

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Лукін Олександр Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 006.91:681.121.089

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Дослідження і апробація статистичного методу оцінювання метрологічних характеристик побутових лічильників газу при тривалій експлуатації

(назва роботи)

Метрологія та вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

(шифр і назва спеціальності)

О. Ю. Лукін

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Середюк Орест Євгенович, д.т.н, проф

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

О. Є. Середюк

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ, 2024 р.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Освітній рівень другий (магістерський)

Спеціальність 152- Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІВТ

О.Є. Середюк

« » 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Лукін Олександр Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження і апробація статистичного методу оцінювання метрологічних характеристик побутових лічильників газу при тривалій експлуатації

керівник роботи Середюк Орест Євгенович, д.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом закладу вищої освіти від “15” 12 2023 року № 734/7

2. Строк подання студентом роботи 20.02.2024

3. Вихідні дані до роботи тип досліджуваних лічильників газу – побутові, мембранного типу; статистичні дані результатів перевірки побутових лічильників на установці ІФГАЗ-2 за даними Акціонерного товариства «Івано-Франківськгаз».

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Основи статистичного аналізу і його практичного застосування

2. Реалізація статистичного методу оцінювання метрологічних характеристик побутових лічильників газу

3. Метрологічні дослідження при статистичному методі оцінювання метрологічних характеристик побутових лічильників газу

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Технічна реалізація методики проведення експрес-контролю побутових лічильників газу

2. Закономірності зміни похибки побутових лічильників газу від тривалості експлуатації

3. Технічні рішення для реалізації статистичного бездемонтажного метрологічного дослідження побутових лічильників газу

4. Результати дослідження експлуатаційної похибки побутових лічильників газу різних виробників

5. Застосування статистичного аналізу для кваліметричного оцінювання метрологічних характеристик побутових лічильників газу

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>нормоконтроль</i>	<i>проф. Лютак З.П.</i>		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Основи статистичного аналізу і його практичного застосування</i>	<i>05.01.2024</i>	
2.	<i>Реалізація статистичного методу оцінювання метрологічних характеристик побутових лічильників газу</i>	<i>25.01.2024</i>	
3.	<i>Метрологічні дослідження при статистичному методі оцінювання метрологічних характеристик побутових лічильників газу</i>	<i>10.02.2024</i>	
4.	<i>Оформлення магістерської роботи</i>	<i>20.02.2024</i>	

Студент _____ **Лукін О.Ю.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Середюк О.Є.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 62 с., 8 рис., 9 табл., 21 джерело., 5 аркушів ілюстрацій.

Об'єкт дослідження – процес дослідження метрологічних характеристик побутових лічильників газу.

Предмет дослідження – побутові лічильники газу, їх метрологічні характеристики.

Мета досліджень є досліджування і апробація статистичного методу оцінювання похибки побутових лічильників газу.

Методи дослідження - метрологічний аналіз закономірностей зміни похибки побутових лічильників газу і статистичні методи оцінювання закономірностей зміни похибок.

Здійснений аналіз закономірностей зміни похибки побутових лічильників газу після восьмирічного терміну експлуатації і запропонований новий експериментально-розрахунковий метод визначення похибок побутових лічильників, який передбачає експериментальне визначення похибки на мінімальних витратах і розрахункове значення визначення похибки лічильників за максимальних витрат. Досліджено можливість застосування статистичного аналізу для кваліметричного оцінювання метрологічних характеристик побутових лічильників газу.

ПОБУТОВИЙ ЛІЧИЛЬНИК ГАЗУ, ЕТАЛОННА УСТАНОВКА,
СИСТЕМАТИЧНА ПОХИБКА, ВИПАДКОВА ПОХИБКА,
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВИЙ МЕТОД, КВАЛІМЕТРИЧНЕ
ОЦІНЮВАННЯ.

ABSTRACT

Master's thesis: 62 pages, 8 figures, 9 tables, 21 sources, 5 sheets of illustrations.

The object of research is the process of researching the metrological characteristics of household gas meters.

The subject of the research is household gas meters, their metrological characteristics.

The purpose of the research is to investigate and test the statistical method of estimating the error of household gas meters.

Research methods - metrological analysis of patterns of changes in the error of household gas meters and statistical methods of evaluating the patterns of changes in errors.

An analysis of the patterns of changes in the error of household gas meters after an eight-year period of operation was carried out, and a new experimental and calculation method for determining the errors of household meters was proposed, which involves experimental determination of the error at minimum costs and the calculated value of determining the error of meters at maximum costs. The possibility of using statistical analysis for qualitative assessment of metrological characteristics of household gas meters was studied.

HOUSEHOLD GAS METER, REFERENCE INSTALLATION, SYSTEMATIC ERROR, RANDOM ERROR, EXPERIMENTAL AND CALCULATION METHOD, QUALIMETRIC EVALUATION.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Основи статистичного аналізу і його практичного застосування.....	9
1.1 Предмет і завдання теорії математичної статистики.....	9
1.2 Статистичні характеристики при реалізації статистичного методу аналізу.....	13
2. Розроблення, дослідження і апробація статистичного методу оцінювання метрологічних характеристик побутових лічильників газу.....	16
2.1 Нормативна база для реалізації метрологічних досліджень побутових лічильників газу.....	16
2.2 Технічні засоби для статистичного метрологічного дослідження побутових лічильників при їх демонтажі з місця експлуатації.....	21
2.3 Технічні рішення для статистичного без демонтажного метрологічного дослідження побутових лічильників газу.....	25
2.4 Апробація статистичного методу оцінювання метрологічних характеристик побутових лічильників газу.....	33
2.5 Застосування статистичного аналізу для кваліметричного оцінювання метрологічних характеристик побутових лічильників газу.....	39
3. Метрологічні дослідження експериментально-розрахункового методу визначення похибок побутових лічильників газу при статистичному методі оцінювання.....	47
3.1 Розроблення експериментально-розрахункового методу визначення похибок побутових лічильників газу за обмеженим діапазоном контрольованих витрат.....	47
3.2 Метрологічне дослідження експериментально-розрахункового методу визначення похибок побутових лічильників газу.....	51
Висновки.....	59
Перелік посилань на джерела.....	60

ВСТУП

На сьогоднішній день в Україні все більшої актуальності набуває проблема раціонального використання енергоносіїв, в тому числі природного газу, оскільки це є однією із складових енергозбереження. В свою чергу раціональне споживання природного газу потребує його точного обліку. Для комерційного обліку природного газу в українських споживачів станом на кінець 2022 р. встановлено понад 9 млн. побутових лічильників газу (ПЛГ), більшість з яких мембранного типу. Відомо, що при експлуатації метрологічні характеристики ПЛГ змінюються, і переважно при цьому відбувається зростання похибки у від'ємну сторону, в тому числі і у мембранних лічильників [1, 2]. Внаслідок цього відбувається недооблік природного газу у комунально-побутовій сфері.

Згідно чинних нормативних документів, виявити факт недостовірного обліку природного газу за умов експлуатації неможливо, оскільки факт їх невідповідності до технічних умов стає можливим виявити тільки при періодичній повірці ПЛГ. Оскільки періодична повірка здійснюється після восьми років експлуатації, то очевидною є обставина, що ПЛГ протягом тривалого часу може здійснюватися облік газу некоректно. Тому існує необхідність контролю метрологічних характеристик ПЛГ впродовж міжповірочного інтервалу, що є достатньо складною задачею внаслідок обмеженої кількості еталонних установок.

Ще однією особливістю здійснення повірки ПЛГ згідно чинних нормативних документів є факт, який вимагає здійснення повірки при використанні повітря, а не реального природного газу. Тому при заміні виду робочого середовища впливають додаткові фактори, які зменшують достовірність метрологічних оцінок. Цією обставиною на сьогоднішній день в Україні також практично нехтують, оскільки немає відповідної еталонної бази з функціонуванням на малих робочих витратах природного газу. Тому

розроблення і дослідження нових статистичних методів оцінювання метрологічних характеристик ПЛГ при їх тривалій експлуатації є актуальною задачею. Також для вирішення цієї задачі необхідна розробка технічних засобів для реалізації бездемонтажних метрологічних досліджень і повірки ПЛГ впродовж міжповірочного інтервалу та застосуванням при цьому природного газу як робочого середовища. Реалізація статистичних методів дозволить виявити закономірності зміни метрологічних характеристик ПЛГ різних типів, типорозмірів, а також різних виробників в залежності від тривалості експлуатації лічильників і від об'єму виміряного ними природного газу.

Метою дослідження магістерської роботи є розв'язання науково-практичного завдання, яке стосується розроблення вдосконаленої методики і метрологічних досліджень побутових лічильників газу.

Задачею дослідження є аналіз відомих методів і принципів реалізації повірки і визначення метрологічних характеристик побутових лічильників, а також розроблення на цій основі вдосконаленої методики визначення похибок побутових лічильників газу.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання об'єму природного газу побутовими лічильниками.

Предметом дослідження є побутові лічильники газу, їх метрологічні характеристики.

Практична цінність полягає у розробленні і дослідженні нових методологічних і конструктивних рішень для визначення похибок побутових лічильників.

Методи досліджень базуються на використанні методі статистичного аналізу результатів дослідження похибок побутових лічильників і застосування теорії похибок для оцінювання результатів визначення похибок побутових лічильників за допомогою експериментально-розрахункового методу.

Новизна магістерської роботи полягає у теоретично-прикладному дослідженні метрологічних характеристик побутових лічильників газу.

1 ОСНОВИ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ І ЙОГО ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Предмет і завдання теорії математичної статистики

У наукових дослідженнях, техніці, масовому виробництві ми часто стикаємось з дослідами операціями або явищами, що багаторазово повторюються в незмінних умовах. Відомо що при повторенні вимірювань того самого об'єкта, виконуваних за допомогою того самого вимірювального приладу з однаковою старанністю оператора ми ніколи не одержимо однакових результатів, у цьому разі говорять, що результати мають випадкове розсіювання.

Якщо навіть шляхом застосування спеціальних методів виключити систематичні похибки і промахи все-таки виявиться, що на результатах вимірювань буде позначатися вплив численних факторів, які не піддаються контролю й невідомо як змінюються від одного вимірювання до іншого. До таких факторів можна віднести випадкові вібрації окремих частин приладів, фізіологічні зміни органів чуття виконавців, різні не враховані зміни в середовищі (температура, оптичні, електричні й магнітні властивості, вологість, тощо). Отже, результат кожного окремого вимірювання за наявності випадкового розсіювання заздалегідь передбачити неможливо, але це ще не означає що повторні вимірювання не виявляють ніякої закономірності.

Вивченням де є випадкові фактори займається теорія ймовірностей, яка є складовою математичної статистики. Вона вивчає масові випадкові явища та процеси, пов'язує їх з можливими результатами вимірювань дослідів, особливо, числову міру об'єктивної можливості його появи. Ця поява називається ймовірністю. Теорія ймовірностей розглядає методи визначення ймовірностей, складних результатів масових випадкових явищ або процесів за відомими

ймовірностями більш простих наслідків. Тим самим відкривається шлях для аналізу і виявлення ймовірнісних закономірностей випадкових явищ. Таким чином основною передумовою теорії ймовірностей є відтворюваність при вимірюванні і можливість нескінченності або великої кількості їх проведення.

На практиці ідеального відтворення умов випробувань реалізувати неможливо, до того ж кількість повторних вимірювань зазвичай може бути малою. Саме в цих умовах особливо важливі методи математичної статистики, при використанні яких застосовується теорія ймовірностей. Це може бути використано, наприклад, при розгляді метрологічних характеристик побутових лічильників газу, які розглядаються у даній магістерській роботі. Математична статистика розробляє раціональні прийоми обробки обмеженого обсягу даних, щодо масових явищ і відображають вплив випадкових факторів. Методи статистичної обробки даних мають змогу знаходити цілком закономірний зв'язок між числовими значеннями ознак, що змінюються, і ймовірності реалізації цих значень у процесі проведених спостережень. Саме це дає можливість побудувати загальну теорію, яка показує які прийоми обробки спостережень як середні показники виведені з даного зазвичай обмеженого матеріалу спостережень. Саме ці дані відповідають специфіці випадкового розсіювання в тому чи іншому завданні досліджень. Математична статистика розв'язує певні задачі. Насамперед це задача опису випадкового розсіювання за даними масових явищ. Це розглядається питання, пов'язаних з виявленням для кожного випадку відповідного закону розподілу, тобто про подання випадкових подій чи процесів у вигляді словесного опису їхнього поводження або графічного зображення або математичної моделі. Це характеризує описова статистика.

Задача оцінювання невідомих параметрів законів розподілів на підставі наявної кількості спостережень є достатньо актуальною і має практичне значення при статистичному оцінюванні.

Випадкове розсіювання, досліджуване статистичними методами, має важливе практичне значення. Його потрібно враховувати при проектуванні й розрахунку будь-яких пристроїв, коли поряд із контрольованими параметрами

доводиться зважати на такі зовсім випадкові фактори, як коливання сили вітру, витрати води, зміни температури навколишнього середовища тощо. У всіх цих випадках тільки знання законів розподілу впливових величин, їх належне врахування можуть забезпечити за допомогою інженерних розрахунків необхідну роботу пристроїв.

Другою задачею є задача перевірки гіпотез, тобто припущень, що стосуються збігу та розбіжностей параметрів розглянутих розподілів спостережень. В умовах, коли кількість спостережень обмежена й дані про масове явище виявляють значне розсіювання, об'єктивний висновок про переваги того або іншого методу вимірювань чи технологічного процесу, про користь пропонуваніх ліків тощо можна зробити лише на основі статистичного аналізу й зіставлення даних спостережень, що належать відповідній області.

Наступною задачею при математичній статистиці є задача встановлення наявності залежностей між величинами, які змінюються під дією тих самих або різних випадкових факторів, яка розглядається в теорії кореляції.

Ще одна задача є задача встановлення виду залежності, тобто одержання регресійної моделі, яка розглядається в регресійному аналізі.

Слово «регресія», як статистичне поняття має в аналізі даних важливе значення. Регресія (скорочене від «регресія до середнього») — це тенденція крайніх або незвичайних за значенням параметрів повертатися (регресувати) до середнього значення.

Середні результати більш типові, ніж крайні. Так, після настання незвичайної події ситуація схильна вертатися до свого середнього рівня: за екстраординарними випадками, як правило, спостерігаються звичайні явища.

В статистиці неможливо обійтися без розв'язання задачі прогнозування із застосуванням спеціальних методів прогнозування.

На практиці вказані вище задачі пов'язані між собою й виконуються послідовно, від простої до більш складної.

Ще однією задачею яка розглядається при статистичному аналізі, є задача аналізу впливу різних факторів на поведіння досліджуваної величини, що розглядається в дисперсійному аналізі.

Наприклад, для одержання сертифіката на діагностичний комплекс проводилися сертифікаційні випробування в різних лабораторіях за допомогою різного устаткування різними фахівцями й було отримано різні результати. Потрібно вирішити: чи є ця розбіжність випадковою, тобто зумовленою малою кількістю випробувань і неможливістю виключення впливу випадкових величин, чи причиною є недосконалість устаткування, або різна кваліфікація фахівців, або методика проведення випробувань, або вплив інших факторів. Для правильності ухвалення рішення про видачу сертифіката і застосовується дисперсійний аналіз, який дає змогу виявити причину розбіжностей результатів.

Можна також додати, що на практиці багато складних задач успішно розв'язуються саме доволі простими статистичними методами. Так, у медицині, зокрема фармакології, здійснюється оцінювання ефективності ліків класифікація хворих за ступенем важкості захворювання, дослідження кардіограм, різні тести, що дають змогу діагностувати пацієнтів на ранньому етапі захворювання. Усе це шлях до доказової медицини, і він безпосередньо реалізує статистичні методи.

Так само можна розв'язувати задачі оцінювання технічного стану засобів вимірювальної техніки (до яких належать побутові лічильники газу), транспортних засобів, класифікації об'єктів незавершеного будівництва, класифікації джерел викидів забруднювальних речовин і багато інших, де досі застосовуються емпіричні правила.

Однак кожна із сфер застосування статистичних методів потребує розроблення методик, які суттєво відрізняються між собою і водночас повинні базуватись на основних фундаментальних принципах статистичного аналізу.

Як показує практика, вартість обробки результатів експериментів становить незначну частину вартості експерименту в цілому, але може значно підвищити цінність здобутих результатів. Однак найчастіше цьому питанню не приділяють належної уваги, більше того, нерідко результати громіздких дорогих експериментів не піддаються навіть найпростішій обробці, через що втрачається величезна кількість корисної інформації, а іноді робляться

неправильні висновки.

Таким чином, статистичні методи обробки інформації дають змогу порівняно лаконічно описати дані, зрозуміти їхню структуру, провести класифікацію, побачити закономірності в хаосі випадкових явищ.

1.2 Статистичні характеристики при реалізації статистичного методу аналізу

Випадкові процеси характеризують зміну в часі випадкових величин, які в кожний момент мають певні характеристики [20].

При вивченні випадкових процесів розглядають окремі його реалізації. У загальному випадку, для знаходження ймовірнісних (статистичних) характеристик випадкового процесу необхідно розглядати сукупність реалізацій, яка називається ансамблем реалізацій. Випадковий процес також можна розглядати як набір певних дискретних результатів вимірювання впродовж певного часу або набір результатів вимірювання одного параметра багатьох однотипних об'єктів, наприклад засобів вимірювальної техніки.

Основною характеристикою випадкового процесу є математичне сподівання. Математичним сподіванням випадкового процесу називається не випадкова функція, значення якої відповідає математичному сподіванню випадкової величини, що відповідає значенню параметра в будь-який момент часу. Математичне сподівання випадкового процесу є геометричним місцем центрів розподілів випадкової величини для певного моменту часу. Математичне сподівання випадкового процесу має властивості, аналогічні властивостям математичного сподівання випадкової величини.

Другою характеристикою випадкового процесу, без якої не реалізується жодне статистичне дослідження є дисперсія випадкового процесу.

Дисперсія випадкового процесу є не випадковою функцією часу, значення якої являють собою дисперсії випадкової величини, що відповідає цьому

значенню параметра для досліджуваного моменту часу.

Додатний корінь із дисперсії є середньоквадратичним відхиленням випадкового процесу.

Дисперсія та середньоквадратичне відхилення характеризують розсіювання можливих реалізацій щодо середнього випадкового процесу.

Наступною статистичною характеристикою випадкових процесів являється функція кореляції.

В багатьох випадках видно, що за характером зміни реалізацій досліджувані процеси відрізняються. При цьому може виявитися, що математичні сподівання і дисперсії цих процесів будуть однакові. Тому вказаних двох статистичних характеристик недостатньо, для того, щоб дістати уявлення про випадковий процес. Для повної характеристики процесів необхідно ввести показник, що дає змогу оцінити зв'язок між значеннями випадкового процесу залежно від параметра часу.

Для характеристики зв'язку між двома значеннями випадкового процесу $x(t)$, отриманими в моменти часу t_1 і t_2 , використовується момент другого порядку, який називається функцією кореляції:

$$R_x(t_1, t_2) = R_x(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x_1^0(t_1) x_2^0(t_2) W(x_1, x_2, t_1, t_2) dx_1 dx_2, \quad (1.1)$$

де $x^0 = x(t) - m_x(t)$ – центрована величина; $W(x_1, x_2, t_1, t_2)$ – щільність ймовірностей значень випадкового процесу; $m_x(t)$ – математичне сподівання випадкового процесу.

Таким чином, функція кореляції характеризує щільність стохастичного лінійного зв'язку між значеннями випадкового процесу для різних моментів часу t .

Залежно від зміни в часі випадкові процеси поділяються на стаціонарні та нестаціонарні. Параметри стаціонарних процесів не залежать від часового інтервалу, в якому вони розглядаються. Середнє значення та дисперсія стаціонарних сигналів постійні і не залежать від часу.

Якщо випадковий процес стаціонарний, то значення кореляційної функції залежатиме тільки від часового інтервалу між відповідними значеннями

випадкового процесу й не залежатиме від абсолютних значень t_1 і t_2 . На практиці цей часовий інтервал позначають буквою τ і кореляційну функцію подають як функцію від різниці часів, тобто від параметра τ . У цьому випадку функцію називають автокореляційною функцією і позначають $R_x(\tau)$.

Більшість стаціонарних випадкових процесів мають властивість ергодичності, тобто коли за однією реалізацією випадкового процесу можна визначити його ймовірнісні характеристики. При цьому передбачається, що час дослідження практично великий, а теоретично нескінченний. Випадковий процес задовольняє умови ергодичності, якщо його статистичні характеристики, отримані усередненням за ансамблем реалізацій, можуть бути отримані часовим усередненням однієї реалізації за великий період часу.

Ергодичні процеси є найбільш зручними для дослідження, бо дають змогу безпосередньо застосовувати апарат статистичної обробки до випадкових процесів.

Для стаціонарного ергодичного процесу вираз (1.1) можна подати як

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} x^0(t) x^0(t + \tau) W(x, t) dx \quad (1.2)$$

Автокореляційна функція дає змогу встановити взаємозв'язок між значеннями процесу в даний момент часу та значеннями в моменти часу, зсуненими на τ .

Автокореляційна функція дає можливість ідентифікувати процес, тобто встановити, яким є процес: гармонійним, випадковим чи їхньою сумою. Наприклад, автокореляційна функція гармонійного процесу є також гармонійна функція.

Для дослідження двох процесів випадкових і не випадкових в статистичному аналізі також використовується взаємна кореляційна функція. Вона оцінює зв'язок між значеннями двох досліджуваних процесів.

Взаємно кореляційна функція застосовується для визначення взаємних часових характеристик і параметрів досліджуваних залежностей, наприклад для часу затримки або для виявлення сигналу на фоні шуму.

2 РОЗРОБЛЕННЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ І АПРОБАЦІЯ СТАТИСТИЧНОГО МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОБУТОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ

2.1 Нормативна база для реалізації метрологічних досліджень побутових лічильників газу

Кожний ПЛГ характеризується відповідними технічними і метрологічними характеристиками, вказаними наприклад, в [6]. До технічних відносяться номінальне, максимальне та мінімальне значення робочих витрат, максимальний допустимий робочий тиск, втрати тиску при роботі лічильника, можливість функціонування при певному діапазоні температур природного газу та навколишнього середовища, вологості навколишнього повітря, стійкістю до вібрацій та ін.

До найхарактерніших метрологічних характеристик ПЛГ можна віднести основну допустиму похибку та поріг чутливості. Вони при експлуатації ПЛГ можуть змінюватися в залежності від умов експлуатації і якості виготовлення ПЛГ. Саме зміна цих метрологічних характеристик є найважливішою причиною невідповідності ПЛГ до нормативних документів, а також виникнення втрат природного газу, що вимагає досягнення належного рівня метрологічного забезпечення ПЛГ.

Відносна похибка ПЛГ δ_L визначається застосуванням еталонних установок експериментально шляхом пропуску через нього певного значення контрольного об'єму газу і обчислюється за формулою [6, 7]:

$$\delta_L = \frac{V_L - V_E}{V_E} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

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 робочої витрати, яка подається в його

паспорти. Це проводиться з метою оцінювання відповідності згідно вимог технічного регламенту на ПЛГ, які відносяться до засобів вимірювальної техніки законодавчо регульованої сфери. Також ця крива визначається при первинній і періодичній [6-8] повірках ПЛГ.

Для графічного відображення реальної метрологічної характеристики лічильників газу при різних робочих витратах використовуються криві залежності величини похибки від витрати [10]. Ці криві отримують при метрологічних випробуваннях лічильників за нормованих витрат, які конкретизовані в національних і міжнародних стандартах [6-8]. Для переважної більшості лічильників газу ці витрати становлять: q_{\min} ; $0,1q_{\max}$; $0,2q_{\max}$; $0,4q_{\max}$; $0,7q_{\max}$; q_{\max} .

При метрологічних дослідженнях ПЛГ з врахуванням умов повірки і типу еталонних установок відносно похибку δ_L для ПЛГ згідно [9, 16] з урахуванням втрат тиску та різниці температури на вході лічильника і на виході робочого еталона обчислюють за формулою:

$$\delta_L = \left[\frac{V_L}{V_E} \cdot \frac{p_L}{p_E} \cdot \frac{T_L}{T_E} - 1 \right] \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

або

$$\delta_L = \delta_V + K_p + K_T, \quad (2.3)$$

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 виходом робочого еталона і входом лічильника, %; 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.

Методи та засоби перевірки метрологічних характеристик ПЛГ і повірки ПЛГ у відповідності до вимог [7] юридично регламентується чинними нормативними документами [7]. Згідно нормативних документів

передбачається випробування лічильників на заводі-виробнику при випуску перевірянням метрологічних і технічних характеристик. Тут також конкретизуються методи і засоби повірки ПЛГ при випуску, після ремонту, а також при експлуатації.

Для ПЛГ міжповірочний інтервал раніше становив 5 років [6], але у відповідності до Наказу Мінекономрозвитку і торгівлі України від 08.02.2016р. №193 для мембранних лічильників газу, що використовуються в побуті, міжповірочний термін становить 8 років.

Відповідно до [8] 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 похибки еталонної установки повинні становити не більше третьої частини границі відносної похибки лічильників. При цьому при повірці використовується робоче середовище повітря з температурою від 18°C до 22°C, яка відповідає допустимій температурі навколишнього середовища еталонної установки і температурі її робочого середовища.

Визначення відносної похибки лічильників у відповідності до вимог [8] під час приймально-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. Згідно [7] перевіряють основні метрологічні та технічні характеристики ПЛГ, а відносну похибку визначають тільки на витратах q_{min} ; $0,2q_{max}$; q_{max} з повітряним робочим середовищем.

В Україні з 01.01.2007 року запроваджений національний стандарт [6], який також передбачає визначення похибки мембранних лічильників при випробуваннях на кожній із таких семи зазначених робочих 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. Це також не передбачає необхідності перевірки метрологічних характеристик мембранних лічильників на природному газі.

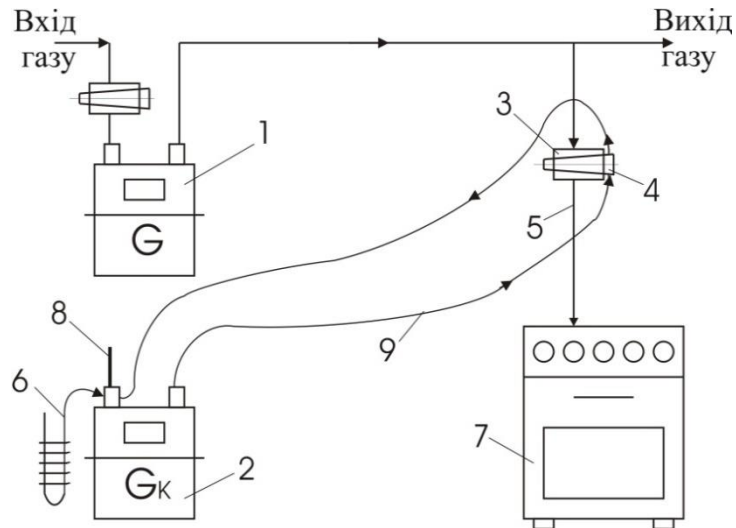
Найновіший Національний стандарт України [8], який стосується лічильників газу для побутових потреб та комерційного обліку, також

регламентує повірку цих лічильників на повітрі і не констатує можливості бездемонтажної їх повірки.

Згідно [11] для технічних об'єктів, до яких відносяться ПЛГ, може бути застосоване поняття діагностування і контролю технічного стану. Техніко-метрологічні засади створення установок для реалізації такого підходу для перевіряння метрологічних характеристик ПЛГ відображені в [11]. Вони передбачають здійснення перевірки ПЛГ за обмеженою кількістю параметрів. Наприклад, це може стосуватися не всього діапазону робочих витрат. Також можуть визначатися окремі технічні і метрологічні характеристики, які стосуються правильності функціонування ПЛГ, зокрема 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 [4]. Схема проведення експрес-контролю ПЛГ (рис. 1.1) згідно [4] передбачає послідовне приєднання до перевірюваного ПЛГ 1 контрольного лічильника 2 за допомогою спеціальних з'єднувальних рукавів 9 через кран 3 перед газоспоживним приладом 7. На вході контрольного лічильника 2 манометром 6 вимірюється надлишковий тиск природного газу і термометром 8 його температури. Похибка ПЛГ обчислюється шляхом порівняння відлічених об'ємів природного газу контрольним лічильником і ПЛГ.

Процедура проведення експрес-контролю також передбачає визначення різниці результатів вимірювань заданого об'єму газу за витрат $2q_{min}$ і $0,1q_{max}$. Для конкретних типорозмірів лічильників (G1,6; G2,5; G4; G6) формується контрольний об'єм газу значенням від 15 до 40 дм³ за витрати $2q_{min}$. За витрати $0,1q_{max}$ цей об'єм може змінюватися і становить від 50 до 150 дм³. За результатами проведеного метрологічного контролю формується висновок щодо можливості продовження тривалості експлуатації ПЛГ.



1 – ПЛГ; 2 – контрольний лічильник; 3 – кран перед газоспоживним приладом; 4 – інвентарна пробка; 5 – газопровід до газоспоживного приладу; 6 – манометр; 7 – газоспоживний прилад; 8 – термометр; 9 – з'єднувальний рукав

Рисунок 2.1 – Схема проведення експрес-контролю ПЛГ

Однак юридично така метрологічна операція не може слугувати періодичною повіркою ПЛГ, оскільки контрольний лічильник повинен характеризуватися похибками, отриманими за допомогою еталонних установок з функціонуванням на природному газі. Так як ПЛГ відносяться до маловитратних засобів обліку газу і працюють за малих робочих витрат газу, то еталонних установок в Україні на природному газі за таких витрат поки що немає.

Відомими є деякі закордонні методики, наприклад, викладена в [11], яка стосується методики повірки побутових лічильників за місцем експлуатації за допомогою еталонного лічильника. Схема реалізації такої методики зображена на рис. 1.2. Така методика повірки за своєю суттю відображає технічне рішення української методики експрес-контролю [4], згідно якої застосовується контрольний лічильник, а в описаній в [11] – еталонний лічильник. Для під'єднання еталонного лічильника у двох методиках передбачено застосування гнучких шлангів, а при визначенні похибки здійснюють відлік показів з досліджуваного і контрольного або еталонного 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 документі [4] – це витрати $2q_{\min}$; $0,1q_{\max}$, а згідно методики з [11] похибку визначають за мінімальної і максимальної можливих відтворюваних витрат, кількісні значення яких не конкретизовані. Однак головна відмінність – результат перевірки метрологічної характеристики: в [4] – це контроль придатності до експлуатації, а згідно методики із [11] – отримання результату проведення повірки. Також в методиці із [11] не конкретизовано, на якому середовищі повинен бути метрологічно атестованим еталонний лічильник, тільки сказано, що він повинен мати чинне свідоцтво про повірку.

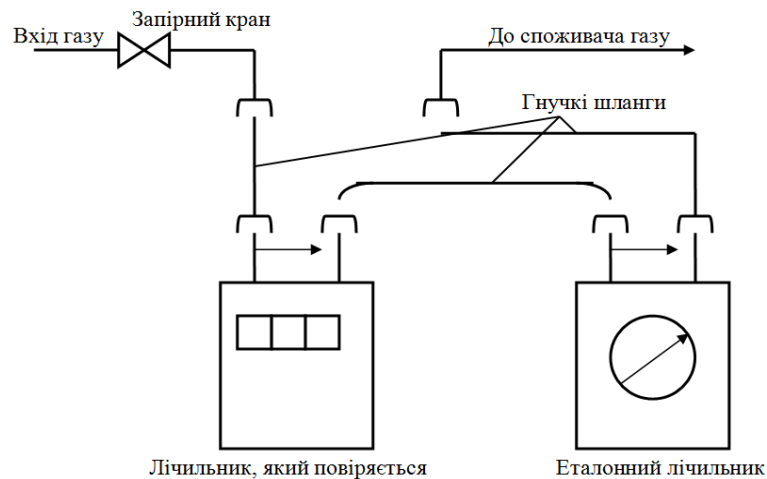


Рисунок 2.2 – Схема методики здійснення повірки ПЛГ за місцем експлуатації

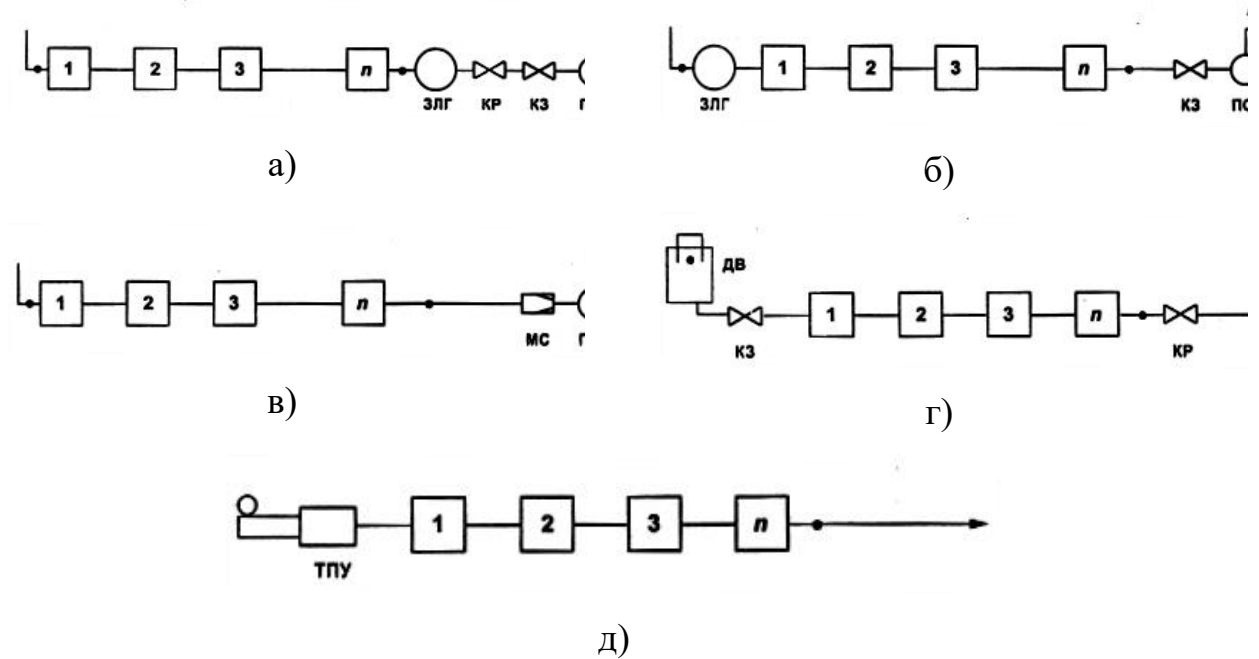
2.2 Технічні засоби для статистичного метрологічного дослідження побутових лічильників при їх демонтажі з місця експлуатації.

У відповідності до [7] регламентується застосування таких схем повірочних установок:

- повірочні установки, що виконані на базі зразкових лічильників газу;
- повірочні установки з використанням мікросопел;

- повірочні установки дзвонового типу;
- повірочні установки трубопоршневого типу.

Структурні схеми установок із [7] подані на рис. 2.3.



а – повірочна установка зі зразковим лічильником газу, що розташований після лічильника; б – повірочна установка зі зразковим лічильником газу, що розташований перед лічильником; в – повірочна установки з використанням мікросопел; г – повірочна установка дзвонового типу; д – повірочна установка трубопоршневого типу.

1, 2, 3 ... n – порядковий номер лічильника; КР, КЗ – крани запірний та регулюючий; ЗЛГ – зразковий лічильник газу; МС – мікросопло; ДВ – дзвонова установка; ТПУ – трубопоршнева установка; ПСВ – пристрій створення витрати (розрідження);

- – місця вимірювання температури та тиску

Рисунок 2.3 – Схеми повірочних установок

Тут зазначимо, що у переважній більшості із вказаних установок робочим середовищем є повітря і стаціонарний варіант їх виконання, які не передбачають можливість дослідження метрологічних характеристик ПЛГ в

умовах експлуатації без проведення демонтажу. Наведена в таблиці 1 інформація щодо можливості використання природного газу і мобільності виконання установок в опрацьованих інформаційних джерелах не є достатньо повною для конкретного їх аналізу і подана як інформаційний матеріал.

Принцип дії і деякі особливості функціонування еталонних установок подані у наукових публікаціях, наприклад, дзвонові установки у [10, 12], трубопоршневі установки у [10], установки з використанням критичних сопел у [13], установки з еталонним лічильником у [10].

В табл. 2.1 наведена порівняльна характеристика вітчизняних і закордонних еталонних витратовимірювальних установок, які знайшли застосування для повірки ПЛГ.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика деяких вітчизняних і закордонних перевірочних установок ПЛГ

Тип установки, найменування	Відносна похибка, %	Діапазон відтворених витрат, м ³ /год	Робоче середовище	Вид робочого еталону	Варіант виконання	Фірма-виробник, країна
Дзвонові установки						
РЕОВГ-0,2	0,2	0,016-16	Повітря	Дзвін у резервуарі з рідиною	Стаціонарна	КП «СКБ ЗА», м.Івано-Франківськ (Україна)
ІФГАЗ-1 ІФГАЗ-2м	0,25	0,016-16	Повітря		Стаціонарна	ВАТ «Івано-Франківськгаз» (Україна)
“Самгаз-Рівне”	0,2	0,01-25	Повітря		Стаціонарна	ТЗОВ «Самгаз-Рівне», м.Рівне (Україна)
GAS 200	0,2	до 16	Повітря		Стаціонарна	Schlumberger (Франція)

Тип установки, найменування	Відносна похибка, %	Діапазон відтворюваних витрат, м ³ /год	Робоче середовище	Вид робочого еталону	Варіант виконання	Фірма-виробник, країна
Установки з еталонним лічильником						
«ТЕМПО-3»	0,3-0,5	0,016-16	Повітря	Роторний Мембранний	Стаціонарна	ТЗОВ «Темпо», м.Івано-Франківськ (Україна)
“Калібр”	0,3	0,016-10	Повітря	Роторний	Стаціонарна	ДП“Арсенал”, м.Київ (Україна)
BPG-R	0,2	до 16	Повітря	Мембранний	Стаціонарна	Schlumberger (Франція)
Метрогаз	0,5	0,016-16	Повітря	Барабанный Роторний	Стаціонарна	ТЗОВ «Вектор НПП», Світловодськ, (Україна)
Dresser 5 2M/10M	0,5	1 - 57	Повітря	Мембранний	Мобільна	Dresser Inc. (США)

2.3 Технічні рішення для статистичного бездемонтажного метрологічного дослідження побутових лічильників газу

Розроблення технічних рішень базується на аналізі відомих підходів, вивченні їх недоліків і розробленні удосконалених способів і пристроїв для їх реалізації.

Бездемонтажне діагностування побутових лічильників газу в експлуатації необхідно здійснювати без втручання в будинкову газову мережу. При цьому його реалізація згідно [14] передбачає порівняння попередньо розрахованої величини об'єму газу, який спалюється в пальниках газового обладнання, з об'ємом газу, відміряного побутовим лічильником газу за період проведення контролю.

Такий метод забезпечує діагностування метрологічних характеристик лічильників без їх демонтажу. Однак при цьому необхідно знати теплоту згоряння природного газу, яка повинна бути відомою за результатами його хроматографічного аналізу, наприклад, у вимірювальній лабораторії газозбутової організації.

Цьому способу характерна недостатня точність вимірювання, бо використовуване при метрологічних дослідженнях значення теплоти згоряння газу у споживача може суттєво відрізнятись від експериментально встановлених якісних характеристик газу внаслідок неоднозначності транспортної затримки газу при його передачі до споживачів від місця його відбору для хроматографічного аналізу. Крім того, реалізація вимірювання тиску газу на виході побутового лічильника потребує здійснення конструктивних змін у ньому, що суттєво ускладнює технічну реалізацію цього способу, а відсутність конкретизації у технічній документації споживачів потужності пальників від робочого тиску перед ними призводить до виникнення додаткової похибки, і, як наслідок, зменшення точності діагностування ПЛГ. Поряд з цим до зниження точності діагностування ПЛГ приводять можливі забруднення сопел пальників від неякісного природного газу, що може суттєво змінити їх конструктивні характеристики.

Відомим також є пристрій, за допомогою якого можна реалізувати спосіб діагностування та перевірки побутових лічильників газу бездемонтажно на лінії газопостачання методом порівняння об'єму газу, відліченого побутовим лічильником, з розрахованим об'ємом газу, який визначається за результатами вимірювань попередньо проградуєваного спеціального торцевого сопла [15].

Конструктивною особливістю пристрою є наявність спеціальних торцевих сопел, які градуєують у комплекті з приєднувальними трубопроводами і перетворювачами для вимірювання тиску і температури природного газу перед торцевим соплом. При конструктивній реалізації цього способу [15] тиск і температуру газу безпосередньо в побутовому лічильнику необхідно розраховувати. Це здійснюють прямими вимірюваннями у прилеглій ділянці трубопроводу перед торцевим соплом і приведенням до умов функціонування побутового лічильника газу згідно заданої витрати і технологічних параметрів комутаційних трубопроводів між лічильником газу і торцевим соплом.

Однак конструктивна реалізація такого способу [15] також характеризується складністю, оскільки вимірювання тиску і температури природного газу у приєднувальному трубопроводі перед торцевим соплом без конструктивного втручання у експлуатаційне газоспоживне обладнання передбачає застосування додаткового спеціального пристрою, який під'єднується на період випробувань побутового лічильника замість існуючого експлуатаційного газоспоживного обладнання. Цей спеціальний пристрій конструктивно повинен містити один або декілька пальників із змонтованими торцевими соплами із прилеглими ділянками та перетворювачами для вимірювання тиску, температури і бажано густини природного газу. Це також приводить до зростання вартості і технологічної складності проведення діагностування внаслідок необхідності виготовлення спеціального пристрою, який би забезпечував вимірювання параметрів природного газу і його спалювання при діагностуванні чи перевірці побутових лічильників газу.

За участю автора розроблений вдосконалений комплексний пристрій для бездемонтажного діагностування та перевірки ПЛГ [16], який порівняно з [15] додатково містить щонайменше один технологічний елемент відбору

природного газу з давачами тиску, температури і густини природного газу, який вмонтований в один із запірних кранів газоспоживного обладнання. Пристрій містить проградуйований разом з приєднувальним трубопроводом експлуатаційного газоспоживного обладнання звужувальний пристрій, який вмонтований щонайменше в один із пальників газоспоживного обладнання. При цьому конструктивне під'єднання спеціального звужувального пристрою виконано взаємозамінним з конструктивним під'єднанням комплектного звужувального пристрою пальника експлуатаційного газоспоживного обладнання, а давачі технологічного вузла відбору природного газу через відповідні узгоджувальні пристрої під'єднані до ПЕОМ для розрахунку похибки побутового лічильника газу.

Особливість цього патентозахищеного пристрою для бездемонтажного діагностування ПЛГ [16] полягає у застосуванні в складі установки попередньо проградуйованих звужувальних пристроїв (ЗП), конструктивно виготовлених у вигляді торцевих сопел. Їх встановлюють на період дослідження у пальниках газоспалювального обладнання замість ЗП, які входять у склад конструкції газоспоживного обладнання (рис. 2.4).

Розроблений пристрій містить технологічний елемент 1 відбору природного газу, який вмонтований в перекиривний кран 2 вмонтованого технологічного трубопроводу 3 об'єкта газоспоживання 4. Технологічний елемент 1 укомплектований перетворювачами тиску 5, температури 6 і густини 7 природного газу, які під'єднані до персонального комп'ютера 8. Вихідний патрубок перекиривного крана 2 об'єкта газоспоживання 4 під'єднаний до внутрішнього трубопроводу 9 з комплектним торцевим соплом 10 у пальнику 11. Схема передбачає наявність ПЛГ 12, який встановлений у будинковій газовій мережі 13 з перекиривним вентилям 14, і комутаційний трубопровід 15 між ПЛГ 12 і об'єктом газоспоживання 4. Внутрішній технологічний трубопровід 3 об'єкта газоспоживання 4 під'єднаний до запірних кранів 2, 16 та комутаційного трубопроводу 15. Інформаційним каналом 17 від ПЛГ 12 до комп'ютера 8 передається інформація про виміряний об'єм газу. Положенням 18

на схемі вказаний внутрішній трубопровід до іншого торцевого сопла 19 у пальнику 20.

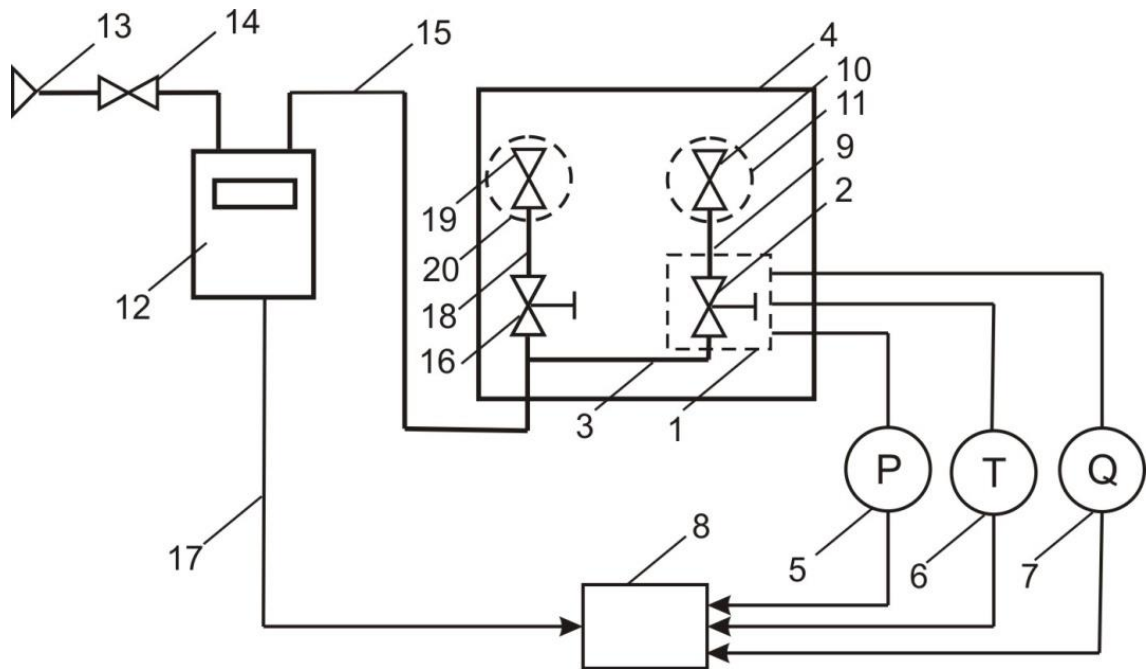


Рисунок 2.4 – Схема пристрою для бездемонтажного метрологічного перевіряння ПЛГ з використанням вмонтованих торцевих сопел у газоспоживному обладнанні

Розроблений пристрій функціонує за наступним алгоритмом. Спочатку при закритому вентилю 14 до перекидного крану 2 під'єднують технологічний елемент 1 із перетворювачами 5-7 параметрів газу. Потім замість комплектного торцевого сопла 10 пальника 11 згідно вибраного значення досліджуваної витрати, наприклад мінімальної, монтують спеціальне торцеве сопло, яке проградуйоване у відповідності до цієї робочої витрати разом з прилеглим внутрішнім трубопроводом 9. Далі після відкриття вентиля 14 і крану 2 запалюють газ у пальнику 11. При цьому газ поступає через побутовий лічильник 12, мережу трубопроводів 15, 3, 9 до спеціального торцевого сопла 10 у пальнику 11.

Далі здійснюють візуально або за допомогою спеціального відлікового пристрою формування моментів початку і кінця пропускання вимірюваного об'єму газу. При цьому вимірюють тиск, температуру і густину природного газу.

Похибка ПЛГ при його метрологічній перевірці розраховується за формулою:

$$\delta = \left[\frac{V}{V_0} \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T} - 1 \right] \cdot 100 \%, \quad (2.4)$$

де V і V_0 – об'єми газу, які виміряні побутовим лічильником і розраховані з використанням торцевого сопла відповідно; p , p_0 , T , T_0 – абсолютний тиск і абсолютна температура на досліджуваному побутовому лічильнику і перед торцевим соплом відповідно.

Об'єм природного газу, який протікає через торцеве сопло, розраховується за формулою:

$$V_0 = \alpha \cdot \varepsilon \cdot F_0 \cdot \tau \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_0}}, \quad (2.5)$$

де α – коефіцієнт витрати спеціального торцевого сопла, який визначений експериментально при градуюванні разом з прилеглим приєднувальним трубопроводом; ε – поправний коефіцієнт на розширення газу; F_0 – площа отвору торцевого сопла; Δp – перепад тиску на торцевому соплі; ρ_0 – густина природного газу за робочих параметрів торцевого сопла; τ – тривалість формування об'єму газу, який протікає через побутовий лічильник і сопло.

Для відтворення іншої витрати газу проводять заміну спеціального звужувального пристрою, або частково перекривають кран подачі газу до пальника експлуатаційного газоспоживного обладнання, або монтують одночасно декілька спеціальних звужувальних пристроїв в декількох пальниках експлуатаційного газоспоживного обладнання і повторюють визначення похибки ПЛГ за іншої витрати газу.

Отримані значення похибок, які розраховані згідно алгоритму (4) дають можливість зробити висновок про результати метрологічного перевіряння ПЛГ.

Перевагою цього конструктивного рішення є відсутність потреби у виготовленні як окремого обладнання установки для метрологічного перевіряння побутових лічильників, що значно спрощує її конструктивне виконання. Однак цей метод також вимагає попереднього градуювання

торцевих сопел на природному газі або їх градування на повітрі із використанням спеціальної методики передавання одиниць вимірювання із застосуванням концепції зміни робочого середовища [5].

Описані пристрої не передбачають проведення метрологічної перевірки ПЛГ на повітряному робочому середовищі, що тепер регламентується нормативними документами України [6-8].

Відомим є ще одне технічне рішення [16] установки для бездемонтажного метрологічного перевіряння ПЛГ (рис. 2.5), яку можна розглядати як удосконалення установки, зображеної на рис. 2.4. Установка додатково обладнана джерелом робочого середовища, під'єданого до мережевого будинкового газопроводу через спеціальний технологічний вузол перед ПЛГ. Крім цього, установка укомплектована еталонним лічильником газу, до виходу якого під'єднаний вузол збирання робочого середовища. Установка може бути конструктивно виконаною з використанням повітродувки (повітряне робоче середовище) або з використанням ємності зі стиснутим природним газом, що забезпечує функціонування на середовищі природного газу.

Застосування вузла збирання робочого середовища у формі еластичної ємності змінного об'єму дозволяє не спалювати природний газ при метрологічній перевірці ПЛГ. Це забезпечує його раціональне використання як дороговартісного енергоносія. Також природний газ при його ощадному застосуванні може бути використаний як джерело замкнутого контура використання робочого середовища. При цьому необхідно на виході еластичної ємності встановити компресор для подачі газу в ємність, яка технологічно під'єднана до вхідного трубопроводу ПЛГ.

Наявність додаткового джерела робочого середовища (повітря або природний газ) забезпечує розширення діапазону відтворюваних робочих витрат пристрою. Цим досягається можливість перевірки ПЛГ на максимальних робочих витратах і досягнення відповідності умов повірки ПЛГ до нормативних документів України.

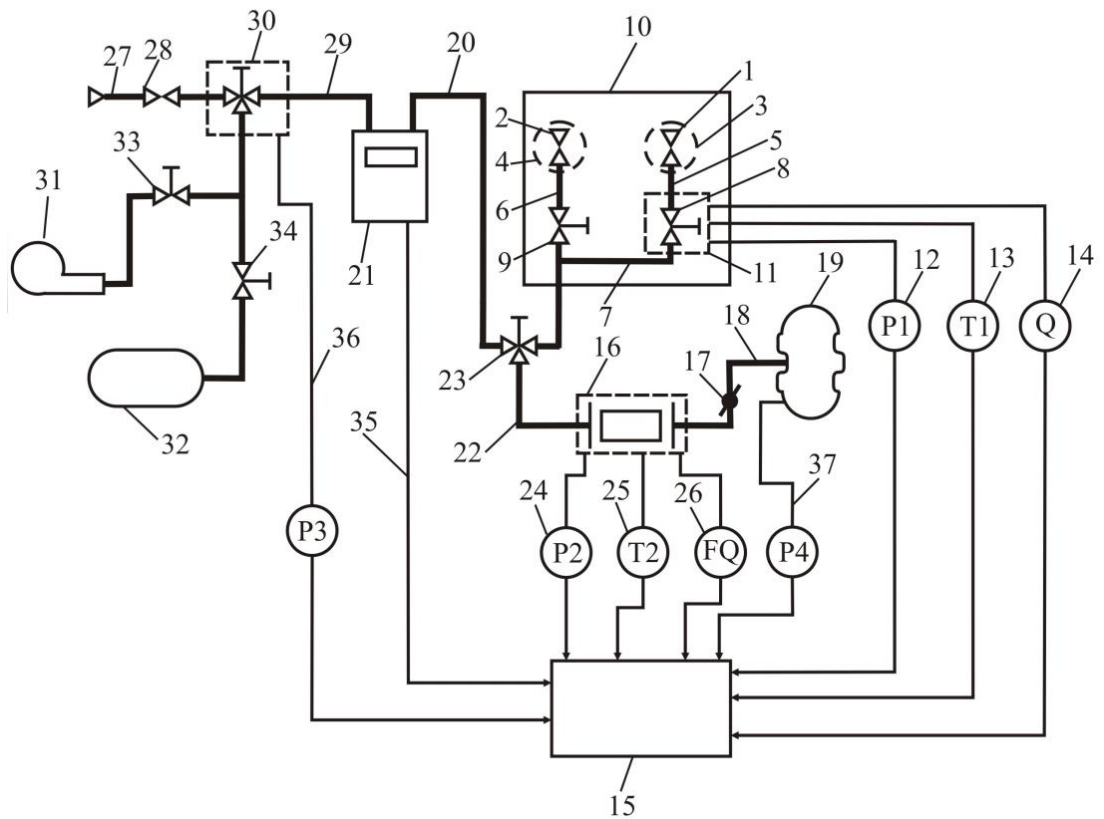


Рисунок 2.5 – Схема установки для бездемонтажної метрологічної перевірки ПЛГ на повітрі і природному газі

Установка [17] містить еталонний засіб вимірювання витрати природного газу у вигляді двох торцевих сопел 1 і 2 з пальниками 3 і 4, які встановлені з перехідними трубопроводами 5 і 6 із запірними кранами 8 і 9 у внутрішньому технологічному трубопроводі 7 об'єкта газоспоживання 10. В запірний кран, наприклад 8, вмонтований технологічний елемент 11 відбору робочих параметрів робочого середовища, який обладнаний перетворювачами тиску 12, температури 13 і густини 14, вихідні сигнали з яких поступають до персонального комп'ютера 15. Схема передбачає наявність допоміжного еталонного лічильника 16. Задавач витрати 17 встановлений у трубопроводі 18 під'єднання до еластичної ємності 19. Подача робочого середовища до еталонного лічильника 16 здійснюється від трубопроводу 20 з виходу ПЛГ 21 через розгалужувач 23 і допоміжний трубопровід 22. Еталонний лічильник 16 обладнаний перетворювачами тиску 24, температури 25 і об'єму 26 робочого середовища. Побутовий лічильник 21 змонтований у будинковому газопроводі 27 з вхідним вентилям 28 поміж з'єднувальних трубопроводів 29 і 20. У

трубопроводі 29 перед ПЛГ 21 встановлюється спеціальний технологічний елемент 30 подачі газу від повітродувки 31 або ємності зі стисненим природним газом 32 із запірними кранами 33 і 34 у відповідних вихідних трубопроводах. Додаткові інформаційні лінії пристрою вказані позиціями 35-37.

Пристрій забезпечує можливість реалізації різних алгоритмів функціонування. Одні передбачають використання природного газу як робочого середовища, а другі – використання повітря як робочого середовища.

При роботі на природному газі застосовується будинковий газопровід як джерело витрати. У цьому випадку пристрій функціонує у такому аспекті.

Спочатку при закритому вентилі 28 і закритих запірних кранах 33, 34 до крана 8 під'єднують технологічний елемент 11 із перетворювачами 12-14 параметрів газу. Потім замість комплектного торцевого сопла 1 пальника 3 в залежності від необхідної витрати монтують відповідне торцеве сопло, яке повинно бути попередньо проградуйованим у відповідності до виконання приєднувального перехідного трубопроводу 5.

Після відкриття вентиля 28 і крана 8 подачі газу до пальника 3 запалюють газ. При цьому газ послідовно протікає по технологічному ланцюжку із елементів 30, 29, 21, 20, 23, 7, 8, 5, 1. Таким чином відбувається протікання природного газу через ПЛГ 21 і послідовно змонтоване з ним торцеве сопло 1. Останнє у комплектності з перетворювачами 12-14 дозволяє виміряти витрату газу як еталонне значення для реалізації повірки.

Далі проводять візуальний або технічний відлік початку і кінця пропускання сформованого об'єму газу. При цьому здійснюють відлік вимірювальної інформації з ПЛГ і із перетворювачів, якими укомплектоване торцеве сопло для вимірювання витрати газу.

Похибку ПЛГ при метрологічному перевірці за цих умов обчислюють за алгоритмом (2.4)-(2.5), який повинен бути конкретизований до конструктивного виконання еталонного засобу і до виду робочого середовища, на якому функціонує перевірна установка.

У випадку використання допоміжного еталонного лічильника 16 робоче середовище з виходу ПЛГ 21 через трубопровід 20 і розгалужувач 23 поступає

до лічильника 16 і далі в еластичну ємність 19. При визначенні метрологічних характеристик відбувається порівняння показів вимірних об'ємів побутовим і еталонним лічильниками. Похибка ПЛГ обчислюється за формулою (1), яка подана раніше за текстом.

2.4 Апробація статистичного методу оцінювання метрологічних характеристик побутових лічильників газу

При статистичних дослідженнях зміни експлуатаційної похибки ПЛГ використані результати повірки понад трьох тисяч ПЛГ мембранного типу на еталонних установках АТ «Івано-Франківськгаз» (м. Івано-Франківськ). Відповідно до [7] похибка ПЛГ експериментальним методом вимірювалася на трьох робочих витратах q_{\min} ; $0,2q_{\max}$; q_{\max} . Був також конкретизований поділ лічильників по їх типорозмірах, виготовлювачах і по діапазону зміни похибок за мінімальної витрати.

З врахуванням значного розкиду отриманих значень похибок ПЛГ було вибрано п'ять діапазонів значень похибок за мінімальної витрати q_{\min} , які вказані на рис. 2.6 [18]. Потім здійснювалося формування вибірок лічильників одного типорозміру із значеннями похибок, які знаходилися би у п'яти вказаних вище діапазонах, кожен з яких відображений відповідною лінією. Таким чином, було вибрано для аналізу три типи різних виробників побутових лічильників типорозмірів G4, що ілюструється на рис. 2.6. Графічна ілюстрація відображає середні значення похибок на трьох нормативно-регламентованих витратах і результати апроксимації залежності зміни похибки вибірок ПЛГ за даними повірки після восьмирічного терміну експлуатації.

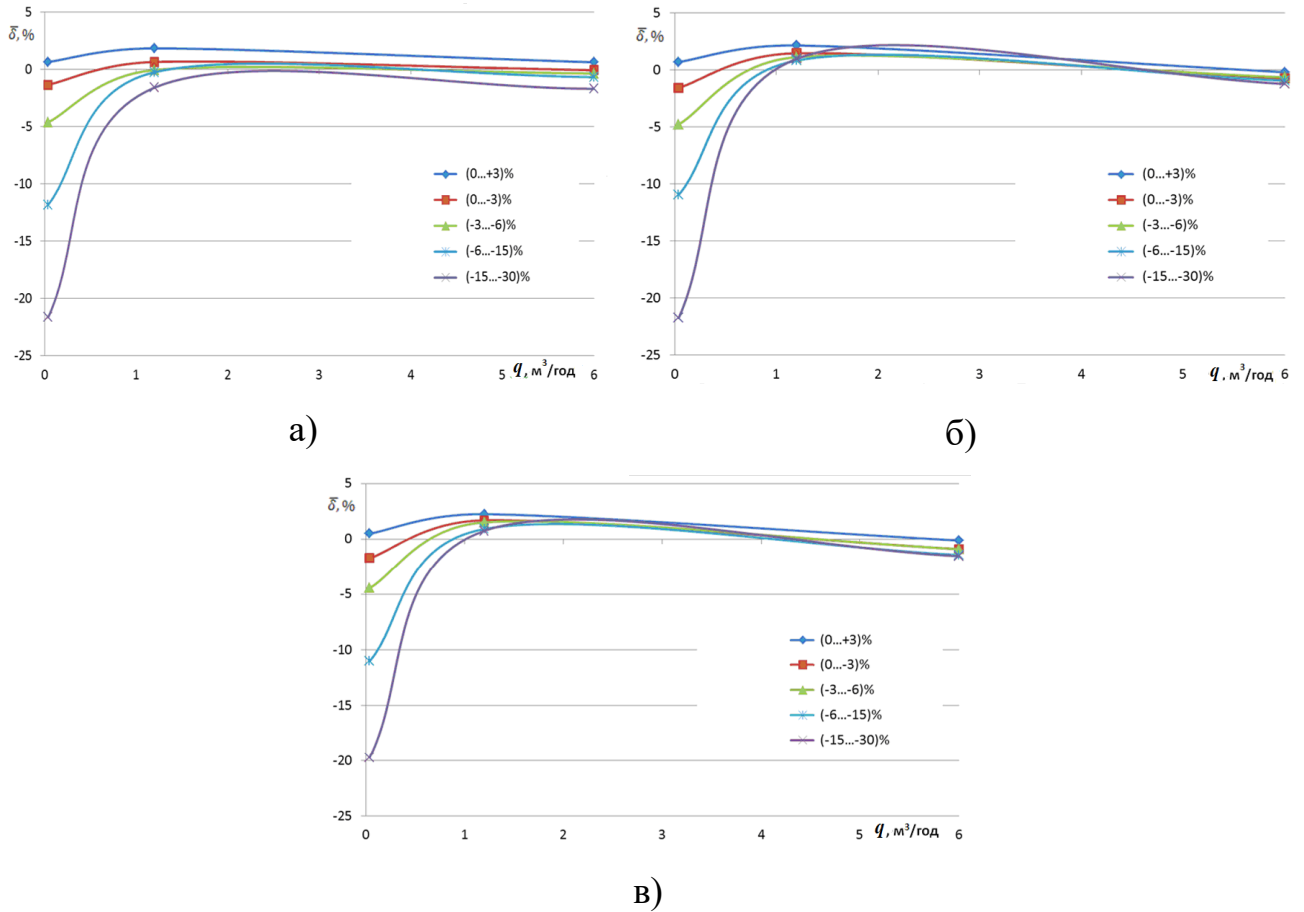


Рисунок 2.6 – Графічна ілюстрація усереднених значень похибки вибірок ПЛГ типорозміру G4 для різних діапазонів за мінімальної витрати q_{\min} для лічильників GALLUS (а), METRIX (б), SAMGAS (в)

З отриманих результатів слідує, що зміни похибок ПЛГ характеризуються статистично подібними закономірностями, які показують суттєве зростання від'ємної похибки при робочих витратах від q_{\min} до $0,2q_{\max}$. Суттєво меншою є зміна похибки в діапазоні від $0,2q_{\max}$ до q_{\max} . Враховуючи, що згідно чинного законодавства в Україні за результатами періодичної повірки побутові лічильники дозволяються до продовження терміну експлуатації, якщо їх похибка знаходиться в діапазоні від мінус 6% до +3% [6]. Тому за основу наступних статистичних досліджень взяті ПЛГ із вказаною вище похибкою, яка є допустимою для подальшого застосування.

За такого критерію основою формування наступних вибірок лічильників вибирався діапазон отриманих значень похибки від мінус 6% до +3%, які аналогічно визначалися за мінімальної робочої витрати лічильників q_{\min} . Так як

границя основної допустимої похибки еталонної установки, при якій повіряють ПЛГ не може перевищувати 0,5%, здійснений поділ ПЛГ на вибірки з інтервалом похибки 1,5%. Сформовані діапазони зміни похибок кожної вибірки будуть становити:

- діапазон похибок (+1,51 ... +3) % (діапазон 1),
- діапазон похибок (0 ... +1,5) % (діапазон 2),
- діапазон похибок (0 ... -1,5) % (діапазон 3),
- діапазон похибок (-1,51 ... -3) % (діапазон 4),
- діапазон похибок (-3,01 ... -4,5) % (діапазон 5),
- діапазон похибок (-4,51 ... -6) % (діапазон 6).

Далі була вибрана статистична кількість лічильників одного типорозміру конкретного виробника, значення похибки яких знаходились би у шести вказаних вище діапазонах. За таким підходом було вибрано для аналізу три виробники мембранних лічильників METRIX G4 (Польща), METRIX G6 (Польща), GALLUS G4 (Франція), SAMGAS G4 (Україна) вказаних типорозмірів.

При статистичному аналізі для кожної вибірки лічильників обчислювалися середні значення похибок на таких досліджуваних витратах: мінімальна q_{\min} , витрата 20% від максимальної $0,2q_{\max}$ і максимальна витрата q_{\max} . Розрахунки здійснювалися за формулами:

$$\bar{\delta}_{q1}^j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \delta_{q_{\min}i}, \% \quad (2.6)$$

$$\bar{\delta}_{q2}^j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \delta_{0,2q_{\max}i} \quad (2.7)$$

$$\bar{\delta}_{q3}^j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \delta_{q_{\max}i} \quad (2.8)$$

де $\bar{\delta}_{q1}^j$, $\bar{\delta}_{q2}^j$, $\bar{\delta}_{q3}^j$ – середні арифметичні значення похибки ПЛГ для за мінімальної витрати q_{\min} , за витрати $0,2q_{\max}$ і за максимальної витрати q_{\max}

відповідно; i – порядковий номер ПЛГ у j -ій вибірці; j – порядковий номер вибірки сформованого діапазону зміни похибки за умови при q_{\min} ; N_j – кількість лічильників у вибірці з j -го діапазону зміни похибки при q_{\min} .

Графічна ілюстрація усереднених результатів повірки ПЛГ подана на рис. 2.7.

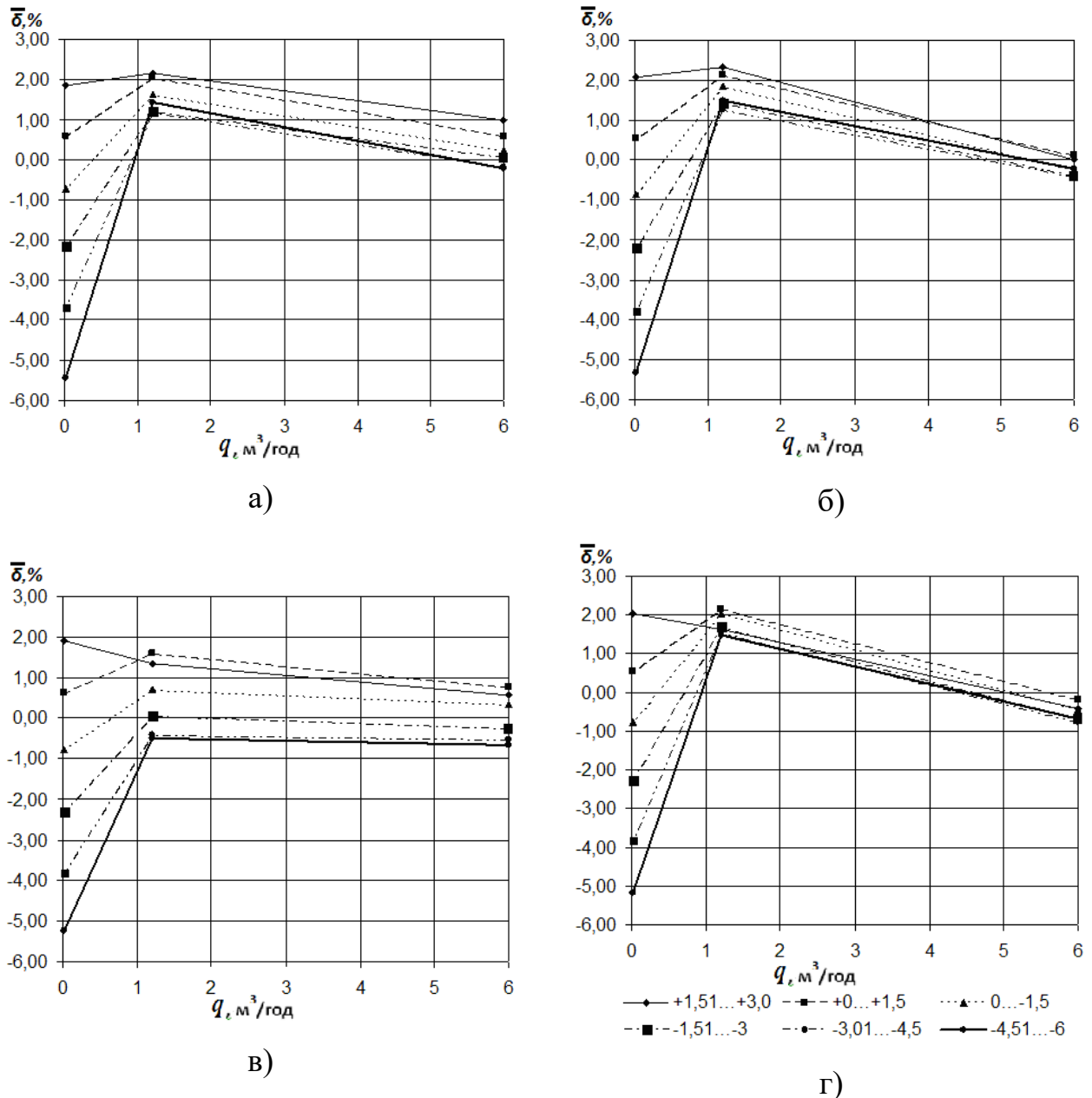


Рисунок 2.7 – Графічна ілюстрація діапазонно-лінійної апроксимації середніх значень похибки побутових лічильників METRIX G4 (а), METRIX G6 (б), GALLUS G4 (в), SAMGAS G4 (г).

Для оцінювання статистичної характеристики розкиду результатів повірки ПЛГ для кожної із шести вибірок для вказаних вище трьох значень витрат розраховувалися середні квадратичні відхилення середніх значень похибок:

$$\sigma_{q1}^j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_j} (\delta_{q1}^j - \bar{\delta}_{q1}^j)^2}{N_j(N_j - 1)}}, \%; \quad (2.9)$$

$$\sigma_{q2}^j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_j} (\delta_{q2}^j - \bar{\delta}_{q2}^j)^2}{N_j(N_j - 1)}}, \%; \quad (2.10)$$

$$\sigma_{q3}^j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_j} (\delta_{q3}^j - \bar{\delta}_{q3}^j)^2}{N_j(N_j - 1)}}, \%. \quad (2.11)$$

В формулах (2.9)-(2.11) 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 кількісно оцінювалася зміна середніх значень похибки ПЛГ при мінімальній і максимальній витратах відносно її значення при $0,2q_{\max}$. Ці зміни похибки позначені як $\Delta\delta_{q21}^j$ і $\Delta\delta_{q23}^j$ відповідно. Для цього використовувався алгоритм [18]:

$$\Delta\delta_{q21}^j = \bar{\delta}_{q2}^j - \bar{\delta}_{q1}^j, \quad (2.12)$$

$$\Delta\delta_{q23}^j = \bar{\delta}_{q2}^j - \bar{\delta}_{q3}^j, \quad (2.13)$$

$$K_j = \Delta\delta_{q23}^j / \Delta\delta_{q21}^j, \quad (2.14)$$

де K_j – коефіцієнт зміни форми похибки для j -ої вибірки за діапазоном зміни середньої похибки ПЛГ.

Результати статистичних досліджень метрологічних характеристик вибірок ПЛГ за формулами (2.6)-(2.14) подані в табл. 2.2...2.5.

Таблиця 2.2 – Статистичні характеристики похибок побутових лічильників моделі METRIX G4

№ діапазону похибки за q_{min} і його границі, %	$\bar{\delta}_{q1}^j$, %	$\bar{\delta}_{q2}^j$, %	$\bar{\delta}_{q3}^j$, %	N	σ_{q1}^j , %	σ_{q2}^j , %	σ_{q3}^j , %	$\Delta\delta_{23}^j$, %	$\Delta\delta_{21}^j$, %	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 2.3 – Статистичні характеристики похибок побутових лічильників моделі METRIX G6

№ діапазону похибки за q_{min} і його границі, %	$\bar{\delta}_{q1}^j$, %	$\bar{\delta}_{q2}^j$, %	$\bar{\delta}_{q3}^j$, %	N	σ_{q1}^j , %	σ_{q2}^j , %	σ_{q3}^j , %	$\Delta\delta_{23}^j$, %	$\Delta\delta_{21}^j$, %	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 2.4 – Статистичні характеристики похибок побутових лічильників моделі GALLUS G4

№ діапазону похибки за q_{min} і його границі, %	$\bar{\delta}_{q1}^j$, %	$\bar{\delta}_{q2}^j$, %	$\bar{\delta}_{q3}^j$, %	N	σ_{q1}^j , %	σ_{q2}^j , %	σ_{q3}^j , %	$\Delta\delta_{23}^j$, %	$\Delta\delta_{21}^j$, %	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 2.5 – Статистичні характеристики похибок побутових лічильників моделі SAMGAS G4

№ діапазону похибки за q_{min} і його границі, %	$\bar{\delta}_{q1}^j$, %	$\bar{\delta}_{q2}^j$, %	$\bar{\delta}_{q3}^j$, %	N	σ_{q1}^j , %	σ_{q2}^j , %	σ_{q3}^j , %	$\Delta\delta_{23}^j$, %	$\Delta\delta_{21}^j$, %	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

2.5 Застосування статистичного аналізу для кваліметричного оцінювання метрологічних характеристик побутових лічильників газу

В реальних умовах експлуатації ПЛГ фактичну похибку обліку природного газу визначити практично неможливо, оскільки вона залежить не тільки від

експлуатаційних витрат, від режиму споживання газу, а й від багатьох експлуатаційних факторів, таких як термін служби, якість конструкції, обсягу вимірюваного газу (інтенсивності роботи), температури газу та інших факторів.

При дослідженні ПЛГ необхідно оперувати статистичною інформацією, розраховувати середні або узагальнені показники, оскільки при експлуатації ВГМ завжди має місце розкид результатів їх вимірювань через нестабільність метрологічних характеристик. Наприклад, статистично досліджено [21] точність обліку природного газу за реальних температурних умов роботи ПЛГ. Наявність негативних похибок у роботі лічильників при негативних температурах показано на підставі результатів експериментальних досліджень моделі G4 ПЛГ. Встановлено, що наявність середньої мінусової похибки при середній температурі газу -10°C викликає похибку обліку газу у Варшаві від $-6,1\%$ до $-10,4\%$, а в Закопаному від $-2,7\%$ до $-1,8\%$, на якій впливає середньомісячна температура газу протягом року.

Польські вчені також вивчали ефект тривалості роботи ПЛГ в екстремальних умовах експлуатації при температурах навколишнього середовища -25°C , $+20^{\circ}\text{C}$, $+55^{\circ}\text{C}$. Визначено похибку мембранних лічильників після 2000 годин їх роботи [21]. Встановлено значно більший вплив високих температур навколишнього середовища порівняно з впливом низьких температур, що є неоднозначним при різних експлуатаційних витратах.

У цих публікаціях не досліджується зміна метрологічних характеристик ПЛГ за умов їх статистичних вибірок, що передбачало б аналіз великої кількості вимірювачів та узагальнення закономірностей зміни кривих похибок ПЛГ.

Відомими є дослідження зміни похибки ПЛГ за результатами їх періодичної перевірки лічильників після закінчення восьмирічного терміну експлуатації [2]. Опрацювання результатів калібрування показало, що є суттєва зміна похибки ПЛГ при роботі на мінімальному робочому споживанні Q_{\min} , є заниження природного газу. При цьому зміна похибки при максимальній вартості і вартості значно менша і практично не корелює зі зміною похибки при. Помилки для та здебільшого відповідають допустимим паспортним

значенням.

Опрацювання результатів калібрування показало, що є суттєва зміна похибки ПЛГ при мінімальному робочому споживанні Q_{\min} , є зниження природного газу. При цьому зміна похибки при максимальному споживанні Q_{\max} і споживанні значно менша $0,2Q_{\max}$ і практично не корелює зі зміною похибки при Q_{\min} . Помилки для Q_{\max} та $0,2Q_{\max}$ здебільшого відповідають допустимим паспортним значенням.

Результати статистичних методів аналізу зміни похибки ПЛГ, що відповідає допустимим межах калібрування лічильника, дозволили метрологічно обґрунтувати новий метод калібрування ПЛГ.

Поряд з цим, недослідженим аспектом є дослідження впливу величини вимірюваного об'єму природного газу побутовими лічильниками на зміну форми кривої похибки ПЛГ, їх метрологічні характеристики. Даний аналіз характеризує інтенсивність експлуатації ПЛГ і інформативно може слугувати не тільки критерієм ефективності ПЛГ, але й чинником якості конструкції ПЛГ різними виробниками. Тому експлуатаційні характеристики ПЛГ необхідно оцінювати за допомогою статистичної інформації, яка дозволяє характеризувати їх за певним чином сформованих вибірок лічильників.

Експериментально встановлені значення похибок ПЛГ [2] при роботі на мінімальному споживанні характеризуються значним діапазоном зміни похибки, який може значно перевищувати не тільки допустимі паспортні значення ($\pm 3\%$), а й допустиму експлуатаційну похибку (-6%). Реальна негативна похибка в деяких ПЛГ може зрости до -30% - 40% і навіть більше. Однак різні діапазони похибок відповідатимуть конкретним діапазонам зміни похибок. Тому при статистичному дослідженні метрологічних характеристик ПЛГ необхідно враховувати вагові коефіцієнти, які б враховували кількість ПЛГ з конкретними діапазонами експлуатаційної похибки. Це обґрунтовує необхідність кваліметричної оцінки похибок ПЛГ з урахуванням їх статистичних вибірок.

Для дослідження були відібрані результати калібрування у 2018 році найбільш поширених у практичному застосуванні моделей ПЛГ типорозміру

G4 в умовах ДП «Івано-Франківськгаз», серед яких виробництва SAMGAS (Рівне) – 3244, METRIX (Польща) – 1478. , PREMAGAS (Словаччина) - 5483. Інформативним параметром для аналізу є похибка ПЛГ при мінімальному споживанні, найбільш чутливого до зміни метрологічних характеристик ПЛГ, за яким більшість побутових лічильників не повірені.

Для статистичного аналізу були обрані такі діапазони отриманих похибок ПЛГ за цією вартістю: 0 ... + 3; 0 ...- 3; -3 ...- 6; -6 ...- 9; -9 ...- 15, -15 ...- 30; ПЛГ з похибкою більше -30%, в тому числі не враховувалися ті, в яких не працював зчитувальний пристрій. Діапазон похибок (-3...+3)% характеризує підтвердження паспортної похибки нового ПЛГ, а його розширення до мінус 6% дає можливість оцінити кількість придатних для подальшої експлуатації ПЛГ без ремонту. Також сформовано ще три діапазони похибок ПЛГ, які в принципі, на нашу думку, підлягають виправленню. Лічильники з похибкою більше мінус 30% потребують капітального ремонту, або їх доцільно замінити на інші.

Отримані результати досліджень (рис. 2.8) представлені гістограмами кількості розподілу ПЛГ (у відсотках) з відповідними сформованими для аналізу експлуатаційними похибками ПЛГ при мінімальному споживанні різних виробників.

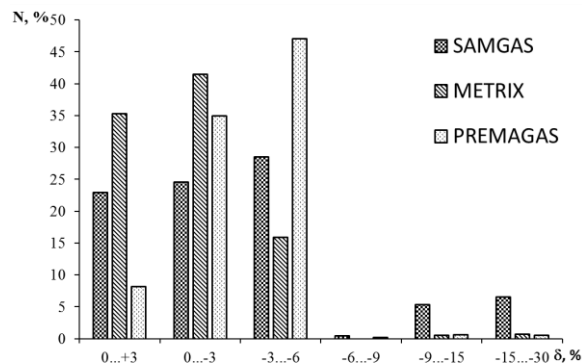


Рисунок 2.8 – Гістограми розподілу експлуатаційної похибки ПЛГ різних виробників

Закономірності зміни експлуатаційної похибки ПЛГ, які характеризують досить різноманітні закономірності зміни стабільності метрологічних характеристик ПЛГ у лічильників виробників. Найбільшою позитивною

похибкою при мінімальних експлуатаційних витратах характеризується ПЛГ модель METRIX (35,2% від загальної кількості), що є досить несподіваним згідно з сучасними науковими твердженнями щодо похибки ПЛГ при мінімальному споживанні. У той же час позитивна похибка за цими витратами, але в меншій мірі, характерна для інших моделей - SAMGAS (22,9%), PREMAGAS (8,18%).

Прогнозованим і експериментально підтвердженим є найбільший відсоток ПЛГ з похибкою (0...-3)%, кількість яких знаходиться в межах 25-43%. При цьому значна кількість лічильників PREMAGAS (47,05%) з похибкою (-3...-6)%, які відносяться до числа придатних для подальшої експлуатації, є значною. Також можна відзначити дещо більшу кількість лічильників SAMGAS з більш суттєвими похибками (-9...-15)% - 5,36% та (-15...-30)% - 6,53% від кількості ПЛГ.

При цьому гістограма не відображає впливу на похибку інтенсивності роботи ПЛГ у міжпіврічному періоді значення вимірних об'ємів газу. Тому були сформовані зразки лічильників об'єму v вимірюваного природного газу за міжпіврічний період, який відібрано з інтервалом 10 тис. м³ до максимального значення вимірюваного об'єму 60 тис. м³. Потім у межах кожної вибірки формували групи лічильників з такими діапазонами похибок при мінімальному робочому споживанні: 0...+ 3; 0...-3; -3...-6; -6...-9; -9...-15, -15...-30%. Наприклад, у SAMGAS ПЛГ кількість лічильників з вимірним об'ємом до 10 тис. м³ за наведеними шістьма діапазонами похибок склала 339; 277; 316; 6; 52; 62 відповідно. Також для кожної групи лічильників розраховано середньоарифметичне значення похибки $\bar{\delta}_i$ при споживанні Q_{\min} , $0,2Q_{\max}$, Q_{\max} та середнє значення вимірюваного об'єму газу \bar{v}_i .

Середньозважена похибка (СЗП) $\delta_{сзп}$ при мінімальних експлуатаційних витратах Q_{\min} ПЛГ для i -го діапазону вимірюваного об'єму розраховувалась за алгоритмом:

$$\bar{\delta}_{wmi} = \sum_{j=1}^l \bar{\delta}_{Q_{\min ij}} \left(\frac{n_{ij}}{N_i} \right), \quad (2.12)$$

де $\bar{\delta}_{Q_{\min ij}}$ – середнє значення похибки ПЛГ при мінімальній витраті для i –го

діапазону об'ємів j -го діапазону похибок $N_i = \sum_{j=1}^l n_{ij}$, $\bar{V}_i = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l \bar{V}_{ij}$, (N_i – кількість метрів для i -го діапазону вимірюваного об'єму, \bar{V}_i – середнє значення вимірюваного об'єму для i -го діапазону, j – номер вибраного діапазону помилок ПЛГ із загального - l).

Подібні розрахунки для інших i -х діапазонів вимірюваного об'єму дозволили отримати залежності зміни середньої похибки СЗП від вимірюваного об'єму газу (рис. 2.9).

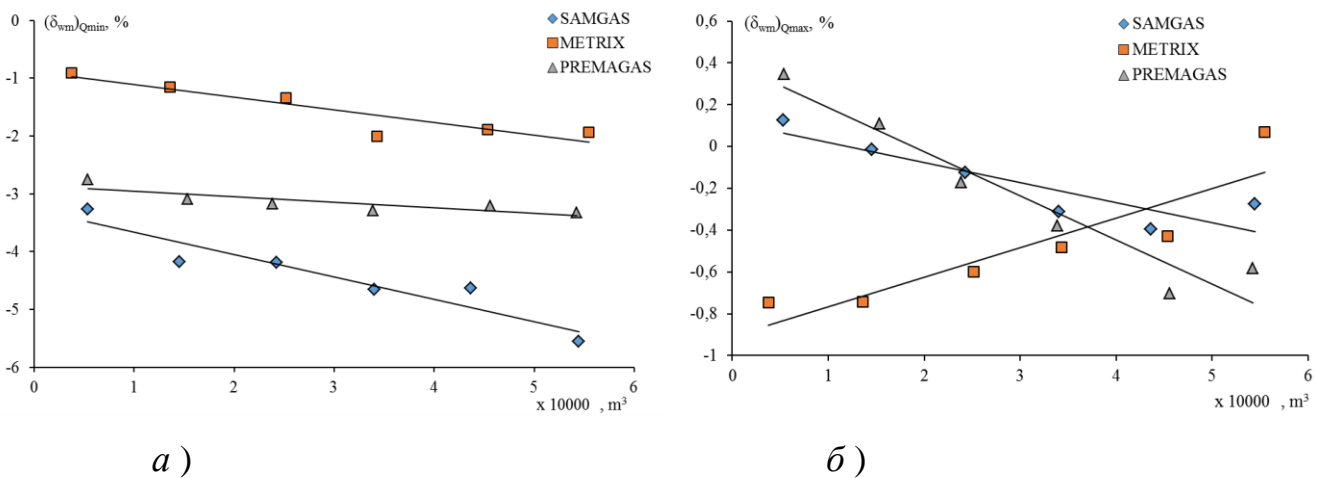


Рисунок 2.9 Ілюстрація зміни СЗП ПЛГ для різних вимірних об'ємів при експлуатаційних витратах Q_{min} (а), Q_{max} (б)

Встановлені закономірності показали, що СЗП у всіх досліджених моделях ПЛГ при мінімальних витратах зростає зі збільшенням об'єму вимірюваного газу. У всіх моделях ПЛГ похибка негативна і знаходиться в діапазоні від -1 до -6%, тобто не перевищує -6%. PREMAGAS ПЛГ характеризуються найменшим кількісним збільшенням СЗП (близько 0,11%) на 10 тис. м³, мають найкращу стабільність похибки при збільшенні вимірюваного об'єму. Збільшення негативної похибки для SAMGAS і METRIX трохи більше і становить близько 0,45%, 0,21% відповідно.

Дослідження СЗП при максимальній експлуатаційній вартості для всіх цих моделей ПЛГ показало, що вона знаходиться в діапазоні від -0,8% до +0,3%, але закономірності її зміни зі збільшенням вимірюваного об'єму не виявлено,

що ілюструє рис. 2.9 б..

Оскільки встановлені закономірності не дозволяють визначити зміну похибки спрацьовування ВГМ з урахуванням усього діапазону роботи, доцільно використовувати узагальнений показник, який характеризуватиме повнодіапазонну узагальнену СЗП вибірок лічильників з урахуванням помилка при трьох витратах. Для запису алгоритму визначення такого СЗП ми використовуємо формулу з нормативного документа, яку використовуємо не для окремого лічильника, а для сформованих нами статистичних вибірок.

Зазначений алгоритм розрахунку узагальненої СЗП має вигляд:

$$\bar{\delta}_{wm} = \frac{\sum_{p=1}^S k_p \delta_{wmp}}{\sum_{p=1}^S k_p}, \quad (2.13)$$

де $\bar{\delta}_{wmp}$ - СЗП для p робочого потоку ВГМ, k_p - ваговий коефіцієнт, який визначається як $k_p = Q_p / Q_{\max}$ при $Q \leq 0,7Q_{\max}$ і $k_p = 1,4 - (Q_p / Q_{\max})$ при $0,7Q_{\max} \leq Q \leq Q_{\max}$.

З урахуванням діапазону експлуатаційних витрат ПЛГ 1: 150 та трьох досліджуваних витрат формулу (2.13) запишемо:

$$\bar{\delta}_{wm} = 0,0067(\bar{\delta}_{wm})_{Q_{\min}} + 0,2(\bar{\delta}_{wm})_{0,2Q_{\max}} + 0,4(\bar{\delta}_{wm})_{Q_{\max}}. \quad (2.14)$$

Використовуючи числові дані, які були покладені в основу побудови графіків на рис. 2.9, алгоритм (2.14) дозволив побудувати графік зміни узагальненої СЗП від вимірюваного об'єму газу (рис. 2.10).

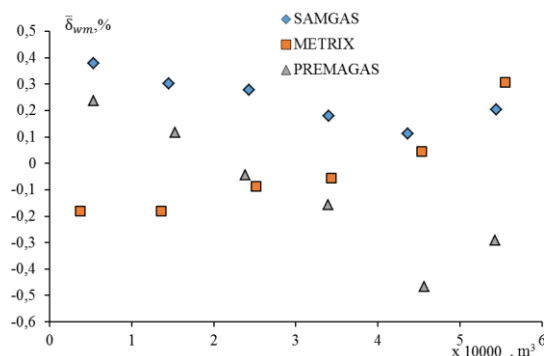


Рисунок 2.10 – Ілюстрація зміни узагальненої СЗП для ПЛГ різних виробників при різних вимірюваних об'ємах

Отримані дані неоднозначні для різних типів побутових лічильників. Спостерігається закономірність зменшення узагальненої СЗП приблизно на 0,07% на 10 тис. м³ вимірюваного об'єму для лічильників SAMGAS і близько

0,14% для моделі PREMAGAS при вимірюванні їх загального об'єму до 45 тис. м³. У той же час лічильники METRIX мають протилежну картину і негативна похибка знижується практично до нуля, а позитивна СЗП збільшується при вимірюванні об'єму до 45 тис. м³. Несподіване зменшення від'ємної похибки та збільшення додатної похибки ВГМ при обліку природного газу в межах понад 45 тис. м³. Конкретного пояснення цьому автори поки не мають. Однак можна припустити, що це пов'язано з роботою лічильників після ремонту, ці дані відображають результати перевірки після другого або наступного міжпівірного інтервалу. Це питання потребує додаткового вивчення для іншої вибірки лічильників, включаючи інші моделі та з урахуванням тривалості їх експлуатації.

3 МЕТРОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБОК ПОБУТОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ ПРИ СТАТИСТИЧНОМУ МЕТОДІ ОЦІНЮВАННЯ

3.1 Розроблення експериментально-розрахункового методу визначення похибок побутових лічильників газу за обмеженим діапазоном контрольованих витрат

Розроблений експериментально-розрахунковий метод метрологічного перевіряння може бути реалізованим як на повітрі, так і на реальному середовищі – природному газі. Для його практичної реалізації при опрацюванні інформації здійснюють побудову діапазонно-апроксимаційної залежності зміни похибки лічильника від робочої витрати. За такого методу похибку лічильника на двох нормованих для перевірки робочих витратах, що становлять мінімальну витрату і витрату, яка відповідає 20% від максимальної робочої, знаходять експериментально за допомогою еталонної установки, а похибку лічильника за максимальної робочої витрати розраховують шляхом зменшення похибки лічильника за витрати 20% від максимальної робочої на попередньо статистично визначену різницю між цими похибками на базі даних періодичної перевірки лічильників після завершення їх міжповірочного терміну експлуатації з врахуванням відносно типу, типорозміру і виробника побутового лічильника газу.

Суть реалізації способу перевірки [19] ілюструється рис. 3.1. На ньому наведена графічна ілюстрація деяких можливих метрологічних характеристик ПЛГ.

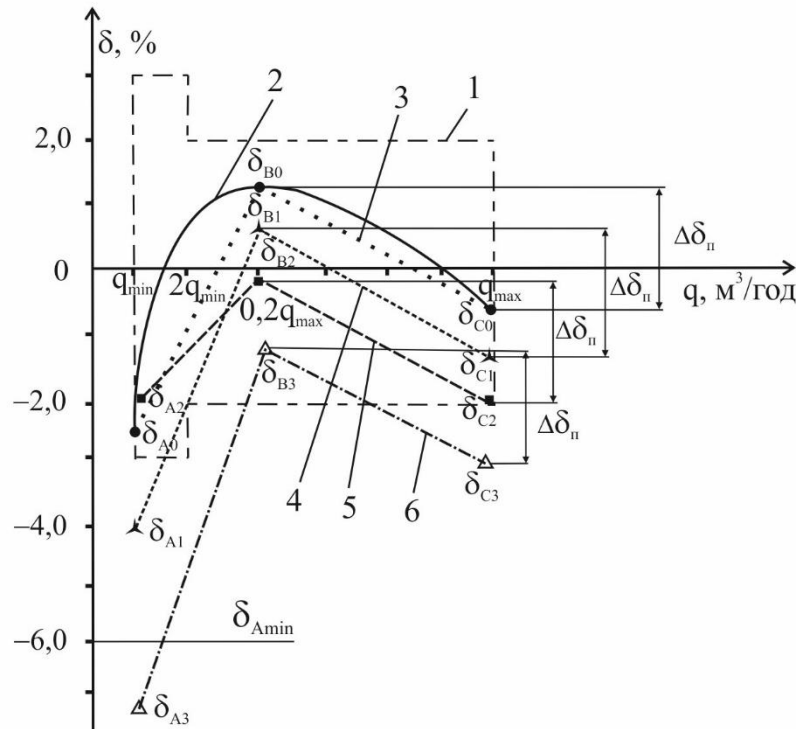


Рисунок 3.1 – Ілюстрація способу повірки побутових лічильників газу

Рис. 3.1 містить графічну конкретизацію пунктирною лінією 1 зони допустимих значень нормативної паспортної похибки ПЛГ відносно регламенту при їх первинній повірці у виробника. Крива 2 (суцільна лінія) показує приклад реальної похибки конкретного взятого для прикладу ПЛГ за результатами первинної повірки, яка конкретизується точками δ_{A0} , δ_{B0} , δ_{C0} . Лінія 3 відображає діапазонно-лінійну апроксимаційну залежність похибки, зображеної кривою 2, яка також описана через точки δ_{A0} , δ_{B0} , δ_{C0} . Лініями 4, 5, 6 відображені результати діапазонно-лінійних апроксимаційних залежностей повірки інших ПЛГ. Наприклад, лінія 4 відповідає діапазонно-лінійному графічному зображенню зміни похибки ПЛГ, позначеного №1, а лінії 5 і 6 – побутовим лічильникам №2 і №3. Похибками δ_{A0} , δ_{B0} , δ_{C0} вказано приклад числових значень похибки конкретного ПЛГ за витрат q_{min} ; $0,2q_{max}$; q_{max} , які отримані при його первинній повірці. Точки δ_{A1} , δ_{B1} , δ_{C1} (лінія 4), δ_{A2} , δ_{B2} , δ_{C2} (лінія 5), δ_{A3} , δ_{B3} , δ_{C3} (лінія 6) відповідають конкретним значенням похибок лічильників, отриманих при повірці, які умовно позначені під №1, 2 і 3. Лінія, яка вказує похибку δ_{Amin} , характеризує зону мінімально допустимої похибки

при періодичній повірці ПЛГ. Вона згідно нормативних документів на повірку ПЛГ в Україні становить мінус 6% [6].

Початковою інформацією для практичної реалізації способу повірки ПЛГ [19] повинно бути статистичне визначення різниці між статистичною похибкою вибірки ПЛГ за витрат 20% від максимальної і на максимальній робочій витраті. Для цього методом випадкової вибірки формують партію не менше тринадцяти ПЛГ, знятих із експлуатації для повірки однакового типу, типорозміру і виробника. Потім використовуючи еталонну повірочну установку згідно чинної в Україні методики повірки ПЛГ [6] експериментальним шляхом визначають похибку кожного лічильника на витратах q_{\min} ; $0,2q_{\max}$; q_{\max} . При цьому попередньо за результатами повірки перевіряють, щоб похибка за витрати q_{\min} не перевищувала триразового перевищення допустимої похибки, тобто мінус 18%. У випадку, коли кількість ПЛГ з похибкою, що не перевищує мінус 18%, буде меншою від тринадцяти, то число вибраних для статистичного аналізу досліджуваних ПЛГ збільшують до набору необхідної вибірки тринадцяти лічильників.

Далі розраховують середні значення похибок при конкретних витратах за формулами:

$$\delta_B = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_{Bi}, \quad (3.1)$$

$$\delta_C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_{Ci}, \quad (3.2)$$

де δ_B , δ_C – розраховані середні значення похибок лічильників за витрат $0,2q_{\max}$ і q_{\max} відповідно; δ_{Bi} , δ_{Ci} – експериментально встановлені на еталонній установці похибки окремих i -тих лічильників із сформованої вибірки, яка містить N лічильників.

Далі за даними статистичних результатів опрацювання розраховують різницю між значеннями похибок на витраті $0,2q_{\max}$ і на витраті q_{\max} :

$$\Delta\delta_{\Pi} = \delta_B - \delta_C, \quad (3.3)$$

де $\Delta\delta_{II}$ – статистично встановлена за результатами повірки різниця між похибками ПЛГ за витрат $0,2q_{\max}$ і q_{\max} .

Зона зміни значень похибки ПЛГ при їх повірці на витратах q_{\min} ; $0,2q_{\max}$; q_{\max} повинна знаходитися в межах, які сформовані замкненою пунктирною лінією 1 (рис. 8). Зміна чисельного значення допустимої похибки у зоні, обмеженої лінією 1 при витраті $2q_{\min}$ є регламентованим значенням зміни похибки для ПЛГ і вказує на допустиме збільшення діапазону допустимої похибки за витрат, менших від перехідної, яка на рисунку позначена як $2q_{\min}$. З'єднання трьох значень похибок δ_A , δ_B , δ_C для окремих лічильників двома прямолінійними ділянками дає можливість сформувати, як приклад, діапазонно-лінійні апроксимації зміни похибки ПЛГ.

Технологічно повірку окремого ПЛГ у відповідності до способу повірки [48] здійснюють наступним чином.

При виконанні повірки конкретного ПЛГ здійснюють експериментальне визначення за допомогою еталонної установки похибки ПЛГ тільки за мінімальної витрати і за витрати 20% від максимальної.

За результатами встановлення похибки, наприклад, для ПЛГ №1, отримують результати, які нанесені точками $\Delta\delta_{A1}$, $\Delta\delta_{B1}$. Похибку цього ПЛГ №1 за витрати q_{\max} знаходять шляхом зменшення похибки $\Delta\delta_{B1}$ до $\Delta\delta_{C1}$ на величину $\Delta\delta_{II}$, яка є статистично розрахованою за формулою (3.3) за результатами періодичної повірки цього типорозміру і моделі лічильника. З'єднання похибок $\Delta\delta_{A1}$, $\Delta\delta_{B1}$, $\Delta\delta_{C1}$ прямими, які відображені ломаною лінією 4, характеризує діапазонно-лінійну апроксимацію похибки досліджуваного ПЛГ №1. Так як похибка за мінімальної витрати не перевищує $\delta_{A\min}$, а значення похибок δ_{B1} , δ_{C1} за витрат $0,2q_{\max}$, q_{\max} знаходяться в межах зони, обмеженої пунктирною замкненою лінією 1, то ПЛГ можна вважати таким, що пройшов повірку і придатний до продовження тривалості експлуатації.

У випадку, коли при повірці, наприклад, для ПЛГ №2, отримані конкретні значення похибок δ_{A2} , δ_{B2} , то будується діапазонно-лінійна апроксимаційна залежність 5 (рис. 3.1), тобто значення похибки δ_{C2} за витрати q_{\max} отримують зменшенням похибки δ_{B2} на значення $\Delta\delta_{II}$. Оскільки отримані значення похибок

δ_{A2} , δ_{B2} , δ_{C2} не перевищують зони замкненої пунктирної лінії 1, то ПЛГ №2 можна вважати таким, що пройшов повірку і придатний до продовження тривалості експлуатації.

У випадку виявлення при повірці ПЛГ числових значень похибок, коли хоча б одна із них виходить за межі допустимих значень, наприклад, які становлять δ_{A3} , δ_{C3} і відображені діапазонно-лінійною апроксимацією б за результатами повірки ПЛГ №3, то лічильник можна вважати таким, що не пройшов повірку і підлягає ремонту або заміні на другий придатний.

Розроблений спосіб [19], завдяки можливості реалізації на реальному робочому середовищі (природному газі) за місцем експлуатації ПЛГ забезпечує якісно новий підхід і підвищує достовірність повірки ПЛГ при одночасному спрощенні конструктивної реалізації способу, оскільки відпадає потреба у створенні еталонних установок для реалізації експериментального методу бездемонтажного визначення похибки ПЛГ, в тому числі, насамперед на максимальній робочій витраті.

Перевагою способу на базі застосування статистично визначених закономірностей зміни похибки ПЛГ при їх експлуатації забезпечує можливість практичної реалізації способу практично для різних типів, типорозмірів і підприємств-виробників ПЛГ, що можна розглядати запропонований спосіб як універсальний відносно застосування для різних ПЛГ.

Реалізація способу безпосередньо у газоспоживачів забезпечує економію затрат при проведенні операції повірки, так як стає можливим вилучення вартісно затратних операцій щодо монтажу-демонтажу ПЛГ і здійснення їх транспортування до організацій з проведення періодичної повірки.

3.2 Метрологічне дослідження експериментально-розрахункового методу визначення похибок побутових лічильників газу

Метрологічний аналіз статистично-розрахункового методу визначення похибки ПЛГ за максимальної витрати є сенс розглянути згідно двох методологічних підходів [18].

Перший напрямок метрологічного дослідження полягає у розрахунку усередненого приросту для розрахунку похибки ПЛГ за максимальної витрати з врахуванням всіх вибраних і досліджених j -их діапазонів зміни похибки за мінімальної витрати q_{\min} (стосується однієї моделі і типорозміру лічильника). Числове значення похибки при q_{\max} для кожного i -го повірюваного ПЛГ розраховується за алгоритмом:

$$\delta_{q3i} = \delta_{q2i} - \Delta\bar{\delta}_{23}, \quad (3.4)$$

$$\Delta\bar{\delta}_{23} = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L \Delta\delta_{23}^j, \quad (3.5)$$

де δ_{q3i} – розрахована похибка i -го ПЛГ за витрати q_{\max} ; δ_{q2i} – експериментально встановлена похибка i -го ПЛГ при його періодичній повірці за витрати $0,2q_{\max}$; $\Delta\bar{\delta}_{23}$ – середнє значення приросту похибки ПЛГ за витрати q_{\max} відносно витрати $0,2q_{\max}$; L – кількість вибраних діапазонів зміни похибки при q_{\min} .

Для статистичного оцінювання зміни похибки $\Delta\delta_{23}$ скористаємося виразом:

$$\sigma_{\Delta\delta_{23}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^L (\Delta\delta_{23}^j - \Delta\bar{\delta}_{23}^j)^2}{L(L-1)}}, \quad (3.6)$$

де $\sigma_{\Delta\delta_{23}}$ – середнє квадратичне відхилення приросту середнього значення зміни похибки за витрати q_{\max} відносно похибки за витрати $0,2q_{\max}$.

Для оцінювання похибки при застосування такого концептуального підходу розрахуємо сумарну похибку оцінювання похибки ПЛГ за максимальної витрати:

$$\varepsilon(\delta_{q3}) = \Theta_e + \sqrt{(\sigma_{q2}^j)_{\max}^2 + (\sigma_{\Delta\delta_{23}})^2}, \quad (3.7)$$

де $\varepsilon(\delta_{q3})$ – похибка статистично-розрахункового методу оцінювання похибки ПЛГ за максимальної витрати; Θ_e – значення границі допустимої похибки еталонної установки, на якій здійснювались метрологічні дослідження

ПЛГ, яка для еталонних установок не повинна перевищувати $\pm 0,3\%$; $(\sigma_{q_2}^j)_{\max}$ – максимальне значення середнього квадратичного відхилення середньої похибки ПЛГ за витрати $0,2q_{\max}$ при врахуванні j -их сформованих діапазонів зміни похибки при q_{\min} .

Результати розрахунків за формулами (3.5)-(3.7) для досліджуваних ПЛГ подані в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати обчислення статистичних характеристик та похибки за методологією розрахункового визначення похибки ПЛГ за максимальної витрати

Виробник, типорозмір ПЛГ	$\Delta\bar{\delta}_{23}, \%$	$\sigma_{\Delta\delta_{23}}, \%$	$\varepsilon(\delta_{q_3}), \%$
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. 3.1 слідує, що результати розрахунку похибки дещо відрізняється для різних виробників ПЛГ, хоча в цілому вони досить близькі чисельно. Результати досліджень вказують, що застосування цієї методологічної концепції дозволяє реалізовувати статистично-розрахункове визначення похибки ПЛГ за витрати q_{\max} з похибкою, яка становить $(0,58...0,70)\%$. Оскільки по відношенню до допустимої похибки ПЛГ $\pm 2\%$ за витрати q_{\max} значення цієї похибки не перевищує третини чисельного значення, то такий методологічний підхід не суперечить нормативним підходам згідно і може бути можливим для практичного застосування.

Другий напрямок концепції метрологічного аналізу розрахункового визначення похибки ПЛГ за максимальної витрати стосується використання статистично обчисленого коефіцієнта зміни форми похибки K , який запропонований в [18] і записується наведеною вище формулою (2.14). Цей

коефіцієнт також конкретизується для кожного окремого типорозміру ПЛГ і стосовно певного виробника ПЛГ, а числові значення цього коефіцієнта подані в таблицях 2.2...2.5. Такий підхід забезпечує розрахунок приросту похибки ПЛГ для витрат $0,2q_{\max}$ і q_{\max} не як середнє значення для всіх діапазонів нестабільності похибки при q_{\min} , а дозволяє конкретизувати цей приріст стосовно зміни похибки ПЛГ відносно витрат q_{\min} і $0,2q_{\max}$.

Оцінювання статистичних закономірностей приросту похибки ПЛГ за витрат q_{\min} , $0,2q_{\max}$, q_{\max} із врахуванням запровадженого коефіцієнта зміни похибки K [20] показав, що зміну похибки ПЛГ можна апроксимувати наступним чином [18]:

$$\delta_{q3i} = \delta_{q2i} - K_j \cdot \Delta\delta_{21i}. \quad (3.8)$$

Із врахуванням суттєвого розкиду числових значень коефіцієнта K як функції від похибки лічильників при мінімальній витраті, що подано в таблицях 2...5, а також суттєво меншу кількість ПЛГ з середньою похибкою при q_{\min} в діапазоні $+1,51...+3\%$, можна здійснити апроксимацію коефіцієнта K без врахування цього діапазону. Кількісне подання числових значень коефіцієнта K в координатах K, δ_{q1} (рис. 3.2) обґрунтовує можливість математичного подання цієї залежності для окремих типорозмірів і моделей ПЛГ як експоненціальних функцій виду [18]:

$$K = D \cdot e^{\alpha \cdot \delta_1}, \quad (3.9)$$

де D, α – апроксимаційні коефіцієнти експоненційного виду зміни коефіцієнта зміни форми K .

Із врахуванням (3.8) вираз (3.9) запишеться:

$$\delta_{q3i} = \delta_{q2i} - D \cdot e^{\alpha \cdot \delta_1} \cdot \Delta\delta_{21i}. \quad (3.10)$$

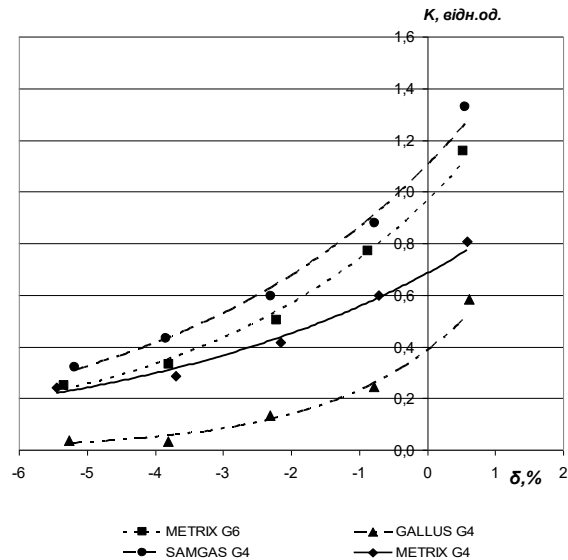


Рисунок 3.2 – Графічна ілюстрація коефіцієнта зміни виду похибки K від середньої похибки δ_{q1} лічильників за мінімальної витрати q_{\min}

Здійснивши апроксимацію числових значень коефіцієнта K отримаємо наступний графічний вигляд апроксимованих залежностей (рис. 3.2), які подані відповідними формулами в табл. 3.2.

Достовірність апроксимації R^2 (у відносних одиницях) розраховувалося за формулою [20]:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^M (K_j - K_{Aj})^2}{\sum_{j=1}^M K_j^2 - \frac{\sum_{j=1}^M K_{Aj}^2}{M}}, \quad (3.11)$$

де K_j , K_{Aj} – статистично встановлене та розраховане з використанням апроксимаційної залежності j -те значення коефіцієнта K ; M – кількість точок, вибраних для апроксимації коефіцієнта K (в нашому випадку, згідно рис. 3.2 $M=5$).

Апроксимаційна похибка коефіцієнта K з урахуванням даних для певного типорозміра лічильника і його виробника оцінювалася за формулою:

$$\delta_A(K) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M (K_j - K_{Aj})^2}{(M-1)}} \cdot \frac{1}{\bar{K}_j} \cdot 100\%, \quad (3.12)$$

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

Результати обчислень за формулами (3.12) і (3.13) для досліджуваних ПЛГ подані в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати моделювання апроксимації коефіцієнта K

Модель, типорозмір ПЛГ	Вид апроксимації	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 δ_3) застосуємо відому методику опрацювання результатів опосередкованих вимірювань.

Очевидним є те, що згідно (3.10) досліджувана похибка лічильника на максимальній витраті є функцією двох змінних, тобто, експериментально оціненої похибки ПЛГ при q_{\min} (позначена δ_1) і експериментально визначеної похибки ПЛГ при $0,2q_{\max}$ (позначена δ_2).

З врахуванням виразів (2.12) та (3.10), отримаємо такий алгоритм розрахунку похибки на максимальній витраті для конкретного i -го повірюваного ПЛГ:

$$\delta_3 = \delta_2 - D \cdot e^{\alpha \cdot \delta_1} \cdot \delta_2 + D \cdot e^{\alpha \cdot \delta_1} \cdot \delta_1\%, \quad (3.13)$$

Для обчислення коефіцієнтів вагомості змінних δ_1 і δ_2 запишемо на базі (3.13) формули часткових похідних:

$$\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_1} = -\alpha \cdot D \cdot e^{\alpha \cdot \delta_1} \cdot \delta_2 + \alpha \cdot D \cdot e^{\alpha \cdot \delta_1} \cdot \delta_1 + D \cdot e^{\alpha \cdot \delta_1}, \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_2} = 1 - D \cdot e^{\alpha \cdot \delta_1}, \quad (3.15)$$

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

$$\varepsilon(\delta_{q3}) = \sqrt{\left(\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_1} \cdot \Theta_{eq1}\right)^2 + \left(\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_2} \cdot \Theta_{eq2}\right)^2 + \delta_A^2(K)}. \quad (3.16)$$

де Θ_{eq1} , Θ_{eq2} – метрологічна характеристика (невилучена систематична похибка) еталонної установки при функціонуванні на досліджуваних витратах побутових лічильників q_1 і q_2 .

Результати обчислень за виразами (3.14)-(3.16) наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати обчислення розрахункового значення похибки для максимальної робочої витрати лічильників

Виробник, типорозмір ПЛГ	$\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_1}$	$\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_2}$	Θ_{eq1} , Θ_{eq2} , %	$\delta_A(K)$, %	$\varepsilon(\delta_{q3})$, %
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 чисельного розрахунку похибки ПЛГ за умови функціонування на максимальній витраті згідно другого напрямку концепції характеризуються суттєво більшою похибкою порівняно з встановленою похибкою першого напрямку концепції. Це можна пояснити суттєвою

похибкою апроксимації $\delta_A(K)$ коефіцієнта зміни виду похибки K . Хоча згідно наведених результатів обчислень похибка визначення метрологічних характеристик ПЛГ перевищує допустиме значення похибки за максимальної витрати, тобто $\pm 2\%$, однак з виконаного метрологічного аналізу можна виявити шляхи зменшення цієї похибки. Це може бути практично реалізовано наступним чином:

- методом застосування апроксимації функцією іншого виду, наприклад, поліномом другого або вищого порядків;
- здійсненням апроксимації для звуженого діапазону зміни похибки за мінімальних витрат, наприклад, для інтервалу тільки від мінус 6% до мінус 1,5%;
- застосуванням більшого числа точок при побудові апроксимаційної залежності коефіцієнта зміни виду похибки K ;
- звуженням дискретності вибірових діапазонів зміни похибок при статистичних дослідженнях ПЛГ, наприклад 1% і менше.

Вказані напрямки можуть бути метою подальших наукових досліджень, адже саме другий напрямок концепції дозволяє конкретизувати статистично-розрахункове визначення похибки ПЛГ для максимальної витрати без врахування сформованих діапазонів дискретності зміни похибки ПЛГ за мінімальної робочої витрати побутових лічильників, тобто для будь-яких її значень.

ВИСНОВКИ

Розглянуті основи статистичного аналізу і математичної статистики, на основі яких базується розглянутий в магістерській роботі метод статистичного оцінювання похибок побутових лічильників газу.

Розглянута нормативна база для здійснення метрологічних досліджень побутових лічильників газу.

Здійснений аналіз і розроблення технічних засобів для визначення похибки побутових лічильників газу за місцем експлуатації і при їх демонтажі до місця знаходження еталонних повірочних установок.

Встановлені закономірності зміни похибки побутових лічильників газу від терміну експлуатації, які дозволяють зменшити тривалість їх повірки шляхом запровадження експериментально-розрахункового методу визначення похибок. Цей метод передбачає експериментальне визначення похибки на малих витратах і розрахункове значення її на максимальних витратах.

Розглянута можливість застосування статистичного аналізу для кваліметричного оцінювання метрологічних характеристик побутових лічильників газу, що опосередковано характеризує їхній технічний рівень.

Виявлено, що зміна узагальненої середньозваженої похибки є меншою порівняно зі зміною середньозваженої похибки лічильників при вимірюванні об'єму при мінімальних експлуатаційних витратах.

Проведені метрологічні дослідження і апробація експериментально-розрахункового методу визначення похибок побутових лічильників.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Середюк О.Є. Лютенко Т.В. Статистичний аналіз зміни похибки побутових лічильників газу при їх експлуатації. *Technical using of measurement – 2017*: тези доп. Швсеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених у царині метрології, 24-27 січня 2017р., Славське: Академія метрології України, 2017. С. 48-51.

2. Serediuk Orest, Warsza Zigmunt L. Changes of measurement errors of diaphragm gas meters during their use. *Przemysl Chemiczny*, 2017. V. 96, № 8. P. 1767-1770.

3. Міжповірочні інтервали законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, за категоріями, затверджені наказом Міністерства економічного розвитку і торгівлі України 13.10.2016 №1747, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 01 листопада 2016 р. за №1417/29547.

4. 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.

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 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).

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

8. ДСТУ 9035:2020. Метрологія. Лічильники газу для побутових потреб та комерційного обліку. Методика повірки. [Чинний від 2020-11-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. II, 16 с. (Національний стандарт України).

9. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [від 05.06.2014р., № 1314-VII: у редакції від 01.05.2019 р.].
10. Облік природного газу: довідник / уклад.: М.П. Андріішин, О.М. Карпаш, О.Є. Середюк [та ін.]; за ред. проф. С.А. Чеховського. Івано-Франківськ: ПП «Сімик», 2008. 180 с.
11. 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.
12. Робочий еталон об'єму і витрати газу дзвонового типу / О.Є. Середюк, Д.О. Середюк: пат. 35076 А Україна, МПК 7 G01F25/00. № 200805528; заявл.29.04.08; опубл.26.08.08, Бюл. № 16.
13. Установа для перевірки витратомірів і лічильників газу / І.С. Петришин, О.Є. Середюк: пат. 54316 С2 Україна, МПК (2006) G 01F 25/00. № 2002076003; заявл. 19.07.02; опубл. 16.01.06, Бюл. № 1.
14. Петришин І.С. Щодо питання діагностування побутових лічильників газу в експлуатації. *Методи та прилади контролю якості*. 2011. № 26. С. 60-64.
15. Спосіб діагностування та перевірки побутових лічильників газу / О.Є. Середюк, А.Г. Винничук: пат. 64070U Україна, МПК (2011.01) G01 F 25/00. № u2001104610; заявл. 14.04.11; опубл. 25.10.11, Бюл. № 20
16. Комплексний пристрій для без демонтажного діагностування та перевірки побутових лічильників газу / О.Є. Середюк, Б.І. Прудніков, А.Г. Винничук, Т.В. Лютенко: пат. 93805 U Україна, МПК (2014.01) G01 F 25/00. № u201405943; заявл. 30.05.14; опубл. 10.10.14, Бюл. № 19.
17. 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.
18. 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.

19. Спосіб повірки побутових лічильників газу / О.Є. Середюк, Т.В. Лютенко: пат. 116046 Україна, МПК (2017.01) G01 F 25/00. № a201605643; заявл. 25.05.16; опубл. 25.01.18, Бюл. № 2.

20. Володарський Є.Т., Кошева Л.О. Статистична обробка даних: навч. посіб. К.: НАУ, 2008. 308 с.

21. Kułaga P., Jaworski J. Wyniki badań trwałości gazomierzy miechowych uzyskiwane z zastosowaniem różnych metodyk – analiza porównawcza. Nafta-gaz, . № 8. P. 645-650. (in Polish)