

МЕТОДИ І ПРИЛАДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДКОЇ І ГАЗОПОДІБНОЇ ФАЗ

УДК 006.91:681.121

DOI: 10.31471/1993-9981-2020-1(44)-54-64

МЕТОДИКА МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ ПОБУТОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ ЗА ОБМЕЖЕНИМ ДІАПАЗОНОМ РОБОЧИХ ВИТРАТ

О. Є. Середюк, Т. В. Лютенко, А. Г. Винничук, О. С. Криницький

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу; 76019, м. Івано-Франківськ,
вул. Карпатська, 15; mivt@nung.edu.ua*

Здійснено аналіз діючих нормативних документів, які регламентують види, умови і технічні засоби перевірки метрологічних характеристик побутових лічильників газу при їх первинній і періодичній повірках. Обґрунтовано доцільність контролю метрологічних характеристик побутових лічильників за місцем експлуатації з використанням природного газу як робочого середовища. Розроблено нову патентозахищену методику експериментально-розрахункового методу метрологічного оцінювання побутових лічильників за обмеженим діапазоном контрольованих витрат, яка забезпечує реалізацію бездемонтажного метрологічного перевіряння лічильників у всьому діапазоні робочих витрат. Вона передбачає експериментальне визначення похибки лічильників на мінімальній робочій витраті і витраті, яка відповідає 20 % від максимальної, а також розрахункове визначення похибки лічильника на максимальній витраті з використанням статистично встановлених закономірностей зміни похибок побутових лічильників при їх експлуатації з конкретизацією типорозміру і моделі лічильника. Такий підхід дає можливість здійснювати метрологічні дослідження лічильників газу на природному газі і одночасно бездемонтажно на місці експлуатації. Розкрито можливість застосування запропонованої методики для демонтажного метрологічного контролю побутових лічильників при функціонуванні повірочних установок на повітрі, до яких зменшуються вимоги щодо верхнього діапазону робочих витрат. Наведені результати апробації розробленої методики метрологічного контролю побутових лічильників газу за обмеженим діапазоном робочих витрат, які підтвердили правильність методичного підходу для його практичного застосування. Обґрунтовано доцільність розроблення і затвердження відповідного нормативного документу для практичної реалізації розробленої методики метрологічних досліджень побутових лічильників газу, яка буде відповідати нормативним документам України і забезпечить реалізацію метрологічного контролю побутових лічильників на природному газі в умовах експлуатації.

Ключові слова: побутовий лічильник газу, метрологічний контроль, природний газ, повітря, робочі витрати, похибка, еталонна установка, експериментально-розрахунковий метод.

Осуществлен анализ действующих нормативных документов, регламентирующих виды, условия и технические средства проверки метрологических характеристик бытовых счетчиков газа при их первичной и периодической поверках. Обоснована целесообразность контроля метрологических характеристик бытовых счетчиков на месте эксплуатации с использованием природного газа в качестве рабочей среды. Разработана новая патентозащищенная методика экспериментально-расчетного метода метрологического оценивания бытовых счетчиков при ограниченном диапазоне контролируемых расходов, который обеспечивает реализацию бездемонтажной метрологической проверки счетчиков во всем диапазоне рабочих расходов. Она предусматривает экспериментальное определение погрешности счетчиков на минимальном рабочем расходе и расходе, который соответствует 20% от максимального, а также расчетное определение погрешности счетчика на максимальном расходе с использованием статистически установленных закономерностей изменения погрешностей бытовых счетчиков при их эксплуатации с конкретизацией типоразмера и модели счетчика. Такой подход дает возможность осуществлять метрологические исследования счетчиков газа на природном газе и одновременно без демонтажа на месте эксплуатации. Раскрыты возможности применения предложенной методики для демонтажного метрологического контроля бытовых счетчиков при функционировании поверочных установок на воздухе, для которых снижаются требования относительно

верхнього діапазона робочих расходов. Приведенные результаты апробации разработанной методики метрологического контроля бытовых счетчиков газа с использованием ограниченного диапазона рабочих расходов, которые подтвердили правильность методического подхода для его практического применения. Обоснована целесообразность разработки и утверждения соответствующего нормативного документа для практической реализации разработанной методики метрологических исследований бытовых счетчиков газа, которая будет соответствовать нормативным документам Украины и обеспечит реализацию метрологического контроля бытовых счетчиков на природном газе в условиях эксплуатации.

Ключевые слова: бытовой счетчик газа, метрологический контроль, природный газ, воздух, рабочие расходы, погрешность, эталонная установка, экспериментально-расчетный метод.

The analysis of the current regulatory documents governing the types, conditions and technical means of domestic gas meters metrological characteristics checking during their initial and periodic verification was carried out. The expediency of monitoring the domestic meters metrological characteristics with using of natural gas was substantiated. A new patent-protected methodology has been developed for the experimental-calculation method of metrological assessment of domestic meters with a limited work flow range, which ensures the implementation of dismountable metrological verification of gasmeters in the entire range of operating flow was work out. It provides of the experimental determination of the gasmeters error at the minimal work flow rate and the flow rate, which corresponds to 20% of the maximum, as well as the calculated determination of the gasmeter error at the maximum flow rate using statistically established patterns of change in the errors of domestic gasmeters during their operation with specification of the size and model of the meter. This approach makes it possible to carry out metrological studies of gas meters using natural gas and at the same time without dismantling at the place of operation. The possibilities of applying the proposed methodology for dismantling metrological control of domestic gasmeters during the operation of calibration facilities in the air were revealed, for which the requirements for the upper range of operating flows were reduced. The results of testing the developed methodology for metrological control of domestic gas meters using a limited range of operating flows, which confirmed the correctness of the methodological approach for its practical application. The expediency of developing and approving the relevant regulatory document for the practical implementation of the developed methodology for the metrological research of domestic gas meters, which will comply with the regulatory documents of Ukraine and ensure the implementation of metrological control of natural gas meters in operating conditions, was substantiated.

Keywords: domestic gas meter, metrological control, natural gas, air, operating flow, error, reference installation, experimental-calculation method.

Актуальність. Побутові лічильники газу (ПЛГ) у відповідності до Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність” [1] відносяться до законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, внаслідок чого при їх випуску і експлуатації в повній мірі повинні дотримуватися вимоги чинних нормативних документів, в тому числі у сфері метрологічного забезпечення. Це стосується не тільки документів, які супроводжують виготовлення ПЛГ і оцінювання відповідності при затвердженні типу [2, 3], але і документів, дотримання яких необхідне при експлуатації. Вони необхідні, зокрема для здійснення періодичної повірки, яка проводиться впродовж періоду експлуатації лічильників газу через встановлений проміжок часу, який визначається міжповірочним інтервалом.

З врахуванням тієї обставини, що на сьогодні в Україні знаходиться в експлуатації близько 10 млн. ПЛГ [4] актуальним є

розширення бази еталонних та повірочних установок, яка на даний час в Україні є недостатньою. Сприятливі покращенню метрологічного забезпечення ПЛГ можуть також нові методики повірки ПЛГ, які би дозволяли підвищити продуктивність повірочних операцій на установках при одночасному дотриманні необхідних метрологічних вимог з врахуванням чинної повірочної схеми [5] у сфері вимірювання об’єму та об’ємної витрати газу.

Як відомо, повірка ПЛГ передбачає встановлення придатності до застосування лічильника газу на підставі результатів контролю його метрологічних характеристик, що здійснюється в установленому законодавством порядку [6], і повинна здійснюватися у відповідності до чинних нормативних документів. Тому нові або вдосконалені методи її реалізації повинні базуватися на розробленні нових і

вдосконалених методик метрологічного контролю ПЛГ.

Такий метрологічний контроль також може бути використаний при діагностуванні ПЛГ впродовж міжповірного інтервалу [7].

Поряд з цим, на сьогоднішній час в офіційних коментарях щодо практичних аспектів проведення періодичної повірки ПЛГ [8] запроваджується поняття “повірка лічильника газу на місці його встановлення” і конкретизується необхідність її проведення у присутності “споживача (власника або наймача об’єкта побутового споживача)”. При цьому очевидно є наявність необхідних чинних нормативних документів, які на даний час в Україні відсутні. Практична реалізація такого підходу може здійснюватися з використанням різних видів робочого середовища - повітря або природного газу [9]. Використання останнього суттєво підвищує достовірність метрологічного контролю ПЛГ і звичайно може бути реалізовано за умови функціонування еталонних установок на такому робочому середовищі.

Тому розроблення нових методик метрологічного контролю ПЛГ є актуальним напрямом наукових досліджень.

Аналіз відомих досліджень. Методи та засоби перевірки метрологічних характеристик ПЛГ конкретизуються відповідними чинними нормативними документами. При випробуванні лічильників на підприємстві-виробнику згідно національного стандарту [2] передбачається визначення похибки мембранних лічильників при випробуваннях на кожній із таких семи витрат q_{\min} ; $3q_{\min}$; $0,1q_{\max}$; $0,2q_{\max}$; $0,4q_{\max}$; $0,7q_{\max}$; q_{\max} при використанні повітря як робочого середовища.

Визначення відносної похибки лічильників у відповідності до вимог [10] під час прийнятно-здавальних випробувань проводять на витратах: q_{\min} ; $0,2q_{\max}$; q_{\max} і на витратах q_{\min} ; $3q_{\min}$ ($2q_{\min}$), $0,1q_{\max}$, $0,2q_{\max}$, $0,4q_{\max}$, $0,7q_{\max}$, q_{\max} за всіх інших випробувань. При цьому використовується повітря як робоче середовище.

Відповідно до [10] повірочні установки повинні забезпечувати повірку лічильників і працювати в діапазоні витрат, які відповідають робочим витратам лічильників, а також на витратах, рівних порогу чутливості ПЛГ. Границі допустимої відносної похибки

еталонної установки повинні бути не менш ніж у три рази вужчі за границі допустимої відносної похибки лічильників у відповідному діапазоні витрат при повірці з використанням робочого середовища повітря температурою від 18°C до 22°C , яка відповідає допустимій температурі навколишнього повітря еталонної установки і температурі робочого середовища еталонної установки.

Відносна похибка ПЛГ δ_L визначається експериментально шляхом пропуску через нього певного значення контрольного об’єму газу і обчислюється за формулою [2, 11]:

$$\delta_L = \frac{V_L - V_E}{V_E} \cdot 100, \% \quad (1)$$

де V_L – об’єм газу, який виміряв ПЛГ; V_E – об’єм газу, який переданий від еталонного засобу вимірювальної техніки (робочого еталону).

За результатами кількісного визначення відносної похибки ПЛГ за різних значень робочого діапазону витрат будується крива залежності відносної похибки лічильника від значення витрати, яка подається в його паспорті. Це проводиться з метою оцінювання відповідності згідно вимог технічного регламенту на ПЛГ, як на засоби вимірювальної техніки законодавчо регульованої сфери [3] і при первинній повірці ПЛГ на підприємстві-виробнику [1].

При метрологічних дослідженнях ПЛГ з врахуванням умов повірки і типу еталонних установок відносну похибку δ_L для ПЛГ згідно [10, 11] з урахуванням витрат тиску та різниці температури на вході лічильника і на виході робочого еталона обчислюють за формулою:

$$\delta_L = \left[\frac{V_L}{V_E} \cdot \frac{p_L}{p_E} \cdot \frac{T_E}{T_L} - 1 \right] \cdot 100\%,$$

або

$$\delta_L = \delta_V + K_p + K_T, \quad (3)$$

де p_E , p_L – значення абсолютного тиску в робочому еталоні та лічильнику відповідно, Па; T_E , T_L – значення абсолютної температури в робочому еталоні та лічильнику відповідно, К; K_p – поправка до відносної похибки лічильника, спричинена різницею тисків між входом

лічильника і виходом робочого еталона, %; K_T - поправка до відносної похибки лічильника, спричинена різницею температур вздовж випробувальної лінії на виході робочого еталона та на вході лічильника, %; δ_L – похибка ПЛГ без врахування зміни тиску і температури у випробувальній лінії робочого еталона.

Значення поправок обчислюється за формулами:

$$K_p = \frac{P_L - P_E}{P_E} \cdot 100\%, \quad (4)$$

$$K_T = \frac{T_L - T_E}{T_E} \cdot 100\%. \quad (5)$$

При періодичній повірці ПЛГ згідно [11] перевіряють основні метрологічні та технічні характеристики ПЛГ, а відносну похибку визначають тільки на трьох витратах q_{min} ; $0,2q_{max}$; q_{max} з повітряним робочим середовищем.

Згідно [12] для технічних об'єктів, якими є ПЛГ, може бути застосоване поняття діагностування і контролю технічного стану. Їх реалізація можлива шляхом проведення періодичного контролю ПЛГ. Техніко-метрологічні засади створення установок для реалізації такого підходу для перевіряння метрологічних характеристик ПЛГ відображені в [7]. Вони передбачають здійснення перевірки ПЛГ за обмеженою кількістю параметрів, наприклад, для обмеженого діапазону робочих витрат лічильників. Також можуть визначатися окремі технічні і метрологічні характеристики, які стосуються правильності функціонування ПЛГ, наприклад, визначення втрат тиску на лічильнику і визначення його порогу чутливості.

Незважаючи на відсутність на даний час нормативного документа щодо проведення технічного діагностування ПЛГ в Україні набув практичного застосування нормативно дозволений метод експрес-контролю ПЛГ [13]. Схема проведення експрес-контролю ПЛГ передбачає послідовне приєднання до діагностованого ПЛГ контрольний лічильник за допомогою спеціальних з'єднувальних шлангів через кран перед газоспоживним обладнанням. На вході контрольний лічильник манометром вимірюється надлишковий тиск природного газу і термометром його температура. Похибка ПЛГ обчислюється шляхом порівняння відлічених об'ємів

природного газу контрольним лічильником і ПЛГ згідно алгоритму (1).

Процедура проведення експрес-контролю передбачає визначення відносного відхилення результатів вимірювань контрольний об'єму газу тільки при витратах $2q_{min}$ і $0,1q_{max}$. В залежності від типорозміру лічильника (G1,6, G2,5, G4 чи G6) пропускається контрольний об'єм газу величиною від 15 до 40 дм³ при витраті $2q_{min}$ та від 50 до 150 дм³ при витраті $0,1q_{max}$. За результатами проведених вимірювань робиться висновок про можливість подальшої експлуатації ПЛГ. Однак юридично така операція не може бути використаною при періодичній повірці ПЛГ, оскільки контрольний лічильник повинен бути метрологічно атестованим на природному газі, що на сьогодні в Україні не здійснюється внаслідок відсутності еталонних установок з функціонуванням на природному газі, за допомогою яких могли би бути метрологічно атестовані еталонні лічильники.

Відомим є закордонний (Російська Федерація) нормативний документ [14], який стосується методики повірки ПЛГ на місці експлуатації за допомогою еталонного лічильника. Цей нормативний документ з описаною методикою повірки за своєю суттю відображає технічне рішення української методики експрес-контролю [13] так як застосовується еталонний лічильник (а в [14] контрольний лічильник). Для під'єднання еталонного лічильника у двох нормативних документах передбачено застосування гнучких шлангів, а при визначенні похибки здійснюють відлік показів з досліджуваного і контрольний лічильника в статичному режимі, тобто при відсутності потоку газу через ПЛГ. Також відтворення об'єму газу через ПЛГ, який проходить через обидва лічильники (контрольний і досліджуваний), реалізують методом спалювання газу у газоспоживних апаратах. Відмінність полягає у досліджуваних відтворюваних витратах: в українському документі [13] – це витрати $2q_{min}$; $0,1q_{max}$, а в російському [14] похибку визначають за мінімальної і максимальної можливих відтворюваних витрат, кількісні значення яких не конкретизовані. Однак головна відмінність – результат перевірки метрологічної характеристики: в українському [13] – це

контроль придатності до експлуатації, а в російському [14] – отримання результату проведення повірки. Також в [14] не конкретизовано, на якому середовищі повинен бути метрологічно атестованим еталонний лічильник, тільки сказано, що він повинен мати чинне свідоцтво про повірку.

Метою дослідження є розроблення та апробація нової методики метрологічного контролю побутових лічильників газу за обмеженим діапазоном робочих витрат.

Основний матеріал. Авторами розроблена нова методика для здійснення метрологічного контролю ПЛГ [15], яка дозволяє оцінити похибку ПЛГ у всьому діапазоні робочих витрат, завдяки чому такий підхід може відповідати чинним вимогам при розробленні нормативного документу для періодичної повірки ПЛГ. Ця методика базується на застосуванні експериментально-розрахункового методу визначення похибки ПЛГ у всьому діапазоні робочих витрат за обмеженим діапазоном контрольованих витрат. Суть методики полягає у використанні результатів експериментально визначених похибок ПЛГ на мінімальній витраті q_{\min} і на витраті 20% від максимальної витрати $0,2q_{\max}$, а похибку ПЛГ за максимальної витрати q_{\max} визначають розрахунковим методом із застосуванням статистично встановленої інтерполяційної залежності зміни похибки ПЛГ. Наукове обґрунтування цієї методики та її метрологічний аналіз викладені в [16].

При практичній реалізації метрологічного контролю попередньо необхідно статистично встановити усереднені фактичні значення похибок ПЛГ на витратах q_{\min} , $0,2q_{\max}$, q_{\max} за даними їх періодичної повірки після міжповірочного терміну експлуатації, який на сьогодні становить 8 років [17]. Далі перевіряють, щоб похибка кожного ПЛГ із контрольної вибірки на витраті q_{\min} знаходилася в межах від плюс 3% до мінус 6%. Значення цієї похибки характеризує побутовий лічильник як придатний до подальшої експлуатації [2, 11]. У випадку, якщо кількість лічильників з похибкою до мінус 6% на витраті q_{\min} буде меншою від тринадцяти, то число досліджуваних лічильників збільшують до досягнення необхідної вибірки в кількості тринадцяти лічильників.

Після цього розраховують середні значення похибок за формулами:

$$\bar{\delta}_{0,2q_{\max}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_{0,2q_{\max}i}, \quad (6)$$

$$\bar{\delta}_{q_{\max}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_{q_{\max}i}, \quad (7)$$

де $\bar{\delta}_{0,2q_{\max}}$, $\bar{\delta}_{q_{\max}}$ – статистично розраховані середні значення похибок лічильника на витратах $0,2q_{\max}$ і q_{\max} відповідно; $\delta_{0,2q_{\max}i}$, $\delta_{q_{\max}i}$ – експериментально визначені за допомогою еталонної установки похибки окремих i -тих ПЛГ із вибірки кількості N лічильників.

Далі статистично встановлюють різницю між похибками на витраті $0,2q_{\max}$ і на максимальній витраті q_{\max} за формулою:

$$\bar{\Delta\delta} = \bar{\delta}_{0,2q_{\max}} - \bar{\delta}_{q_{\max}} \quad (8)$$

де $\bar{\Delta\delta}$ – статистично встановлене середнє значення зміни похибок лічильників за витрат $0,2q_{\max}$ і q_{\max} .

Кількість лічильників ($N=13$) згідно теорії похибок при метрологічному аналізі вимірювань забезпечує досягнення достовірності результату з довірчою імовірністю 95%, яка є достатньою для більшості практичних вимірювань робочими засобами вимірювань, до яких відносяться побутові лічильники.

На основі отриманих статистичних даних для метрологічного оцінювання експериментально-розрахункового методу визначення похибки лічильника на максимальній витраті здійснюють розрахунок числового значення похибки при q_{\max} для кожного i -го досліджуваного лічильника:

$$\delta_{q_{\max}i} = \delta_{0,2q_{\max}i} - \bar{\Delta\delta}, \quad (9)$$

де $\delta_{q_{\max}i}$ – розраховане значення похибки i -го ПЛГ на витраті q_{\max} ; $\delta_{0,2q_{\max}i}$ – експериментально визначена похибка i -го ПЛГ при його дослідженні на витраті $0,2q_{\max}$; $\bar{\Delta\delta}$ – середнє значення зміни похибки лічильника при витраті q_{\max} порівняно з витратою $0,2q_{\max}$ для конкретного типорозміру ПЛГ (G1,6; G2,5; G4; G6) і конкретного підприємства-виробника ПЛГ.

Таким чином без проведення експериментального визначення похибки ПЛГ

за алгоритмом (1) стає можливим її визначення за алгоритмом (6)÷(9).

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 підвищується точність і достовірність отриманих результатів, оскільки дослідження ПЛГ здійснюються без їх демонтажу і транспортування до еталонної установки, при застосуванні реального робочого середовища – природного газу. При цьому також зменшуються вимоги щодо діапазону робочих витрат еталонних установок, адже практично неможливо на місці експлуатації ПЛГ відтворити максимальне значення витрат через досліджувані ПЛГ без застосування спеціальних пристроїв, наприклад, компресора.

Поряд з цим для реалізації вказаного методу бездемонтажного метрологічного контролю необхідне застосування повірочних 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 $\pm 0,6\%$ [18]. 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) з границею сумарної відносної похибки передавання одиниці об'єму газу $\pm 0,15\%$ в діапазоні витрат (0,016...10) м³/год.

Для перевірення правильності розробленої методики метрологічного контролю ПЛГ була проведена її апробація в умовах АТ «Івано-Франківськгаз» (м. Івано-Франківськ).

Експериментальне визначення похибок ПЛГ моделей САМГАЗ G4 і METRIX G4 здійснювалося з використанням установки повірочної дзвонового типу ІФЗ-2 з діапазоном вимірювань від 0,016 м³/год до 16 м³/год, яка призначена для визначення та

контролю метрологічних характеристик лічильників газу типорозмірів від G1,6 до G10 з використанням повітря як робочого середовища. Метрологічні характеристики установки: границя допустимої похибки $\pm 0,27\%$; розширена невизначеність вимірювань при коефіцієнті охоплення $k=2$ становить $\pm 0,27\%$.

Першим етапом експериментальних досліджень було визначення за допомогою повірочної установки похибок ПЛГ на трьох витратах (q_{\min} , $0,2q_{\max}$, q_{\max}) з метою статистичного встановлення закономірностей зміни похибок ПЛГ $\Delta\delta$ при q_{\max} відносно її значення при $0,2q_{\max}$ для вибірок по 13 лічильників моделей САМГАЗ G4 і METRIX G4 (табл.1, 2). Похибка ПЛГ $\delta_{q_{\min}}$ при мінімальній витраті визначалася тільки для придатних для подальшої експлуатації лічильників, тобто ця похибка повинна була знаходитися в межах від мінус 6% до плюс 3%.

Розрахунки середніх значень похибок здійснювалися за формулами (6)÷(7). При цьому для витрати q_{\min} при розрахунку $\bar{\delta}_{q_{\min}}$ використовувалася аналогічна формула.

Для кожної вибірки на вказаних вище трьох витратах розраховувалися середні квадратичні відхилення середніх значень похибок:

$$\sigma_{q_{\min}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{q_{\min i}} - \bar{\delta}_{q_{\min}})^2}{N(N-1)}}, \% \quad (10)$$

$$\sigma_{0,2q_{\max}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{0,2q_{\max i}} - \bar{\delta}_{0,2q_{\max}})^2}{N(N-1)}}, \% \quad (11)$$

Таблиця 1 – Статистичні метрологічні дослідження вибірки ПЛГ моделі САМГАЗ G4 для обчислення зміни похибки на витраті q_{\max}

Модель ПЛГ	Порядковий номер у вибірці	Рік виготовлення ПЛГ	Похибка, %			$\Delta\delta$
			$\delta_{q \max}$	$\delta_{0,2q \max}$	$\delta_{q \min}$	
САМГАЗ G4	1	2007	-0,04	0,98	-4,34	1,02
САМГАЗ G4	2	2008	-0,67	1,15	-3,57	1,82
САМГАЗ G4	3	2005	-1,30	0,44	-1,15	1,74
САМГАЗ G4	4	2011	0,40	2,58	-0,68	2,18
САМГАЗ G4	5	2012	1,91	2,94	0,77	1,03
САМГАЗ G4	6	2012	1,03	2,63	-4,92	1,60
САМГАЗ G4	7	2008	0,27	1,80	-3,68	1,53
САМГАЗ G4	8	2011	0,20	2,54	-2,81	2,34
САМГАЗ G4	9	2012	0,06	0,89	-2,82	0,83
САМГАЗ G4	10	2011	1,07	1,59	-5,04	0,52
САМГАЗ G4	11	2005	-0,68	1,53	-3,17	2,21
САМГАЗ G4	12	2011	-0,54	1,39	1,19	1,93
САМГАЗ G4	13	2008	-0,18	0,64	-1,42	0,82
$\bar{\delta}, \%$			0,12	1,62	-2,43	1,51
$\sigma, \%$			$\pm 0,238$	$\pm 0,228$	$\pm 0,563$	$\pm 0,166$

Таблиця 2 – Статистичні метрологічні дослідження вибірки ПЛГ моделі METRIX G4 для обчислення зміни похибки на витраті q_{\max}

Модель ПЛГ	Порядковий номер у вибірці	Рік виготовлення ПЛГ	Похибка, %			$\Delta\delta$
			$\delta_{q \max}$	$\delta_{0,2q \max}$	$\delta_{q \min}$	
METRIX G4	1	2009	-0,90	0,43	-1,68	1,33
METRIX G4	2	2004	0,58	2,11	-5,64	1,53
METRIX G4	3	2012	-0,93	0,45	1,64	1,38
METRIX G4	4	2001	-0,41	0,98	-4,34	1,39
METRIX G4	5	2008	0,22	0,79	-3,00	0,57
METRIX G4	6	2012	0,28	1,36	-1,69	1,08
METRIX G4	7	2007	-1,41	0,70	1,18	2,11
METRIX G4	8	2004	1,24	2,03	-1,73	0,79
METRIX G4	9	2010	-0,77	0,08	-2,45	0,85
METRIX G4	10	2004	1,38	2,51	0,28	1,13
METRIX G4	11	2005	0,67	1,76	-1,39	1,09
METRIX G4	12	2007	-0,03	1,05	-5,88	1,08
METRIX G4	13	2007	-1,73	0,25	-1,27	1,98
$\bar{\delta}, \%$			-0,14	1,12	-2,00	1,254
$\sigma, \%$			$\pm 0,271$	$\pm 0,216$	$\pm 0,644$	$\pm 0,122$

$$\sigma_{q_{\max}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{q_{\max i}} - \bar{\delta}_{q_{\max}})^2}{N(N-1)}}, \% \quad (12)$$

де $\sigma_{q_{\min}}$, $\sigma_{0,2q_{\max}}$, $\sigma_{q_{\max}}$ – середні квадратичні відхилення середніх значень похибок вибірки ПЛГ на витратах q_{\min} , $0,2q_{\max}$ і q_{\max} відповідно.

Кількісна зміна похибки i -того ПЛГ при q_{\max} , відносно її значення при $0,2q_{\max}$ розраховувалася за формулою

$$\Delta\delta_i = \delta_{0,2q_{\max i}} - \delta_{q_{\max i}} \quad (13)$$

Середнє значення зміни похибки $\Delta\bar{\delta}$ і середнє квадратичне відхилення її середнього значення $\sigma_{\Delta\delta}$ обчислювалися за формулами:

$$\Delta\bar{\delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta\delta_i \quad (14)$$

$$\sigma_{\Delta\delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta\delta_i - \Delta\bar{\delta})^2}{N(N-1)}} \quad (15)$$

Другим етапом при апробації була реалізація експериментально-розрахункового методу визначення похибки ПЛГ на максимальній витраті для довільно сформованої вибірки із п'яти лічильників моделей САМГАЗ G4 і METRIX G4 (табл. 3, 4).

Таблиця 3 – Результати апробації застосування експериментально-розрахункового методу визначення похибки ПЛГ моделі САМГАЗ G4 на максимальній витраті

Модель ПЛГ	Порядковий номер у вибірці	Рік виготовлення ПЛГ	Похибка експериментальна, %			Похибка розрахункова, %	Різниця, %
			$\delta_{q_{\max}}$	$\delta_{0,2q_{\max}}$	$\delta_{q_{\min}}$	$\delta_{q_{\max}} \text{ розр.}$	$\Delta\delta_M = \delta_{q_{\max}} \text{ розр.} - \delta_{q_{\max}}$
САМГАЗ G4	1	2011	0,14	1,52	-4,38	$0,01 \pm 0,51$	-0,13
САМГАЗ G4	2	2010	0,41	1,60	-0,37	$0,09 \pm 0,51$	-0,32
САМГАЗ G4	3	2011	0,87	2,57	-3,30	$1,06 \pm 0,51$	0,19
САМГАЗ G4	4	2012	0,03	1,52	-2,09	$0,01 \pm 0,51$	-0,02
САМГАЗ G4	5	2008	0,50	1,81	-4,02	$0,30 \pm 0,51$	-0,20

Таблиця 4 – Результати апробації застосування експериментально-розрахункового методу визначення похибки ПЛГ моделі METRIX G4 на максимальній витраті

Модель ПЛГ	Порядковий номер у вибірці	Рік виготовлення ПЛГ	Похибка експериментальна, %			Похибка розрахункова, %	Різниця, %
			$\delta_{q_{\max}}$	$\delta_{0,2q_{\max}}$	$\delta_{q_{\min}}$	$\delta_{q_{\max}} \text{ розр.}$	$\Delta\delta_M = \delta_{q_{\max}} \text{ розр.} - \delta_{q_{\max}}$
METRIX G4	1	2005	-1,57	0,80	-5,15	$-0,45 \pm 0,36$	1,12
METRIX G4	2	2009	-0,20	2,20	-2,15	$0,95 \pm 0,36$	1,15
METRIX G4	3	2008	-0,05	1,08	-2,98	$-0,17 \pm 0,36$	-0,12
METRIX G4	4	2007	-2,52	-1,04	-4,22	$-2,29 \pm 0,36$	0,23
METRIX G4	5	2007	-2,32	-0,33	-2,13	$-1,58 \pm 0,36$	0,74

При цьому визначалися експериментальним шляхом похибки для кожного лічильника на трьох витратах q_{\min} , $0,2q_{\max}$, q_{\max} і порівнювалися фактичні похибки на максимальній витраті $\delta_{q_{\max}}$ з розрахованим її значенням $\delta_{q_{\max}}^{\text{розр}}$ згідно розробленої методики метрологічного контролю ПЛГ за обмеженим діапазоном робочих витрат.

Розраховане значення похибки для конкретного i -го ПЛГ $\delta_{q_{\max}}^{\text{розр}}$ при максимальній витраті q_{\max} обчислювалися за формулою:

$$\delta_{q_{\max}}^{\text{розр}} = \delta_{0,2q_{\max}i} - \Delta\bar{\delta} \pm 3\sigma_{\Delta\delta} \quad (16)$$

Різницю між розрахованим значенням похибки за максимальної витрати $\delta_{q_{\max}}^{\text{розр}}$ і експериментально визначеної похибки ПЛГ $\delta_{q_{\max}}$ за цих умов можна вважати методичною похибкою $\Delta\delta_M$ експериментально-розрахункового методу визначення похибки ПЛГ, що подається формулою:

$$\Delta\delta_M = \delta_{q_{\max}}^{\text{розр}} - \delta_{q_{\max}} \quad (17)$$

На рис.1 наведена графічна ілюстрація результатів апробації.

На рис.1 вказано розраховані та експериментально визначені похибки досліджуваних ПЛГ за максимальної робочої витрати. Також означений допустимий діапазон визначення розрахункових значень похибок, який знаходиться в межах $\pm 0,51\%$ для САМГАЗ G4 і $\pm 0,36\%$ для METRIX G4 і обчислений як $\pm 3\sigma_{\Delta\delta}$. Допустимий діапазон зміни статистично розрахованого середнього значення похибки $D_{\bar{\delta}}$ за максимальної витрати становить $\pm 0,72\%$ і $\pm 0,91\%$ відповідно для лічильників САМГАЗ G4 і METRIX G4 і обчислені як $\pm 3\sigma_{q_{\max}}$. Вихід похибок 3-го ПЛГ (САМГАЗ G4) і 4,5-го ПЛГ (METRIX G4) за межі діапазону $D_{\bar{\delta}}$ характеризує їх похибку при роботі за максимальних витрат і не є підставою для необхідності кореляції з цим діапазоном.

Встановлено можливість застосування методики метрологічного контролю ПЛГ за обмеженим діапазоном нормованих відтворюваних робочих витрат, оскільки різниця між розрахованою похибкою лічильників на максимальній витраті і експериментально визначеною на повірочній установці не перевищує $0,35\%$ для ПЛГ моделі САМГАЗ G4 і $1,15\%$ для ПЛГ моделі METRIX G4, що практично не перевищує половини

допустимої похибки ($\pm 2\%$) ПЛГ на максимальній витраті.

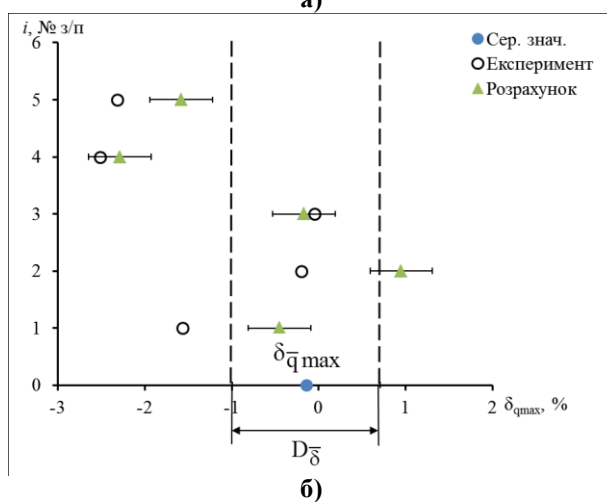
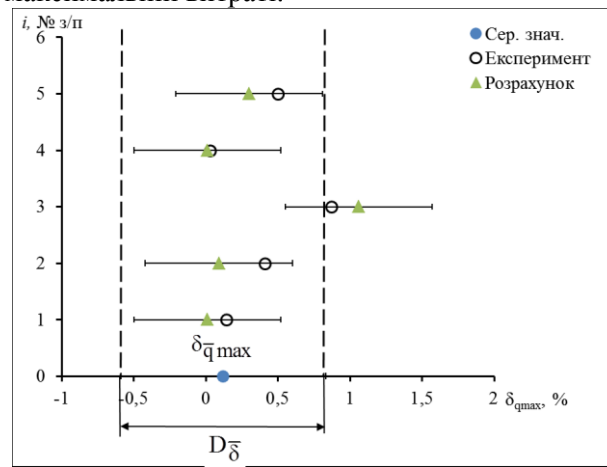


Рисунок 1 – Графічна ілюстрація результатів апробації метрологічного контролю ПЛГ моделей САМГАЗ G4 (а) і METRIX G4 (б)

Поряд з цим доцільним є проведення подальших досліджень з формуванням вибірок при визначенні середніх значень зміни похибок для двох діапазонів похибок ПЛГ $\pm 3\%$ і $(-3 \dots -6)\%$, що повинне зменшити методичну похибку визначення її розрахункового значення порівняно з фактичним експериментально встановленим значенням.

Висновки. Розроблена методика метрологічного контролю ПЛГ забезпечує можливість метрологічного оцінювання ПЛГ у всьому діапазоні нормованих витрат, включно з максимальною витратою, що передбачено нормативними документами України. При цьому стає можливим здійснювати метрологічні дослідження на місці експлуатації та із застосуванням природного газу як робочого

середовища. Запропонована методика метрологічного контролю ПЛГ також може бути застосована за умови їх демонтажу з місця експлуатації і застосування при цьому повірочних установок із повітряним робочим середовищем, до яких за таких умов зменшуються вимоги щодо верхнього діапазону робочих витрат. Практична реалізація запропонованої методики метрологічного контролю ПЛГ можлива після розроблення і затвердження відповідного нормативного документа.

Наведені результати апробації метрологічного контролю ПЛГ за обмеженим діапазоном робочих витрат підтвердили правильність і можливість такого методичного підходу для його практичного застосування.

Список використаних джерел

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [від 05.06.2014р., № 1314-VII: у редакції від 01.05.2019 р.].

2. ДСТУ 1359:2006. (EN 1359:1998, IDT). Лічильники газу мембранні. Загальні технічні умови. [Чинний від 2007-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. IV, 45 с. (Національний стандарт України).

3. Закон України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» [від 15.01.2015 р., № 124-VIII].

4. Облік газу в дії: скільки газових лічильників встановлено в Україні. [Електронний ресурс] URL: <https://104.ua/ua/gas>

5. 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. (Національний стандарт України).

6. Постанова НКРЕКП "Про затвердження Кодексу газорозподільних систем" № 2494 від 30.09.2015 [із змінами: у редакції від 17.03.2020].

7. Середюк О. Є., Чеховський С. А., Винничук А. Г. Техніко-метрологічні засади побудови діагностувальних установок для побутових лічильників газу. *Нафтова і газова промисловість*. 2006. № 6. С. 38–42.

8. Періодична повірка лічильників газу. URL: <https://www.nerc.gov.ua/?id=18957> (дата звернення: 03.04.2020). Назва з екрану.

9. Лютенко Т. В., Середюк О. Є., Аналіз принципів побудови і технічних можливостей засобів для бездемонтажного метрологічного перевіряння побутових лічильників газу. *Методи та прилади контролю якості*. 2016. №2 (37). С. 20-29.

10. ДСТУ 3607-97. Лічильники газу побутові. Правила приймання та методи випробувань. [Чинний від 1998-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 1997. 24 с. (Державний стандарт України).

11. P50-071-98. Метрологія. Лічильники газу побутові. Методи та засоби повірки. [Чинний від 1998-03-27]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 1998. III, 20 с. (Рекомендації).

12. ДСТУ 2389-94 Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. [Чинний від 1995-01-01]. К.: Держстандарт України, 1995. 23 с. (Державний стандарт України).

13. Інструкція щодо обслуговування та експрес-контролю побутових лічильників газу, які знаходяться в експлуатації. Офіц. вид. [Затв. 1996–02–28. Держком. нафтової, газової та нафтопереробної промисловості]. К. 1996. 19 с.

14. МИ 2944-2005. ГСОЕИ. Счетчики газа бытовые. Методика поверки на месте эксплуатации с помощью эталонного счетчика. М.: Госстандарт России, 2005. 5с.

15. Спосіб повірки побутових лічильників газу / О. Є. Середюк, Т. В. Лютенко: пат. 116046 С2 Україна, МПК (2017.01) G01 F 25/00. № а201605643; заявл. 25.05.16; опубл. 25.01.18, Бюл. № 2.

16. Середюк О. Є., Винничук А. Г., Лютенко Т. В. Дослідження можливості оцінювання об'єму газу побутовими лічильниками у всьому діапазоні витрат з використанням статистичних методів. *Український метрологічний журнал*. 2018. №2. С. 34–45.

17. Наказ Мінекономрозвитку і торгівлі України "Про затвердження Порядку проведення повірки з законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів" № 193 від 08.02.2016.

18. Винничук А.Г., Середюк О.Є., Метрологічні дослідження перевіркою установок для побутових лічильників газу.

Нафтогазова енергетика. 2011. №1(14). С. 102-108.

References

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [від 05.06.2014р., № 1314-VII: у редакції від 01.05.2019 р.]. [in Ukrainian]

2. DSTU 1359:2006. (EN 1359:1998, IDT). Личильники газу мембранні. Загальні технічні умови. [Чинний від 2007-01-01]. Вид. офіс. Київ: Держспозживстандарт України, 2007. IV, 45 с. (Національний стандарт України). [in Ukrainian]

3. Закон України «Про технічні регламенти та отсинку відповідності» [від 15.01.2015 р., № 124-VIII]. [in Ukrainian]

4. Облік газу в дії: скільки газів вичисляти встановлено в Україні. URL: <https://104.ua/ua/gas> (дата звернення: 11.03.2020). Назва з екрану. [in Ukrainian]

5. DSTU 3383:2015. Метрологія. Державна повітряна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу. [Чинний від 2016-01-01; на заміну DSTU 3383:2007]. Вид. офіс. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015. II, 5 с. (Національний стандарт України). [in Ukrainian]

6. Постанова НКРЕКП "Про затвердження Кодексу hazardopodilnykh system" № 2494 від 30.09.2015 [із змінами: у редакції від 17.03.2020]. [in Ukrainian]

7. Serediuk O. Ye., Chekhovskiy S. A., Vynnychuk A. H. Техніко-метрологічні засади побудови діагностувальних установок для побутових лічильників газу. *Нафтова і газова промисловість*. 2006. No 6. P. 38–42. [in Ukrainian]

8. Periodychna povirka lichylnykyv hazu. URL: <https://www.nerc.gov.ua/?id=18957> (дата звернення: 03.04.2020). [in Ukrainian]

9. Liutenko T.V., Serediuk O.Ye., Analiz pryntsyypiv pobudovy i tekhnichnykh mozhlyvostey zasobiv dlia bezdemontazhnogo metrolohichnogo pereviriannya pobutovykh lichylnykyv hazu. *Metody ta prylady kontroliu yakosti*. 2016. No 2 (37). P. 20-29. [in Ukrainian]

10. DSTU 3607-97. Личильники газу побутові. Правила приймання та методи

випробування. [Чинний від 1998-07-01]. Вид. офіс. Київ: Держспозживстандарт України, 1997. 24 p. (Державний стандарт України). [in Ukrainian]

11. R50-071-98. Метрологія. Личильники газу побутові. Методи та засоби повірки. [Чинний від 1998-03-27]. Вид. офіс. Київ: Держспозживстандарт України, 1998. III, 20 p. (Рекомендації). [in Ukrainian]

12. DSTU 2389-94 Технічне діагностування та контроль технічного стану. Термины та визначення. [Чинний від 1995-01-01]. К.: Держстандарт України, 1995. 23 p. (Державний стандарт України). [in Ukrainian]

13. Instruktziia shchodo obsluhovuvannya ta ekspres-kontroliu pobutovykh lichylnykyv hazu, yaki znakhodiatsia v ekspluatatsii. Ofits. vyd. [Zatv. 1996–02–28. Derzhkom. naftovoi, hazovoi ta naftopererobnoi promyslovosti]. K. 1996. 19 p. [in Ukrainian]

14. MY 2944-2005. HSOEY. Schetchyky haza bitovie. Metodyka poverky na meste ekspluatatsyy s pomoshchiu etalonnogo schetchyka. M.: Hosstandart Rossyy, 2005. 5p. [in Russian]

15. Sposib povirky pobutovykh lichylnykyv hazu / O. Ye. Serediuk, T. V. Liutenko: pat. 116046 S2 Ukraina, MPK (2017.01) G01 F 25/00. № a201605643; zaiavl. 25.05.16; opubl. 25.01.18, Biul. No 2. [in Ukrainian]

16. Serediuk O.Ye., Vynnychuk A.H., Liutenko T.V. Doslidzhennia mozhlyvosti otsiniuvannya ob'єmu hazu pobutovymy lichylnykyamy u vsomu diapazoni vytrat z vykorystanniam statystychnykh metodiv. *Ukrainskyi metrolohichnyi zhurnal*. 2018. No 2. P. 34–45. [in Ukrainian]

17. Nakaz Minekonomrozvytku i torhivli Ukrainy "Pro zatverdzhenia Poriadku provedennia povirky z zakonodavcho rehulovanykh zasobiv vymiriuvanoi tekhniki, shcho perebuvaiut v ekspluatatsii, ta oformlennia yii rezultativ" No 193 від 08.02.2016. [in Ukrainian]

18. Vynnychuk A.H., Serediuk O.Ye., Metrolohichni doslidzhennia perevirochnoi ustanovky dlia pobutovykh lichylnykyv hazu. *Naftohazova enerhetyka*. 2011. No 1(14). P. 102-108. [in Ukrainian].