



## **Дослідження можливості оцінювання об'єму газу побутовими лічильниками у всьому діапазоні витрат з використанням статистичних методів**

**О.Є. Середюк, Т.В. Лютенко, А.Г. Винничук**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (ІФНТУНГ), вул. Карпатська, 15, 76019, Івано-Франківськ, Україна  
annavyn@ukr.net*

### **Анотація**

Розглянуто новий концептуальний підхід до визначення похибки побутових лічильників газу в усьому діапазоні витрат, який передбачає експериментальне визначення похибки за обмеженим діапазоном робочих витрат, серед яких є дві нормовані витрати, що відповідають мінімальній витраті та витраті 20 % від максимальної для конкретного типорозміру побутового лічильника, а похибку при функціонуванні лічильника за третьою нормованою максимальної витрати визначають на базі статистично-розрахункового методологічного підходу.

Розглянуто і метрологічно оцінено алгоритми практичної реалізації двох напрямів концепції статистично-розрахункового методологічного підходу при визначенні похибки побутових лічильників для умов функціонування на максимальній робочій витраті.

Кількісна оцінка похибки визначення метрологічної характеристики лічильників на максимальній витраті згідно з першим напрямом концепції, яка враховує узагальнений приріст зміни похибки з урахуванням усіх обраних діапазонів зміни похибки лічильників за мінімальної витрати, показала, що вона практично не перевищує третини ( $\pm 0,7$  %) від паспортної похибки лічильників ( $\pm 2$  %) на максимальній витраті. Цим обґрунтовується можливість практичного застосування цієї концепції при оцінюванні метрологічних характеристик лічильників у всьому діапазоні робочих витрат.

Кількісна оцінка похибки визначення метрологічних характеристик лічильників на максимальній витраті згідно з другим напрямом концепції, яка передбачає розрахунок похибки лічильників за максимальної робочої витрати з використанням інтерполяційної залежності розрахунку приросту похибки від її значення при мінімальних витратах, показала, що ця похибка перевищує паспортну похибку побутових лічильників ( $\pm 2$  %) на максимальній витраті. Практичне застосування цієї концепції можливе тільки після її алгоритмічного і методологічного вдосконалення.

Обґрунтовано можливість технічної реалізації, умови і перспективи практичного застосування кожного напрямку нової концепції оцінювання точності вимірювання об'єму газу побутовими лічильниками в усьому діапазоні витрат.

**Ключові слова:** побутовий лічильник газу, похибка, витрата, метрологічні дослідження, статистичне оцінювання.

Отримано: 05.06.2018

Відредаговано: 14.06.2018

Схвалено до друку: 26.06.2018

---

### **Актуальність**

На сьогодні в Україні актуальною є проблема раціонального використання енергоносіїв, у тому числі природного газу, оскільки це є однією зі складових енергозбереження [1]. У свою чергу, раціональне використання природного газу неможливе без його точного і достовірного обліку. Для індивідуального обліку природного газу в українських помешканнях встановлено понад 8 млн побутових лічильників газу (ПЛГ), більшість із яких мембранного типу. Відомим є той факт, що під час експлуатації метрологічні характеристики ПЛГ змінюються, і зазвичай це приводить до зміни по-

хибки у від'ємну сторону [2]. Внаслідок цього відбувається недооблік природного газу в комунально-побутовій сфері.

Згідно із чинними нормативними документами, виявити факт недостовірного обліку природного газу в експлуатаційних умовах неможливо, оскільки неправильне функціонування можливо встановити лише при періодичній повірці ПЛГ. Зважаючи, що періодична повірка проводиться після восьми років експлуатації [3], то очевидно є обставина, що ПЛГ протягом тривалого часу можуть здійснювати облік газу некоректно. Тому існує необхідність контролю метрологічних харак-

теристик ПЛГ упродовж міжповірного інтервалу, для реалізації якого на сьогодні є дуже обмежена кількість відповідних установок [4, 5].

Ще однією особливістю здійснення повірки ПЛГ, згідно із чинними нормативними документами [6, 7], є обставина, яка вимагає проведення повірки із застосуванням повітря як робочого середовища. Внаслідок заміни робочого середовища з'являються додаткові фактори, які знижують достовірність результатів метрологічних досліджень. Цим фактором на сьогодні в Україні також практично нехтують, оскільки немає відповідної еталонної бази на малі витрати природного газу. Тому розроблення нових методологій і засобів для метрологічних досліджень ПЛГ упродовж міжповірного інтервалу та із застосуванням природного газу як робочого середовища є актуальним напрямом наукових і практичних досліджень.

### Аналіз відомих досліджень

Аналіз відомих досліджень у цій галузі показує, що є нові напрацювання для оцінювання точності вимірювання об'єму газу побутовими лічильниками, що може бути реалізовано, наприклад, під час їх повірки або діагностування. Це принципово дозволяє визначити похибку ПЛГ на місці експлуатації із застосуванням природного газу як робочого середовища. Підтвердженням цього можуть бути відомі спосіб та пристрій [8, 9] і їх дослідна реалізація [5] для діагностування та перевірки ПЛГ за зміною метрологічних характеристик безпосередньо на діючій лінії газопостачання. Технічна суть реалізації ґрунтується на порівнянні величини об'єму газу, відміряного побутовим лічильником, з об'ємом газу, який розрахований за результатами вимірювань проградуйованого спеціального звужувального пристрою. Безперечною перевагою вказаного способу є те, що він дозволяє перевіряти метрологічні характеристики ПЛГ без їх демонтажу з лінії газопостачання та із застосуванням природного газу як робочого середовища. Однак таким способом практично неможливо відтворити витрати в усьому робочому діапазоні при метрологічних дослідженнях ПЛГ, насамперед максимальну витрату. Це є головним чинником, який обмежує його впровадження.

Згідно із [7, 10] усі відомі способи повірки ПЛГ передбачають перевірку метрологічних характеристик на нормованих витратах, які охоплюють весь робочий діапазон, у т. ч. максимальну витрату. Проте технологічно складним є завдання реалізувати дослідження ПЛГ у відповідності до вказаних чинних нормативних документів, які передбачають експериментальне визначення похибки не менше ніж на трьох регламентованих робочих витратах (мінімальна витрата  $q_{\min}$ , 20 % від значення максимальної витрати  $0,2 q_{\max}$ , максимальна витрата  $q_{\max}$ ).

Складність технічної реалізації бездемонтажної метрологічної оцінки ПЛГ полягає у неможливості відтворення через досліджуваний ПЛГ максимальної витрати, джерелом якої є будинкова мережа. Ця витрата повинна перевищувати витрату, яка може мати місце при одночасному функціонуванні всіх пристроїв квартирного газоспоживного обладнання. Саме тому цей спосіб доцільно застосовувати для дослідження порогу чутливості ПЛГ та похибки лічильника на малих витратах газу в експлуатаційних умовах, що підтверджено розробкою метрологічної моделі пристрою [11].

Авторами запропоновано новий концептуальний підхід метрологічних досліджень ПЛГ [12], який дозволяє оцінити похибку ПЛГ у всьому діапазоні робочих витрат. Він полягає у використанні результатів експериментально визначених похибок ПЛГ на мінімальній витраті  $q_{\min}$  і на витраті 20 % від максимальної, а похибку ПЛГ за максимальної витрати  $q_{\max}$  визначають розрахунковим методом із застосуванням статистично встановленої інтерполяційної залежності зміни похибки ПЛГ. Оскільки такий підхід є новим, то можливість його застосування потребує метрологічного обґрунтування.

*Метою роботи* є метрологічні дослідження можливості оцінювання об'єму виміряного газу побутовими лічильниками в усьому діапазоні витрат із використанням статистичних методів.

### Основний матеріал

Реалізація концептуального підходу [12] передбачає опрацювання вибірки результатів повірки ПЛГ різних типорозмірів і виробників та полягає в обробці інформації та побудові кусково-інтерполяційної залежності похибки лічильника газу від робочої витрати через нього. При цьому похибку на двох нормованих для перевірки метрологічних характеристик витратах, які відповідають мінімальній витраті та витраті, яка становить 20 % від максимальної робочої, визначають експериментальним шляхом. На основі отриманих залежностей похибки за максимальної витрати лічильника газу розраховують шляхом зменшення значення похибки при витраті 20 % від максимальної робочої на попередньо статистично встановлену різницю між цими похибками за даними періодичної повірки вибірки лічильників після їх міжповірного терміну експлуатації з конкретизацією щодо типу, типорозміру і організації-виробника ПЛГ.

Основною перевагою такого підходу є те, що визначення експериментальним шляхом похибки ПЛГ тільки на мінімальних витратах і на витраті, яка становить 20 % від максимальної робочої, дозволяє визначити реальну похибку ПЛГ бездемонтажно за робочих умов експлуатації. Як наслідок, зменшується тривалість проведення метрологічних досліджень і підвищуються точність та достовір-

ність отриманих результатів, оскільки метрологічні дослідження ПЛГ здійснюються без їх демонтажу і транспортування до еталонної установки, а також із застосуванням реального робочого середовища — природного газу.

Однак при цьому необхідне застосування установок з еталонними лічильниками на малі витрати природного газу. З цією метою може бути застосована розроблена за участю авторів мобільна установка, яка реалізує метод вимірювання витрати газу з використанням торцевих звужувальних пристроїв, похибка якої за умови їх індивідуального градування може не перевищувати  $\pm 0,6\%$  [11]. Технічним засобом для градування звужувальних пристроїв може слугувати, наприклад, робочий еталон об'єму газу дзвонового типу Темпо-1 (Інженерно-впровадницька фірма "ТЕМПО", м. Івано-Франківськ) із границею сумарної відносної похибки передавання одиниці об'єму газу  $\pm 0,15\%$  в діапазоні витрат (0,016...10) м<sup>3</sup>/год.

Для визначення похибки ПЛГ на природному газі безпосередньо за місцем експлуатації також можуть бути використані еталонні лічильники роторного типу типорозмірів G1,0 та G1,6. Їх практичне застосування як еталонних засобів при функціонуванні на природному газі потребує додаткових метрологічних досліджень, які наразі в Україні практично не здійснювалися. Тут зауважимо, що застосування роторних лічильників як еталонних засобів у складі стаціонарних установок для повірки ПЛГ на повітрі в Україні набуло вже достатнього поширення [13].

Для досягнення поставленої мети метрологічних досліджень необхідно провести статистичні дослідження метрологічних характеристик ПЛГ, насамперед похибки, для встановлення закономірності зміни похибки в робочому діапазоні лічильника, апробацію яких здійснено в [14, 15].

Похибку ПЛГ визначають експериментальним шляхом за допомогою еталонних установок. Алгоритм її визначення записується формулою

$$\delta_i = \frac{V_i - V_e}{V_e} \cdot 100, \%,$$

де  $\delta_i$  — відносна похибка  $i$ -го ПЛГ;  $V_i$ ,  $V_e$  — об'єм, відлічений досліджуваним ПЛГ та виміряний еталонною установкою відповідно.

При статистичних дослідженнях використані результати повірки понад трьох тисяч ПЛГ мембранного типу на еталонних установках ПАТ "Івано-Франківськгаз" (м. Івано-Франківськ). Відповідно до [7, 10] похибка ПЛГ експериментально визначалася на трьох робочих витратах  $q_{\min}$ ,  $0,2q_{\max}$ ,  $q_{\max}$ . При цьому конкретизовано поділ лічильників за їх типорозмірами, заводами-виготовлювачами та за діапазоном зміни похибок за мінімальної витрати.

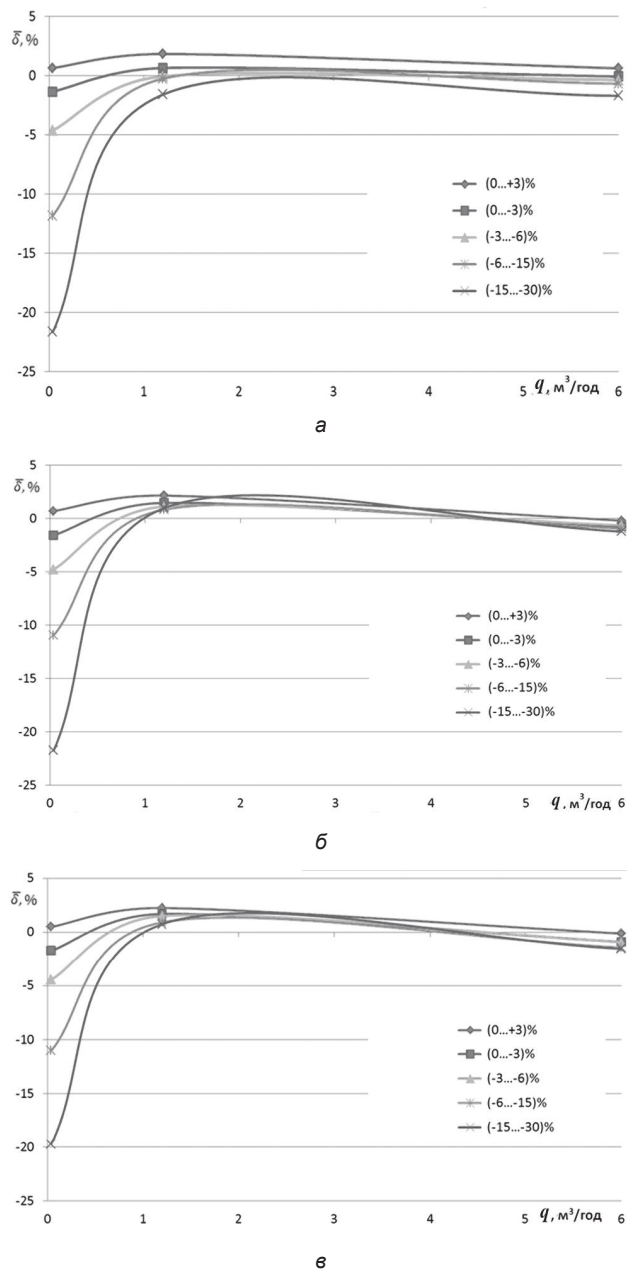


Рис. 1. Графічна ілюстрація зміни середнього значення похибки ПЛГ типорозміру G4 при п'яти різних її діапазонах на мінімальній витраті  $q_{\min}$  для лічильників GALLUS (а), METRIX (б), SAMGAS (в)

З урахуванням різних значень похибок ПЛГ і статистичного оцінювання результатів повірки було вибрано п'ять діапазонів зміни похибок за мінімальної витрати  $q_{\min}$ , які конкретизуються на наведеному нижче рис. 1. Наступним етапом був вибір статистичної кількості лічильників одного типорозміру, значення похибки яких містилися б у п'яти вказаних вище діапазонах, кожен із яких відображений відповідною лінією. Таким чином, для аналізу було вибрано три типи різних виробників побутових лічильників типорозмірів G4, що ілюструється на рис. 1. Графічна ілюстрація відображає конкретні числові значення усереднених похибок на трьох нормованих витратах і умовні (не розраховані) апроксимовані за допомогою

стандартного програмного пакету залежності зміни похибки вибірок ПЛГ для поліпшення сприйняття закономірностей зміни похибок ПЛГ за даними повірки після восьмирічного терміну експлуатації.

З отриманих результатів випливає, що зміни похибок ПЛГ характеризуються статистично подібними закономірностями, тобто очевидним є суттєве зростання від'ємної похибки в діапазоні від  $q_{\min}$  до  $0,2q_{\max}$ , і набагато менша зміна похибки в діапазоні від  $0,2q_{\max}$  до  $q_{\max}$ . Враховуючи, що згідно із чинним законодавством в Україні за результатами періодичної повірки ПЛГ дозволяються до експлуатації за умови, що їх похибка міститься в діапазоні від  $-6$  до  $+3$  % [6, 16]. Тому за основу статистичних досліджень узято ПЛГ із допустимою для подальшого застосування похибкою.

За основу формування вибірок лічильників було вибрано діапазон отриманих значень похибки, які визначалися за найменшої (мінімальної) робочої витрати лічильників  $q_{\min}$ . З урахуванням того, що границя основної допустимої похибки еталонної установки при повірці ПЛГ не може перевищувати  $0,5$  % [17], здійснюємо поділ ПЛГ на вибірки з інтервалом похибки  $1,5$  % за мінімальної витрати. За таких умов діапазони зміни похибок будуть становити:

- діапазон додатних похибок при  $q_{\min}$  від  $+1,51$  до  $+3$  % (діапазон 1);
- діапазон додатних похибок від  $0$  до  $+1,5$  % (діапазон 2);
- діапазон від'ємних похибок при  $q_{\min}$  від  $0$  до  $-1,5$  % (діапазон 3);

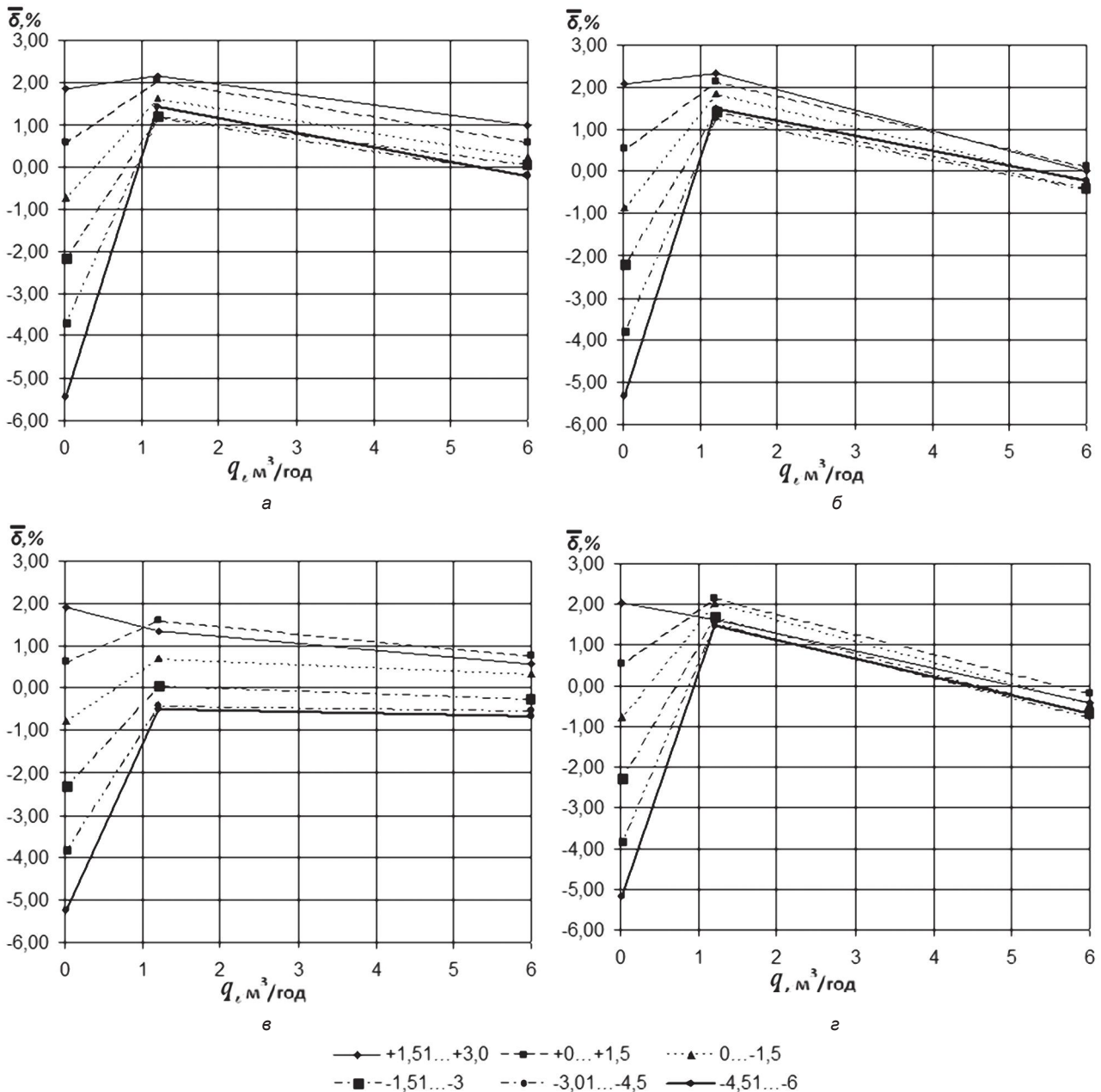


Рис. 2. Графічна ілюстрація кусково-лінійної інтерполяції результатів повірки ПЛГ METRIX G4 (а), METRIX G6 (б), GALLUS G4 (e), SAMGAS G4 (z)

- діапазон від'ємних похибок від  $-1,51$  до  $-3$  % (діапазон 4);
- діапазон від'ємних похибок від  $-3,01$  до  $-4,5$  % (діапазон 5);
- діапазон від'ємних похибок від  $-4,51$  до  $-6$  % (діапазон 6).

Далі було вибрано статистичну кількість лічильників одного типорозміру конкретного виробника, значення похибки яких містилися б у шести вказаних вище діапазонах. Таким чином, для аналізу було вибрано три підприємства-виробники мембранних лічильників типорозмірів METRIX G4 (Польща), METRIX G6 (Польща), GALLUS G4 (Франція), SAMGAS G4 (Україна).

Після формування вибірок здійснено обчислення усереднених значень похибок для кожної вибірки лічильників на досліджуваних витратах за мінімального діапазону від'ємних похибок  $q_{\min}$ , витрати  $20$  % від максимальної  $0,2q_{\max}$  і максимальної витрати  $q_{\max}$ . Розрахунки здійснювалися за формулами:

$$\bar{\delta}_{q_1}^j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \delta_{q_{\min i}}^j, \% \quad (1)$$

$$\bar{\delta}_{q_2}^j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \delta_{0,2q_{\max i}}^j, \% \quad (2)$$

$$\bar{\delta}_{q_3}^j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \delta_{q_{\max i}}^j, \% \quad (3)$$

де  $\bar{\delta}_{q_1}^j$ ,  $\bar{\delta}_{q_2}^j$ ,  $\bar{\delta}_{q_3}^j$  — середні арифметичні значення похибки ПЛГ для  $j$ -го діапазону зміни похибки за мінімальної витрати  $q_{\min}$ , витрати  $20$  % від максимальної  $0,2q_{\max}$  і за максимальної витрати  $q_{\max}$  відповідно;  $i$  — порядковий номер ПЛГ;  $j$  — порядковий номер досліджуваного діапазону зміни похибки при  $q_{\min}$ ;  $N_j$  — кількість лічильників у вибірці з  $j$ -го діапазону зміни похибки при  $q_{\min}$ .

Графічну ілюстрацію усереднених результатів повірки ПЛГ подано на рис. 2.

Для оцінювання розкиду результатів повірки ПЛГ для кожної вибірки на вказаних вище трьох витратах розраховувалися середні квадратичні відхилення середніх значень похибок:

$$\sigma_{q_1}^j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_j} (\delta_{q_1}^i - \bar{\delta}_{q_1}^j)^2}{N_j(N_j - 1)}}, \% \quad (4)$$

$$\sigma_{q_2}^j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_j} (\delta_{q_2}^i - \bar{\delta}_{q_2}^j)^2}{N_j(N_j - 1)}}, \% \quad (5)$$

$$\sigma_{q_3}^j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_j} (\delta_{q_3}^i - \bar{\delta}_{q_3}^j)^2}{N_j(N_j - 1)}}, \% \quad (6)$$

У формулах (4)–(6) для спрощення математичного запису похибки  $\delta_{q_{\min i}}^j$  записано як  $\delta_{q_1}^j$  і відповідно  $\delta_{0,2q_{\max i}}^j$  як  $\delta_{q_2}^j$ , а також  $\delta_{q_{\max i}}^j$  як  $\delta_{q_3}^j$ .

При статистичних дослідженнях також оцінювалася кількісна зміна похибки ПЛГ при  $q_{\min}$  і при  $q_{\max}$  відносно її значення при  $0,2q_{\max}$ , які позначені як  $\Delta\delta_{21}^j$  і  $\Delta\delta_{23}^j$  відповідно. Для цього використовувався алгоритм:

$$\Delta\delta_{21}^j = \bar{\delta}_{q_2}^j - \bar{\delta}_{q_1}^j, \quad (7)$$

$$\Delta\delta_{23}^j = \bar{\delta}_{q_2}^j - \bar{\delta}_{q_3}^j, \quad (8)$$

$$K_j = \Delta\delta_{23}^j / \Delta\delta_{21}^j, \quad (9)$$

де  $K_j$  — коефіцієнт інтерполяційності форми похибки для  $j$ -го діапазону зміни похибки ПЛГ за витрати  $q_{\min}$ .

Результати статистичних досліджень вибірок ПЛГ за формулами (1)–(9) подано в табл. 1–4.

На основі отриманих статистичних даних для метрологічного оцінювання статистично-розрахункового визначення похибки ПЛГ на максимальній витраті доцільно розглянути два методологічних підходи реалізації концепції.

Таблиця 1

Статистичні характеристики похибок ПЛГ METRIX G4

№ діапазону похибки при $q_{\min}$ і його межі, %	$\bar{\delta}_{q_1}^j, \%$	$\bar{\delta}_{q_2}^j, \%$	$\bar{\delta}_{q_3}^j, \%$	$N$	$\sigma_{q_1}^j, \%$	$\sigma_{q_2}^j, \%$	$\sigma_{q_3}^j, \%$	$\Delta\delta_{23}^j, \%$	$\Delta\delta_{21}^j, \%$	$K_j$
№ 1 +1,51...+3	1,87	2,16	0,98	12	0,072	0,204	0,261	1,182	0,291	4,063
№ 2 +0...+1,5	0,59	2,04	0,87	116	0,035	0,080	0,089	1,173	1,451	0,809
№ 3 0...-1,5	-0,72	1,64	0,23	48	0,066	0,167	0,159	1,414	2,362	0,599
№ 4 -1,51...-3	-2,15	1,22	-0,18	33	0,065	0,229	0,216	1,397	3,367	0,415
№ 5 -3,01...-4,5	-3,69	1,20	-0,20	14	0,095	0,274	0,271	1,394	4,886	0,285
№ 6 -4,51...-6	-5,44	1,45	-0,21	8	0,130	0,221	0,278	1,660	6,891	0,241

Таблиця 2

Статистичні характеристики похибок ПЛГ METRIX G6

№ діапазону похибки при $q_{\min}$ і його межі, %	$\bar{\delta}_{q1}^j, \%$	$\bar{\delta}_{q2}^j, \%$	$\bar{\delta}_{q3}^j, \%$	$N$	$\sigma_{q1}^j, \%$	$\sigma_{q2}^j, \%$	$\sigma_{q3}^j, \%$	$\Delta\delta_{23}^j, \%$	$\Delta\delta_{21}^j, \%$	$K_j$
№ 1 +1,51...+3	2,08	2,33	0,002	9	0,093	0,120	0,151	2,330	0,251	9,279
№ 2 +0...+1,5	0,53	2,14	0,28	72	0,040	0,068	0,084	1,857	1,607	1,156
№ 3 0...-1,5	-0,87	1,85	-0,24	44	0,060	0,094	0,137	2,093	2,720	0,769
№ 4 -1,51...-3	-2,21	1,44	-0,39	43	0,052	0,123	0,116	1,833	3,650	0,502
№ 5 -3,01...-4,5	-3,79	1,27	-0,41	32	0,071	0,155	0,140	1,678	5,058	0,332
№ 6 -4,51...-6	-5,33	1,48	-0,22	56	0,051	0,106	0,116	1,706	6,815	0,250

Таблиця 3

Статистичні характеристики похибок ПЛГ GALLUS G4

№ діапазону похибки при $q_{\min}$ і його межі, %	$\bar{\delta}_{q1}^j, \%$	$\bar{\delta}_{q2}^j, \%$	$\bar{\delta}_{q3}^j, \%$	$N$	$\sigma_{q1}^j, \%$	$\sigma_{q2}^j, \%$	$\sigma_{q3}^j, \%$	$\Delta\delta_{23}^j, \%$	$\Delta\delta_{21}^j, \%$	$K_j$
№ 1 +1,51...+3	1,92	1,34	0,58	4	0,113	0,110	0,382	0,763	-0,583	-1,309
№ 2 +0...+1,5	0,61	1,60	1,02	66	0,045	0,103	0,089	0,576	0,988	0,583
№ 3 0...-1,5	-0,79	0,72	0,35	71	0,047	0,095	0,090	0,367	1,504	0,244
№ 4 -1,51...-3	-2,31	0,07	-0,24	85	0,038	0,122	0,098	0,318	2,386	0,133
№ 5 -3,01...-4,5	-3,81	-0,40	-0,52	60	0,057	0,117	0,116	0,112	3,407	0,033
№ 6 -4,51...-6	-5,26	-0,49	-0,67	76	0,050	0,125	0,117	0,177	4,770	0,037

Таблиця 4

Статистичні характеристики похибок ПЛГ SAMGAS G4

№ діапазону похибки при $q_{\min}$ і його межі, %	$\bar{\delta}_{q1}^j, \%$	$\bar{\delta}_{q2}^j, \%$	$\bar{\delta}_{q3}^j, \%$	$N$	$\sigma_{q1}^j, \%$	$\sigma_{q2}^j, \%$	$\sigma_{q3}^j, \%$	$\Delta\delta_{23}^j, \%$	$\Delta\delta_{21}^j, \%$	$K_j$
№ 1 +1,51...+3	2,05	1,63	-0,43	11	0,076	0,082	0,067	2,055	-0,424	-4,852
№ 2 +0...+1,5	0,56	2,15	-0,03	166	0,027	0,048	0,054	2,116	1,593	1,328
№ 3 0...-1,5	-0,77	2,04	-0,44	108	0,045	0,062	0,066	2,472	2,810	0,880
№ 4 -1,51...-3	-2,29	1,69	-0,68	134	0,033	0,075	0,063	2,370	3,988	0,594
№ 5 -3,01...-4,5	-3,83	1,54	-0,78	98	0,042	0,075	0,071	2,317	5,366	0,432
№ 6 -4,51...-6	-5,18	1,47	-0,67	126	0,036	0,077	0,067	2,134	6,643	0,321

Перший напрям концепції полягає у розрахунку узагальненого приросту для обчислення похибки ПЛГ на максимальній витраті з урахуванням усіх вибраних і досліджених  $j$ -их діапазонів зміни похибки при мінімальній витраті  $q_{\min}$  (стосується одного типорозміру і одного виробника). Розрахунок числового значення похибки при  $q_{\max}$  для кожного  $i$ -го повірюваного ПЛГ здійснюється за алгоритмом:

$$\delta_{q3i} = \delta_{q2i} - \bar{\Delta}\delta_{23}, \quad (10)$$

$$\bar{\Delta}\delta_{23} = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L \Delta\delta_{23}^j, \quad (11)$$

де  $\delta_{q3i}$  — розраховане значення похибки  $i$ -го ПЛГ на витраті  $q_{\max}$ ;  $\delta_{q2i}$  — експериментально визначена похибка  $i$ -го ПЛГ при його повірці на витраті

$0,2q_{\max}$ ;  $\bar{\Delta}\delta_{23}$  — середнє значення зміни похибки ПЛГ при витраті  $q_{\max}$  порівняно з витратою  $0,2q_{\max}$  з урахуванням зміни похибки ПЛГ при  $q_{\min}$  у діапазоні від  $-6$  до  $+3$  %;  $L$  — кількість вибраних діапазонів при  $q_{\min}$  для дослідження статистичних характеристик зміни похибки (в нашому випадку, згідно із таблицями 1–4, їх кількість становить 6).

Для статистичного оцінювання зміни похибки  $\bar{\Delta}\delta_{23}$  скористаємося формулою

$$\sigma_{\Delta\delta_{23}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^L (\Delta\delta_{23}^j - \bar{\Delta}\delta_{23})^2}{L(L-1)}}, \quad (12)$$

де  $\sigma_{\Delta\delta_{23}}$  — середнє квадратичне відхилення зміни середнього значення приросту похибки на витраті  $q_{\max}$  порівняно з витратою  $0,2q_{\max}$ .

Для оцінки похибки при застосуванні такого концептуального підходу розрахуємо сумарну похибку визначення метрологічної характеристики ПЛГ на максимальній витраті за такою формулою:

$$\varepsilon(\delta_{q_3}) = \Theta_e + \sqrt{(\sigma_{q_2}^j)_{\max}^2 + (\sigma_{\Delta\delta_{23}})^2}, \quad (13)$$

де  $\varepsilon(\delta_{q_3})$  — похибка статистично-розрахункового методу визначення похибки ПЛГ на максимальній витраті;  $\Theta_e$  — значення границі допустимої похибки еталонної установки, на якій здійснювалися дослідження ПЛГ, яка для сучасних дзвонів установок не перевищує  $\pm 0,3$  %;  $(\sigma_{q_2}^j)_{\max}$  — максимальне значення середнього квадратичного відхилення середнього значення похибки ПЛГ при витраті  $0,2q_{\max}$  серед  $j$ -их діапазонів зміни похибки при  $q_{\min}$ .

Результати обчислень за формулами (11)–(13) для досліджуваних ПЛГ подано в табл. 5.

Таблиця 5

Результати розрахунку статистичних характеристик та похибки при визначенні похибки ПЛГ на максимальній витраті

Виробник, типорозмір ПЛГ	$\bar{\Delta}\delta_{23}, \%$	$\sigma_{\Delta\delta_{23}}, \%$	$\varepsilon(\delta_{q_3}), \%$
METRIX G4	1,37	0,06	0,58
METRIX G6	1,94	0,25	0,57
GALLUS G4	0,42	0,40	0,70
SAMGAS G4	2,28	0,37	0,67

Із табл. 5 випливає, що результати розрахунку похибки дещо відрізняються для різних виробників ПЛГ, хоча кількісно вони досить близькі між собою. Результати досліджень показують, що застосування цієї концепції дозволяє здійснювати статистично-розрахункове визначення похибки ПЛГ на витраті  $q_{\max}$  із похибкою, яка становить (0,58...0,70)%. Оскільки стосовно допустимої по-

хибки ПЛГ  $\pm 2$  % на витраті  $q_{\max}$  це значення не перевищує третини цієї похибки, то такий методологічний підхід не суперечить нормативним підходам згідно із [17] і може бути прийнятний для практичного застосування.

Другий напрям концепції при метрологічному аналізі визначення похибки ПЛГ на максимальній витраті  $q_{\max}$  стосується застосування статистично-розрахованого коефіцієнта інтерполяційності  $K$  форми похибки, який запропонований у [18] і записується наведеною вище формулою (9). Цей коефіцієнт також конкретизується для кожного окремого типорозміру ПЛГ і кожного виробника ПЛГ, а його числові значення подані в табл. 1–4. Такий підхід дозволяє розраховувати зміну похибки ПЛГ для витрат  $0,2q_{\max}$  і  $q_{\max}$  не як усереднене значення для всіх діапазонів зміни похибки при  $q_{\min}$ , а конкретизувати цю зміну стосовно зміни похибки ПЛГ на витратах  $q_{\min}$  і  $0,2q_{\max}$ .

Аналіз статистичних закономірностей зміни похибки ПЛГ на витратах  $q_{\min}$ ,  $0,2q_{\max}$ ,  $q_{\max}$  із урахуванням запровадження коефіцієнта інтерполяційності  $K$  [18] показав, що зміну похибки ПЛГ можна апроксимувати наступним чином:

$$\delta_{q_{3i}} = \delta_{q_{2i}} - K_j \cdot \Delta\delta_{21i}. \quad (14)$$

Враховуючи суттєвий розкид числових значень коефіцієнта  $K$  як функції від похибки при  $q_{\min}$ , що подано в табл. 1–4, а також суттєво меншу кількість ПЛГ із середньою похибкою при  $q_{\min}$  у діапазоні  $+1,51...+3$  %, здійснимо апроксимацію коефіцієнта без урахування цього діапазону. Кількісне подання числових значень коефіцієнта  $K$  у координатах  $K$ ,  $\delta_{q_1}$  (рис. 3) свідчить про можливість математичного запису цієї залежності для кожних типорозмірів і виробників ПЛГ як експоненціальних функцій виду:

$$K = D \cdot e^{\alpha\delta_1}, \quad (15)$$

де  $D$ ,  $\alpha$  — апроксимаційні коефіцієнти експоненційного виду зміни коефіцієнта інтерполяційності  $K$ .

Із урахуванням формули (15) формула (14) запишеться:

$$\delta_{q_{3i}} = \delta_{q_{2i}} - D \cdot e^{\alpha\delta_1} \cdot \Delta\delta_{21i}. \quad (16)$$

Здійснивши апроксимацію числових значень коефіцієнта  $K$ , отримаємо такий графічний вигляд апроксимованих залежностей (рис. 3), які подані відповідними формулами в табл. 6.

Достовірність апроксимації  $R^2$  (у відносних одиницях) розраховувалася за формулою [19]

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^M (K_j - K_{Aj})^2}{\sum_{j=1}^M K_j^2 - \frac{\sum_{j=1}^M K_{Aj}^2}{M}}, \quad (17)$$

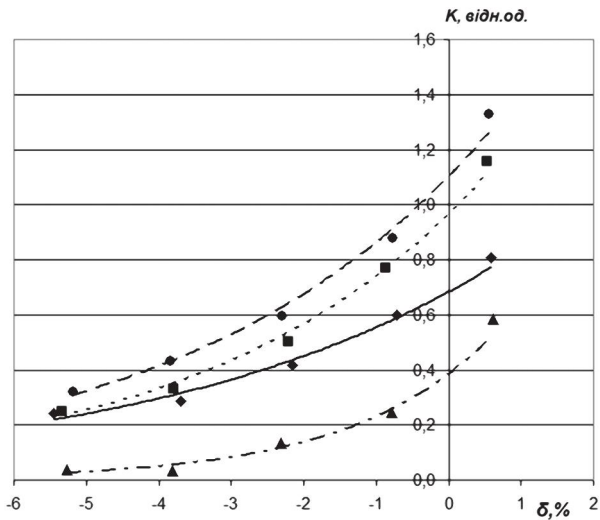


Рис. 3. Графічна ілюстрація зміни коефіцієнта інтерполяційності похибки  $K$  від усередненої похибки  $\delta_{q1}$  лічильників за мінімальної витрати  $q_{min}$

де  $K_j, K_{Aj}$  – статистично встановлене та розраховане за апроксимаційною залежністю  $j$ -те значення коефіцієнта  $K$ ;  $M$  – кількість точок, за якими здійснювалася апроксимація коефіцієнта  $K$  (в нашому випадку, згідно з рис. 2,  $M=5$ ).

Похибка апроксимації коефіцієнта  $K$  стосовно кожного типорозміру і виробника ПЛГ оцінювалася за формулою

$$\delta_A(K) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M (K_{Aj} - K_j)^2}{(M-1)}} \cdot \frac{1}{\bar{K}_j} \cdot 100\%, \quad (18)$$

де  $\delta_A(K)$  – відносна похибка апроксимації коефіцієнта  $K, \%$ ;  $\bar{K}_j$  – середнє арифметичне значення коефіцієнта  $K_j$ , за якими здійснено апроксимацію.

Результати обчислень за формулами (17) і (18) для досліджуваних ПЛГ подано в табл. 6.

Таблиця 6

Результати моделювання апроксимаційної залежності коефіцієнта  $K$

Виробник, типорозмір ПЛГ	Апроксимована залежність	$R^2$	$\delta_A(K), \%$
METRIX G4	$K = 0,684 \cdot e^{0,209 \cdot \delta_1}$	0,98	9,5
METRIX G6	$K = 0,962 \cdot e^{0,266 \cdot \delta_1}$	0,99	3,9
GALLUS G4	$K = 0,384 \cdot e^{0,509 \cdot \delta_1}$	0,95	10,9
SAMGAS G4	$K = 1,099 \cdot e^{0,244 \cdot \delta_1}$	0,99	5,1

Для оцінки точності другого напрямку концепції статистично-розрахункового визначення похибки ПЛГ на максимальній витраті  $q_{max}$  (позначена  $\delta_3$ ) застосуємо відому методику опрацювання результатів опосередкованих вимірювань.

Очевидним є те, що згідно із (16) досліджуванa похибка ПЛГ на витраті  $q_{max}$  є функцією двох

змінних, а саме експериментально визначеної похибки ПЛГ при  $q_{min}$  (позначена  $\delta_1$ ) і експериментально визначеної похибки ПЛГ при  $0,2q_{max}$  (позначена  $\delta_2$ ).

З урахуванням формул (7) та (16) отримаємо такий алгоритм розрахунку похибки на максимальній витраті для конкретного  $i$ -го повірюваного ПЛГ:

$$\delta_3 = \delta_2 - D e^{\alpha \delta_1} \delta_2 + D e^{\alpha \delta_1} \delta_1. \quad (19)$$

Для обчислення коефіцієнтів вагомості змінних  $\delta_1$  і  $\delta_2$  запишемо на базі (19) формули часткових похідних:

$$\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_1} = -D \cdot \delta_2 \cdot \alpha \cdot e^{\alpha \delta_1} + \delta_1 \cdot D \cdot \alpha \cdot e^{\alpha \delta_1} + D \cdot e^{\alpha \delta_1}, \quad (20)$$

$$\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_2} = 1 - D \cdot e^{\alpha \delta_1}. \quad (21)$$

Тому абсолютне значення похибки  $\varepsilon(\delta_{q3})$  при другому напрямі концепції статистично-розрахункового визначення метрологічних характеристик (похибки) ПЛГ на максимальній витраті буде обчислюватися за формулою

$$\varepsilon(\delta_{q3}) = \sqrt{\left( \frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_1} \cdot \Theta_{e_{q1}} \right)^2 + \left( \frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_2} \cdot \Theta_{e_{q2}} \right)^2} + \delta_A^2(K), \quad (22)$$

де  $\Theta_{e_{q1}}, \Theta_{e_{q2}}$  – метрологічна характеристика (граничної допустимої похибки) еталонної установкi при роботі на досліджуваних витратах побутових лічильників  $q_1$  і  $q_2$  відповідно.

Результати розрахунків за формулами (20)–(22) наведено в табл. 7.

Таблиця 7

Результати розрахунку похибки визначення метрологічної характеристики (похибки) ПЛГ на максимальній витраті

Виробник, типорозмір ПЛГ	$\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_1}$	$\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_2}$	$\Theta_{e_{q1}}, \Theta_{e_{q2}}, \%$	$\delta_A(K), \%$	$\varepsilon(\delta_{q3}), \%$
METRIX G4	1,03	0,57	$\pm 0,3$	9,5	9,51
METRIX G6	1,69	0,48	$\pm 0,3$	3,9	3,93
GALLUS G4	1,14	0,88	$\pm 0,3$	10,9	10,92
SAMGAS G4	1,77	0,37	$\pm 0,3$	5,1	5,13

Отримані результати кількісного визначення похибки ПЛГ при функціонуванні на максимальній витраті згідно із другим напрямом концепції характеризуються суттєво більшою похибкою порівняно з похибкою реалізації першого напрямку концепції. Це можна пояснити значною похибкою апроксимації  $\delta_A(K)$  коефіцієнта інтерполяції  $K$ . Хоча згідно з наведеними результатами обчислень похибка визначення метрологічних характе-



ристик ПЛГ перевищує допустиме значення похибки за максимальної витрати, тобто є більшою від  $\pm 2\%$ , однак виконаний метрологічний аналіз вказує на шляхи зменшення цієї похибки. Це може бути реалізовано таким чином:

- шляхом апроксимації інтерполяційною функцією іншого виду, наприклад, поліномом другого або вищого порядку;

- виконанням апроксимації для меншого діапазону зміни похибки при мінімальних витратах, наприклад, для інтервалу від  $-6$  до  $-1,5\%$ ;

- застосування більшої кількості точок при апроксимації коефіцієнта інтерполяції  $K$ ;

- звуженням діапазонів похибок при статистичних дослідженнях ПЛГ, наприклад,  $1\%$  і менше.

Вказані напрями можуть бути метою подальших наукових досліджень, адже саме другий напрям концепції дозволяє конкретизувати статистично-розрахункове визначення похибки ПЛГ для  $q_{\max}$  без урахування дискретності зміни похибки ПЛГ при  $q_{\min}$ , тобто для будь-яких її значень.

## Висновки

Розглянуто новий концептуальний підхід до визначення похибки ПЛГ у всьому діапазоні витрат, який передбачає експериментальне визначення похибки за обмеженим діапазоном робочих витрат, серед яких є дві нормовані витрати, що відповідають мінімальній витраті й витраті  $20\%$  від максимальної для конкретного типорозміру ПЛГ, а похибку при функціонуванні ПЛГ за третьої нормованої максимальної витрати визначають на базі статистично-розрахункового методологічного підходу.

Розглянуті й метрологічно оцінені алгоритми практичної реалізації двох напрямків концепції статистично-розрахункового методологічного підходу при визначенні похибки ПЛГ для умов функціонування на максимальній робочій витраті.

Кількісна оцінка похибки визначення метрологічної характеристики ПЛГ на максимальній витраті згідно з першим напрямом концепції, яка враховує узагальнений приріст зміни похибки з урахуванням усіх обраних діапазонів зміни похибки ПЛГ за мініимальної витрати, показала, що вона практично не перевищує третини ( $\pm 0,7\%$ ) від допустимої регламентованої паспортної похибки ПЛГ ( $\pm 2\%$ ) на максимальній витраті. Це обґрунтовує можливість практичного застосування цієї концепції при оцінюванні метрологічних характеристик ПЛГ у всьому діапазоні робочих витрат.

Кількісна оцінка похибки визначення метрологічних характеристик ПЛГ на максимальній ви-

траті згідно з другим напрямом концепції, який передбачає розрахунок похибки ПЛГ за максимальної робочої витрати з використанням інтерполяційної залежності розрахунку приросту похибки від її значення при мінімальних витратах, показала, що ця похибка перевищує паспортну похибку ПЛГ ( $\pm 2\%$ ) на максимальній витраті. Практичне застосування такої концепції можливе тільки після її алгоритмічного і методологічного вдосконалення, що може стати метою подальших наукових досліджень.

Проведені результати метрологічних досліджень нового концептуального підходу для метрологічної оцінки ПЛГ обґрунтовують доцільність його практичного застосування в діагностувальних установках, оскільки це суттєво знижує вартісні витрати таких установок внаслідок зменшення їх робочих діапазонів витрат, сприяє збільшенню продуктивності установок за рахунок експериментального визначення похибок ПЛГ на двох нормованих замість трьох нормованих витрат, а також відкриває можливості реалізації метрологічних досліджень і діагностування ПЛГ за місцем експлуатації завдяки усуненню потреби застосування спеціального джерела витрати з додатковим технологічним обладнанням для відтворення максимальної робочої витрати через ПЛГ при запровадженні для них бездемонтажного здійснення метрологічних досліджень.

Запропонований концептуальний підхід при метрологічному оцінюванні ПЛГ з демонтажем із місця експлуатації може бути реалізований при функціонуванні еталонних установок при наукових дослідженнях і визначенні експлуатаційних характеристик, у тому числі похибки ПЛГ, за умов експлуатації. При цьому також досягається збільшення продуктивності еталонних установок і зменшення їх вартості внаслідок зменшення необхідного діапазону вимірювань.

Узагальнення результатів запропонованого нового концептуального підходу може бути враховане при аналізі режимів газопостачання споживачів будинкової мережі.

Запропонований концептуальний підхід при оцінюванні точності вимірювання об'єму газу побутовими лічильниками в усьому діапазоні витрат може бути реалізований при створенні еталонних установок для бездемонтажної повірки ПЛГ на природному газі, що наразі потребує розроблення відповідного нормативного забезпечення. Результати метрологічного оцінювання ПЛГ в усьому діапазоні робочих витрат можуть слугувати об'єктивною базою для наукового обґрунтування скорочення міжповірочного інтервалу для ПЛГ.

# Исследование возможности оценивания объема газа бытовыми счетчиками во всем диапазоне расходов с использованием статистических методов

О.Е. Середюк, Т.В. Лютенко, А.Г. Винничук

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, 76019, Ивано-Франковск, Украина  
annavyn@ukr.net

## Аннотация

Рассмотрен новый концептуальный подход к определению погрешности бытовых счетчиков во всем диапазоне расходов, который предусматривает экспериментальное определение погрешности в ограниченном диапазоне рабочих расходов, среди которых есть два нормированных расхода, которые соответствуют минимальному расходу и расходу 20 % от максимального для конкретного типоразмера бытовых счетчиков, а погрешность при работе счетчика при третьем нормированном максимальном расходе определяют с использованием статистически-расчетного методологического подхода.

Рассмотрены и метрологически оценены алгоритмы практической реализации двух направлений концепции статистически-расчетного методологического подхода при определении погрешности бытовых счетчиков для условий функционирования на максимальном рабочем расходе.

Количественная оценка погрешности определения метрологической характеристики счетчика на максимальном расходе в соответствии с первым направлением концепции, которая учитывает обобщенное приращение изменения погрешности с учетом всех выбранных диапазонов изменения погрешности счетчиков при минимальном расходе, показала, что она практически не превышает третьей части ( $\pm 0,7$  %) от паспортной погрешности счетчиков ( $\pm 2$  %) при работе на максимальном расходе. Этим обосновывается возможность практического применения этой концепции при оценке метрологических характеристик счетчиков во всем диапазоне рабочих расходов.

Количественная оценка погрешности определения метрологических характеристик счетчиков на максимальном расходе согласно второму направлению концепции, которая предусматривает расчет погрешности счетчиков при максимальном рабочем расходе с использованием интерполяционной зависимости расчета приращения погрешности от ее значения при минимальных расходах, показала, что эта погрешность превышает паспортную погрешность бытовых счетчиков ( $\pm 2$  %) на максимальном расходе. Практическое применение этой концепции возможно только после ее алгоритмического и методологического совершенствования.

Обоснована возможность технической реализации, условия и перспективы практического применения каждого из направлений новой концепции оценивания точности измерения объема газа бытовыми счетчиками во всем диапазоне расходов.

**Ключевые слова:** бытовой счетчик газа, погрешность, расход, метрологические исследования, статистическое оценивание.

## The study of the possibility of estimating the volume of gas by the household meters within the entire flow rate range using statistical methods

O. Ye. Seredyuk, T.V. Lyutenko, A.G. Vynnychuk

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Karpatskaya St., 15, 76019, Ivano-Frankivsk, Ukraine  
annavyn@ukr.net

## Abstract

A new conceptual approach to determining the error of a household gas meters in the entire flow rate range is considered. This involves the experimental determination of the error for a limited operating flow rate range that also includes two normalized flow rates, which correspond to a minimum flow rate and 20 % of maximum flow rate for a specific size of a household flow meter. The operational error at the third normalized maximum flow rate is determined on the basis of methodological approach with statistical estimation.

The algorithms of practical realization for two areas of methodological approach with statistical estimation that can be used for determining the error of the household meters in operating conditions at the maximum operating flow rate are considered and metrologically evaluated.

The quantitative estimation of the error in determining the metrological characteristics of the household meters at the maximum flow rate according to the first area of the concept, taking into account the general increment in the error variation with all the selected ranges of the error at the minimum flow rate, showed that it practically does not exceed one third ( $\pm 0.7\%$ ) of the error ( $\pm 2\%$ ) at the maximum flow rate that indicated in the certificate for the household meter. This justifies the possibility of practical application of this concept in estimating the metrological characteristics of household meters in the entire operating flow rate range.

The quantitative estimation of the error in determining the metrological characteristics of the household meters at the maximum flow rate according to the second area of the concept, which involves estimation of household meters' error at the maximum operating flow rate using the interpolation dependence of the error increment estimation from its value at minimum flow rate range, shows that this error exceeds the error indicated in the certificate for the household meter ( $\pm 2\%$ ) at the maximum flow rate. Practical application of this concept is possible only after its algorithmic and methodological improvement.

The possibility of technical realization, conditions and prospects of practical application of each area of the new concept for estimating the measurement accuracy of household gas meters in the entire flow rate range is substantiated.

**Keywords:** household gas meter, error, flow rate, metrological study, statistical estimation.

### Список літератури

1. Середюк О.Є., Винничук А.Г., Витвицька Л.А., Лютак З.П. Сучасний стан метрологічного забезпечення побутових лічильників газу. *Методи та прилади контролю якості*. 2011. № 26. С. 65–70.
2. Serediuk O., Warsza Zigmunt L. Changes of measurement errors of diaphragm gas meters during their use. *Przemysl Chemiczny*. 2017. V. 96, Issue 8, pp. 1767–1770.
3. Наказ Мінекономрозвитку і торгівлі України "Про затвердження порядку проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів" № 193 від 08.02.2016.
4. Інструкція щодо обслуговування та експрес-контролю побутових лічильників газу, які знаходяться в експлуатації [Затв. 1996–02–28. Держ. ком. нафтової, газової та нафтопереробної промисловості]. Вид. офіц. Київ, 1996. 19 с.
5. Середюк О.Є., Винничук А.Г. Мобільна установка для бездемонтажного діагностування побутових лічильників газу. *Нафтогазова енергетика*. 2007. № 3(4). С. 76–80.
6. ДСТУ EN1359:2006. Лічильники газу мембранні. Загальні технічні умови (EN 1359:1998, IDT). [Чинний від 2007–01–01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. IV, 45 с.
7. P50–071–98. Метрологія. Лічильники газу побутові. Методи та засоби повірки [Чинний від 1998–03–27]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1998. III, 20 с.
8. Середюк О.Є., Винничук А.Г. Спосіб діагностування та перевірки побутових лічильників газу: пат. 64070U Україна, G 01 F 25/00. № u2001104610; заявл. 14.04.11; опубл. 25.10.11, Бюл. № 20. 4 с.
9. Середюк О.Є., Лютенко Т.В. Комплексний пристрій для бездемонтажного діагностування та перевірки побутових лічильників газу: пат. 113495 Україна, G 01 F 25/00. № u 201608707; заявл. 10.08.16; опубл. 25.01.17, Бюл. № 2. 4 с.
10. ДСТУ 3607–97. Лічильники газу побутові. Правила приймання та методи випробувань [Чинний від 1998–07–01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1997. 24 с.
11. Винничук А.Г., Середюк О.Є. Метрологічні дослідження перевіркової установки для побутових лічильників газу. *Нафтогазова енергетика*. 2011. № 1(14). С. 102–108.
12. Середюк О.Є., Лютенко Т.В. Спосіб повірки побутових лічильників газу: пат. 116046 Україна, G 01 F 25/00. № а 201605643; заявл. 25.05.16; опубл. 25.01.18, Бюл. № 2. 4 с.
13. Еталонний лічильник газу роторного типу: [http://tempo-temp.com.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3&Itemid=5&lang=uk](http://tempo-temp.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=5&lang=uk) (дата звернення 03.07.2018 р.).
14. Середюк О.Є., Лютенко Т.В. Статистичний аналіз зміни похибки побутових лічильників газу при їх експлуатації. *Technical Using of Measurement-2017: тези доп. III Всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених у царині метрології* (м. Славське, 24–27 січня 2017). Київ: Академія метрології України, 2017. С. 48–51.
15. Seredyuk O., Liutenko T., Seredyuk D., Warsza Z. Badanie bledow pomiarowych gazomierzy membranowych po szesciu latach eksploatacji. *MSM 2017: Zeszyty Naukowe Wydzialu Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdanskiej XXI Miedzynarodowe seminarium metrologow, Rzeszow-Czerniowce, 12–15 wrzesnia 2017*. Gdansk, ISSN 2353–1290. Nr 55. 2017. S. 65–68.
16. ДСТУ 3336–96. Лічильники газу побутові. Загальні технічні вимоги [Чинний від 1996–07–01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1996. 9 с.
17. ДСТУ 3383:2015. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу [Чинний від 2016–01–01 на заміну ДСТУ 3383:2007]. Вид. офіц. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015. II, 5 с.
18. Лютенко Т.В., Середюк О.Е. Применение модельного подхода к оцениванию неопределеннос-

ти измерения объема газа бытовыми счетчиками при их эксплуатации. *Неопределенность измерений: научные, нормативные, прикладные и методические аспекты (УМ–2017): тезисы докладов XIV междунар. науч. — техн. семинара (Созополь, Болгария, 8 сентября 2017)*. Созополь, 2017. С. 67–68.

19. Володарський Є.Т., Кошева Л.О. Статистична обробка даних: навч. посібник. Київ: НАУ, 2008. 308 с.

## References

1. Seredjuk O. Je., Vynnychuk A. Gh., Vytvyckja L. A., Ljutak Z. P. Suchasnyj stan metrologichnogho zabezpechennja pobutovykh lichyljnykiv ghazu [Modern state of metrological maintenance of household gas meters]. *Metody ta prylady kontrolju jakosti*, 2011, no. 26, pp. 65–70 (in Ukrainian).
2. Serediuk O., Warsza Z. L. Changes of measurement errors of diaphragm gas meters during their use. *Przemysl Chemiczny*, vol. 96. Issue 8. Published: AUG 2017, pp. 1767–1770 (in Polish).
3. The Order of the Ministry of Economic Development and Trade No. 193. On Approval of the Procedure of Verifying Legally Regulated Means of Measuring Instruments in Operation and Designing Its Results. Dated February 08, 2016 (in Ukrainian).
4. *Instrukcija shhodo obslughovuvannja ta ekspres-kontrolju pobutovykh lichyljnykiv ghazu, jaki znakhodjatsja v eksploataciji* [Instruction on service and express control of domestic gas meters in operation]. Kyiv, Derzh. kom. naftovoji, ghazovoji ta naftererobnoji promyslovosti, 1996. 19 p. (in Ukrainian).
5. Seredjuk O. Je., Vynnychuk A. Gh. Mobiljna ustanovka dlja bezdemontazhnogho diagnostuvannja pobutovykh lichyljnykiv ghazu [Mobile installation for non-mounting diagnostics of household gas meters]. *Naftoghazova energhetyka*, 2007, no. 3(4), pp. 76–80 (in Ukrainian).
6. State Standard EN 1359:2006 (EN 1359:1998, IDT). Gas membrane gas meters. General technical conditions. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2007, IV. 45 p. (in Ukrainian).
7. *R50–071–98. Metrologhija. Lichyljnyky ghazu pobutovi. Metody ta zasoby povirky* [Recommendations 50–071–98. Metrology. Gas counters household. Methods and means of verification]. Kyiv, Derzhstandart Ukrainy, 1998, III. 20 p. (in Ukrainian).
8. Seredjuk O. Je., Vynnychuk A. Gh. *Sposib diagnostuvannja ta perevirky pobutovykh lichyljnykiv ghazu* [Method of diagnostics and checking of household gas meters]. Patent UA, no. 64070U, 2011 (in Ukrainian).
9. Seredjuk O. Je., Ljutenko T. V. *Kompleksnyj prystrij dlja bez demontazhnogho diagnostuvannja ta perevirky pobutovykh lichyljnykiv ghazu* [Integrated device for without demounting diagnostics and checking of household gas meters]. Patent UA, no. 113495, 2017 (in Ukrainian).
10. State Standard 3607–97. Gas counters household. Acceptance rules and test methods. Kyiv, Derzhstandart Ukrainy, 1997. 24 p. (in Ukrainian).
11. Vynnychuk A. Gh., Seredjuk O. Je. *Metrologhichni doslidzhennja perevirochnoji ustanovky dlja pobutovykh lichyljnykiv ghazu* [Metrological examinations of the inspection device for household gas meters]. *Naftoghazova energhetyka*, 2011, no. 1 (14), pp. 102–108 (in Ukrainian).
12. Seredjuk O. Je., Ljutenko T. V. *Sposib povirky pobutovykh lichyljnykiv ghazu* [Method of verification of household gas meters]. Patent UA, no. 116046, 2016 (in Ukrainian).
13. *Etalonnyj lichyljnyk ghazu rotornogho typu* [Rotary gas standard gas meter]. Available at: [http://tempo-temp.com.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3&Itemid=5&lang=uk](http://tempo-temp.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=5&lang=uk) (accessed 3 July 2018).
14. Seredyuk O. Ye., Lyutenko T. V. *Statystychnyy analiz zminy pokhybky pobutovykh lichyljnykiv hazu pry yikh ekspluatatsiyi* [Statistical analysis of the change in the error of household gas meters during their operation]. *Technical Using of Measurement — 2017: Proceedings of III Ukrainian Scientific and Technical Conference of Young Scientists in the Area of Metrology* (Slavske, January 24–27, 2017). Kyiv, Academy of Metrology of Ukraine, 2017, pp. 48–51 (in Ukrainian).
15. Seredyuk O., Liutenko T., Seredyuk D., Warsza Z. *Badanie bledow pomiarowych gazomierzy membranowych po szesciu latach eksploatacji*. XXI Miedzynarodowe seminarium metrologow (MSM 2017). Gdansk, 2017, pp. 65–68 (in Polish).
16. State Standard 3336–96. Gas counters household. General technical requirements. Kyiv, Derzhstandart Ukrainy, 1996. 9 p. (in Ukrainian).
17. State Standard 3383:2015. Metrology. State verification scheme for means of measuring volume and volume of gas consumption. Kyiv, Ministry of Economic Development of Ukraine, 2015, II. 5 p. (in Ukrainian).
18. Lyutenko T. V., Seredyuk O. E. [Application of the model approach to the estimation of the uncertainty in the measurement of the volume of gas by household meters during their operation] *Tezisy dokladov: XIV Mezhdunar. nauch.-tekhn. seminar “Neopredelennost’ izmerenii: nauchnye, normativnye, prikladnye i metodicheskie aspekty” (UM–2017)* [Abstracts: XIV International Scientific and Technical Seminar “Measurement Uncertainty: Scientific, Regulatory, Applied and Methodological Aspects” (UM–2017)]. Sozopol’, 2017, pp. 67–68 (in Russian).
19. Volodarskyj Je. T., Kosheva L. O. *Statystychna obrobka danykh: navch. posibnyk* [Statistical Data Processing: Teaching manual]. Kyiv, NAU Publ., 2008. 308 p. (in Ukrainian).