи будь-якого тахометричного лічильника і, відповідно, ступінь механічного зношення його деталей, що є причиною зміни основної похибки лічильника. Облікований об'єм характеризує якоюсь мірою ступінь забруднення лічильника, що також є причиною появи додаткових складових похибки вимірювання об'єму газу. Водночас покази лічильника чи сумарний об'єм газу, облікований лічильником (далі облікований об'єм) за деякий проміжок часу, – це параметр, який визначається кожним лічильником і не вимагає вдосконалення чинних систем обліку.

Для дослідження зміни основної похибки лічильників залежно від облікованого об'єму проведено статистичне оброблення результатів чергових перевірок лічильників, що виконуються у лабораторіях газорозподільних організацій України. Для цього сформована база протоколів перевірки промислових лічильників газу (545 протоколів), отриманих у лабораторіях чотирьох газорозподільних організацій: ПАТ “Миколаївгаз”, ПАТ “Дніпропетровськгаз”, ПАТ “Житомиргаз”, ПАТ “Хмельницькгаз”. Перевірка промислових лічильників у цих лабораторіях

ведеться за умов, близьких до стандартних, відповідно до методик перевірки (зокрема, [1]). При підготовці до перевірки лічильники очищують від бруду, проводять заміну мастила. Отже, результати такої метрологічної перевірки дають змогу визначити основну похибку лічильників, без врахування додаткових похибок від забруднення, від якості монтажу та обслуговування.

На першому етапі опрацювання бази протоколів було застосовано фільтрування: із бази даних виключались протоколи, для яких значення похибки вимірювання витрати свідчить про повну метрологічну відмову лічильника, тобто перевищує допустиме значення на 10 – 100 %. На основі відфільтрованої бази протоколів для кожного із перевірюваних значень витрати – Q_{\min} , $0,2Q_{\max}$, $0,5Q_{\max}$, Q_{\max} , побудована множина значень похибки ЛГ, визначеної на перевірковій установці, $D = \{ d_{ij} \}$ та множина значень облікованого об'єму ЛГ (останніх показів) перед перевіркою $V = \{ V_j \}$. Зокрема, для роторних лічильників газу РГ-100, РГ-К-100 множина значень похибки для кожного i -го значення витрати ($i=1,2,3,4$) а, відповідно, i множина значень облікованого об'єму містять 88 значень ($j=1,2,3 \dots 88$). Множини пар значень (V_j, d_{ij}) , сформовані для кожного i -го значення витрати, графічно показані на рис. 1.

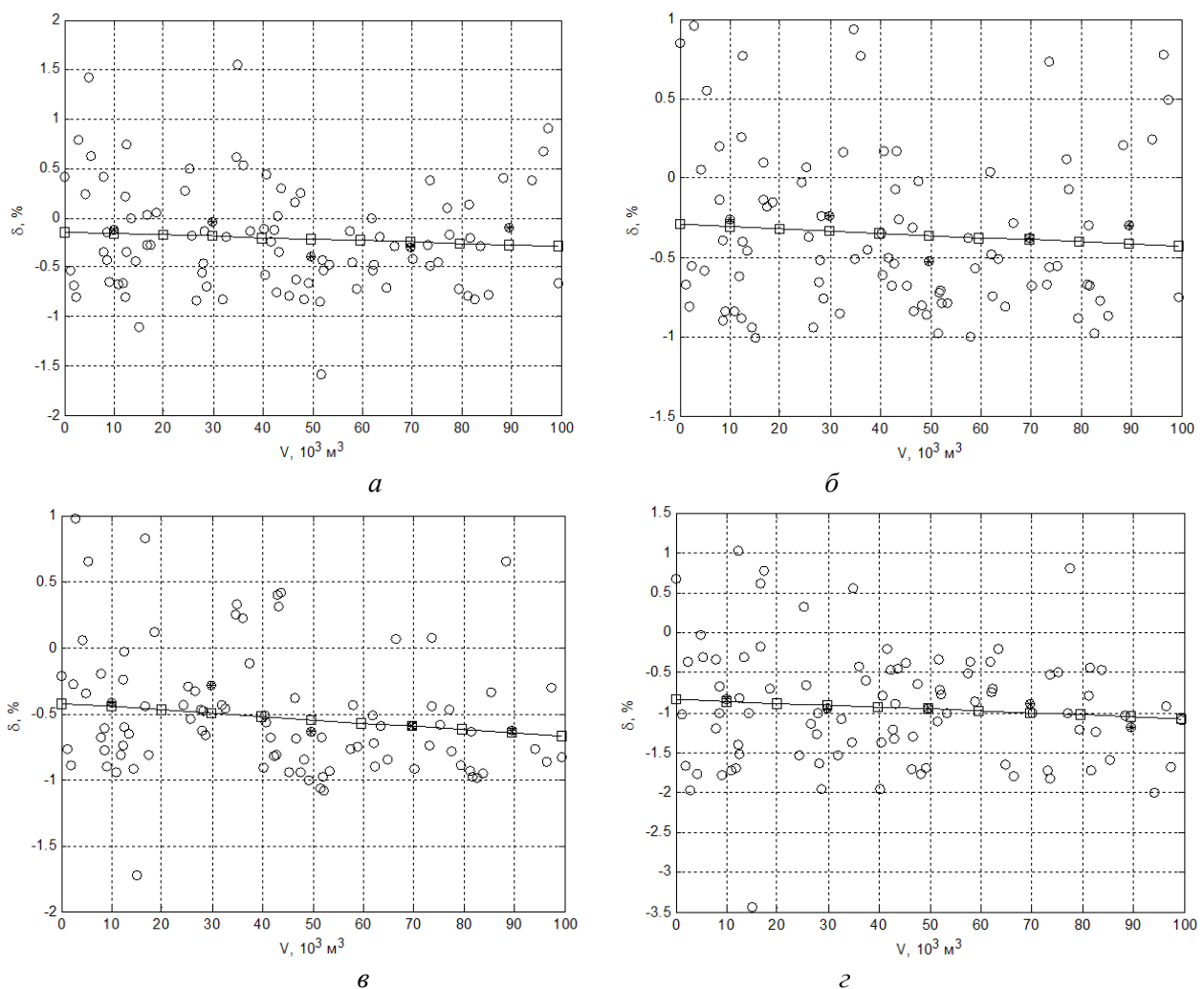


Рис. 1. Аналіз залежності похибки роторних лічильників газу типу РГ-100, РГ-К-100 від облікованого об'єму (останніх показів) перед перевіркою:
 а – на витраті Q_{\max} ; б – на витраті $0,5Q_{\max}$; в – на витраті $0,2Q_{\max}$; г – на витраті Q_{\min} ;
 о – точка даних за протоколом перевірки лічильника, ⊗ – усереднене значення похибки;
 □ – лінія регресії

Як бачимо із рис. 1, отримана для кожного окремого перевіркового значення витрати множина точок (V_j, d_{ij}) вказує на корельований зв'язок між основною похибкою лічильника d та облікованим цим лічильником об'ємом V . Форму кореляції можна наближено визначити, усереднивши значення похибки d_{ij} на окремих інтервалах зміни об'єму. Зокрема, у цій роботі виконане усереднення значень похибки d_{ij} у п'яти піддіапазонах ($m=5$) облікованого об'єму (див. рис. 1). Як бачимо із цього рисунка, розміщення точок усереднених значень похибки вказує на те, що залежність $d=f(V)$ близька до лінійної $y=ax+b$. Для кількісної оцінки кореляції між усередненими значеннями похибки d_{ik} ($k=1... m$) та усередненими значеннями облікованого об'єму V_k обчислений коефіцієнт кореляції r_i для кожного із перевірюваних значень витрати за формулою [6, 7]:

$$r_i = \frac{\sum_{k=1}^m (d_{ik} - \bar{d}_i)(V_k - \bar{V})}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (d_{ik} - \bar{d}_i)^2 \sum_{k=1}^m (V_k - \bar{V})^2}}, \quad (2)$$

де d_{ik} – усереднена на k -му піддіапазоні зміни об'єму похибка лічильників визначена для i -го значення витрати; \bar{d}_i – середнє значення похибок d_{ik} , отриманих для i -го перевіркового значення витрати, $\bar{d}_i = \sum_{k=1}^m d_{ik} / m$; V_k – середнє значення об'єму газу на k -му піддіапазоні; \bar{V} –

середнє значення об'єму газу V_k , $\bar{V} = \sum_{k=1}^m V_k / m$.

Обчислені значення коефіцієнтів кореляції наведені у табл. 1. Із неї бачимо, що кореляція між похибкою d та об'ємом V існує для усіх перевірових значень витрати, хоча для витрати $0,5Q_{\max}$, Q_{\max} значення коефіцієнта кореляції значно менші за модулем від одиниці (див. таблицю). Однак це не є ознакою того, що залежність між похибкою лічильника δ та облікованим об'ємом V для цих витрат відсутня. Але тут потрібно наголосити, що коефіцієнт кореляції є мірою тільки лінійного співвідношення між величинами [7, 8].

Значущість отриманих коефіцієнтів кореляції можна встановити на основі оцінки ймовірності того, що коефіцієнт кореляції двох незалежних некорельованих випадкових величин перевищить задане значення ($|r| \geq r_0$). Обчислення цієї ймовірності виконують за кількістю пар значень випадкових величин m та граничним значенням коефіцієнта кореляції r_0 , $P(|r| \geq r_0, m)$. Зокрема, для перевірових значень витрати Q_{\min} , $0,2Q_{\max}$ приймемо як граничне значення коефіцієнт кореляції $r_0 = 0,74$. Тоді із [6] отримаємо $P(|r| \geq 0,74, 5) < 15\%$. Тобто ймовірність того, що коефіцієнт кореляції має значення $|r| \geq 0,74$ а похибка і об'єм є некорельованими параметрами, є меншою від 15%. Отже, основна похибка лічильника газу і облікований об'єм, зокрема, для перевірових значень витрати Q_{\min} , $0,2Q_{\max}$, є корельованими величинами.

На основі опрацювання множини точок (V_j, d_{ij}) для кожного із перевірових значень витрати побудована регресійна залежність похибки середньостатистичного лічильника від облікованого об'єму:

$$d_i = a_i \cdot V + b_i, \quad (3)$$

де $V = v/1000$; v – облікований об'єм, m^3 ; a_i , b_i – коефіцієнти рівняння регресії для i -го перевіркового значення витрати.

Графічно залежність (3) для кожного перевіркового значення витрати показано на рис. 1.

Коефіцієнти лінійного рівняння регресії, отримані за методом найменших квадратів, та статистичні характеристики залежностей $d_i=f(V)$ для лічильників РГ-100, РГ-К-100 наведено у таблиці.

**Статистичні характеристики залежностей основної похибки лічильників
РГ-100, РГ-К-100 від облікованого об'єму**

<i>i</i>	Значення витрати	Коефіцієнти рівняння регресії $a \cdot x + b$		Коефіцієнт кореляції усереднених значень похибки та об'єму, r_i	Середнє квадратичне відхилення усереднених значень d_{ik} , $\sigma_{\bar{d}}$, %	Середнє квадратичне відхилення похибки d_{ij} , σ_d , %
		$a_i, \frac{\%}{\text{тис.м}^3}$	$b_i, \%$			
1	Q_{\max}	-0,0015	-0,1410	-0.2176	0,13	0,55
2	$0,5 Q_{\max}$	-0,0014	-0,2912	-0.2959	0,10	0,51
3	$0,2 Q_{\max}$	-0,0025	-0,4223	-0.7430	0,14	0,47
4	Q_{\min}	-0,0024	-0,8354	-0.7471	0,12	0,74

Як бачимо із таблиці, регресійні залежності, побудовані за методом найменших квадратів, мають від'ємні коефіцієнти a_i , що свідчить про зростання за модулем від'ємного значення похибки за збільшення об'єму, облікованого лічильником для усіх чотирьох перевірових значень витрати (Q_{\min} , $0,2Q_{\max}$, $0,5Q_{\max}$, Q_{\max}). Тобто середньостатистичний роторний лічильник газу розглянутого типорозміру після напрацювання певного об'єму може мати від'ємну похибку в усьому діапазоні вимірювання витрати газу.

Для того, щоб охарактеризувати зміну основної похибки лічильника не на окремій витраті, а як засобу обліку загалом, отримано загальну залежність похибки від облікованого об'єму за допомогою усереднення залежностей для чотирьох перевірових значень витрати. Усереднення виконане на основі вагових коефіцієнтів, значення яких відповідають відносним значенням витрати. Тобто для витрати Q_{\max} ваговий коефіцієнт дорівнює 1, для витрати $0,5Q_{\max}$ – 0,5, $0,2Q_{\max}$ – 0,2, Q_{\min} – дорівнює усередненому відношенню Q_{\min}/Q_{\max} для аналізованої вибірки лічильників. Отже, усереднена залежність похибки лічильників газу РГ-100 від облікованого об'єму матиме такий вигляд:

$$d = A \cdot V + B, \quad (4)$$

де

$$A = \frac{\sum_{i=1}^4 k_i \cdot a_i}{\sum_{i=1}^4 k_i},$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^4 k_i \cdot b_i}{\sum_{i=1}^4 k_i},$$

a_i, b_i – коефіцієнти рівняння регресії для i -го значення витрати; k_i – вагові коефіцієнти, $k=\{k_{min}, 0,2, 0,5, 1,0\}$; значення коефіцієнта k_{min} , визначене для досліджуваної вибірки лічильників за значеннями мінімальної витрати, становить:

$$k_{min} = \frac{\sum_{j=1}^N Q_{min.j} / Q_{max.j}}{N} = 0,0496;$$

V – облікований об'єм, тис. м³.

Отже, усереднена залежність для лічильників газу РГ-100, РГ-К-100 є такою:

$$d = -0,0016 \times V - 0,2358. \quad (5)$$

Графіки регресійних залежностей похибки роторних лічильників РГ-100, РГ-К-100 від облікованого об'єму для окремих значень витрати та усередненої залежності (5) зображені на рис. 2.

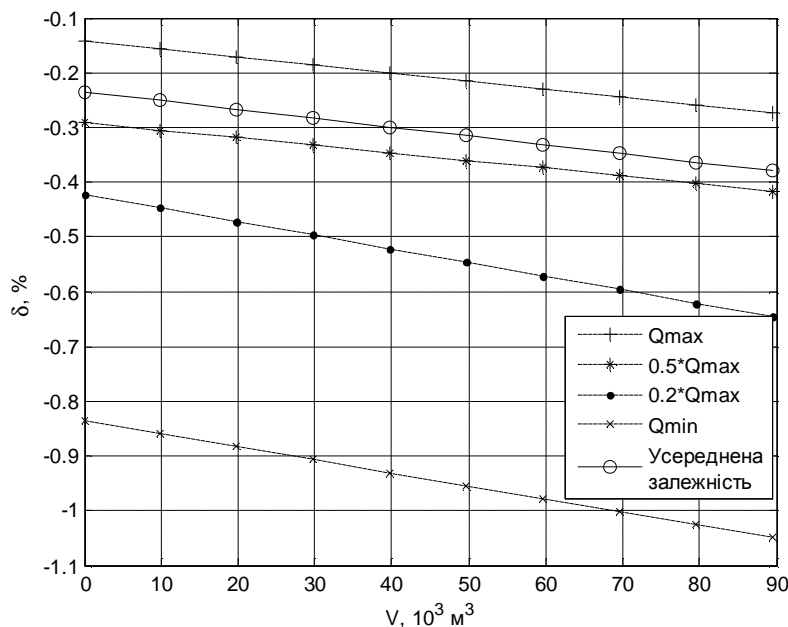


Рис. 2. Залежності похибки лічильників газу типорозміру РГ-100, РГ-К-100 від напрацьованого об'єму (останніх показів) перед перевіркою

Як бачимо із рис. 2 та формули (5), усереднена залежність похибки лічильника газу РГ-100, РГ-К-100 від облікованого об'єму має від'ємні коефіцієнти $a_i = -0,0016$ %/тис.м³, $b_i = -0,2358$ %. Тобто присутня у цих лічильниках невиключена систематична похибка має сталу складову $d_{nocm} = b_i = -0,2358$ % та прогресуючу $d_{прогр} = (-0,0016 \times V)$ %. Значення прогресуючої складової залежить від інтенсивності роботи лічильника, тобто від значення облікованого об'єму.

Отримані залежності похибки лічильників від облікованого об'єму газу дають можливість оцінити основну похибку лічильника за облікованим ним об'ємом і, відповідно, прийняти рішення про необхідність виконання його позачергової перевірки. Для того, щоб оцінити інтервал часу, упродовж якого основна похибка лічильника може досягти граничного значення, автор виконав розрахунок похибки лічильника за залежностями (3) для умовного часу роботи лічильника. Умовним часом роботи лічильника $T_{ум}$ у цій роботі вважаємо час

роботи на номінальній витраті. Тобто одна година умовного часу для типорозміру РГ-100, РГ-К-100 дорівнює облікованому об'єму газу 100 м^3 , відповідно, одна умовна доба дорівнює 2400 м^3 облікованого об'єму.

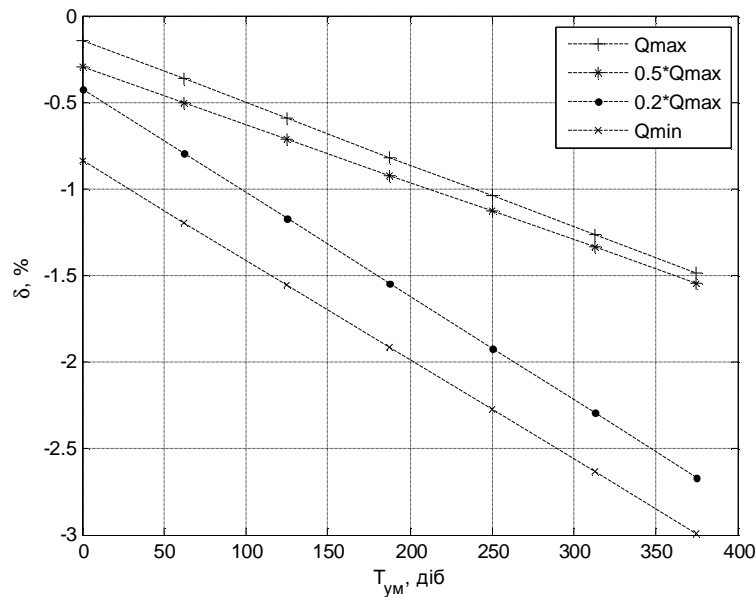


Рис. 3. Залежності похибки лічильників газу типорозміру РГ-100, РГ-К-100 від умовного часу роботи

Оцінимо за рис. 3, за який період умовного часу похибка роторних лічильників типорозміру РГ-100, обчислена за залежностями (3), досягає граничного значення, визначеного за (1). Як бачимо із цього рисунка, найкритичнішою є зміна похибки лічильника на витраті $0,2Q_{\text{max}}$. Похибка, що відповідає цьому значенню витрати досягає граничного значення $\pm 1,0 \%$ за 100 діб умовного часу (часу роботи на номінальній витраті). Систематична складова похибки на інших витратах (крім Q_{max}) досягає граничного значення ($\pm 2,0 \%$ для Q_{min} та $\pm 1,0 \%$ для $0,5Q_{\text{max}}$) за період близько 200 діб умовного часу.

Тобто облікований об'єм газу повинен бути ще одним критерієм для виконання перевірки чи ремонту лічильника під час міжперевіркового інтервалу (інтервалу між метрологічними перевірками). Це дасть змогу своєчасно виявляти лічильники, які працюють із значною систематичною похибкою і в такий спосіб приводять до виникнення необлікованих об'ємів газу у газорозподільних організаціях.

Висновки:

1. Встановлено, що основна похибка роторного лічильника газу і облікований ним об'єм є корельованими величинами. Підтверджена значущість коефіцієнтів кореляції для перевірових значень витрати Q_{min} , $0,2Q_{\text{max}}$.

2. На основі опрацювання масивів експериментальних даних, отриманих за результатами метрологічної перевірки роторних лічильників РГ-100, РГ-К-100 для кожного із перевірових значень витрати, побудована регресійна залежність похибки середньостатистичного лічильника від облікованого об'єму. Встановлено, що у цих лічильників присутня від'ємна за знаком невиключена систематична похибка, яка має постійну та прогресуючу складові.

Отримані регресійні залежності похибки лічильників від облікованого об'єму газу дають можливість оцінити зміну основної похибки лічильників типорозміру РГ-100, РГ-К-100 за його облікованим об'ємом і, відповідно, прийняти рішення про виконання його позачергової метрологічної перевірки. Це дасть змогу своєчасно виявляти лічильники, які

працюють із значною систематичною похибкою, а отже, й усувати цю похибку і в такий спосіб зменшувати дисбаланси об'єму газу у газорозподільних організаціях.

Отримані в роботі результати пропонується застосовувати в нормативних документах для метрологічних служб підприємств, які ведуть облік природного газу за допомогою роторних промислових лічильників газу.

1. Ф 62.784.001-ДІ. Лічильники газу роторні. Методика повірки. 2. OIML R 137-1:2006 Gas meters. Part 1: Requirements. – International organization of legal metrology, Paris, France. – 48 p. 3. ДСТУ EN 12480-2006 Лічильники газу роторні. Загальні технічні умови. – К., Держспоживстандарт України, 2007. – 25 с. 4. Правила обліку природного газу під час його транспортування газорозподільними мережами, постачання та споживання. Введені наказом Мінпаливенерго України №618 від 27.12.2005 р. та зареєстровані в Міністерстві юстиції України 26.01.2006 р. за №67/11941. 5. МВУ 034/03-2008. Об'єм природного газу за стандартних умов. Типова методика виконання вимірювань з використанням лічильника газу та коректора об'єму газу. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 83 с. 6. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок / пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 272 с. 7. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. – М.: Мир, 1969. – 395 с. 8. Дорожовець М. Опрацювання результатів вимірювань: навч. посіб. – Львів: Вид-во НУ “Львівська політехніка”, 2007. – 624 с.