МЕТОДИ І ПРИЛАДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДКОЇ І ГАЗОПОДІБНОЇ ФАЗ

УДК 006.91:681.121

DOI: 10.31471/1993-9981-2018-2(41)-44-57

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ПОБУТОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ

О.Є. Середюк [1)], А.Г. Винничук [1)], Д.О. Середюк [2)], О.С. Криницький [1)]
1) Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, lvt@nung.edu.ua, tel.+380342727168
2) ДП «Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації», вул. Вовчинецька 127, м. Івано-Франківськ, 76006

Розглянуто актуальність розроблення і дослідження інформаційних моделей побутових лічильників газу (ПЛГ), які базуються на вивченні статистичних закономірностей зміни їх метрологічних характеристик за умов експлуатації. Основним інформативним параметром при статистичних дослідженнях вибрана похибка ПЛГ при вимірюванні об'єму газу за мінімальних паспортних робочих витрат, яка визначається експериментальним шляхом під час періодичної повірки ПЛГ з використанням еталонних повірочних установок. Розкрито принципи формування вибірок ПЛГ для статистичних досліджень. Здійснений метрологічний аналіз отриманих результатів статистичних досліджень для мембранних ПЛГ типорозмірів G4 і G6 моделей GALLUS (Франція), METRIX (Польща), SAMGAS (Україна). Встановлені статистичні закономірності і кількісні значення зміни похибок ПЛГ, що підтверджують подібність зміни похибки ПЛГ різних виробників після завершення їх міжповірочного терміну експлуатації. Виявлено відсутність кореляції між зміною похибки ПЛГ в діапазоні витрат від мінімальної до 20% від максимальної і в другому діапазоні витрат - 20% від максимальної витрати до максимальної. Побудовані гістограми, які відображають закономірності зміни мембранних ПЛГ, похибка яких на мінімальній витраті змінюється від мінус 30% до плюс 3%. Статистично оцінена кількість придатних для подальшої експлуатації після повірки лічильників типорозмірів G4 і G6 моделі METRIX. Здійснений порівняльний аналіз закономірностей зміни похибки для цих типорозмірів лічильників. Наведені результати статистичних досліджень похибки мембранних ПЛГ від тривалості їх експлуатації. Охарактеризовані статистичні закономірності впливу інтенсивності функціонування мембранних ПЛГ за результатами виміряних ними об'ємів газу в міжповірочний період.
Ключові слова: побутовий лічильник газу, інформаційна модель, похибка, витрата, метрологічні дослідження, статистичне оцінювання.

Рассмотрена актуальность разработки и исследования информационных моделей бытовых счетчиков газа (БСГ), основанных на изучении статистических закономерностей изменения их метрологических характеристик в условиях эксплуатации. Основным информативным параметром при статистических исследованиях выбрана погрешность БСГ при измерении объема газа при минимальных паспортных рабочих расходах, которая определяется экспериментальным путем при периодической поверке БСГ с использованием эталонных поверочных установок. Раскрыты принципы формирования выборок БСГ для статистических исследований. Проведен метрологический анализ полученных результатов статистических исследований для мембранных БСГ типоразмеров G4 и G6 моделей GALLUS (Франция), METRIX (Польша), SAMGAS (Украина). Установлены статистические закономерности и количественные значения изменения погрешностей БСГ, подтверждающие сходство изменения погрешности БСГ различных производителей после завершения их межповерочного срока эксплуатации. Выявлено отсутствие корреляции между изменением погрешности БСГ в диапазоне расходов от минимальной до 20% от максимальной и во втором диапазоне расходов - 20% от максимального расхода до максимальной. Построены гистограммы, отражающие закономерности изменения мембранных БСГ, погрешность которых на минимальном расходе меняется от минус 30% до плюс 3%. Статистически оценено количество пригодных для дальнейшей эксплуатации после поверки счетчиков типоразмеров G4 и G6 модели METRIX. Проведен сравнительный анализ закономерностей

изменения погрешности для этих типоразмеров счетчиков. Приведенные результаты статистических исследований погрешности мембранных БСГ от продолжительности их эксплуатации. Охарактеризованы статистические закономерности влияния интенсивности функционирования мембранных БСГ по результатам измеренных ними объемов газа в межповерочный период.
Ключевые слова: бытовой счетчик газа, информационная модель, погрешность, расход, метрологические исследования, статистическое оценивание.

The relevance of the development and research of household gas meters (HGM) information models, based on the study of statistical patterns of changes in their metrological characteristics under operating conditions, is considered. The main informative parameter for statistical studies is the selected HGM error when measuring the gas volume at the minimum passport operating expenses, which is determined experimentally during periodic calibration of the HGM using reference calibration facilities. The principles of the formation of samples of HGM for statistical studies are disclosed. A metrological analysis of the results of statistical studies for membrane slant gauges of G4 and G6 sizes, models GALLUS (France), METRIX (Poland), SAMGAS (Ukraine) was carried out. Statistical regularities and quantitative values of changes in the errors of HGM are established, confirming the similarity of changes in the errors of HGM of various manufacturers after the completion of their verification period of operation. The absence of correlation between the change in the error of HGM in the flow range from the minimum to 20% of the maximum and in the second flow range - 20% from the maximum flow to the maximum is revealed. The histograms were constructed, reflecting the regularities of changes in membrane HGM, the error of which at the minimum flow rate varies from minus 30% to plus 3%. The number of the METRIX model G4 and G6 counters that are suitable for further operation after calibration is statistically estimated. A comparative analysis of the laws of change in the error for these sizes of counters has been carried out. The results of statistical studies of the error membrane HGM from the duration of their operation. The statistical regularities of the influence of the intensity of the functioning of membrane HGM are characterized according to the results of measured gas volumes during the intertest period.
Keywords: household gas meter, information model, error, consumption, metrological studies, statistical estimation.

Сьогоденні аспекти вирішення питань енергозбереження і раціонального використання природного газу населенням України неможливі без застосування побутових лічильників газу (ПЛГ). Однак їх значна кількість в експлуатації (понад 9,5 млн.) вимагає здійснення їх періодичної повірки за допомогою еталонних установок. Опрацювання статистичних результатів повірки ПЛГ відкриває можливості щодо дослідження питання стабільності метрологічних характеристик ПЛГ, насамперед їх похибки при експлуатації. Адже її визначення при періодичній повірці після певного терміну експлуатації ПЛГ, наприклад 8 років [1], опосередковано характеризує втрати газу газозбутових організацій. Тому результати експериментальних досліджень ПЛГ під час їх періодичної повірки є насамперед статистичною інформацією про функціонування цих засобів вимірювань в експлуатаційних умовах і є об'єктом уваги метрологічних підрозділів організацій, що здійснюють повірку лічильників. Ця інформація подається у вигляді значень похибок для конкретних засобів вимірювань у звітній документації цих організацій. Узагальнення результатів повірки, як правило, в наукових джерелах не подається, що свідчить про недостатню вивченість на даний час цього питання і характеризує актуальність досліджуваної задачі.

Поряд з цим розвиток практичних аспектів метрологічного забезпечення ПЛГ при їх експлуатації повинен бути спрямований на підставі вивчення закономірностей зміни похибки ПЛГ впродовж міжповірочного терміну. Це може сприяти не тільки виявленню конструктивних недоліків при експлуатації ПЛГ, але і слугувати підставою для запровадження рекомендацій щодо зміни тривалості міжповірочного терміну експлуатації. Статистичні дослідження експлуатаційних метрологічних характеристик ПЛГ можуть сприяти поглибленню вивчення питання стосовно експлуатаційного (без повірки з наступною заміною) терміну використання побутових лічильників, як це реалізовано, наприклад в Польщі [2]. Такий підхід зумовлює необхідність вивчення закономірностей зміни похибки не окремих досліджуваних ПЛГ, а статистичного інформаційного оцінювання досліджуваних впливових факторів на якість функціонування ПЛГ.

Аналіз відомих досліджень. Відомими є результати метрологічних досліджень ПЛГ в

експлуатаційних умовах, які стосуються невеликої кількості або окремих приладів і отримання кривих їхньої похибки [3,4]. Результати експериментальних досліджень ПЛГ стосуються досліджень обмеженої кількості лічильників (трьох типів типорозміру G4 по 15 штук), які отримані на еталонній установці ПАТ «Івано-Франківськгаз». Узагальнення проведених результатів досліджень було здійснено з метою спроби моделювання метрологічних характеристик ПЛГ для встановлення закономірностей зміни похибки ПЛГ. Результати показали, що практично відсутні узагальнені закономірності зміни похибок ПЛГ, які між собою суттєво відрізняються. Поряд з цим підтверджується закономірність зміщення похибки у від'ємну сторону на витратах, що наближаються до мінімальних.

Ці результати досліджень є неповними, оскільки не відображають зміну похибки з врахуванням статистичних характеристик для конкретного типорозміру ПЛГ, наприклад, з оцінкою середнього квадратичного відхилення зміни похибки. Також на даний час є відсутніми алгоритми, які би враховували кількість лічильників з одним діапазоном похибки порівняно з загальною кількістю досліджуваних лічильників. Середнє арифметичне значення експериментально визначеної статистичної похибки ПЛГ на певній витраті без конкретизації особливостей формування вибірок є недостатньо правильним. Так, наприклад, наявність похибки мінус 15 % на одній досліджуваній витраті одного лічильника при визначенні середнього значення цієї похибки може звести її до нуля при наявній похибці плюс 1% на такій самій витраті для 15 лічильників. Тому арифметичне сумування без вираховування відносної кількості лічильників, яким властива похибка, може бути в багатьох випадках недостатньо коректним.

У працях закордонних дослідників також аналізувалися метрологічні характеристики окремих вибірок мембранних лічильників газу в залежності від тривалості їх експлуатації [2]. В цій публікації основний акцент зроблений на вивчення закономірностей зміни усереднених значень похибок при витратах q_{min}, $0{,}2q_{max}$ і q_{max} для семи груп лічильників типорозміру G4, які почали експлуатуватися з 1992 по 1999 р.р. Тут наводяться графічні закономірності зміни похибок в залежності від початку року експлуатації, які також вказують на зміщення похибки у від'ємну сторону із зростанням терміну експлуатації, що в більшій мірі виявлено на витратах менших від $0{,}2q_{max}$. При цьому в статті досліджується економічна складова втрат газу за рахунок його недообліку, вказується кількісна грошова вартість втрат газу, однак не подається методологія розрахунку вартості втрат газу. Поряд з цим тут обґрунтовується, що після 15 років експлуатації побутові лічильники підлягають заміні згідно чинних нормативних документів Польщі.

У закордонній публікації [5] досліджено вплив різних нормативно запроваджених методик по оцінюванню закономірностей зміни похибок мембранних лічильників. Відмінності полягають у застосуванні при метрологічних дослідженнях лічильників різних видів робочого середовища (повітря, природний газ), а також різних температурних умов експлуатації (значення навколишньої температури: мінус 25 ºС, 20 ºС, близько 55 ºС). Наведена графічна ілюстрація кривих похибок лічильників типорозміру G4 за різних експлуатаційних умов. Однак в статті не розглядаються статистичні метрологічні характеристики лічильників в експлуатаційних умовах.

Апробація одних із перших в цьому напрямі наукових досліджень в Україні стосовно закономірностей зміни експлуатаційних похибок різних типів мембранних ПЛГ (GALLUS, METRIX, SAMGAS) типорозміру G4 здійснена за нашою участю на всеукраїнській науково-технічній конференції в 2017р. [6] і актуальність розвитку досліджень у цьому напрямі була підтверджена за результатами участі у міжнародному семінарі метрологів MSM 2017 (Польща) [7].

За основу статистичного дослідження вибрані результати повірки понад трьох тисяч ПЛГ на еталонній установці ПАТ «Івано-Франківськгаз». Відповідно до [8,9] похибка ПЛГ експериментально визначалася на трьох робочих витратах q_{min}, $0{,}2q_{max}$ і q_{max}. При цьому був реалізований поділ лічильників за їх типорозмірами, підприємствами-виробниками і за діапазоном зміни похибок. За основу формування вибірок вибраний діапазон отриманих значень похибки, яка визначалася за

найменшої (мінімальної) робочої витрати лічильників q_{min}. За останнім показником сформовані п'ять діапазонів зміни похибок. Діапазон додатніх похибок від 0 до +3% при q_{min} (*діапазон 1*) і діапазон від'ємних значень похибок від 0 до мінус 3% (*діапазон 2*), які відображають максимально допустимі початкові похибки ПЛГ (±3%) при первинній повірці, тобто при випуску на підприємстві-виробнику. Діапазон від'ємних похибок від мінус 3 до мінус 6% (*діапазон 3*) характеризує найбільш допустиму зміну ресурсної похибки в експлуатаційних умовах [10,11]. В Україні при періодичній повірці вона відповідає діапазону від мінус 6% до +3%. Ця похибка відповідає умовам, коли ПЛГ проходить повірку і не бракується. Для дослідження також було вибрано ще два діапазони від'ємних похибок, які зустрічаються при повірці і при яких лічильники можуть бути відремонтовані. Це діапазон від'ємних похибок від мінус 6 до мінус 15% (*діапазон 4*) і діапазон від'ємних похибок від мінус 15 до мінус 30% (*діапазон 5*). Далі була вибрана статистична кількість лічильників одного типорозміру конкретного виробника, значення похибки яких знаходились би у п'яти вказаних вище діапазонах. Таким чином, було вибрано для аналізу три підприємства-виробники мембранних лічильників типорозмірів GALLUS G4 (Франція), METRIX G4 (Польща), SAMGAS G4 (Україна).

Графічна ілюстрація результатів таких досліджень наведена на рис.1 [12].

З отриманих результатів слідує, що зміна похибок ПЛГ характеризуються статистично подібними закономірностями, тобто очевидним є їх суттєве зменшення в діапазоні від q_{min} до $0{,}2q_{max}$, і набагато менша зміна похибки в діапазоні від $0{,}2q_{max}$ до q_{max}. Ці закономірності не суперечать відомим закономірностям зміни похибки нових, не бувших в експлуатації мембранних ПЛГ. Однак достатньо неочікуваним є факт практично одинакової закономірності зміни похибки в діапазоні від $0{,}2q_{max}$ до q_{max} при суттєво інших закономірностях зміни похибки ПЛГ в діапазоні від q_{min} до $0{,}2q_{max}$. Кількісна характеристика зміни похибки ПЛГ може бути оцінена тільки на підставі статистичного аналізу лічильників, які пройшли періодичну повірку на еталонних установках.

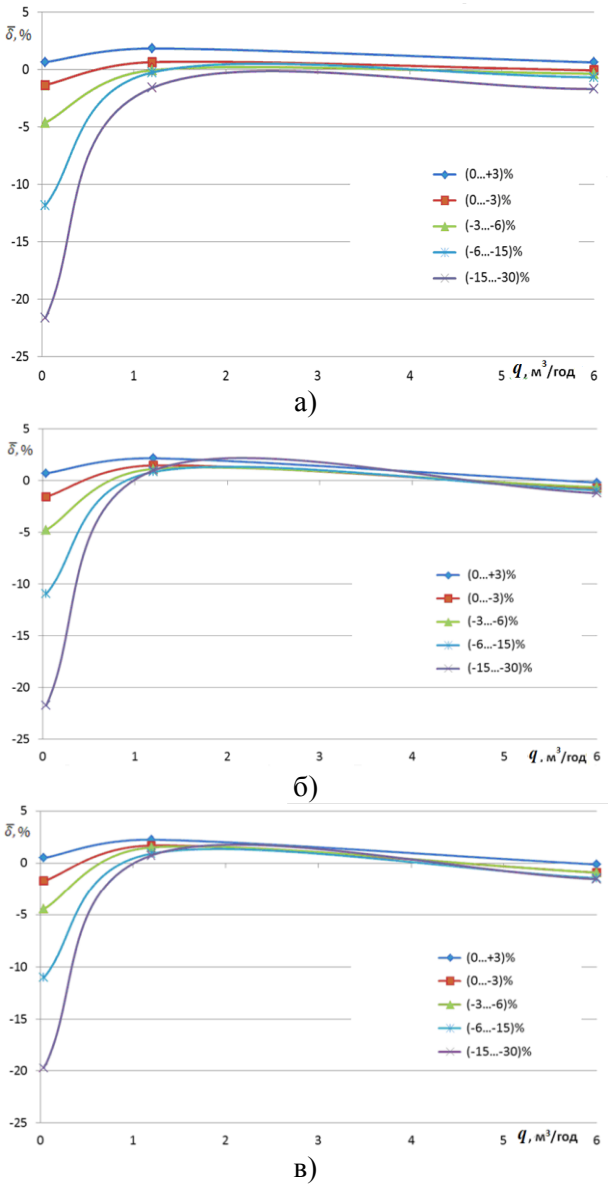


Рисунок 1 - Графічна ілюстрація зміни середнього значення похибки ПЛГ типорозміру G4 при п'яти різних її діапазонах на мінімальній витраті q_{min} для лічильників GALLUS (а), METRIX (б), SAMGAS (в)

Крім того, такий аналіз дає можливість визначати закономірності зміни похибок для різних ступенів спрацювання вузлів механізмів лічильників: зокрема для лічильників, у яких похибка на мінімальних витратах є додатня; для лічильників у яких похибках на мінімальних витратах не перевищує мінус 15%, що може характеризувати середню ступінь спрацювання ПЛГ; для лічильників, у яких ступінь спрацювання є суттєва (похибка в діапазоні від мінус 15 до мінус 30%). За цими

закономірностями можна статистично оцінювати доцільність ремонту лічильника або визначати умови, коли він підлягає заміні на справний.

Метою дослідження є узагальнення результатів експериментальних досліджень ПЛГ за результатами їх періодичної повірки з використанням статистичного аналізу, виявлення закономірностей зміни експлуатаційної похибки ПЛГ з врахуванням типорозміру, конкретизації підприємства-виробника, а також тривалості і інтенсивності експлуатації ПЛГ.

Основний матеріал.

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

$$\delta_i = \frac{V_i - V_e}{V_e} \cdot 100, \%, \qquad (1)$$

де δ_i – відносна похибка *i*-го ПЛГ; V_i, V_e – об'єм, відлічений досліджуваним ПЛГ та виміряний еталонною установкою відповідно.

При цьому похибку ПЛГ визначають експериментальним методом за різних значень робочих витрат, тобто при q_{min}, $0{,}2q_{max}$ і q_{max} [8,9].

За основу статистичного дослідження, як вже конкретизувалося вище, вибрані результати повірки понад трьох тисяч ПЛГ на еталонній установці ПАТ «Івано-Франківськгаз», які виконані в 2013-2015 роках.

Для більш повного дослідження закономірностей зміни похибки ПЛГ здійснений аналіз їх кількості у відсотках з поділом на 11 діапазонів зміни похибки при мінімальній витраті через 3%, що подано гістограмами на рис. 2. З нього видно, що суттєве зростання кількості придатних до подальшої експлуатації ПЛГ досягається за рахунок розширення зони допустимої мінімальної похибки до мінус 6% (стовбець 3). Зауважимо, що при цьому на рисунку не вказана кількість ПЛГ, у яких похибка є більшою від мінус 30%, а також несправні, у яких не функціонує лічильний механізм. Тому сума всіх відсотків ПЛГ є меншою від 100%.

Враховуючи, що згідно чинного законодавства в Україні за результатами періодичної повірки ПЛГ дозволяються до експлуатації, за умови, що їх похибка знаходиться в діапазоні від мінус 6% до +3% [10, 11]. Тому за основу більш детальних статистичних досліджень вибрані ПЛГ із цією допустимою для подальшого застосування похибкою.

З врахуванням того, що границя основної допустимої похибки еталонної установки при повірці ПЛГ не може перевищувати 0,5% [13], здійснюємо поділ ПЛГ на вибірки з інтервалом похибки 1,5% при мінімальній витраті. За таких умов діапазони зміни похибок будуть становити [12]:

- 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*),
- 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*).

.

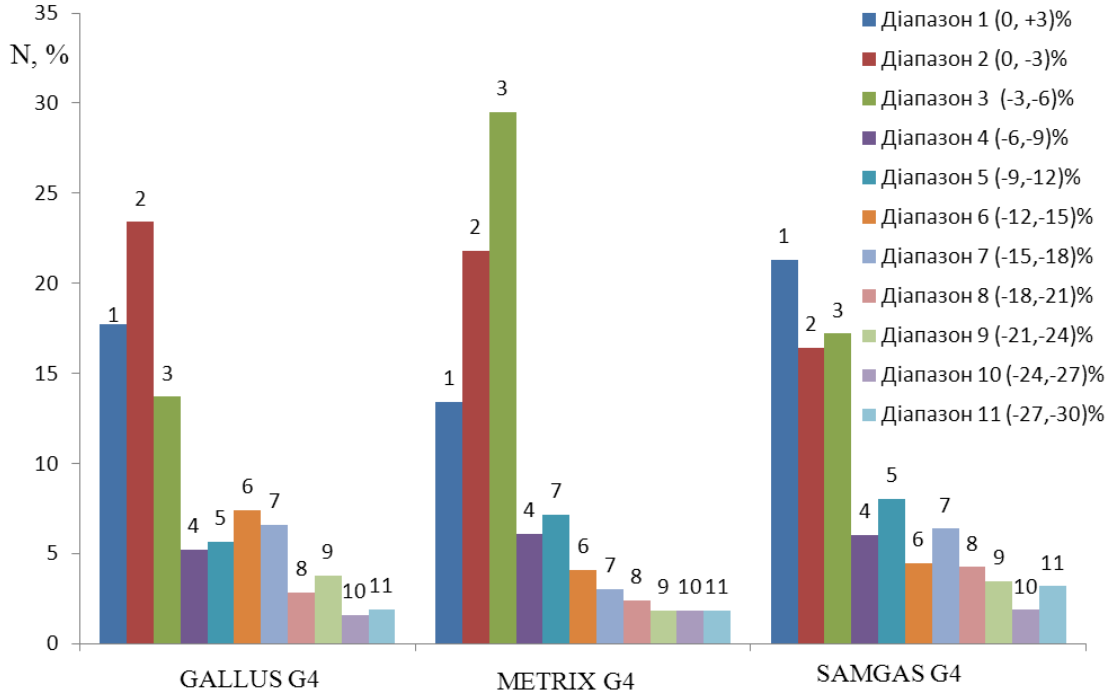


Рисунок 2 – Розподіл кількості лічильників за діапазонами похибок при мінімальній витраті

Далі була вибрана статистична кількість лічильників одного типорозміру конкретного виробника, значення похибки яких знаходились би у шести вказаних вище діапазонах. Таким чином, були сформовані для аналізу вибірки трьох підприємств-виробників мембранних лічильників типорозмірів METRIX G4 (Польща), METRIX G6 (Польща), GALLUS G4 (Франція), SAMGAS G4 (Україна), що подано в табл. 1-4.

Таблиця 1 - Статистичні характеристики похибок ПЛГ METRIX G4

№ діапазону похибки при q_{min} і його межі, %	$\bar{\delta}_{q1}^{j}$, %	$\bar{\delta}_{q2}^{j}$, %	$\bar{\delta}_{q3}^{j}$, %	N	σ_{q1}^{j}, %	σ_{q2}^{j}, %	σ_{q3}^{j}, %	$\Delta\delta_{23}^{j}$, %	$\Delta\delta_{21}^{j}$, %
№1 +1,51…+3	1,87	2,16	0,98	12	0,072	0,204	0,261	1,182	0,291
№2 +0…+1,5	0,59	2,04	0,87	116	0,035	0,080	0,089	1,173	1,451
№3 0…-1,5	-0,72	1,64	0,23	48	0,066	0,167	0,159	1,414	2,362
№4 -1,51…-3	-2,15	1,22	-0,18	33	0,065	0,229	0,216	1,397	3,367
№5 -3,01…-4,5	-3,69	1,20	-0,20	14	0,095	0,274	0,271	1,394	4,886
№6 -4,51…-6	-5,44	1,45	-0,21	8	0,130	0,221	0,278	1,660	6,891

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	σ_{q1}^{j}, %	σ_{q2}^{j}, %	σ_{q3}^{j}, %	$\Delta\delta_{23}^{j}$, %	$\Delta\delta_{21}^{j}$, %
№1 +1,51…+3	2,08	2,33	0,002	9	0,093	0,120	0,151	2,330	0,251
№2 +0…+1,5	0,53	2,14	0,28	72	0,040	0,068	0,084	1,857	1,607
№3 0…-1,5	-0,87	1,85	-0,24	44	0,060	0,094	0,137	2,093	2,720
№4 -1,51…-3	-2,21	1,44	-0,39	43	0,052	0,123	0,116	1,833	3,650
№5 -3,01…-4,5	-3,79	1,27	-0,41	32	0,071	0,155	0,140	1,678	5,058
№6 -4,51…-6	-5,33	1,48	-0,22	56	0,051	0,106	0,116	1,706	6,815

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	σ_{q1}^{j}, %	σ_{q2}^{j}, %	σ_{q3}^{j}, %	$\Delta\delta_{23}^{j}$, %	$\Delta\delta_{21}^{j}$, %
№1 +1,51…+3	1,92	1,34	0,58	4	0,113	0,110	0,382	0,763	-0,583
№2 +0…+1,5	0,61	1,60	1,02	66	0,045	0,103	0,089	0,576	0,988
№3 0…-1,5	-0,79	0,72	0,35	71	0,047	0,095	0,090	0,367	1,504
№4 -1,51…-3	-2,31	0,07	-0,24	85	0,038	0,122	0,098	0,318	2,386
№5 -3,01…-4,5	-3,81	-0,40	-0,52	60	0,057	0,117	0,116	0,112	3,407
№6 -4,51…-6	-5,26	-0,49	-0,67	76	0,050	0,125	0,117	0,177	4,770

Обчислення усереднених значень похибок для кожної вибірки лічильників на досліджуваних витратах мінімальній $q_{\min}$, 20% від максимальної $0{,}2q_{\max}$ і максимальній витраті $q_{\max}$ здійснювалися за формулами:

$$\bar{\delta}_{q1}^{j} = \frac{1}{N_j}\sum_{i=1}^{N_j}\delta_{q\min i}\text{, \%} \qquad (2)$$

$$\bar{\delta}_{q2}^{j} = \frac{1}{N_j}\sum_{i=1}^{N_j}\delta_{0.2q\max i}\text{, \%} \qquad (3)$$

$$\bar{\delta}_{q3}^{j} = \frac{1}{N_j}\sum_{i=1}^{N_j}\delta_{q\max i}\text{, \%} \qquad (4)$$

де $\bar{\delta}_{q1}^{j}$, $\bar{\delta}_{q2}^{j}$, $\bar{\delta}_{q3}^{j}$ – 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 $q_{\min}$.

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

$$\sigma_{q1}^{j}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_j}(\delta_{q1}^{j}-\bar{\delta}_{q1}^{j})^2}{N_j(N_j-1)}}\text{, \%} \quad (5)$$

$$\sigma_{q2}^{j}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_j}(\delta_{q2}^{j}-\bar{\delta}_{q2}^{j})^2}{N_j(N_j-1)}}\text{, \%} \quad (6)$$

$$\sigma_{q3}^{j}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_j}(\delta_{q3}^{j}-\bar{\delta}_{q3}^{j})^2}{N_j(N_j-1)}}\text{, \%} \quad (7)$$

В формулах (5)-(7) для спрощення математичного запису похибка $\delta_{q\min i}$ записана як δ_{q1}^{j} і відповідно $\delta_{0.2q\max i}$ як δ_{q2}^{j}, а також $\delta_{q\max i}$ як δ_{q3}^{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, що відображено в табл. 1-4. Для цього використовувався алгоритм:

$$\Delta\delta_{21}^{j}=\bar{\delta}_{q2}^{j}-\bar{\delta}_{q1}^{j}, \quad (8)$$

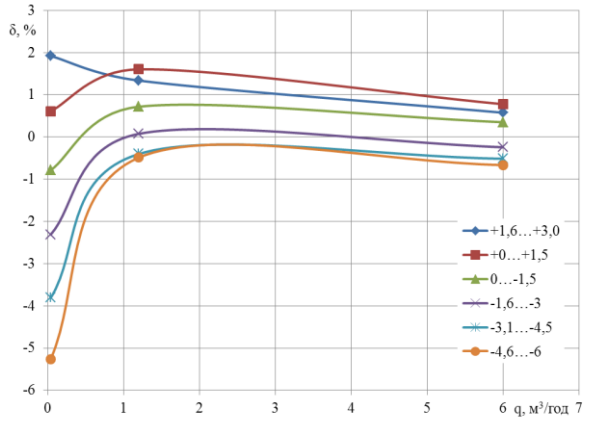
$$\Delta\delta_{23}^{j}=\bar{\delta}_{q2}^{j}-\bar{\delta}_{q3}^{j}, \quad (9)$$

Таблиця 4. Статистичні характеристики похибок ПЛГ SAMGAS G4

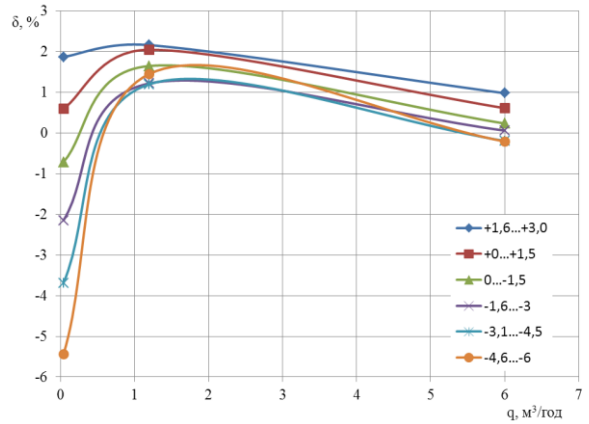
№ діапазону похибки при q_{min} і його межі, %	$\bar{\delta}_{q1}^{j}$, %	$\bar{\delta}_{q2}^{j}$, %	$\bar{\delta}_{q3}^{j}$, %	N	σ_{q1}^{j}, %	σ_{q2}^{j}, %	σ_{q3}^{j}, %	$\Delta\delta_{23}^{j}$, %	$\Delta\delta_{21}^{j}$, %
№1 +1,51…+3	2,05	1,63	-0,43	11	0,076	0,082	0,067	2,055	-0,424
№2 +0…+1,5	0,56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

Графічна ілюстрація зміни похибки ПЛГ за даними табл. 1-4 подана на рис.3.

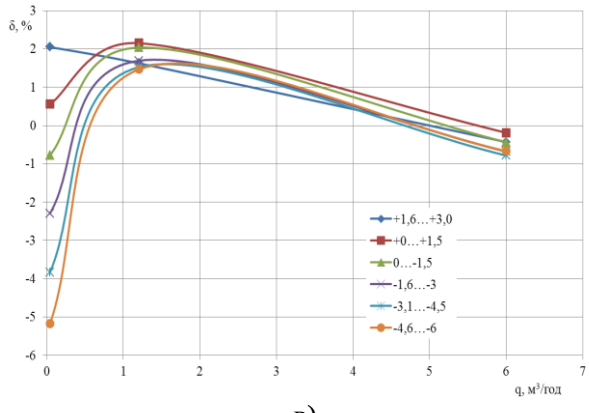
Вона практично підтверджує закономірності зміни похибки ПЛГ, які наведені на рис.1. Водночас дещо відрізняються закономірності зміни похибки ПЛГ в діапазоні $q_{\min}$ … $0{,}2q_{\max}$ для ПЛГ типу GALLUS (рис.3а) і SAMGAS (рис.3в), похибка яких при мінімальній витраті $q_{\min}$ знаходиться у охарактеризованому вище діапазоні 1 похибок, який становить +1,51…+3%. Це можна пояснити особливостями конструктивного виконання ПЛГ конкретним підприємством-виготовлювачем або недостатньою кількістю ПЛГ в даній вибірці з такого виду метрологічними характеристиками. Водночас це не суперечить можливості формулювання висновку про статистичну подібність закономірностей зміни похибок ПЛГ у діапазоні робочих витрат від $0{,}2q_{\max}$ до $q_{\max}$.



а)



б)



в)

Рисунок 3 – Графічна ілюстрація зміни похибки ПЛГ типорозміру G4 при шести різних її діапазонах на мінімальній витраті q_{min} для придатних лічильників GALLUS (а), METRIX (б), SAMGAS (в)

Наступною інформаційною моделлю є порівняльний аналіз статистичних закономірностей зміни похибки мембранних ПЛГ моделі METRIX типорозмірів G4 і G6 виробництва Польщі, оскільки для інших виробників не було можливості сформувати відповідну необхідну базу даних.

За основу статистичних досліджень вибрані вказаний тип (модель) і типорозміри ПЛГ, статистичний об'єм вибірки яких становив 254 лічильники G4 і 479 G6, які були повірені на еталонній дзвоновій установці ІФГАЗ-2 (ПАТ "Івано-Франківськгаз", м. Івано-Франківськ). При дослідженнях лічильники були поділені на шість вибірок, кожна з яких характеризувалися діапазоном зміни похибки dδ = 1,5% за мінімальної витрати в діапазоні від мінус 6% до плюс 3%, який в цілому відповідає значенню допустимих похибок придатних ПЛГ, тобто таких, які після повірки допускаються до експлуатації. Таким умовам щодо придатності до подальшої експлуатації із загальної статистичної вибірки відповідала кількість лічильників G4 – 90,9%, G6 – 53,4%.

Гістограми розподілу кількості придатних лічильників за діапазонами похибок при мінімальній робочій витраті (рис. 4) можуть бути об'єктом дослідження перш за все підприємств-виробників. З них видно, що відсоток придатних лічильників типорозміру G4 дещо нагадує несиметричний нормальний закон розподілу, а вид закону розподілу для лічильників G6 більш близький до рівномірного, хоча можна виділити локальне зростання відсотка ПЛГ з діапазоном похибки 0 … +1,5%. Ці гістограми вказують, що найбільший відсоток придатних ПЛГ характеризуються на мінімальній витраті додатною похибкою в діапазоні 0 … +1,5%, наявність якої після закінчення міжповірочного терміну ПЛГ багато вітчизняних науковців і виробничників вважали гіпотетичною. Вважалося, що похибка ПЛГ після закінчення міжповірочного терміну експлуатації при визначенні похибки за мінімальної робочої витрати як правило повинна зміщуватися у від'ємну сторону. Тут додамо, що це явище звичайно має місце, але не у всіх мембранних ПЛГ, про що ілюструють криві, які подані нижче на рис. 5 [14].

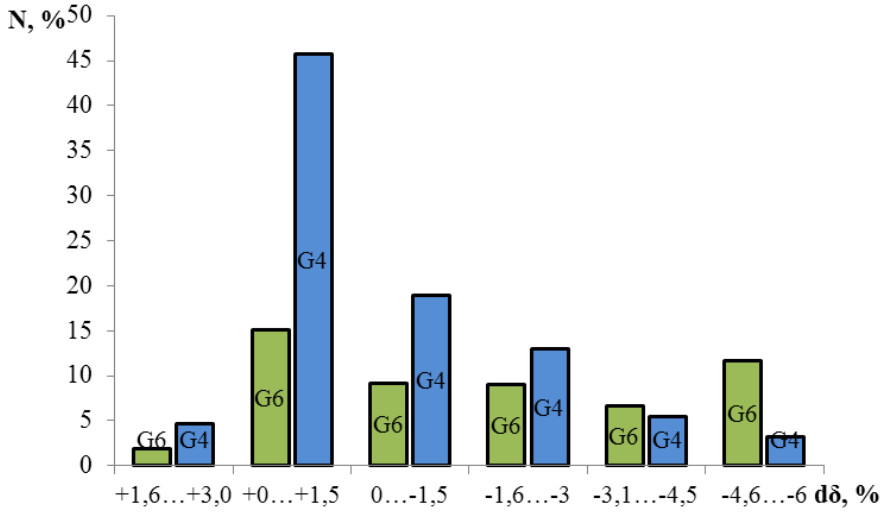


Рисунок 4 – Розподіл кількості придатних лічильників типорозмірів G4, G6 моделі METRIX від діапазону похибок при мінімальній витраті

Порівняльний аналіз кривих зміни похибки двох типорозмірів ПЛГ наведений на рис. 5. На них криві зміни похибки умовно зображені не кусково-інтерполяційними залежностями, оскільки є тільки три експериментальні значення, а регресійними моделями для всього досліджуваного діапазону робочих витрат з використанням спеціальної поліномної залежності зі степенями від мінус 2 до плюс 2 [15].

Графічні залежності підтверджують практично одинакові закономірності зміни похибки придатних ПЛГ вказаних двох типорозмірів:

- зростання значень кривої похибки в діапазоні від q_{min} до $0{,}2q_{max}$;
- спадання значень кривої похибки в діапазоні від $0{,}2q_{max}$ до q_{max}.

При цьому величина зміни похибки для першого діапазону витрат практично не корелює із величиною зміни похибки для другого діапазону витрат. Однак кількісна зміна похибки для другого діапазону витрати є досить стабільною для двох типорозмірів ПЛГ і не перевищує 1,659 % і 2,329 % для G4 і G6 відповідно. Водночас можна виявити градацію зміни похибки стосовно похибки за витрати q_{min}, що подано в табл. 5.

Для розрахунку похибок в табл. 5 використовувалися формули:

$$\overline{\Delta}\delta^{G4} = \overline{\delta}^{G4}_{0,2q\max} - \overline{\delta}^{G4}_{q\max} \qquad (10)$$

$$\overline{\Delta}\delta^{G6} = \overline{\delta}^{G6}_{0,2q\max} - \overline{\delta}^{G6}_{q\max} \qquad (11)$$

$$\overline{\Delta}\delta^{G6,\,G4} = \overline{\Delta}^{G6}_{\delta} - \overline{\Delta}^{G4}_{\delta} \qquad (12)$$

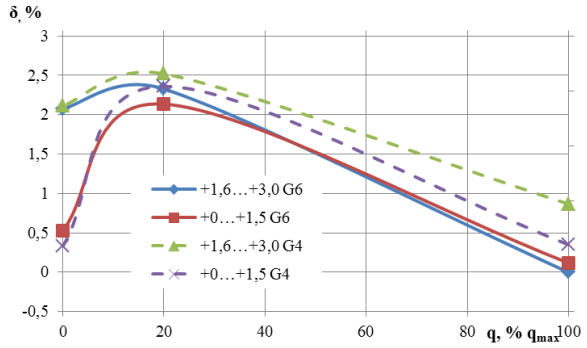
З табл. 5 видно, що розходження між зміною похибки лічильників G6 і G4 для окремих вибраних діапазонів похибки при q_{min} близька до 0,5-0,7 %, при цьому зміна похибки у лічильників G6 завжди є більшою від зміни похибки для лічильників G4. Водночас більше розходження (1,147%) спостерігається для лічильників з додатною похибкою при мінімальній робочій витраті і найменше (0,045%) – для лічильників із найбільшою допустимою від'ємною похибкою при мінімальній робочій витраті.

Ще однією інформаційною моделлю щодо ПЛГ може бути дослідження впливу тривалості їх експлуатації на зміну метрологічних характеристик, насамперед похибки.

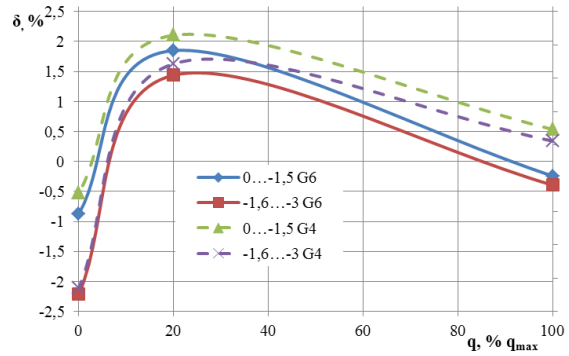
За основу статистичного дослідження вибрані вже вказані вище три виробники мембранних ПЛГ типорозміру G4: GALLUS (Франція); METRIX (Польща); SAMGAS (Україна).

Критерієм для досліджень сформовано три діапазони років випуску ПЛГ [16]: 2004-2007 (*1-й діапазон*), який орієнтовно відповідає тривалості першого міжповірочного терміну експлуатації; 1999-2003 (*2-й діапазон*), який стосується подвійному міжповірочному терміну експлуатації; 1990-1998 (*3-й діапазон*), який

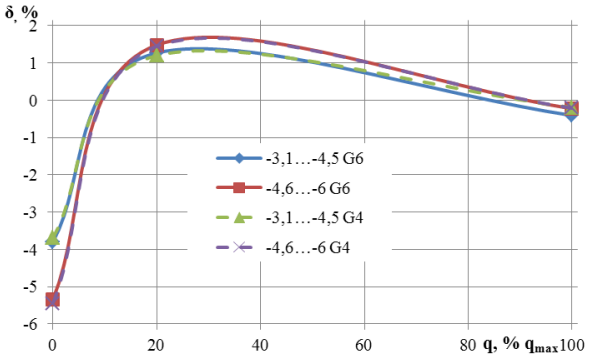
стосується триразового терміну міжповірочної експлуатації.



а)



б)



в)

Рисунок 5 – Графічна ілюстрація закономірностей зміни похибки типорозмірів G4, G6 побутових ПЛГ моделі METRIX

Статистичний об'єм вибірки становив 3582 лічильники з яких 2216 першого діапазону років випуску, в тому числі 596 GALLUS, 250 METRIX, 1046 SAMGAS і 324 лічильники цих моделей, у яких похибка була більшою за мінус 30% або цілком несправні. Стосовно лічильників другого діапазону років випуску ці числа становили: 506 з яких 207 GALLUS, 20 METRIX, 111 SAMGAS і 168 несправних. Лічильники третього діапазону випуску характеризувалися аналогічними даними: 763, з яких 579 GALLUS, 53 METRIX, 95 САМГАЗ, а також 36 несправних.

При дослідженнях лічильники були поділені на чотири діапазони зміни похибок за мінімальної робочої витрати 0…-3, 0…+3, -3…-6, -6…-30 [16]. Результати аналізу лічильників подані на рис 6. При цьому числа 1,2,3 над стовпцями в гістограмах характеризують ПЛГ моделей METRIX, САМГАЗ, GALLUS відповідно.

Результати аналізу вказують що кількість придатних лічильників N у відсотках залежить від тривалості експлуатації. При цьому найбільша кількість лічильників, у яких похибка відповідала паспортна становила після першого між повірочного терміну експлуатації 56 % для лічильників типу SAMGAS, 28% для METRIX і 30% для GALLUS. При цьому кількість придатних лічильників для подальшої експлуатації, тобто у яких похибка не перевищувала -6%, становила 86 % SAMGAS, 31% METRIX і 48% GALLUS. Решта лічильників підлягала ремонту або заміні. Тут зауважимо що нами не врахований відсоток лічильників, у яких похибка була більша від -30% і на наш погляд вони підлягають заміні на новий (цю кількість можна розрахувати за результатами залишку у відсотках при сумуванні по стовпцях).

Аналогічно після двох міжповірочних термінів експлуатації кількість придатних лічильників зменшилася до 11% для SAMGAS, 2,4% для METRIX і 12,3% для GALLUS. Після трьох міжповірочних термінів експлуатації частка придатних лічильників становила 12% для SAMGAS, 5,8% для METRIX і 62% для GALLUS. З цих даних неочікувано не виявлено закономірність зменшення придатних лічильників після зростання терміну експлуатації зокрема для лічильників GALLUS.

Таблиця 5. Результати порівняльного аналізу зміни похибок мембранних ПЛГ типорозмірів G4 і G6 виробництва METRIX

Діапазон зміни похибки при q_{min}, $d\delta$, %	Типорозмір G4		Типорозмір G6		Зміна похибки для різних типорозмірів $\overline{\Delta\delta}^{G6,\,G4}$, %
	Середнє значення похибки $\overline{\delta}^{G4}_{q\min}$, %	Середнє значення зміни похибки $\overline{\Delta\delta}^{G4}$, %	Середнє значення похибки $\overline{\delta}^{G6}_{q\min}$, %	Середнє значення зміни похибки $\overline{\Delta\delta}^{G6}$, %	
+1,6 … +3,0	1,87	1,182	2,07	2,329	1,147
+0 … +1,5	0,59	1,433	0,53	2,019	0,586
0 … -1,5	-0,72	1,414	-0,87	2,092	0,678
-1,6 … -3	-2,15	1,160	-2,21	1,833	0,673
-3,1 … -4,5	-3,69	1,393	-,379	1,676	0,283
-4,6 … -6	-5,44	1,659	-5,33	1,704	0,045

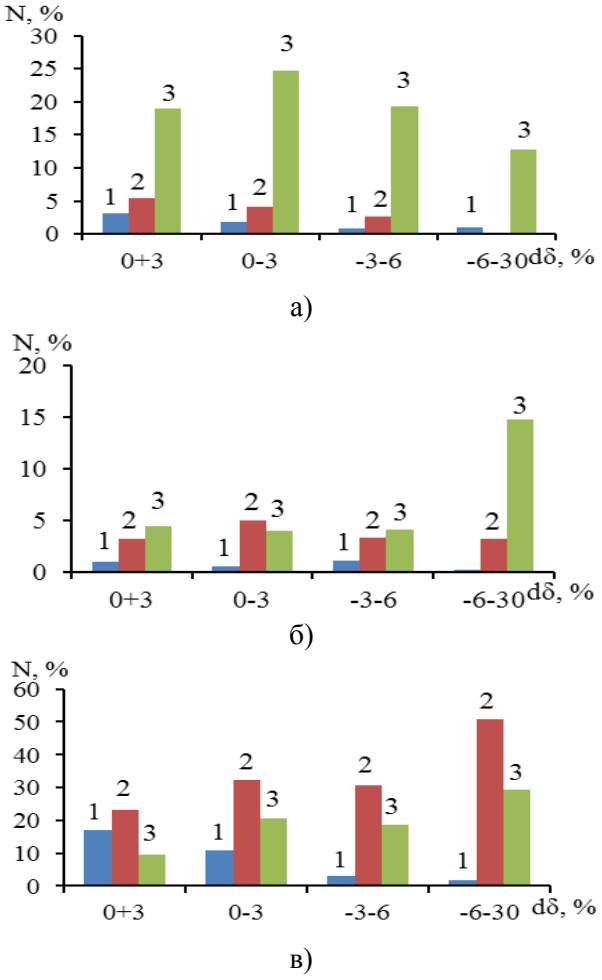


Рисунок 6 – Результати статистичних досліджень похибки ПЛГ від тривалості їх експлуатації для років випуску: 1990-1998 (а); 1999-2003 (б); 2004-2007 (в)

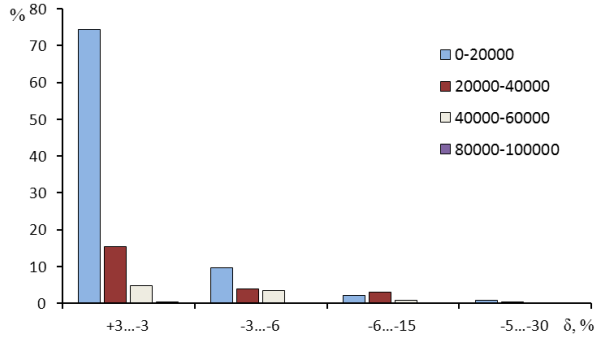
Очевидної відповіді на цей факт немає, але можна припустити що якість лічильників середини 90-х років була кращою ніж першого десятиліття 2000 років, або лічильники належним чином були відремонтовані, що зумовило збільшення долі придатних лічильників, або на досліджуваний фактор вплинула інтенсивність їх експлуатації. Також виявлено суттєве зростання частки придатних лічильників SAMGAS після першого міжповірочного терміну експлуатації порівняно з іншими типами лічильників, що може характеризувати високу якість сучасних українських ПЛГ.

За результатами досліджень встановлено фактичний стан і здійснено кількісний аналіз щодо стабільності похибки ПЛГ в експлуатаційних умовах. Тому актуальним є вивчення закономірностей зміни похибки ПЛГ в залежності від інтенсивності їх функціонування, тобто від відміряних об'ємів природного газу в міжповірочний період.

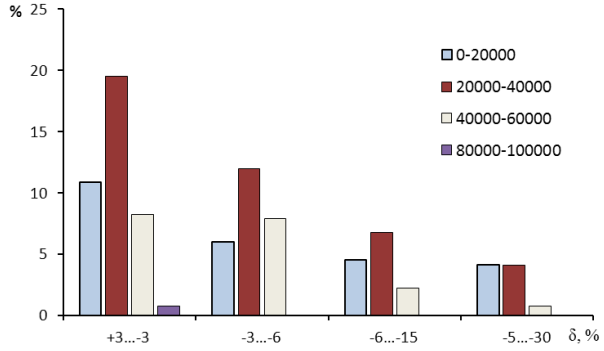
Таким чином доповненням до статистичної інформаційної моделі експлуатаційних властивостей ПЛГ можуть слугувати дослідження щодо вивчення впливу інтенсивності функціонування ПЛГ на їх похибку за мінімальної робочої витрати [17].

Дослідження базувалися на статистичних результатах повірки ПЛГ після завершення міжповірочного терміну експлуатації, графічна ілюстрація яких подана на рис. 7. Результати

аналізу сформовані від значень виміряного об'єму газу з інтервалом 20 тис. м^3. Вони свідчать про суттєвий вплив виміряного об'єму газу на кількість придатних лічильників, число яких зменшується із зростанням виміряного (облікованого) об'єму газу впродовж міжповірочного інтервалу. При цьому цей вплив в більшій мірі є визначальним для лічильників меншого типорозміру G4 порівняно із G6. Такий вплив можна пояснити більшою інтенсивністю роботи вузлів лічильників меншого типорозміру за рахунок меншого значення циклічного об'єму порівняно з лічильниками більшого типорозміру при здійсненні обліку однакових об'ємів природного газу.



а)



б)

Рисунок 7 – Результати статистичних досліджень ПЛГ типорозмірів G4 (а) і G6 (б) моделі METRIX

Водночас це також може бути пояснено різною якістю конструктивного виконання лічильників різних типорозмірів і різних виробників, що потребує проведення додаткових статистичних метрологічних досліджень.

Висновки. За отриманими даними статистичного опрацювання результатів періодичної повірки побутових лічильників газу розглянуті і кількісно оцінені закономірності зміни їх експлуатаційної похибки, яка є визначальною для досягнення точного обліку природного газу побутовими споживачами і слугує впливовим важелем для досягнення раціонального і економного його споживання.

Статистичні дослідження реалізовані для типорозмірів G4 і G6 мембранних побутових лічильників газу двох іноземних виробників (METRIX, GALLUS) і вітчизняних (SAMGAS). Встановлено статистичну подібність закономірностей зміни похибки побутових лічильників практично незалежно від значення похибки за мінімальної витрати, яка характеризується відсутністю кореляції між зміною похибки в двох діапазонах робочих витрат (від мінімальної до 20% від максимальної і від 20% від максимальної до максимальної). Експериментально виявлено суттєво менше зменшення похибки побутових лічильників при функціонуванні в другому діапазоні порівняно з першим діапазоном. Також експериментально встановлено достатню стабільність зміни похибки для лічильників різних типорозмірів в другому діапазоні, тобто від $0{,}2q_{max}$ до q_{max}.

Наведені результати експериментальних досліджень впливу типорозміру побутових лічильників, тривалості і інтенсивності їх експлуатації на зміну метрологічних характеристик, які характеризуються похибкою лічильника.

Отримані результати дають підстави для наукового обгрунтування можливості реалізації бездемонтажної повірки побутових лічильників газу за обмеженим діапазоном робочих витрат.

1. *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.*

2. Jaworski J. Badanie gazomierzy miechowych metoda proby losowej. Czesc II. Przeglad Gazowniczy. 2009. Grudzien. S 48-51.

3. Середюк О.Є., Лютенко Т.В., Прудніков Б.І. Наукові засади бездемонтажної повірки побутових лічильників газу за обмеженим діапазоном робочих витрат. Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах: збірник тез доп. Третьої міжнар.

наук. конф. (м. Вінниця, 27-29 жовтня 2015). Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 43-45.

4. Середюк О.Є., Прудніков Б.І., Вощинський В.С., Лютенко Т.В., Експериментальні дослідження і моделювання метрологічних характеристик побутових лічильників газу. Облік природного газу та метрологія: збірка доповідей Всеукр. семінар-наради (м. Одеса, 21-25 вересня 2015). Одеса, 2015. С. 24-27.

5. Kulaga P., Jaworski J. Wyniki badan trwalosci gazomierzy miechowych uzyskiwane z zastosowaniem roznych metodyk – analiza porownawcza. Nafta-Gaz. 2016. №8. S. 645-650.

6. 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). К.: Академія метрології України. 2017. С.48-51.

7. Seredyuk O., Liutenko T., Seredyuk D., Warsza Z. Badanie bledow pomiarowych gazomierzy membranowych po szesciu latach eksploatacji. MSM 2017: Zeszyty Naukowe XXI Miedzynarodowe seminarium metrologow (Rzeszow-Czerniow, 12-15 wrzesnia, 2017). Gdansk, 2017, ISSN 2353-1290. Nr 55. 2017. S. 65-68.

8. Р50-071-98. Метрологія. Лічильники газу побутові. Методи та засоби повірки [Чинний від 1998-03-27]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1998. III, 20 с.

9. ДСТУ 3607-97. Лічильники газу побутові. Правила приймання та методи випробувань [Чинний від 1998-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1997. 24 с.

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

11. ДСТУ 3336-96 Лічильники газу побутові. Загальні технічні вимоги [Чинний від 1996-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1996. 9 с.

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

13. 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.

14. Середюк О.Є., Криницький О.С., Лютенко Т.В. Метрологічні дослідження статистичних закономірностей зміни похибки побутових лічильників газу різних типорозмірів. Technical Using of Measurement – 2018: тези доп. IV Всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених у царині метрології (м. Славське, 13-18 лютого 2018). К.: Академія метрології України. 2018. С.34-36.

15. Середюк О. Є., Лютенко Т. В. Застосування інформаційних технологій при статистичних дослідженнях метрологічних характеристик побутових лічильників газу при їх експлуатації. Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості:тез. доп. III всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів (м. Івано-Франківськ, 10-13 жовтня 2017). Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. 2017. С.112-114.

16. Середюк О.Є., Лютенко Т.В., Криницький О.С. Статистичні дослідження стабільності похибки побутових лічильників газу в залежності від тривалості їх експлуатації. Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання: матеріали доп. 8-ої Міжнар. наук.-техн. конф. пам'яті професора Ігоря Кісіля (м. Івано-Франківськ, 14-16 листопада 2017). Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. 2017. С. 186-188.

17. Лютенко Т.В., Середюк О.Є., Криницький О.С. Дослідження впливу умов експлуатації побутових лічильників газу на їх метрологічні характеристики. Приладобудування: стан і перспективи: зб. тез. доп. XVII міжнар. наук.-техн. конф. (м. Київ, 15-16 травня 2018). Київ: НТУУ "КПІ", ПБФ. 2018. С. 201-202.

Поступила в редакцію 20.12.2018 р.
Рекомендували до друку: докт.техн.наук, проф. Горбійчук М. І., докт. техн. наук, проф. Олійник А. П.