

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАФТИ І ГАЗУ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЛЮТЕНКО ТЕТЯНА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 006.91:681.121

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ
ДЛЯ БЕЗДЕМОНТАЖНОГО МЕТРОЛОГІЧНОГО ПЕРЕВІРЯННЯ
ПОБУТОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ**

05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення
05 “Технічні науки”
(галузь знань)

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник –
доктор технічних наук,
професор Середюк О.Є.

Ідентичність всіх примірників дисертації

ЗАСВІДЧУЮ:

*Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради*

/Т.З.Бубела/

Івано-Франківськ – 2019

АНОТАЦІЯ

Лютенко Т.В. Удосконалення методу і технічних засобів для бездемонтажного метрологічного перевіряння побутових лічильників газу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2019.

Дисертація присвячена удосконаленню методу і технічних засобів для бездемонтажного метрологічного перевіряння побутових лічильників газу.

У *першому розділі* здійснено аналіз сучасного стану методів і засобів метрологічного контролю побутових лічильників газу (ПЛГ).

Проведено аналіз ПЛГ як об'єкта метрологічного контролю і розглянуто практичні аспекти застосування термінології при метрологічному контролі ПЛГ. Обґрунтовано доцільність застосування терміну «метрологічне перевіряння ПЛГ», який відображений в темі дисертаційної роботи.

Розглянуто впливові фактори, які формують результати метрологічних досліджень ПЛГ, в тому числі вплив виду робочого середовища (повітря, природний газ), значення температури і тиску робочого середовища ПЛГ.

Оцінено сучасну вітчизняну і закордонну нормативну базу для метрологічного дослідження ПЛГ.

За результатами досліджень встановлено, що метрологічне перевіряння ПЛГ під час їх експлуатації є актуальною задачею для підвищення точного і достовірного обліку природного газу і може бути реалізовано шляхом визначення похибки ПЛГ в експлуатаційних умовах.

Тенденції розвитку еталонних засобів для ПЛГ свідчать про необхідність розробки мобільних еталонних перевірочних установок для визначення метрологічних характеристик ПЛГ з використанням не тільки повітря як робочого середовища, але також і природного газу.

На підставі викладеного матеріалу обґрунтовано необхідність удосконалення методу і технічних засобів для бездемонтажного метрологічного перевіряння ПЛГ, сформульовано завдання, що потребують вирішення, і обґрунтовано напрямки дисертаційних досліджень.

У *другому розділі* встановлено статистичні закономірності зміни похибки ПЛГ, що дозволило сформулювати новий експериментально-розрахунковий метод визначення їх похибки за обмеженим діапазоном контрольованих витрат, який дозволяє реалізувати бездемонтажне метрологічне перевіряння ПЛГ за місцем експлуатації з визначенням похибки у всьому діапазоні робочих витрат.

Досліджено вплив експлуатаційних і конструктивних факторів на стабільність метрологічних характеристик ПЛГ, що дозволяє коригувати міжповірочний інтервал для ПЛГ шляхом його збільшення за умови вимірювання лічильниками впродовж міжповірочного інтервалу не більше певної кількості газу, яка, наприклад, для лічильників типорозміру G4 не повинна перевищувати 30 тис. м³.

Отримано математичну модель теплообмінних процесів в пневматичній системі еталонних установок, зокрема дзвонових установок. За допомогою отриманих залежностей можна визначати час завершення теплообмінних процесів і, відповідно, час початку вимірювального процесу.

Розглянуто новий патенто захищений метод метрологічного перевіряння ПЛГ, який передбачає експериментальне визначення похибки за обмеженим діапазоном робочих витрат, серед яких є дві нормовані витрати, що відповідають мінімальній витраті і витраті 20% від максимальної для конкретного типорозміру ПЛГ. При цьому похибку при функціонуванні ПЛГ

за максимальної витрати визначають на базі запропонованого експериментально-розрахункового методу.

Досліджено шляхом математичного моделювання з використанням програмного забезпечення «ANSYS Fluent» термодинамічні процеси в еталонних установках з ємністю під тиском, які розкривають особливості зміни градієнта температури в ємності при її наповненні, що дозволяє формулювати робочі параметри і форму ємності при використанні її як вузла еталонних установок для калібрування лічильників газу.

У *третьому розділі* розглянуто прикладні аспекти практичної реалізації засобів метрологічного перевіряння ПЛГ. Здійснено аналіз функціональних можливостей і конструктивних особливостей реалізації патентозахищених сучасних підходів до практичної реалізації еталонних установок для бездемонтажного метрологічного перевіряння ПЛГ з можливістю функціонування на природному газі або повітрі.

Проведено кількісний аналіз складових похибок, який відкриває напрямки досягнення необхідної точності градувальних характеристик нестандартних звужувальних перетворювачів витрати при створенні на їх базі мобільних установок для метрологічного перевіряння ПЛГ.

За результатами експериментальних досліджень при звіряннях вузлів обліку природного газу встановлено практичне співпадіння результатів визначення середніх значень вимірюваних витрат газу ультразвуковими витратомірами і витратомірами змінного перепаду тиску, яке кількісно є на порядок меншим від їх похибки. При цьому найбільша різниця миттєвих витрат при вимірюванні не перевищує алгебраїчної суми похибок двох витратомірів. Експериментально виявлено, що ультразвукові витратоміри є більш чутливими при вимірюванні непостійних витрат, що може бути методологічною основою для створення робочих еталонів на природному газі.

У *четвертому розділі* викладено результати метрологічних досліджень, які стосуються практичної реалізації метрологічного перевіряння

ПЛГ. В ньому розглянуто і метрологічно оцінено алгоритми практичної реалізації двох напрямів експериментально-розрахункового методу при визначенні похибки ПЛГ.

Кількісна оцінка похибки визначення похибки ПЛГ на максимальній витраті згідно *першого напрямку*, який враховує узагальнений приріст зміни похибки з врахуванням нормативно допустимого діапазону (від -6% до +3%) зміни похибки ПЛГ при повірці за мінімальної витрати показала, що вона практично не перевищує третини ($\pm 0,7\%$) від паспортної похибки ПЛГ ($\pm 2\%$) на максимальній витраті. Це обґрунтовує можливість практичного застосування цього методу при перевірці ПЛГ за обмеженим діапазоном робочих витрат.

Кількісна оцінка похибки визначення похибки ПЛГ на максимальній витраті згідно *другого напрямку*, який передбачає розрахунок похибки ПЛГ за максимальної робочої витрати з використанням інтерполяційної залежності розрахунку приросту похибки від її значення при мінімальних витратах показала, що ця похибка може перевищувати паспортну похибку ПЛГ ($\pm 2\%$) на максимальній витраті і обґрунтовує необхідність подальшого вдосконалення практичного аспекту застосування такого методу.

Результати метрологічних досліджень нового методу метрологічного перевірвання ПЛГ обґрунтовують доцільність його практичного застосування, оскільки це суттєво знижує вартісні затрати еталонних установок внаслідок зменшення їх робочих діапазонів витрат, сприяє збільшенню продуктивності еталонних установок за рахунок повірки ПЛГ на двох замість трьох нормованих витратах, а також відкриває можливості реалізації не тільки метрологічного перевірвання, але і повірки ПЛГ за місцем експлуатації.

Проведено моделювання фізичних процесів в еталонних установках при метрологічних дослідженнях ПЛГ, які стосуються особливостей повірки ПЛГ і апроксимації градуовальної характеристики еталонних засобів вимірювальної техніки.

Встановлено, що при калібруванні еталонних лічильників апроксимаційний степеневий поліном дає добрі результати співпадіння з експериментальними точками при наявності не більше двох екстремумів. Це дозволяє його застосування при визначенні функції перетворення еталонних лічильників газу. За інших умов необхідно застосовувати алгоритми кубічних сплайнів для інтерполяції функції перетворення еталонних лічильників газу, так як вони проходять через всі експериментально отримані точки без відхилення і забезпечують можливість підвищення точності еталонних установок.

З використанням модельного підходу запропоновано алгоритми оцінювання непевності при реалізації експериментально-розрахункового методу для визначення похибки ПЛГ на максимальних робочих витратах.

Здійснено звіряння вузлів обліку газу на базі роторних і турбінних лічильників з коректорами, яке показало, що на зменшення розширеної невизначеності впливає діапазон витрат лічильників газу і робочий тиск. При цьому значення непевності є меншими (1,04-1,08)% при діапазоні витрат від $0,05q_{\max}$ до q_{\max} і тисках (0,3-0,6) МПа і зростає до 1,95% і 2,85% для діапазону витрат від q_{\min} до $0,05q_{\min}$ при тисках 0,6 МПа і 0,3 МПа відповідно.

Встановлено зменшення похибки при звіряннях із збільшенням робочих витрат та із збільшенням робочого тиску. Результати звіряння відкривають нові аспекти створення еталонних лічильників на малі витрати природного газу.

Проведена апробація експериментально-розрахункового методу метрологічного перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном робочих витрат, яка підтвердила правильність методичного підходу для реалізації розробленого методу метрологічного перевіряння.

Розроблено проект нормативного документу для повірки ПЛГ в умовах експлуатації.

Ключові слова: природний газ, побутовий лічильник газу, робочі витрати, еталонний засіб, метрологічне перевіряння, похибка, непевність, бездемонтажне перевіряння.

Список публікацій здобувачки:

1. Середюк О.Є., Лютенко Т.В., Винничук А.Г. Дослідження можливості оцінювання об'єму газу побутовими лічильниками у всьому діапазоні витрат з використанням статистичних методів. *Український метрологічний журнал*. 2018. №2. С. 34-45. (Особистий внесок – розроблено алгоритми оцінювання похибок лічильників на максимальній витраті при застосуванні експериментально-розрахункового методологічного підходу).

2. 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. (Особистий внесок – проведено аналіз і узагальнення технічних можливостей засобів для реалізації бездемонтажного метрологічного перевіряння побутових лічильників газу).

3. Середюк О.Є., Компан А.И., Бондарь С.П., Лютенко Т.В., Ильенко А.С., Смирнов М.А. Сличение узлов учета природного газа разных принципов действия на реальной среде. *Метрология и приборостроение*. 2016. №4 (74). С.22-26. (Республіка Білорусь). (Особистий внесок – опрацьовано результати експериментальних досліджень при звірванні вузлів обліку газу на базі роторних і турбінних лічильників, а також запропоновано алгоритм розрахунку непевності при виконанні звірвань).

4. Середюк О.Є., Лютенко Т.В. Експериментальні дослідження вузлів обліку природного газу різних принципів дії. *Метрологія та прилади*. 2015. № 3(53). С.51-56. (Особистий внесок – здійснено моделювання статистичних і ймовірнісних характеристик результатів вимірювання витрати двома типами витратомірів).

5. Винничук А.Г., Середюк О.Є., Лютенко Т.В. Дослідження гідравлічних витратних характеристик нестандартних звужувальних пристроїв. *Системи обробки інформації*. 2015. Вип. 6(131). С. 25-28. (Особистий внесок – розроблено метрологічну модель дослідження витратних характеристик нестандартних звужувальних пристроїв і здійснено кількісну оцінку складових похибок при визначенні коефіцієнта витрати звужувального пристрою).

6. Воцинський В.С., Середюк О.Є., Андрук М.С., Лютенко Т.В. Дослідження впливу теплообмінних процесів на перевірку герметичності еталонних установок об'єму газу. *Методи та прилади контролю якості*. 2015. №1 (34). С.46-53. (Особистий внесок – розроблено математичну модель теплообмінних процесів для пневматичної системи дзвонової еталонної установки).

7. Воцинський В.С., Середюк О.Є., , Лютенко Т.В. Дослідження алгоритмів розрахунку похибки в еталонних установках об'єму та витрати газу. *Методи та прилади контролю якості*. 2013. №2 (31). С. 67-75. (Особистий внесок – досліджено алгоритми апроксимації функції перетворення в еталонних лічильниках газу).

8. Seredyuk O., Liutenko T., Seredyuk D., Warsza Z. Badanie bledow pomiarowych gazomierzy membranowych po szesciu latach ich eksploatacji. *Zeszyty Naukowe Wydzialu Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdanskiej*: publ.XXI Miedzynarodowe Seminarium Metrologow: MSM 2017, 12-15 wrzesnia, 2017. Rzeszow-Czerniowce: Gdansk, 2017. Nr 55. S. 65-68. (Особистий внесок – опрацьовано результати статистичних досліджень похибок побутових лічильників газу трьох типів і встановлено закономірності їх зміни для різних робочих витрат).

9. Комплексний пристрій для бездемонтажного діагностування та перевірки побутових лічильників газу/ О. Є. Середюк, Т. В. Лютенко: пат. 113495 U Україна: МПК (2016.01) G01 F 25/00. №u201608707; заявл. 10.08.16; опубл. 25.01.17, Бюл. №2. (Особистий внесок – запропоновано і

обґрунтовано вдосконалення конструкції пристрою для бездемонтажного метрологічного перевіряння побутових лічильників шляхом застосування в ньому допоміжного еталонного засобу і можливості конструктивного виконання пристрою з функціонуванням на повітрі і природному газі).

10. Комплексний пристрій для бездемонтажного 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. (Особистий внесок – запропоновано і обґрунтовано вдосконалення конструкції пристрою для бездемонтажного метрологічного перевіряння побутових лічильників шляхом використання попередньо проградуєваних спеціальних звужувальних пристроїв, які вмонтовуються у пальники газоспоживного обладнання).

11. Спосіб повірки побутових лічильників газу / О. Є. Середюк, Т. В. Лютенко: пат. 116046 C2 Україна: МПК (2017.01) G01 F 25/00. №a201605643 заявл. 25.05.16; опубл. 25.01.18, Бюл. №2. (Особистий внесок – запропоновано застосування розрахункового методу визначення похибки побутового лічильника на максимальній витраті з врахуванням експериментально визначених значень похибки на мінімальній витраті і витраті 20% від максимальної).

12. Рябко Ю.С., Лютенко Т.В., Середюк О.Є. Моделювання закономірностей зміни похибки побутових лічильників газу. *Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання*: зб. тез доп. 5-ої наук.-практ. конф. студ. і молодих учених, 24-25 листопада 2015 р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015. С. 175-178.

13. Середюк О.Є., Лютенко Т.В., Прудніков Б.І. Наукові засади бездемонтажної повірки побутових лічильників газу за обмеженим діапазоном робочих витрат. *Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2015)*: зб. тез доп. III-ої міжнар. наук.-техн. конф., 27-29 жовтня 2015 р., Вінниця: ВНТУ, 2015. С.43-45.

14. Лютенко Т.В., Середюк О.Є., Винничук А.Г. Дослідження впливу газової мережі на точність вимірювання витрати торцевими звужувальними пристроями. *Приладобудування: стан і перспективи*: зб. тез доп. XIV міжнар. наук.-техн. конф., 22-23 квітня 2015р., Київ: НТУУ «КПІ», ПБФ, 2015. С. 216-217.

15. Середюк О.Є., Лютенко Т.В. Метрологічні дослідження імовірнісних характеристик послідовно з'єднаних витратомірів природного газу. *Technical using of measurement – 2015*: тези доп. всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених у царині метрології, 2-6 лютого 2015 р., Славське: Академія метрології України, 2015. С. 107-109.

16. Лютенко Т.В., Середюк О.Є., Майсон М.В. Моделювання фізичних процесів в еталонних установках з ємністю під тиском. *Приладобудування: стан і перспективи*: зб. тез доп. XV міжнар. наук.-техн. конф., 17-18 травня 2016р., Київ: НТУУ «КПІ», ПБФ, 2016. С.200-201.

17. Середюк О.Є., Компан А.И., Бондарь С.П., Лютенко Т.В., Ильенко А.С., Смирнов М.А. Результаты сличений промышленных средств учета природного газа в условиях полигона ПАО «Днепрогаз». *Неопределенность измерений: научные, законодательные, методические и прикладные аспекты: UM-2016*: сб. докладов XIII междунар. научн.- техн. семинара, 13-14 апреля 2016г., Минск: БелГИМ, 2016. С. 111-114.

18. Лютенко Т.В., Середюк О.Є. Применение модельного подхода к оцениванию неопределенности измерения объема газа бытовыми счетчиками при их эксплуатации. *Неопределенность измерений: научные, нормативные, прикладные и методические аспекты: UM-2017*: тез. докладов XIV междунар. научн.-техн. семинара, 8сентября 2017г., Созополь, Болгария: Софттрейд, 2017. С. 67-68.

19. Середюк О.Є., Лютенко Т.В. Статистичний аналіз зміни похибки побутових лічильників газу при їх експлуатації. *Technical using of measurement – 2017*: тези доп. III всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених у

царині метрології, 24-27 січня 2017 р., Славське: Академія метрології України, 2017. С. 48-51.

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

21. Лютенко Т.В. Нові підходи до статистичного оцінювання похибок побутових лічильників газу при їх експлуатації. *Нафтогазова енергетика – 2017*: зб. тез. доп. 6-ої міжнар. наук.-техн. конф., 15-19 травня 2017р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. С. 293-295.

22. Лютенко Т.В., Середюк О.Є. Дослідження стабільності метрологічних характеристик побутових лічильників газу в експлуатаційних умовах. *Приладобудування: стан і перспективи*: зб. тез. доп. XVI міжнар. наук.-техн. конф., 16-17 травня 2017 р., Київ: НТУУ “КПІ” ПБФ, 2017. С. 177-178.

23. Лютенко Т.В. Концепція статистичного визначення закономірностей зміни похибки побутових лічильників газу для реалізації бездемонтажної повірки за обмеженим діапазоном витрат. *Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання*: зб. тез доповідей VI всеукр. наук.-практ. конф. студентів і молодих учених, 15-16 листопада 2017 р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. С.40-41.

24. Середюк О.Є., Винничук А.Г., Лютенко Т.В. Дослідження статистичних закономірностей зміни похибки побутових лічильників газу при їх діагностуванні. *Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання*: зб. матер. доповідей 8-ої міжнар. наук.-техн. конф. пам'яті проф. Ігоря Кісіля, 14-16 листопада 2017р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. С.79-80.

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

26. Лютенко Т., Середюк О., Винничук А. Нові тенденції підвищення якості метрологічного контролю побутових лічильників газу за умов експлуатації. *Управління якістю в освіті і промисловості: досвід, проблеми, перспективи*: тези доп. III міжнар. наук.-практ. конф. пам'яті проф. Петра Столярчука, 11-12 травня 2017 р., Львів: НУ "Львівська політехніка", 2017. С.182-183.

27. Лютенко Т.В., Середюк О.Є., Криницький О.С. Метрологічні дослідження статистичних закономірностей зміни похибки побутових лічильників газу різних типорозмірів. *Technical using of measurement – 2018*: тези доп. IV всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених у царині метрології, 13-18 лютого 2018р., Славське: Академія метрології України, 2018. С.34-36.

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

29. Середюк О.Е., Лютенко Т.В., Винничук А.Г. Исследования неопределенности бытовых счетчиков газа на максимальных расходах с использованием статистических методов. *Неопределенность измерений: научные, нормативные, прикладные и методические аспекты: UM-2018*: тез. докладов XV междунар. научн.-техн. семинара, 10 сентября 2018г., Созополь, Болгария: Софттрейд, 2018. С.38.

30. Середюк О.Є., Малісевич Н.М., Лютенко Т.В. Нові аспекти комп'ютеризованого вдосконалення метрологічного забезпечення обліку природного газу. *Автоматизоване управління багатовимірними об'єктами на засадах обчислювального інтелекту*: матеріали всеукр. наук.-практ. конф., 17-19 жовтня 2018р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2018. С. 42-43.

31. Середюк О.Є., Лютенко Т.В. Дослідження невизначеності побутових лічильників газу за максимальних витрат із застосуванням статистичних методів. *Метрологія та вимірювальна техніка*: тези доп. XI Міжнар. наук.-техн. конф., 9-11 жовтня 2018 р., Харків: ННЦ "Інститут метрології", 2018. С. 208-209.

32. Лютенко Т.В., Середюк О.Є., Криницький О.С. Дослідження статистичних закономірностей зміни експлуатаційних похибок побутових лічильників газу. *Прикладні науково-технічні дослідження*: матеріали II міжнар. наук.-практ. конф., 3-5 квітня 2018 р., Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2018. С.92.

ABSTRACT

Liutenko T.V. Improvement of the method and the technical means for thenon-dismantlingmetrological verification of household gas meters. → Qualified scientific work on the rights of manuscript.

The dissertation is aimed at gaining the scientific degree of the Candidate of Technical Sciences (Doctor of Philosophy) at speciality 05.01.02 - Standardization, Certification and Metrological Assurance. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2019.

The dissertation is devoted to the improvement of the method and the technical means for the metrological verification of household gas meters without dismantling.

The first section analyzes the current state of methods and means of metrological control of household gas meters (HGM).

The analysis of HGM as an object of metrological control is carried out and practical aspects of the use of terminology in metrological control of HGM are considered. The expediency of using the term "metrological verification of HGM", which is reflected in the topic of the dissertation, is substantiated.

Influential factors that shape the results of metrological studies of HGM are considered, including the influence of the type of working environment (air, natural gas), the value of temperature and pressure of the working environment of HGM.

The current domestic and foreign regulatory framework for metrological studies of HGM has been evaluated.

According to the research results, metrological verification of HGM during their operation is an urgent task to improve the accurate and reliable accounting of natural gas and can be implemented by determining the error of the HGM in operational conditions.

Trends in the development of reference facilities for HGM indicate the need to develop mobile benchmarks to determine the metrological characteristics of HGM using not only air as a working environment, but also natural gas.

On the basis of the presented material, the necessity of improving the method and technical means for the metrologically free metrological verification of HGM is substantiated, the tasks in need of solution are formulated and the directions of dissertation researches are grounded.

The second section establishes the statistical regularities of changing the error of the HGM, which allowed us to formulate a new experimental and calculated method of determining their error by a limited range of controlled flow rates, which allows to carry out non-destructive metrological verification of HGM at the place of operation in the whole range of operating flow rates.

The influence of operational characteristic factors on the metrological characteristics of the HGM is investigated, which allows to correct the inter-

calibration interval for the HGM by increasing it by measuring with meters during the inter-calibration interval no more than a certain amount of gas, which, for example, for meters of the size G4 should not exceed 30t. m³.

The mathematical model of heat exchange processes in a pneumatic system of constant volume of standard installations, including bell installations and installations with working standard gas meters, was obtained. With the help of the dependences obtained, it is possible to determine the time of completion of heat exchange processes and, accordingly, the start time of the measurement process, taking into account the permissible leakage value. A permissible volume change due to the leakage of the pneumatic calibration system for gas meters has been determined, which should be such as not to affect the accuracy of the meter calibration results. It is established that when selecting the permissible leakage value, it is necessary to take into account the control volume that will be passed through the gas meter during its calibration, as well as the time of calibration, operating pressure in the installation, the permissible value of errors of gas meters and installation.

A new patented method of metrological verification of HGM is considered, which provides for the experimental determination of the error over a limited operating flow rate range, among which there are two normalized flow rates corresponding to the minimum flow rate and the flow rate of 20% of the maximum for a specific HGM size. In this case, the error in the operation of the HGM at the maximum flow rate is determined on the basis of the experimental calculation method.

Investigated by mathematical modeling using ANSYS Fluent software thermodynamic processes in standard pressure vessels, which reveal the features of changing the temperature gradient in the tank at its filling, which allows to formulate the operating parameters and the shape of the tank when using it as a node of standard installations for calibration gas.

In *the third section*, the analysis of the functional capabilities and design features of the implementation of modern approaches to the practical

implementation of standard installations for metrological verification of HGM with operation on natural gas. Taking into account the current normative documents of Ukraine on periodic airborne HGM verification, new solutions are considered for the possible implementation of standard installations, which allow to carry out non-destructive testing of HGM on different types of working environment (air or natural gas) with the possibility of reproduction of the entire operating flow rate range through HGM.

A quantitative analysis of the components of the errors is performed, which reveals the directions of achieving the required accuracy of the flow rate characteristics of non-standard GCs, which can ultimately lead to an increase in the accuracy of measuring the consumption and volume of natural gas in the domestic sphere.

According to the results of the research, the practical coincidence of the results of determining the average values of the measured gas flow rates by ultrasonic flowmeters and flowmeters of variable pressure drop, which is quantitatively less than their error, is established. In this case, the largest difference in instantaneous flow rates when measuring does not exceed the algebraic sum of the errors of two flowmeters. It has been experimentally found that ultrasonic flowmeters are more sensitive when measuring fixed flow rates, which can be a methodological basis for the creation of working standards on natural gas.

The necessity of taking into account the probabilistic characteristics of the measurement results in the operation of natural gas flowmeters has been substantiated, which opens new practical aspects of improving the accuracy of measurements in its accounting. However, the types of probabilistic models are not the same for different designs and principles of flowmeters and in many cases may differ from the generally accepted normal law of distribution, which justifies the need to clarify the type of law by the results of statistical processing of measurement results.

In *the fourth section* algorithms of practical realization of two directions of the experimental-calculation method are considered and metrologically evaluated

in determining the error of the HGM under the condition of functioning at the maximum expense.

Quantitative estimation of the error of determination of the HDM error at the maximum flow according to the first direction, which takes into account the generalized increment of the error change taking into account all selected ranges of change of the error of the HGM at the minimum expense, showed that it practically does not exceed one third ($\pm 0.7\%$) of the passport error of the HGM ($\pm 2\%$) at maximum flow rate. This substantiates the possibility of practical application of this method in the verification of HDM for a limited range of operating flow rates.

The quantitative estimation of the error of determining the error of the HGM at the maximum flow according to the second direction, which involves the calculation of the error of the HGM at the maximum operating flow rate using the interpolation dependence of the calculation of the error increment on its value at the minimum flow rate, showed that this error exceeds the passport error of 2% of the HDM maximum flow rate.

The results of metrological studies of a new method of metrological verification of HGM substantiate the feasibility of its practical application, since it significantly reduces the flow rateflow rates of standard installations due to the reduction of their operating flow rate ranges, contributes to the increase of performance of standard installations due to the verification of HGM and two norms not only metrological verification but also HGM verification at the place of operation due to eliminating the need to use special an integral source of flow rate with additional technological equipment to reproduce the maximum operating flow rate through the HDM when conducting its dummy check.

Physical processes are simulated in reference installations for the HGM calibration, which relate to the features of the HGM calibration and the approximation of the calibration characteristic of the reference means of the measuring equipment.

It was found that absolute pressure sensors should be used in the reference installations, but not excessive ones, which can lead to an increase in the error of the standard installations up to 0.02%.

It has been found that when calibrating working standards, the approximate power-law polynomial with the least-squares solution yields good results of coincidence with the experimental points with no more than two extrema. This gives him the right to use in determining the conversion function of the reference gas meters. Under other conditions, cubic spline algorithms should be used to interpolate the conversion function of the gas reference meters, as they pass through all the experimentally obtained points without deviation and provide the possibility of improving the accuracy of the reference installations.

Using the model approach, an algorithm for estimating uncertainty in determining the error on the maximum operating flow rates of HDM when measuring their gas volume was applied.

Verification of gas metering units on the basis of rotary and turbine meters with correctors was performed, which showed that the range of gas meters consumption and operating pressure are influenced by the reduction of extended uncertainty. The values are smaller (1.04-1.08%) at the flow range of $0.05q_{\max}$ to q_{\max} and pressures (0.3-0.6) MPa and increases to 1.95% and 2.85% for the flow ranges q_{\min} to $0.05 q_{\min}$ at pressures of 0.6 MPa and 0.3 MPa, respectively.

Verification of FLOUTEC type flowmeters with a meter-based metering unit showed that the error at the flow rate of $0.25 q_{\min}$ to q_{\max} is (0.75-0.95)% at pressures (0.3-0.5) MPa and increases for the flow range $0.05 q_{\max}$ to $0.25 q_{\max}$ up to 1.56% at 0.5 MPa and up to 2.03% at 0.3 MPa. A reduction in the error in reconciliation with an increase in the flow rate range and with an increase in operating pressure is established.

A draft normative document for the HGM verification under operational conditions has been developed.

Keywords: natural gas, household gas meter, operating flow rates, standart installation, metrological verification, error, uncertainty, non-dismantling verification.

List of publications by the PhD candidate:

1. Seredyuk O.E., Liutenko T.V., Vynnychuk A.G. Studies of the possibility of estimating the volume of gas by household meters over the whole flow rate range using statistical methods. *Ukrainian Metrological Journal*. 2018. №2. P. 34-45. (Personal contribution - algorithms for estimation of errors of meters at the maximum expense at application of experimental-calculation methodological approach are developed).

2. Liutenko T.V., Seredyuk O.E. Analysis of the principles of construction and technical capabilities of means for non-dismantling metrological verification of household gas meters. *Quality control methods and devices*. 2016. №2 (37). P. 20-29. (Personal contribution - the analysis and generalization of technical capabilities of the means for realization of the gas-free metrological verification of household gas meters were carried out).

3. Seredyuk O.E., Kompan A.I., Bondar S.P., Liutenko T.V., Ilyenko A.S., Smirnov M.A. Comparison of natural gas metering units of different principles of action on the real environment. *Metrology and instrument making*. 2016. №4 (74). P. 22-26. (Republic of Belarus). (Personal contribution - the results of experimental researches at verification of gas metering units on the basis of rotary and turbine meters were worked out, as well as the algorithm of calculation of uncertainty in the execution of checks).

4. Seredyuk O.E., Liutenko T.V. Experimental studies of natural gas metering units of different principles of action. *Metrology and devices*. 2015. No. 3 (53). P.51-56. (Personal contribution - modeling of statistical and probabilistic characteristics of flow measurement results by two types of flowmeters).

5. Vynnychuk A.G., Seredyuk O.E., Liutenko T.V. Studies of hydraulic flow characteristics of non-standard narrowing devices. *Information processing systems*. 2015. Vol. 6 (131). P. 25-28. (Personal contribution - a metrological model of the

cost characteristics of non-standard narrowing devices was developed and quantitative estimation of the constituent errors in determining the coefficient of consumption of the narrowing device was made).

6. Voshchinsky V.S., Seredyuk O.E., Andruk M.S., Liutenko T.V. Studies of the influence of heat transfer processes on the leakage of gas volume standard installations. *Quality control methods and devices*. 2015. №1 (34). P. 46-53. (Personal contribution - a mathematical model of heat exchange processes for a pneumatic bell reference system was developed).

7. Voshchinsky V.S., Seredyuk O.E., Liutenko T.V. Studies of algorithms for calculation of error in standard volume settings and gas flow rates. *Quality control methods and instruments*. 2013. №2 (31). P. 67-75. (Personal contribution - Algorithms for approximation of the conversion function in the reference gas meters are investigated).

8. Seredyuk O., Liutenko T., Seredyuk D., Warsza Z. Studies of measurement errors of membrane gas meters after six years of their operation. *Scientific Notebooks of the Faculty of Electrical Engineering and Automation of the Gdansk University of Technology: public XXI International Metrologists Seminar: MSM 2017, September 12-15, 2017. Rzeszow-Czerniowce: Gdansk, 2017. No. 55. P. 65-68. (Personal contribution - the results of statistical studies of errors of household gas meters of three types are analyzed and regularities of their change for different operating costs are established).*

9. Complex device for non-dismantling diagnostics and verification of household gas meters / O.E. Seredyuk, T.V. Lyutenko: patent 113495 U Ukraine: IPC (2016.01) G01 F 25/00. №u201608707; claimed 08/10/16; publ. 01/25/17, Bul. №2. (Personal contribution - improvement and design of the device for demo-free metrological verification of household meters by the use of an auxiliary reference tool and the possibility of constructive execution of the device with functioning in air and natural gas is proposed and substantiated).

10. A complex device for non-dismantling diagnostics and verification of household gas meters / O.Eo Seredyuk, B.I. Prudnikov, A.G. Vinnychuk, T.V.

Liutenko: patent 93805 U Ukraine: IPC (2014.01) G01 F 25/00. №u201405943; claimed 05/30/14; publ. 10/10/14, Bul. №19. (Personal contribution - Improvement of device design for metrological verification of household meters by means of pre-programmed special narrowing devices, which are installed in gas-burner burners, is proposed and substantiated).

11. Method of verification of household gas meters / O.E. Seredyuk, T.V. Liutenko: patent 116046 C2 Ukraine: IPC (2017.01) G01 F 25/00. №201605643 claimed 05/25/16; publ. 01/25/18, Bul. №2. (Personal contribution - it is suggested to use the calculation method of determining the error of the household meter at the maximum expense, taking into account the experimentally determined values of the error at the minimum flow rate and the flow rate of 20% of the maximum).

12. Ryabko Yu. S., Liutenko T.V., Seredyuk O.E. Modeling of regularities of error change of household gas meters. *Methods and means of non-destructive testing of industrial equipment: Coll. abstracts 5th Scientific-Practice. Conf. stud. and Young Scientists, November 24-25, 2015, Ivano-Frankivsk: IFNTUOG, 2015. P. 175-178.*

13. Seredyuk O.E., Liutenko T.V., Prudnikov B.I. Scientific principles of non-dismantling verification of household gas meters over a limited range of operating flow rates. *Measurement, control and diagnostics in technical systems (VKDTS-2015): coll. abstracts III-th International scientific-technical conf., October 27-29, 2015, Vinnitsa: VNTU, 2015. P.43-45.*

14. Liutenko T.V., Seredyuk O.E., Vinnychuk A.G. Studies of the influence of the gas network on the accuracy of flow measurement by end-narrowing devices. *Instrument making: condition and prospects: coll. abstracts XIV international scientific-technical conf., April 22-23, 2015, Kyiv: NTUU "KPI", 2015. P. 216-217.*

15. Seredyuk O.E., Liutenko T.V. Metrological studies of probabilistic characteristics of sequentially connected natural gas flowmeters. *Technical using of measurement - 2015: coll. abstracts Ukrainian. scientific-technical Conf. of*

young scientists in the field of metrology, February 2-6, 2015, Slavske: Academy of Metrology of Ukraine, 2015. P. 107-109.

16. Liutenko T.V., Seredyuk O.E., Mayson M.V. Modeling of physical processes in standard installations with pressure vessel. *Instrument making: condition and prospects*: coll. of abstracts XV international. scientific-technical Conf., May 17-18, 2016, Kyiv: NTUU "KPI", 2016. P.200-201.

17. Seredyuk O.E., Kompan A.I., Bondar S.P., Liutenko T.V., Ilyenko A.S., Smirnov M.A. Results of comparisons of industrial metering devices for natural gas in the conditions of the "Dneprogaz" test site. *Measurement uncertainty: scientific, legislative, methodological and applied aspects: UM-2016*: coll. of reports XIII int. scientific and technical seminar, April 13-14, 2016, Minsk: BelGIM, 2016. P. 111-114.

18. Liutenko T.V., Seredyuk O.E. Application of a model approach to estimating the uncertainty of measuring the volume of gas by household meters during their operation. *Measurement uncertainty: scientific, normative, applied and methodological aspects: UM-2017*: abstracts of reports of the XIV international scientific and technical Seminar, September 8, 2017, Sozopol, Bulgaria: SoftTrade, 2017. P. 67-68.

19. Seredyuk O.E., Liutenko T.V. Statistical analysis of the error change of household gas meters during their operation. *Technical using of measurement - 2017*: abstracts of reports of the III Ukrainian scientific-technical Conf. young scientists in the field of metrology, January 24-27, 2017, Slavske: Academy of Metrology of Ukraine, 2017. P. 48-51.

20. Seredyuk O.E., Liutenko T.V. Application of information technologies in statistical studies of metrological characteristics of household gas meters during their operation. *Information Technology in Education, Technology and Industry*: materials of III Ukrainianscientific- practical Conf. Young Scientists and Students, October 10-13, 2017, Ivano-Frankivsk: IFNTUOG, 2017. P. 112-114.

21. Liutenko T.V. New approaches to statistical estimation of errors of household gas meters during their operation. *Oil and gas energy- 2017*: Coll.

theses of reports 6th international scientific-technical Conf., May 15-19, 2017, Ivano-Frankivsk: IFNTUOG, 2017. P. 293-295.

22. Liutenko T.V., Seredyuk O.E. Studies of stability of metrological characteristics of household gas meters for operational conditions. *Instrument making: condition and prospects*: coll. theses of reports XVI international scientific-technical Conf., May 16-17, 2017, Kyiv: NTUU "KPI" PBF, 2017. P. 177-178.

23. Liutenko T.V. The concept of statistical determination of regularities of error change of household gas meters for the implementation of non-dismantling verification over a limited flow rate range. *Methods and means of non-destructive testing of industrial equipment*: Coll. abstracts of VI Ukrainian scientific-practical Conf. students and young scientists, November 15-16, 2017, Ivano-Frankivsk: IFNTUOG, 2017. P.40-41.

24. Seredyuk O.E., Vynnychuk A.G., Liutenko T.V. Studies of statistical regularities of error change of household gas meters during their diagnosis. *Modern devices, materials and technologies for non-destructive testing and technical diagnostics of machine building and oil and gas equipment*: Coll. mater. 8th International scientific-technical Conf. in memory of prof. Igor Kisil, November 14-16, 2017, Ivano-Frankivsk: IFNTUOG, 2017. P.79-80.

25. Seredyuk O.E., Lyutenko T.V., Krynitsky O.S. Statistical studies of the stability of the error of household gas meters, depending on the duration of their operation. *Modern devices, materials and technologies for non-destructive testing and technical diagnostics of machine building and oil and gas equipment*: Coll. mater. 8th International scientific-technical Conf. in memory of prof. Igor Kisil, November 14-16, 2017, Ivano-Frankivsk: IFNTUOG, 2017. P.186-188.

26. Liutenko T., Seredyuk O., Vinnychuk A. New tendencies of quality improvement of metrological control of household gas meters under operating conditions. *Quality Management in Education and Industry: Experience, Challenges, Prospects*: theses of reports 3rd International scientific-practical Conf. in memory of prof. Petro Stoliarchuk, May 11-12, 2017, Lviv: NU "Lviv Polytechnic", 2017. P.182-183.

27. Liutenko T.V., Seredyuk O.E., Krynitsky O.S. Metrological studies of statistical regularities of error change of different sizes household gas meters. *Technical using of measurement - 2018*: theses of reports IV Ukrainian scientific-technical Conf. young scientists in the field of metrology, February 13-18, 2018, Slavske: Academy of Metrology of Ukraine, 2018. P.34-36.

28. Liutenko T.V., Seredyuk O.E., Krynitsky O.S. Studies of the influence of operating conditions of household gas meters on their metrological characteristics. *Instrument making: condition and prospects*: coll. theses of reports XVII international scientific-technical Conf., May 15-16, 2018, Kyiv: NTUU "KPI", 2018. P. 201-202.

29. Seredyuk O.E., Lutenko T.V., Vinnichuk A.G. Studies of the uncertainty of household gas meters at maximum flow rates using statistical methods. *Measurement uncertainty: scientific, normative, applied and methodological aspects: UM-2018*: coll. theses of reports XV international scientific and technical Seminar, September 10, 2018, Sozopol, Bulgaria: SoftTrade, 2018. P.38.

30. Seredyuk O.E., Malisevich N.M., Liutenko T.V. New Aspects of computer-aided improvement in metrological assurance of natural gas metering. *Automated multidimensional object management in computing intelligence*: coll. theses of reports Practice conf., October 17-19, 2018, Ivano-Frankivsk: IFNTUOG, 2018. P. 42-43.

31. Seredyuk O.E., Liutenko T.V. Studies of uncertainty of household gas meters at maximum flow rates using statistical methods. *Metrology and Measurement Engineering*: theses of reports XI International scientific-technical conf., October 9-11, 2018, Kharkiv: NSC "Institute of Metrology", 2018. P. 208-209.

32. Liutenko T.V., Seredyuk O.E., Krynitsky O.S. Studies of statistical regularities of operational errors change of household gas meters. *Applied Scientific and Technical Research: Materials II intern. scientific-practical Conf.*, April 3-5, 2018, Ivano-Frankivsk: Symphony Forte, 2018. P.92.

ЗМІСТ

ВСТУП	28
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ МЕТРОЛОГІЧНОГО ПЕРЕВІРЯННЯ ПОБУТОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ (ПЛГ).....	37
1.1 Аналіз ПЛГ як об'єкта метрологічного контролю	38
1.2 Практичні аспекти термінології метрологічного перевіряння ПЛГ	45
1.3 Аналіз методів і впливових факторів на метрологічні дослідження ПЛГ	50
1.4 Нормативна база для метрологічних досліджень ПЛГ	58
1.5 Технічні засоби для метрологічного дослідження ПЛГ	62
1.6 Вибір і обґрунтування напрямку досліджень	74
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ БЕЗДЕМОНТАЖНОГО МЕТРОЛОГІЧНОГО ПЕРЕВІРЯННЯ ПЛГ	76
2.1 Дослідження статистичних закономірностей зміни похибки мембранних ПЛГ при їх експлуатації	76
2.2 Дослідження впливу експлуатаційних і конструкційних факторів на стабільність метрологічних характеристик ПЛГ	88
2.3 Розроблення експериментально-розрахункового методу метрологічного перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном контрольованих витрат	105
2.4 Дослідження теплообмінних процесів в еталонних установках для калібрування лічильників газу.....	113
2.5 Моделювання теплообмінних процесів в еталонних установках з ємністю під тиском	122
2.6 Висновки до другого розділу	126
РОЗДІЛ 3 ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАСОБІВ МЕТРОЛОГІЧНОГО ПЕРЕВІРЯННЯ ПЛГ	128

3.1 Розроблення технічних рішень для побудови засобів бездемонтажного метрологічного перевіряння ПЛГ.....	128
3.2 Дослідження гідравлічних витратних характеристик нестандартних звужувальних пристроїв при розробленні мобільних перевірочних установок.....	138
3.3 Експериментальні дослідження вузлів обліку природного газу різних принципів дії	146
3.4 Висновки до третього розділу.....	155
РОЗДІЛ 4 МЕТРОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ ПРАКТИЧНІЙ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТРОЛОГІЧНОГО ПЕРЕВІРЯННЯ ПЛГ	157
4.1 Метрологічна оцінка експериментально-розрахункового методу метрологічного перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном контрольованих витрат	157
4.2 Застосування модельного підходу для оцінювання непевності при вимірюванні об'єму газу побутовими лічильниками	163
4.3 Звіряння засобів вимірювання об'єму газу різних принципів дії на природному газі при створенні робочих еталонів на реальному середовищі.....	164
4.4 Дослідження алгоритмів розрахунку похибки в еталонних установках об'єму та витрати газу при створенні робочих еталонів.....	172
4.5 Апробація експериментально-розрахункового методу метрологічного перевіряння ПЛГ і розроблення проекту нормативного документу для повірки ПЛГ в умовах експлуатації	180
4.6 Висновки до четвертого розділу.....	182
ВИСНОВКИ	186
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	188
ДОДАТКИ.....	207
Додаток А Порівняльна характеристика вітчизняних і закордонних повірочних установок для ПЛГ.....	207

Додаток Б Акт апробації результатів дисертаційної роботи у СКБ ЗА (м. Івано-Франківськ).....	209
Додаток В Акт про використання у навчальному процесі наукових результатів дисертаційної роботи	210
Додаток Г Акт апробації результатів дисертаційної роботи у ПАТ «Івано-Франківськгаз».....	211
Додаток Д Проект нормативного документу для перевірки ПЛГ.....	217
Додаток Е Список публікацій здобувачки за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертаційної роботи.....	242

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогоднішній день в Україні не втрачає актуальності проблема раціонального використання енергоносіїв, в тому числі природного газу, оскільки – це є однією із складових енергозбереження [1,2]. В свою чергу раціональне використання природного газу неможливе без його точного і достовірного обліку не тільки в промисловості, але і у побутових споживачів. Для індивідуального обліку природного газу в українських помешканнях встановлено понад 9,5 млн. побутових лічильників газу (ПЛГ) [3], більшість з яких мембранного типу. У 2017 році в Україні використано близько 31,9 млрд. куб. м. природного газу, серед якого об'єм споживання побутовими споживачами становить 11,2 млрд. куб. м. [4]. Це свідчить про актуальність вивчення наукових і практичних аспектів метрологічного забезпечення ПЛГ при їх виготовленні і експлуатації.

Відомим є той факт, що під час експлуатації метрологічні характеристики ПЛГ змінюються, і зазвичай це приводить до зміни похибки у від'ємну сторону [5]. Внаслідок цього відбувається недооблік природного газу у побутовій сфері.

Для контролю технічного стану і метрологічних характеристик такої значної кількості ПЛГ необхідне належне метрологічне забезпечення та нормативна база. Підтвердженням цього можуть бути результати досліджень метрологічних підрозділів вітчизняних акціонерних товариств з експлуатації газового господарства, згідно з якими в кінці 90-х років значна кількість ПЛГ бракувалася при періодичній повірці, серед яких було близько 6% мембранних і 90% роторних побутових лічильників [6]. Це свідчить про те, що забраковані при повірці лічильники, певний термін перед її проведенням здійснювали неправильний облік природного газу.

З врахуванням цієї статистики, а також на підставі вивчення метрологічних експлуатаційних характеристик ПЛГ відповідними підрозділами газозбутових організацій і органами державного

метрологічного нагляду застосування роторних ПЛГ на теперішній час залишилося досить обмеженим. Водночас сучасні статистичні дослідження похибок ПЛГ за результатами їх періодичної повірки впродовж 2015-2016 років показали, що тільки близько (55-70)% побутових лічильників типорозміру G4 (максимальна витрата $6 \text{ м}^3 / \text{год}$) залежно від різних виробників є справними і можуть продовжувати експлуатуватися без ремонту чи заміни на справний [7].

Згідно чинних нормативних документів, виявити факт недостовірного обліку природного газу в експлуатаційних умовах неможливо, оскільки неправильне функціонування можливо встановити лише при періодичній повірці ПЛГ. Зважаючи, що періодична повірка проводиться після восьми років експлуатації [8], то очевидно є обставина, що ПЛГ протягом тривалого часу може здійснюватися облік газу некоректно. Тому існує необхідність контролю метрологічних характеристик ПЛГ впродовж міжповірочного інтервалу, для реалізації якого на сьогодні є дуже обмежена кількість відповідних установок [9,10].

На сьогоднішній день в Україні метрологічні характеристики ПЛГ, які знаходяться в експлуатації, з метою оцінювання їх придатності до подальшого застосування, визначають за допомогою стаціонарних еталонних установок [11], які функціонують на повітрі. При цьому необхідним є демонтаж ПЛГ з місця експлуатації, транспортування до місця періодичної повірки, власне сама повірка та наступний повторний монтаж лічильника у споживача природного газу. Така періодична повірка лічильників є недешевою і трудозатратною технологічною операцією. Крім того, за таких умов суттєво знижується достовірність результатів визначення фактичної похибки лічильників в експлуатаційних умовах, оскільки, по - перше, змінюється вид робочого середовища, по - друге, внаслідок транспортування разом з попередньою підготовкою лічильників до повірки відбувається видалення наявних забруднень у внутрішніх порожнинах лічильників, які впливали на значення похибки лічильників в експлуатаційних умовах. Однак

саме такий метод періодичної повірки регламентований чинними на сьогодні нормативними документами [12,13].

Так як метрологічні характеристики ПЛГ при роботі на повітрі і природному газі неоднакові, то їх точне визначення сприяє енергозбереженню, тобто раціональному використанню природного газу. Це є особливо актуальним, зважаючи на рішення Ради національної безпеки і оборони України від 28 квітня 2014 року «Про стан забезпечення енергетичної безпеки у зв'язку з ситуацією щодо постачання природного газу в Україну», тобто необхідність створення системи забезпечення ощадливого та раціонального використання енергоносіїв усіма категоріями споживачів. Саме тому, актуальним є проведення метрологічного контролю за лічильниками газу, в тому числі і побутовими, за місцем їх експлуатації і одночасно з функціонуванням на природному газі [14,15].

Також на зниження достовірності обліку природного газу впливає відсутність сучасних методів і технічних засобів, які би забезпечували правильність проведення метрологічного перевіряння побутових лічильників без їх демонтажу в реальних умовах експлуатації з використанням природного газу як робочого середовища [33].

Значну увагу дослідженню наукових питань витратометрії, зокрема еталонних і робочих засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати природного газу, приділено в працях І.С.Бродина, Є.П.Пістуна, І.С.Петришина, О.Є.Середюка, С.А.Чеховського, Ф.Д. Матіко, І.В. Коробка, М.В. Кузя, Я.М. Власюка, В.С.Вощинського, А.І. Стеценка, Ю.І.Бродина (Україна), П.П.Кремльовського, А.Н.Павловського, А.П.Герасімова, В.М. Красавіна, В.А. Фафуріна (Російська Федерація), Д.Допхайде, Р.Крамер (Німеччина), М.Ван дер Бек (Нідерланди), З. Кабза, Й. Допке, Й. Яворські, П. Кулага (Польща) та інших. Тим не менше напрямок дослідження побутових лічильників газу і мобільних еталонних засобів у сфері обліку малих витрат природного газу на сьогоднішній день містить ряд невивчених питань, які перш за все стосуються вивчення експлуатаційних метрологічних

характеристик ПЛГ, а також методології, практичних і метрологічних аспектів застосування маловитратних мобільних еталонних засобів вимірювальної техніки.

Тому вдосконалення методу і технічних засобів для метрологічного перевіряння ПЛГ як практичного аспекту їх метрологічного забезпечення впродовж міжповірочного інтервалу та безпосередньо на місці експлуатації є актуальним науково-прикладним завданням, що характеризує актуальність теми дисертації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження, результати яких знайшли відображення в дисертаційній роботі, виконувалися здобувачкою відповідно до плану навчання в аспірантурі на кафедрі «Методи та прилади контролю якості і сертифікації продукції» (МПКЯ і СП) (з вересня 2018 року кафедра «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка») Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу згідно з тематикою виконання держбюджетних науково-дослідних робіт кафедри МПКЯ і СП ІФНТУНГ. Робота виконувалась в рамках науково-дослідної комплексної цільової програми «Науково-організаційні засади нарощування видобутку вітчизняних нафти і газу, їх транспортування та диверсифікація постачання для підвищення енергетичної безпеки України» (2015–2017 рр.) 0115U007099, розділ «Розроблення методів, приладів і систем для контролю технологічного обладнання і вимірювання параметрів технологічних процесів газотранспортної системи України». Здобувачка була виконавцем окремих підрозділів, пов'язаних з вдосконаленням методів визначення метрологічних характеристик засобів обліку природного газу.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є вирішення актуального науково-прикладного завдання у галузі вимірювання об'єму природного газу – удосконалення методу і технічних засобів для метрологічного перевіряння побутових лічильників газу при дослідженні і контролі їх метрологічних характеристик за місцем експлуатації.

Для досягнення зазначеної мети необхідно розв'язати такі задачі:

- провести аналіз методів і засобів метрологічного перевіряння ПЛГ та обґрунтувати напрямки їх удосконалення для реалізації бездемонтажного метрологічного перевіряння ПЛГ;

- встановити закономірності зміни похибки ПЛГ різних типорозмірів, яка є визначальною для досягнення точного обліку природного газу побутовими споживачами;

- розробити метод метрологічного перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном контрольованих витрат і здійснити його метрологічні дослідження;

- розробити математичні моделі теплообмінних процесів еталонних установок для калібрування робочих еталонів і побутових лічильників;

- дослідити методи звіряння засобів вимірювань об'єму різних принципів дії на природному газі;

- розробити нові концептуальні технічні рішення еталонних установок для метрологічного перевіряння ПЛГ за місцем експлуатації;

- провести апробацію розробленого методу для метрологічного перевіряння ПЛГ.

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

Предметом дослідження є побутові лічильники газу, їх метрологічні моделі, науково-технічні основи метрологічного забезпечення побутових лічильників при експлуатації.

Методи дослідження. Математичне моделювання закономірностей зміни похибки ПЛГ, термодинамічних процесів в еталонних установках на базі теорії гідродинамічної подібності і теплообміну, методів імітаційного моделювання на ПЕОМ, а також методів планування та постановки експериментів при дослідженні фізичних процесів в еталонних і робочих засобах вимірювання об'єму газу. Метрологічні дослідження ПЛГ, методу бездемонтажного їх перевіряння, методології звіряння засобів вимірювань об'ємної витрати та об'єму природного газу здійснювалися із застосуванням

основних положень метрології, теорії похибок, концепції непевності у вимірюваннях, методів статистичної обробки даних, методу структурного аналізу складових похибки і непевностей із застосуванням імовірнісних методів сумування складових результуючої похибки.

Наукова новизна отриманих результатів:

– вперше встановлено статистичні закономірності зміни похибки ПЛГ при експлуатації, що дає змогу сформулювати новий експериментально-розрахунковий метод визначення їх похибки за обмеженим діапазоном контрольованих витрат, який забезпечує реалізацію бездемонтажного метрологічного перевіряння ПЛГ у всьому діапазоні робочих витрат;

– вперше встановлено залежності стабільності метрологічних характеристик ПЛГ від впливу експлуатаційних і конструктивних факторів, що дозволяє коригувати їхній міжповірочний інтервал шляхом його збільшення за умови вимірювання лічильниками впродовж міжповірочного інтервалу обмеженої кількості газу, яка, наприклад, для лічильників типорозміру G4 не повинна перевищувати 30 тис.м³;

– набуло подальшого розвитку математичне моделювання фізичних процесів в еталонних витратовимірювальних установках для калібрування робочих еталонів, яке стосується дослідження теплообмінних процесів в установках, що покращує їхні конструктивні та метрологічні характеристики;

– набуло подальшого розвитку звіряння засобів вимірювання об'єму природного газу різних принципів дії, що відкриває можливості удосконалення технічних засобів вимірювання об'єму за малих витрат природного газу та бездемонтажного метрологічного перевіряння ПЛГ;

– набула подальшого розвитку теорія метрологічних досліджень ПЛГ з метою коректного оцінювання їх метрологічних характеристик на базі теорії похибок і з використанням концепції непевності вимірювань.

Практичне значення отриманих результатів:

– проведена апробація нового експериментально-розрахункового методу визначення похибки ПЛГ за обмеженим діапазоном контрольованих

витрат, що підтвердило правильність прийнятих теоретичних підходів і практичних рішень для створення перевірочних установок які можуть використовуватися для метрологічного перевіряння ПЛГ як за місцем експлуатації, так і при їх демонтажі із застосуванням стаціонарних еталонних установок. При цьому як робоче середовище в залежності від конструктивного виконання перевірочних установок може використовуватися природний газ або повітря;

- розроблений проект нормативного документа для повірки ПЛГ за місцем експлуатації;

- запропоновані нові методики і технічні рішення при створенні засобів метрологічного перевіряння ПЛГ за місцем експлуатації з можливістю використання двох видів робочого середовища (повітря або природний газ), які захищені одним патентом України на винахід і двома патентами України на корисну модель;

- отримані в дисертаційній роботі наукові результати використані при метрологічних дослідженнях дзвонової установки (робочого еталона РЕОВГ-0.2) в умовах ТОВ “Івано-Франківське СКБ засобів автоматизації”(м. Івано-Франківськ), які стосувалися оцінювання похибки внаслідок незавершеності теплообмінного процесу;

- отримані в дисертаційній роботі наукові результати використовуються в навчальному процесі кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу при викладанні дисципліни «Технологічні вимірювання в нафтогазовій промисловості» при підготовці бакалаврів за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок здобувачки є основним на всіх етапах досліджень і полягає у тому, що всі положення, які становлять суть роботи, були сформульовані та вирішені нею самостійно і у безпосередньому виконанні розрахункової і експериментальної частин

роботи. У дослідженнях авторці належить участь у теоретичних дослідженнях, обґрунтуванні напрямів удосконалення методу і технічних засобів для вирішення завдань метрологічного перевіряння побутових лічильників газу, опрацюванні та інтерпретації отриманих результатів повірки побутових лічильників, моделюванні теплообмінних процесів в еталонних установках для калібрування і повірки еталонних і робочих лічильників газу, дослідженні алгоритмів розрахунку похибки побутових лічильників і засобів вимірювання об'єму газу різних принципів дії.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні положення і результати дисертації висвітлено і обговорено на 21 міжнародній та всеукраїнських науково-технічних конференціях: I, III, IV всеукраїнських науково-технічних конференціях молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement – 2015, 2017, 2018» (м. Славське, 2015, 2017, 2018 р.р.); III міжнародній науковій конференції “Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2015)” (м. Вінниця, 2015р.); XIV, XV, XVI, XVII міжнародних науково-технічних конференціях “Приладобудування: стан і перспективи” (м. Київ, 2015, 2016, 2017, 2018 р.р.); V, VI науково-практичних конференціях студентів і молодих учених “Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання” (м.Івано-Франківськ, 2015, 2017р.р.); 8-мій міжнародній науково-технічній конференції пам'яті проф. Ігоря Кісіля “Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання” (м.Івано-Франківськ, 2017р.); III міжнародній науково-практичній конференції пам'яті проф. Петра Столярчука “Управління якістю в освіті і промисловості: досвід, проблеми, перспективи” (м. Львів, 2017р.); III всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів “Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості” (м. Івано-Франківськ, 2017р.) 6-тій міжнародній науково-технічній конференції “Нафтогазова енергетика”, (м. Івано-Франківськ, 2017р.); II міжнародній науково-практичній

конференції “Прикладні науково-технічні дослідження” (м. Івано-Франківськ, 2018 р.); XI міжнародній науково-технічній конференції “Метрологія та вимірювальна техніка” (м. Харків, 2018 р.); XIII, XIV, XV міжнародних науково-технічних семінарах “Неопределенность измерений: научные, нормативные, прикладные и методические аспекты (UM-2016, 2017, 2018)” (м. Мінськ: Республіка Білорусь, 2016; м. Созополь: Болгарія, 2017, 2018 р.р.); XXI міжнародному семінарі метрологів: MSM 2017, (м.м. Жешув-Чернівці, Польща-Україна, 2017 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції “Автоматизоване управління багатовимірними об’єктами на засадах обчислювального інтелекту” (м. Івано-Франківськ, 2018р.)

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 32 наукових публікації, з них 3 статті у наукових фахових виданнях України, 3 статті у наукових фахових виданнях України, що включені до міжнародних наукометричних баз, 2 статті у науковому періодичному виданні інших держав, 21 теза доповідей за матеріалами міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференцій, серед яких 3 тези за участю в закордонних конференціях, та 3 патенти України на винахід і корисні моделі.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Матеріали викладені на 166 сторінках основного тексту; робота містить 19 таблиць, 49 рисунків, список використаних джерел з 155 найменувань та 6 додатків на 42 сторінках.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ МЕТРОЛОГІЧНОГО ПЕРЕВІРЯННЯ ПОБУТОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ (ПЛГ)

Основою раціонального використання природного газу є його точний облік, який значною мірою визначається технічною базою, тобто відповідними засобами вимірювання об'єму і витрати газу, які повинні бути метрологічно забезпеченими.

Оскільки дисертаційна робота присвячена вдосконаленню методу і технічних засобів для бездемонтажного метрологічного перевіряння ПЛГ, то проаналізуємо методологічні і практичні аспекти вирішення поставлених завдань, в тому числі метрологічного супроводу ПЛГ при їх експлуатації, а також при вимірюванні малих витрат газу.

В роботі необхідно також проаналізувати технічні і метрологічні характеристики ПЛГ як об'єкта метрологічного контролю разом з чинною нормативною і сучасною технічною базою для їх метрологічних досліджень.

Враховуючи, що облік природного газу практично всюди носить комерційний характер, який повинен базуватись на відповідних юридично-правових документах, невід'ємною частиною висвітлення цього розділу повинен бути аналіз чинних нормативних документів у сфері обліку природного газу побутовими лічильниками.

З врахуванням нормативних юридично затверджених понять, які стосуються практичних аспектів метрологічного забезпечення ПЛГ, потребують аналізу і конкретизації методи реалізації цього метрологічного забезпечення стосовно ПЛГ, що повинно обґрунтувати формулювання теми цієї дисертаційної роботи.

1.1 Аналіз ПЛГ як об'єкта метрологічного контролю

Засоби вимірювання об'єму природного газу за значенням витрат, при яких здійснюється облік газу, поділяються на побутові (до 10 м³/год), комунально-побутові від 10 до 40 м³/год та промислові (понад 40 м³/год) [16].

ПЛГ призначені головним чином для вимірювання об'єму використаного газу побутовими споживачами. З цією метою використовують лічильники роторного і мембранного типів, які загалом перекривають діапазон робочих витрат від 0,016 до 10 м³/год при надлишковому тиску до (50-100) кПа.

Кожний ПЛГ характеризується відповідними технічними і метрологічними характеристиками, вказаними в [12,17]. 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. Одними із найважливіших метрологічних характеристик ПЛГ, є границя основної допустимої похибки та поріг чутливості, які 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 $\delta_{\text{Л}}$ визначається експериментально шляхом пропуску через нього певного значення контрольного об'єму газу і обчислюється за формулою [12, 13]:

$$\delta_{\text{Л}} = \frac{V_{\text{Л}} - V_{\text{Е}}}{V_{\text{Е}}} \cdot 100, \% \quad (1.1)$$

де $V_{\text{Л}}$ – об'єм газу, який виміряв ПЛГ;

V_E – об’єм газу, який переданий від еталонного засобу вимірювальної техніки (робочого еталону).

За результатами кількісного визначення відносної похибки ПЛГ за різних значень робочого діапазону витрат будується крива залежності відносної похибки лічильника від значення витрати, яка подається в його паспорті, наприклад, рис. 1.1 [20]. Це проводиться з метою оцінювання відповідності згідно вимог технічного регламенту на ПЛГ, як на засоби вимірювальної техніки законодавчо регульованої сфери [18] і при первинній повірці ПЛГ на підприємстві-виготовлювачі [19].

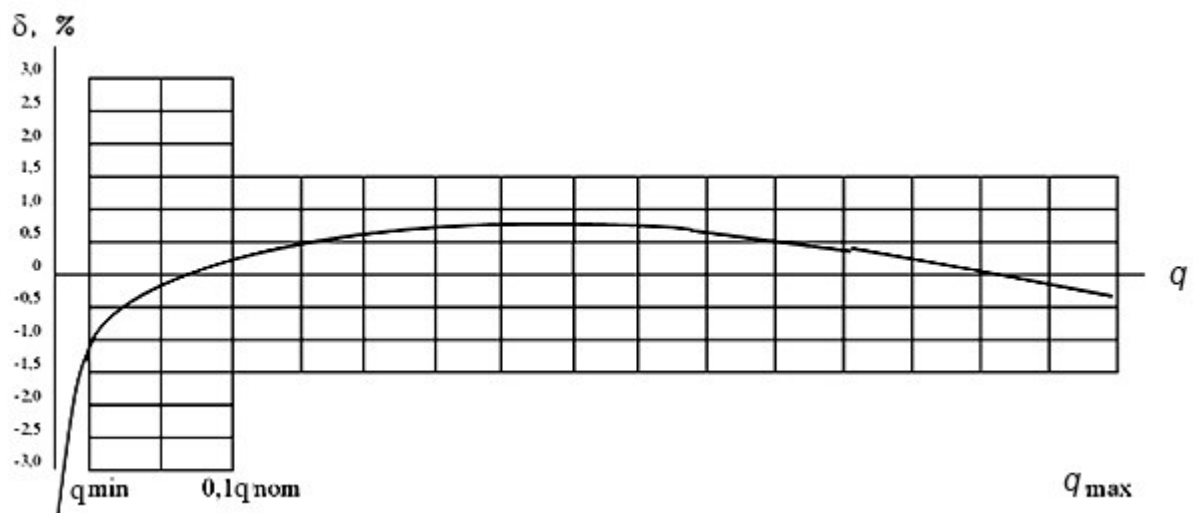


Рисунок 1.1. Типова крива залежності відносної похибки мембранного ПЛГ типу Gallus

Методологія нормування похибки лічильників газу від вимірюваної витрати наведена на рис. 1.1 і характеризує про її два діапазони ($\pm 3\%$ і $\pm 1,5\%$).

Для відображення фактичної метрологічної характеристики за різних експлуатаційних витрат використовуються криві залежності величини похибки від витрати [11]. Ці криві отримують при метрологічних випробуваннях лічильників за нормованих витрат, які конкретизовані в національних і міжнародних стандартах [12, 23, 24]. 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 [13, 21] з урахуванням втрат тиску та різниці температури на вході лічильника і на виході робочого еталона обчислюють за формулою:

$$\delta_L = \left[\frac{V_L}{V_E} \cdot \frac{p_L}{p_E} \cdot \frac{T_E}{T_L} - 1 \right] \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

або

$$\delta_L = \delta_V + K_p + K_T, \quad (1.3)$$

де p_0 , p_L – значення абсолютного тиску в робочому еталоні та лічильнику відповідно, Па;

T_0 , T_L – значення абсолютної температури в робочому еталоні та лічильнику відповідно, К;

K_p – поправка до відносної похибки лічильника, спричинена різницею тисків між входом лічильника і виходом робочого еталона, %;

K_T – поправка до відносної похибки лічильника спричинена різницею температур вздовж випробувальної лінії на виході робочого еталона та на вході лічильника, %;

δ_L – похибка ПЛГ без врахування зміни тиску і температури у випробувальній лінії робочого еталона.

Для застосування в побутовій сфері також використовують роторні лічильники типу РЛ типорозмірів G2,5, G4 та G6 [11]. Допустима відносна похибка цих лічильників знаходиться в межах: в діапазоні витрат від q_{\min} до $2q_{\min}$ – $\pm 3,0$ %; в діапазоні витрат від $2q_{\min}$ до q_{\max} – $\pm 2,0$ %.

Безперечною перевагою лічильників роторного типу є менші габаритні розміри при тих самих діапазонах вимірювань порівняно з лічильниками інших типів. Також до переваг таких лічильників можна віднести нечутливість до перевантажень і можливість роботи при перевантаженнях за надлишкових робочих тисків до 0,1 МПа.

Основними недоліками лічильників роторного типу є інтенсивне зношування робочих органів при наявності механічних забруднень в природному газі, а також низька чутливість лічильника при малих значеннях витрати, що зумовлює недооблік природного газу при їх застосуванні. Зважаючи на те, що споживання природного газу населенням відбувається здебільшого за малих витрат, лічильники роторного типу набувають на сьогодні все меншого поширення в побутовій сфері порівняно з лічильниками мембранного типу.

Водночас, недоліком лічильників мембранного типу є чутливість до температури навколишнього середовища, оскільки існує можливість втрати при багаторічній експлуатації еластичності мембрани. Але сучасні технології виготовлення мембран цей недолік практично вже усунули. Доказом цього є запровадження в експлуатацію побутових лічильників з корекцією за робочої температури природного газу. Це відображається в інструкції з експлуатації ПЛГ, наприклад, з корекцією від температури плюс 15°C або від температури плюс 5°C [105]. Також ці лічильники не мають достатнього запасу герметичності при умовах аварійної ситуації на газопроводі, яка може спричинити суттєве (декілька разове) перевищення надлишкового тиску природного газу. Однак основною їх перевагою є великий діапазон робочих витрат (1:150) і більше [11, 12], що робить їх незамінними при використанні в побутовій сфері.

Згідно [31] за даними ВАТ Івано-Франківськгаз станом на 01.01.2015р. практично всі ПЛГ є мембранного типу, зокрема найчастіше встановлені ПЛГ фірм-виробників Премагаз (Словаччина), Самгаз (м. Рівне), Метрікс (Польща).

Значення похибок за нормованих витрат дає можливість розраховувати значення середньої зваженої похибки (СЗП), яке використовується для налагоджування відлікових механізмів лічильників і оцінювання технічного рівня їх виготовлення.

Згідно міжнародних рекомендацій [27] СЗП визначається виразом :

$$\delta_{СЗП} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{q_i}{q_{max}} \cdot \delta_{Лi} \right)}{\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{q_{max}}}, \quad (1.4)$$

де $\delta_{Лi}$ – похибка при значеннях витрат q_i , які становлять не менше шести значень діапазону робочих витрат і нормуються, наприклад, при випробуваннях рівними: q_{min} ; $0,05 q_{max}$; $0,1 q_{max}$; $0,15 q_{max}$; $0,25 q_{max}$; $0,40 q_{max}$; $0,70 q_{max}$; q_{max} ;

q_{max} – нормоване максимальне значення витрати для досліджуваного типорозміру лічильника;

n – кількість витрат, за яких визначають СЗП лічильника.

Значення характеристики $\delta_{СЗП}$ повинне бути якомога ближчим до нуля і для нових лічильників класу точності 1 при затвердженні типу [27] не повинне виходити за межі $\pm 0,4\%$.

Для лічильників доцільним є визначення додаткової похибки від зміни температури газу і температури довкілля. Додаткова похибка від зміни тиску і температури природного газу не наводиться і не нормується, оскільки, на даний час це є темою сучасних наукових досліджень [28, 29]

Одним із прикладів практичної її реалізації є конкретизація робочої температури у паспорті ПЛГ згідно нормативного документа, зокрема зміни №2 до ДСТУ 3336-96 [17,101]. В зміні зазначено, що під номінальним робочим значенням температур T_H вимірюваного середовища (природного газу) розуміють вказане значення цієї температури в експлуатаційній документації та на відліковому пристрої лічильника, від якої цей лічильник здійснює зведення результатів вимірювання об'єму газу до температури газу за стандартних умов T_C . Таким чином конструкцією в ПЛГ здійснюється корекція вимірюваного об'єму газу. Такий підхід передбачає, що ПЛГ монтуються ззовні будинків споживачів газу і температура газу при цьому переважно є меншою від стандартної (293,15 K). Такий підхід базується на врахуванні середньорічної температури газу і має не тільки прихильників,

але і опонентів. Водночас ПЛГ такої конструкції виготовлюються підприємством САМГАЗ (м. Рівне), а номінальна температура директивного приведення становить, наприклад, 0 °С [105].

Поріг чутливості також характеризує метрологічні властивості ПЛГ і кількісно відповідає мінімальному значенню витрати, за якої лічильник починає обліковувати газ з похибкою, яка не нормується [11]. При цьому критерієм відповідності до цього показника є функціонування відлікового механізму.

Ще однією метрологічною характеристикою лічильників є втрата тиску на ньому, яка визначається за умов роботи лічильника на максимальній витраті. Вона є інформативним параметром правильності функціонування ПЛГ як нового вимірювального засобу, а так і при його повірці. Крім того, перепад тиску може використовуватися як параметр діагностування лічильників газу в експлуатації [30].

Крім того лічильники, як засіб вимірювання, можна оцінювати такими метрологічними характеристиками, які не заносяться у перелік їх основних характеристик, що відображаються у технічній документації. До них можна віднести варіацію показів і повторюваність результатів вимірювань [42].

Під час випробувань лічильників експериментально оцінюються ще ряд параметрів лічильника, які входять як складові наукового узагальнення характеристик – сертифікаційної моделі [60].

Крім конкретизованих вище технічних і метрологічних характеристик ПЛГ до них можна віднести, наприклад, характеристики конструктивні, ресурсні і безпеки, методика оцінювання яких наводиться у нормативних документах щодо правил приймання і методів випробувань. Конкретизація цих та інших характеристик, зокрема для ПЛГ, наведена у Державному стандарті України [21].

Незважаючи на велику кількість типів лічильників газу, що випускаються серійно, їх можна оцінювати за основними характеристиками, які відображені у чинній нормативній базі [12, 13, 17, 21].

Однією із найбільш вагомих технічних характеристик лічильників газу, в тому числі і ПЛГ за якою здійснюється їх класифікація щодо типорозміру є номінальна об'ємна витрата, яка розраховується за робочих умов функціонування лічильників газу. Вона кількісно вказує на типорозмір лічильника, який відповідає витраті в $\text{м}^3/\text{год}$, що обліковується, наприклад, G4, G6, G10, G25 [11].

Для лічильників обов'язковим є нормування границь основної допустимої похибки залежно від значень об'ємних робочих витрат, яка встановлюється для діапазонів витрат: $q_{\min} \dots q_t$ (від мінімальної до перехідної витрати відповідно) і $q_t \dots q_{\max}$ (від перехідної до максимальної витрати). Значення максимальної витрати визначається значенням номінальної витрати q_{nom} , тобто типорозміром лічильника, виходячи з умови, що $q_{\text{nom}} = 2/3 q_{\max}$ [12, 17, 21]. Перехідна витрата залежить від діапазону вимірювання лічильника який залежить від співвідношення q_{\min}/q_{\max} і конкретизується зміною числового значення границі основної допустимої похибки від $\pm 1\%$ до $\pm 2\%$, наприклад, для лічильників із співвідношенням $q_{\min}/q_{\max} = 1/10$ $q_t = 0,2q_{\max}$ або при $q_{\min}/q_{\max} = 1/20$ значення $q_t = 0,15q_{\max}$ [17, 21]. В свою чергу мінімальна витрата q_{\min} характеризує мінімальну робочу об'ємну витрату, для якої похибка лічильника не перевищує максимально допустимого регламентованого значення [17, 21], наприклад, для ПЛГ це $\pm 3\%$.

До технічних характеристик лічильників газу також відносяться діапазон робочих температур довкілля та робочого середовища (природного газу). Дані характеристики визначають правильне функціонування лічильника у межах дотримання ним декларованих у нормативній документації метрологічних характеристик. Відхилення значення температур від стандартних умов зумовлює зміну функціонування вузлів лічильників яке в свою чергу призводить до виникнення додаткової похибки [29]. Для лічильників нормується максимальне значення робочого тиску, від якого

залежить конструктивне виконання, а також виникнення додаткової похибки внаслідок зміни густини робочого середовища [25, 28, 29].

1.2 Практичні аспекти термінології метрологічного перевірення ПЛГ

Оскільки дисертаційна робота присвячена дослідженню питань метрологічного аспекту при експлуатації ПЛГ, то спочатку зупинимося детальніше на нормативних поняттях, які стосуються цієї сфери.

Згідно назви наукової спеціальності 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення, яка стосується напряму дисертаційних досліджень, потребує уточнення термінологія області практичного аспекту наукових досліджень, що стосується досліджуваного об'єкта – побутових лічильників газу.

Таким чином для забезпечення єдності вимірювань засобами вимірювальної техніки повинне бути реалізоване їх метрологічне забезпечення [34]. В дисертації метою є вдосконалення трьох із п'яти її основ – наукової (метрологія), технічної і нормативної. Дослідження двох інших основ (законодавчої і організаційної) не є метою даної роботи.

Враховуючи пріоритет щодо фундаментальності застосування термінів в процесі провадження метрологічної діяльності стосовно ПЛГ розглянемо деякі терміни із Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [19], які безпосередньо стосуються дисертаційного дослідження. Згідно цього документа можна відзначити такі терміни:

- первинна повірка засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) – це повірка ЗВТ, що не були повірені раніше;
- періодична повірка ЗВТ – повірка, що проводиться протягом періоду експлуатації ЗВТ через встановлений проміжок часу (міжповірочний інтервал);

– повірка ЗВТ – сукупність операцій, що включає перевірку та маркування та/або видачу документа про повірку ЗВТ, які встановлюють і підтверджують, що зазначений засіб відповідає встановленим вимогам;

– повторна перевірка – перевірка, що проводиться для встановлення факту усунення порушення метрологічних вимог, наведених у відповідному приписі;

– калібрування – сукупність операцій, за допомогою яких за заданих умов на першому етапі встановлюється співвідношення між значеннями величин, що забезпечуються еталонами з притаманними їм невизначеностями вимірювань, та відповідними показами з пов'язаними з ними невизначеностями вимірювань, а на другому етапі ця інформація використовується для встановлення співвідношення для отримання результату вимірювання з показу;

– метрологічна простежуваність або просто простежуваність – властивість результату вимірювань, яка полягає в тому, що цей результат може бути пов'язаний з еталоном через задокументований нерозривний ланцюг калібрувань, кожне з яких робить свій внесок у невизначеність вимірювання.

Для ПЛГ, які знаходяться в експлуатації, найбільш важливою є періодична повірка, яка є критерієм можливості їх правильної подальшої експлуатації, тобто стосується вирішення питання забезпечення правильності і єдності вимірювань.

Поняття калібрування для ПЛГ не застосовується, оскільки калібруванню підлягають насамперед повірочні установки, еталонні лічильники і еталонні витратоміри газу [32].

Метрологічна простежуваність стосовно ПЛГ розглядається тільки на етапі затвердження типу ЗВТ [18,22] і є оцінкою про те, що ЗВТ відповідає встановленим вимогам і може використовуватися у сфері законодавчо регульованої метрології, до якої відносяться ПЛГ. Таким чином при

експлуатації необхідною є періодична повірка ПЛГ, при проведенні якої необхідно визначати похибку на всьому робочому діапазоні лічильника.

Зауважимо, що згідно національного стандарту України [12], який є ідентичним з Міжнародним стандартом EN 1359:1998, застосовується термін лічильники газу мембранні, в назві яких відображено особливості конструктивного виконання – мембрана. Однак ці лічильники можуть застосовуватися не тільки в побуті, але і у сфері діяльності малих підприємств, тобто такого типу є лічильники більших типорозмірів G16, G25, G40. Поряд з цим в чинних нормативних документах України застосовується термін «лічильники газу побутові», наприклад [13,17].

Додамо також, що ПЛГ в деяких закордонних нормативних документах і літературних джерелах носять назву «діафрагмовий», що пов'язано із подібною за конструкцією діафрагми з мембраною [20, 35]. За кордоном в науковій літературі також зустрічається термін “міхові мішки” [36–38].

В стандарті [12] визначення метрологічної характеристики – похибки лічильника – пов'язано з операцією випробування, яка реалізується при затвердженні типу засобу у відповідності до Закону України [18].

Згідно нормативних документів України [13, 19] контроль за дотриманням відповідних метрологічних характеристик при експлуатації ПЛГ здійснюється шляхом проведення операції «повірка». Цей документ регламентує методи та засоби повірки ПЛГ. Перелік операцій повірки при визначенні метрологічних і технічних характеристик лічильників передбачає [13]:

- визначення відносної похибки лічильників;
- визначення втрат тиску на лічильниках за максимальної об'ємної витрати;
- визначення втрат тиску на мембранних лічильниках за мінімальної об'ємної витрати;
- визначення порогу чутливості лічильників;

– перевірка лічильників на наявність пристроїв, що запобігають зворотний вхід відліковий пристроїв при протіканні газу в напрямі, протилежному до зазначеного;

– перевірка передавального відношення (коефіцієнта перетворення) між вимірювальними механізмами та відліковим пристроями лічильників.

Відносну похибку ПЛГ при періодичній повірці лічильника, яку визначають шляхом пропускання через них об'єму повітря за об'ємних витрат, номінальне значення яких повинно становити $q_{\min}; 0,2q_{\max}; q_{\max}$.

Як видно із вказаного переліку операцій повірки також застосовується термін «перевірка», який стосується контролю працездатності і правильності функціонування окремих вузлів лічильника.

Інші види перевіряння метрологічних характеристик ПЛГ не нормовані конкретно для ПЛГ, але є нормативно регламентованими для технічних пристроїв і обладнання [39]. Ці поняття «технічне діагностування» та «контроль технічного стану» можуть бути застосованими до ПЛГ, наприклад, при визначенні похибки для обмеженого робочого діапазону витрат. Адже технічне діагностування передбачає визначення технічного стану об'єкта із заданою точністю [39], що характеризує можливість використання метрологічної характеристики – похибка.

Актуальність технічну стану вузлів обліку газу відображено в Правилах обліку природного газу під час його транспортування газорозподільними мережами, постачання та споживання [40].

З аналізу літературних джерел відомо, що існують нормативні документи і засоби для перевіряння технічного стану та метрологічних характеристик промислових лічильників газу.

Для промислових лічильників газу відомий нормативний документ з метрології щодо методики перевірки технічного стану вузлів обліку газу з використанням установки "ЕК-Б" [41].

Оскільки точність засобів вимірювання об'єму і витрати газу залежить не тільки від їх технічного стану, а й від правильності встановлення,

необхідно проводити контроль їх метрологічних характеристик безпосередньо на місці експлуатації зразу після встановлення та впродовж міжповірного інтервалу.

Одним із шляхів покращення метрологічного забезпечення промислових лічильників газу є проведення їх експрес-контролю, який полягає в оперативному вимірюванні витрати безпосередньо на діючому газопроводі, з метою оцінки точності і достовірності функціонування засобу вимірювання об'єму газу і його наступного діагностування щодо можливості подальшої експлуатації.

Експрес-контроль доцільно реалізувати з використанням методу вимірювання, який потребує мінімальної кількості використовуваного обладнання, можливості його під'єднання без зупинки транспортування газу трубопроводом і який би характеризувався похибкою вимірювання, не більшою від похибки вузла обліку. Поряд з цим діагностуючий пристрій повинен бути простим за конструкцією та в застосуванні, мобільним і не обтяженим додатковими похибками, наприклад, від зміни тиску і температури оточуючого середовища.

Для ПЛГ згідно такого підходу розроблена і затверджена інструкція (нормативний документ) [9] щодо проведення експрес-контролю ПЛГ за місцем експлуатації.

В науковій літературі також зустрічаються терміни, які характеризують особливості перевіряння метрологічних характеристик витратомірів і лічильників газу. Наприклад, спосіб діагностування та перевірки ПЛГ [43,81], діагностування лічильників газу в експлуатації [44], спосіб бездемонтажного діагностування побутових лічильників природного та зрідженого газу в експлуатації [45], спосіб метрологічного діагностування вимірювальних трубопроводів із загальним вхідним і вихідним колекторами, які входять до складу витратомірів газу [46], експрес- контроль лічильників природного газу [47,80,82], експрес-повірка ПЛГ [48], діагностувальна установка для ПЛГ [49], контрольні лічильники газу [41,50].

За призначенням пристроїв, тобто установок, які реалізують охарактеризовані вище види перевіряння метрологічних характеристик набули практичного застосування наступні нормативно-регламентовані терміни: робочі еталони [32], які конструктивно виконані як повірочні установки [32] і еталонні лічильники та еталонні витратоміри газу [32], еталонні установки [32], а також зразкові установки для повірки лічильників газу (попередній нормативний термін для еталонних установок) [13].

Таким чином, підсумовуючи викладене вище, можна стверджувати, що термінологія «повірка ПЛГ» стосується нормативно-регламентованих методів і засобів визначення метрологічних характеристик, насамперед похибки ПЛГ. Поряд з цим нові і вдосконалені методи і засоби для визначення метрологічних характеристик, які є предметом наукових і метрологічних досліджень, і на даний час не є юридично чинними, можна в залежності від об'єму виконуваних метрологічних досліджень характеризувати термінами «метрологічне діагностування» і «метрологічне перевіряння».

1.3 Аналіз методів і впливових факторів на метрологічні дослідження ПЛГ

Одним із впливових факторів на похибку ПЛГ є вид робочого середовища, зокрема, природний газ чи повітря.

Очевидним є той фактор, що фізико-хімічні властивості повітря і природного газу відмінні, а це може безпосередньо впливати на точність обліку ПЛГ, оскільки згідно чинних нормативних документів [12,13,21] випробовування ПЛГ проводять на еталонних установках, робочим середовищем в яких є повітря. У зв'язку з цим досліджень метрологічних характеристик та режимів роботи ПЛГ на природному газі, які проводились би в Україні не виявлено. Водночас деякі закордонні виробники лічильників

газу проводять метрологічні дослідження з використанням в якості робочого середовища не тільки повітря, але й природного газу.

Наприклад, на рис.1.2 та рис.1.3 відображені типові характеристики мембранних лічильників природного газу G6-RF1 та G6-Gallus 2000

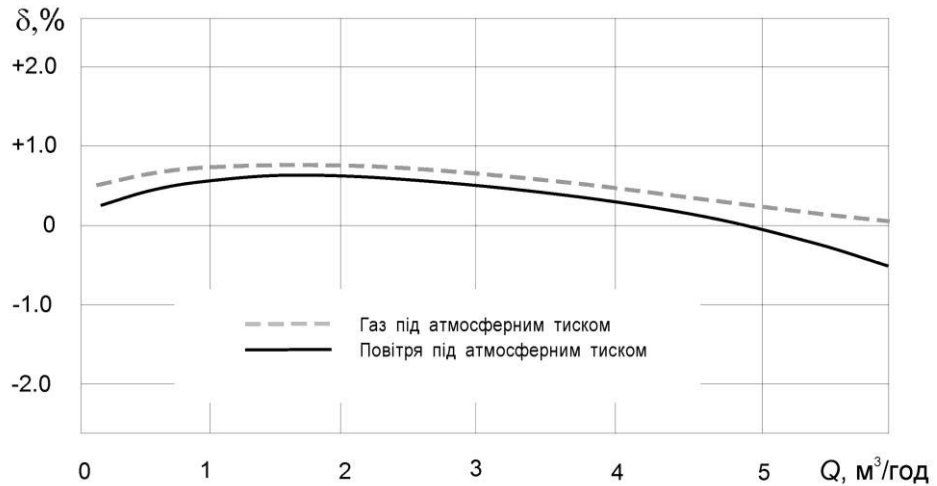


Рисунок 1.2. Типові характеристики мембранного газового лічильника G 6-RF 1 (Schlumberger, Франція)

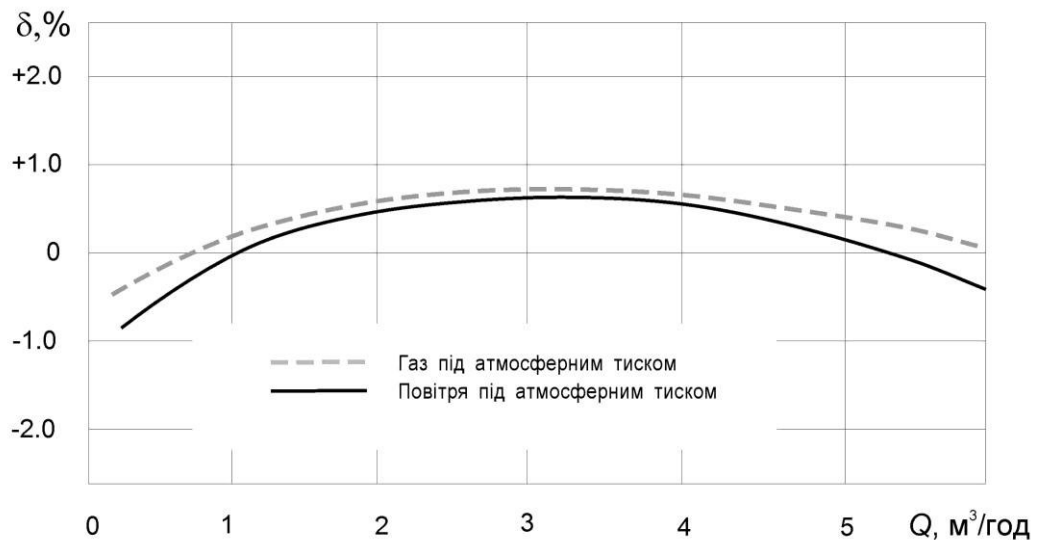


Рисунок 1.3. Типові характеристики мембранного газового лічильника G 6-Gallus 2000 (Schlumberger, Франція)

(Schlumberger, Франція) [51] при функціонуванні на природному газі та на повітрі при атмосферному тиску. З графіків видно відхилення значення похибки при роботі на природному газі в плюсову сторону, причому

особливо суттєвим воно є на початку і в кінці робочого діапазону. Так, для лічильника G6-RF1 для середнього діапазону витрат похибка на газі на (0,15-0,2) % вища від похибки на повітрі, а при витраті 6 м³/год їх різниця зростає вже до 0,5 %. Для лічильників G6-Gallus в діапазоні середніх витрат похибка на газі відрізняється від похибки на повітрі приблизно на 0,1%, проте при мінімальній і максимальній витратах вона перевищує похибку на повітрі близько 0,4 %.

Порівняльні характеристики похибок лічильників при роботі на газі і на повітрі наводяться також в рекламному проспекті [52] для мембранних лічильників фірми PREMAGAS (Словаччина). На рис. 1.4 відображені типові характеристики для мембранного лічильника природного газу G6 типу BK. Його характеристики подібні до кривих похибок лічильників цього типу і діапазону витрат фірми Schlumberger, які розглянуті вище. Однак похибки даного лічильника при роботі на повітрі і природному газі в діапазоні витрат до 4 м³/год практично співпадають, а розходження відбувається на витратах 4-6 м³/год і при витраті 6 м³/год становить близько 0,75 %. При цьому похибка роботи на природному газі перевищує похибку на повітрі.

На рис. 1.5 наведені типові характеристики мембранного лічильника G2,5 типу PG цієї ж фірми [52]. Зважаючи на інший діапазон робочих витрат даного лічильника, на відміну до описаних вище, загальний вигляд кривих похибок дещо відрізняється від лічильників цього ж типу, які працюють в діапазоні до 6 м³/год. Проте в цілому закономірність перевищення похибки при роботі на природному газі порівняно з похибкою на повітрі зберігається, окрім діапазону витрат близьких (0,1-0,8) м³/год, де вона менша за похибку на повітрі приблизно на 0,15%. Проте на витраті 2,5 м³/год вона перевищує похибку на повітрі на 0,45%.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок про те, що похибки лічильників при роботі на природному газі і повітрі відрізняється. На рис. 1.3–1.5 спостерігається закономірність збільшення чутливості лічильника при роботі на природному газі порівняно з повітрям, а отже і

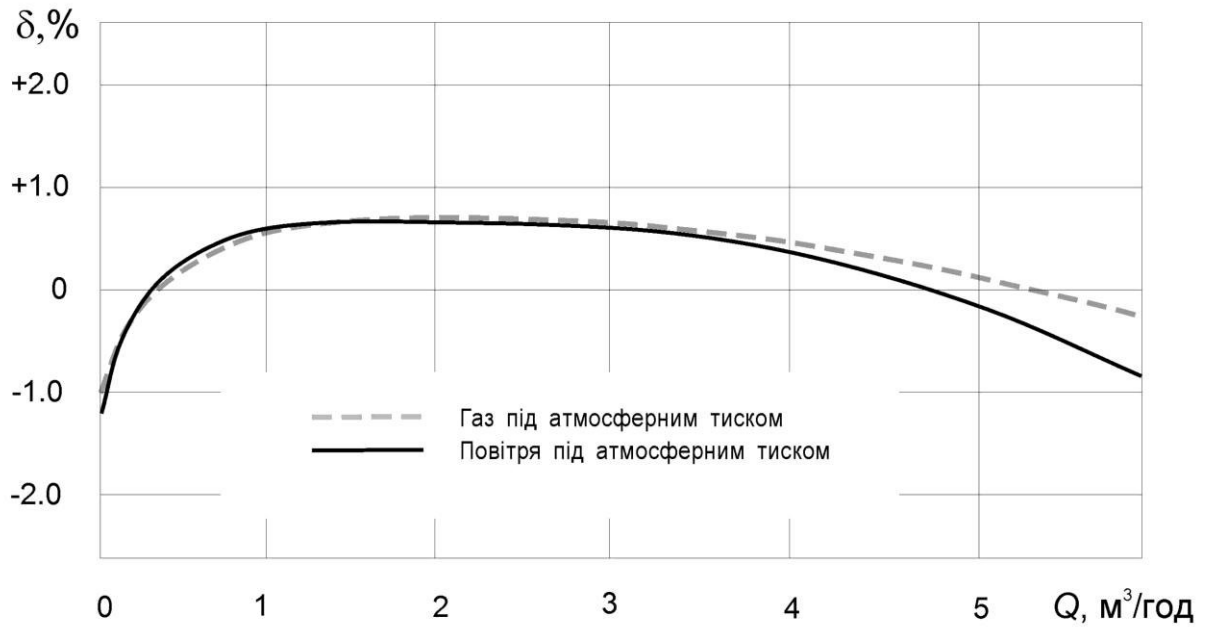


Рисунок 1.4. Типові характеристики мембранного газового лічильника G 6 типу BK (Premagas, Словаччина).

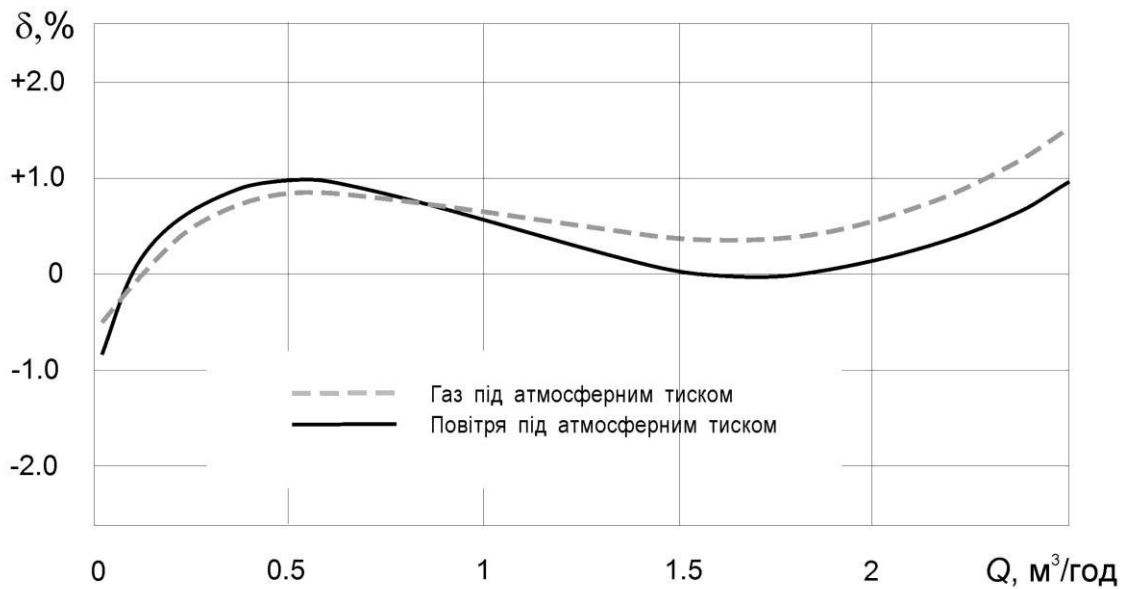


Рисунок 1.5. Типові характеристики мембранного газового лічильника G 2.5 типу PG (Premagas, Словаччина).

підвищення його похибки при такому режимі роботи. З певною ймовірністю можна стверджувати, що це відбувається через відмінні фізико-хімічні властивості повітря і природного газу.

Також важливим є той факт, що метрологічні характеристики ПЛГ, змінюються під час експлуатації. Перші такого типу дослідження [6] показали, що метрологічні характеристики 25% ПЛГ, які знаходяться в експлуатації, не відповідають діючим нормативно-технічним документам. Дослідження останніх років [5] виявили, що кількість несправних лічильників після першого восьмирічного періоду експлуатації стає близькою до 45-50%. Це вказує на наявність проблеми з оцінкою фактичних метрологічних характеристик ПЛГ безпосередньо за умов експлуатації і свідчить про доцільність вивчення закономірностей зміни похибки ПЛГ.

Суттєвим фактором, який стосується впливу на вивчення метрологічних характеристик ПЛГ є методика дослідження їх похибки. Це стосується аспектів бездемонтажного дослідження за місцем експлуатації ПЛГ і дослідження за умов стаціонарних еталонних установок. Тут може за таких умов виникнути різниця у похибці досліджуваного ПЛГ не тільки внаслідок зміни робочого середовища (природний газ і повітря), а також у зміні функціонування ПЛГ. Адже ПЛГ при демонтажі і транспортуванні до місця перевірки може змінити свої метрологічні характеристики внаслідок зміни місцеположення (розміщення) сторонніх частинок, наприклад, пилу чи інших твердих включень на внутрішніх елементах ПЛГ. Тому перед перевіркою здійснюють підготовку лічильника до метрологічних досліджень, зокрема, очищають від бруду, перевіряють на герметичність. Однак на даний час відсутні дані стосовно таких досліджень і цей фактор зараз розглядається в більшій мірі як гіпотетичний без конкретизації його впливу на роботу ПЛГ.

Ще одним із факторів зміни метрологічних характеристик є вплив тиску і температури робочого середовища, тобто природного газу.

При випробуваннях ПЛГ згідно [12] визначають їх похибку за визначених меж зміни температури навколишнього середовища і температури газу.

При таких випробуваннях похибка лічильника повинна залишатися у межах максимально допустимих ресурсних значень, які становлять за витрат від мінімальної до максимальної від -6% до 3% , а за витрат від $0,1q_{\max}$ до $q_{\max} \pm 3\%$. Ця похибка повинна бути протягом усього строку служби лічильника з мінімальним діапазоном навколишньої температури і температури газу від -5°C до 35°C , або вище, якщо це зазначено виробником з витратою від $0,1q_{\max}$ до q_{\max} .

Після завершення випробувань лічильника на довговічність за методикою, яка вказана вище, лічильник встановлюють у камеру з контрольованою температурою, яка постачається повітрям нормальної лабораторної температури t_1 зі сталим тиском, що не перевищує максимального робочого тиску випробовуваного лічильника і має відносну вологість з точкою роси не менше, ніж на 10K від температури випробування.

Потім знижують і підтримують температуру камери t_2 до 5°C або нижче, якщо це зазначено виробником, і встановлюють витрату q_{\max} . За цих умов вмикають лічильник на 22 години і після завершення цього періоду перевіряють похибку лічильника за методикою як за нормальних умов.

Потім повторюють випробування за температури у камері 35°C або вище, якщо це зазначено виробником і встановлюють максимальну витрату q_{\max} . Далі аналогічно лічильник випробують впродовж 22 годин.

Після завершення цього періоду знову визначають похибку за допомогою еталонної установки. Похибка повинна знаходитись в межах допустимих значень ресурсних похибок, які конкретизовані вище за текстом.

При цьому для розрахунку похибки застосовується формула [12]:

$$V_C = V_{\text{П}} \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{P_1}{P_2}, \quad (1.5)$$

де V_c – фактичний об'єм, що пройшов через лічильник, м³;

V_{II} – фактичний об'єм, що пройшов через камеру з регульованою температурою, м³;

T_2 – це $(t_2+273,15)$, К;

T_1 – це $(t_1+273,15)$, К;

P_1 – абсолютний тиск, виміряний на вході камери з регульованою температурою, Па;

P_2 – абсолютний тиск, виміряний на вході лічильника, Па.

Відомими є закордонні (російські) нормативно затверджені дані про допустимий вплив температури робочого середовища на похибку діафрагмових лічильників газу [35], з яких можна оцінювати кількісно цей вплив. Тут нормовано, що зміна відносної похибки лічильника без температурного компенсатора, яка виникає внаслідок відхилення температури вимірюваного газу від нормальної (термінологія із [35]) порівняно до допустимої не повинна перевищувати 0,45% при зміні температури на 1°C, а для лічильників з температурним компенсатором – 0,1%.

В [35] під нормальними умовами декларується 20°C і 0,1013 МПа, тобто це є згідно стандартів України стандартні умови.

В [35] подається така формула для оцінювання зміни похибки лічильників Δ_T (у відсотках на градус Цельсія):

$$\Delta_T = \frac{\delta - \delta_T}{T - T_T}, \quad (1.6)$$

де δ – допустима відносна похибка лічильника при нормальних умовах;

δ_T – відносна похибка лічильника, яка визначена при крайніх значеннях температурного діапазону роботи лічильника $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ і розрахована за відомими формулами порівняння виміряного об'єму і об'єму еталонної установки;

T – температура повітря за умов випробувань;

T_T – температура за нормальних умов.

Таким чином за формулою (1.6) можна оцінювати вплив температури робочого середовища на похибку ПЛГ. Тут додамо, що формула (1.6) стосується впливу температури повітря на похибку ПЛГ, а не природного газу, об'єм якого вони вимірюють. Тобто такому підходу також властивий деякий елемент некоректності при оцінці похибки ПЛГ.

При випробуваннях мембранних лічильників [12] визначається стійкість до тиску, але відсутні дані по впливу робочого тиску середовища на метрологічні характеристики ПЛГ.

При випробуваннях на стійкість до внутрішнього тиску визначається наявність будь-якої залишкової деформації корпусу лічильника за відсутності тиску, яка не повинна перевищувати 0,75% від його лінійних початкових розмірів. Після випробування корпус лічильника повинен залишатися герметичним.

В [54] досліджуються точність обліку природного газу за реальних температурних умов експлуатації ПЛГ. В статті показано на базі результатів експериментальних досліджень ПЛГ типорозміру G4 моделі GZ-50 наявність від'ємних похибок при експлуатації ПЛГ при від'ємних температурах. Так при температурі -25°C похибка може бути до $-17,8\%$ в Гданську, до мінус $16,8\%$ у Варшаві, до мінус $15,6\%$ у Кракові і до мінус 9% у Закопане. Також експериментально встановлено про наявність середньої мінусової похибки при середній температурі газу -10°C обліку природного газу, яка оцінена для Гданська від $-7,3\%$ до $-11,4\%$, у Варшаві від $-6,1\%$ до $-10,4\%$, у Кракові від $-4,8\%$ до -9% і у Закопане від $-2,7\%$ до $-1,8\%$. Це залежить також від середньої місячної температури газу впродовж року. Таким чином експериментально підтверджено вплив температури природного газу на роботу ПЛГ і при цьому похибка є від'ємною, тобто здійснюється недооблік газу.

Досліджень щодо впливу робочого тиску на функціонування не виявлено, оскільки цей параметр при роботі газоспоживного обладнання

змінюється в малих межах (1,5–2,5) кПа і це практично не враховують при роботі ПЛГ.

Реально вплив робочого тиску визначають за рахунок зміни об'єму газу, що визначається за відомими формулами в нормативному документі [13].

Особливості повірки лічильників газу на реальному середовищі розглядаються в [25, 29, 55], однак даних стосовно ПЛГ не наводиться.

1.4 Нормативна база для метрологічних досліджень ПЛГ

Методи та засоби перевірки метрологічних характеристик ПЛГ у відповідності до вимог [17] юридично регламентується чинними нормативними документами [13, 21]. Згідно цих документів передбачається випробування лічильників на заводі-виробнику шляхом перевірки метрологічних і технічних характеристик. Тут також конкретизуються методи і засоби повірки ПЛГ при випуску, після ремонту і під час перебування в експлуатації.

Для ПЛГ міжповірочний інтервал становить 5 років [56], 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 [8].

Відповідно до [21] повірочні установки повинні забезпечувати повірку лічильників і працювати в діапазоні витрат, які відповідають робочим витратам лічильників, а також на витратах, рівних порогу чутливості ПЛГ. Границі допустимої відносної похибки еталонної установки повинні бути не менш ніж у три рази вужчі за границі допустимої відносної похибки лічильників у відповідному діапазоні витрат, при повірці з використанням робочого середовища повітря температурою від 18°C до 22°C, яка відповідає допустимій температурі навколишнього повітря еталонної установки і температурі робочого середовища еталонної установки.

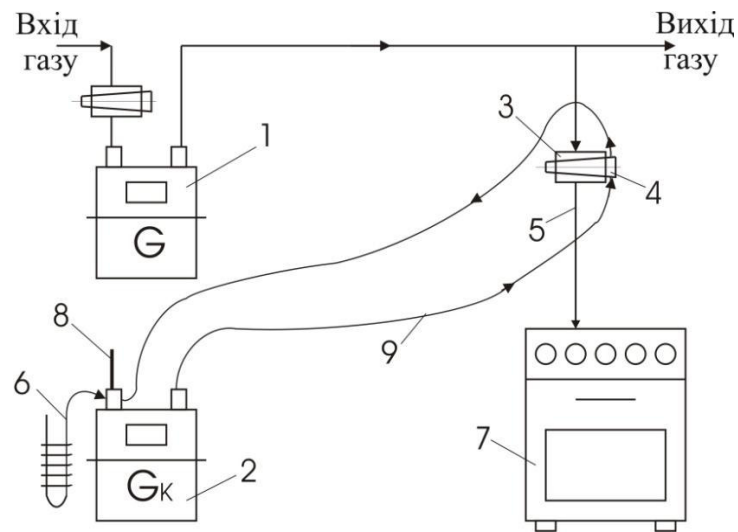
Визначення відносної похибки лічильників у відповідності до вимог [21] під час приймально-здавальних випробувань проводять на витратах: q_{min} ; $0,2q_{max}$; q_{max} і на витратах q_{min} , $3q_{min}$ ($2q_{min}$), $0,1q_{max}$, $0,2q_{max}$, $0,4q_{max}$, $0,7q_{max}$, q_{max} за всіх інших випробувань. При цьому використовується повітря як робоче середовище. Згідно [13] 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 [12], який також передбачає визначення похибки мембранних лічильників при випробуваннях на кожній із таких семи витрат q_{min} ; $3q_{min}$; $0,1q_{max}$; $0,2q_{max}$; $0,4q_{max}$; $0,7q_{max}$; q_{max} при використанні повітря як робочого середовища. Це також не передбачає необхідності перевірки метрологічних характеристик мембранних лічильників на природному газі.

Згідно [39] для технічних об'єктів, якими є 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 [49]. Вони передбачають здійснення перевірки ПЛГ за обмеженою кількістю параметрів, наприклад не для всього діапазону робочих витрат, а також можуть визначатися окремі технічні і метрологічні характеристики, які стосуються правильності функціонування ПЛГ, наприклад визначення витрат 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 [9]. Схема проведення експрес-контролю ПЛГ (рис. 1.6) згідно [9] 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.



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 1.6. Схема проведення експрес-контролю ПЛГ

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

Про необхідність контролю технічного стану, в тому числі метрологічних характеристик лічильників газу в умовах експлуатації на реальному робочому середовищі (природний газ) засвідчує розроблений в Україні нові нормативні документи [41, 85]. Однак він стосується тільки вузлів обліку газу, які створені на базі промислових лічильників газу. Він також не передбачає перевірку лічильників газу за місцем експлуатації, оскільки використовуваний еталонний лічильник повинен бути каліброваним на природному газі, що практично в Україні не реалізується. Також для оцінювання достовірності метрологічних характеристик ПЛГ це не стосується, оскільки місце експлуатації ПЛГ не є вузлом обліку газу. Тому їх не можна віднести до інформаційно-вимірювальних систем з відповідними конструктивними компонентами [40, 57].

Відомим є закордонний (Російська Федерація) нормативний документ [58], який стосується методики перевірки побутових лічильників за місцем експлуатації за допомогою еталонного лічильника. Схема реалізації такої методики зображена на рис. 1.7. Цей нормативний документ (рекомендація) з описаною методикою перевірки за своєю суттю відображає технічне рішення української методики експрес-контролю [9] так як застосовується еталонний лічильник (а в [9] контрольний лічильник). Для під'єднання еталонного лічильника у двох нормативних документах передбачено застосування гнучких шлангів, а при визначенні похибки здійснюють відлік показів з досліджуваного і контрольного лічильника в статичному режимі, тобто при відсутності потоку газу через ПЛГ. Також відтворення об'єму газу через ПЛГ, який проходить через обидва лічильники (контрольний і досліджуваний), реалізують методом спалювання газу у газоспоживних апаратах. Відмінність полягає у досліджуваних відтворюваних витратах: в українському документі [9] – це витрати $2q_{\min}$; $0,1q_{\max}$, а в російському [58] похибку визначають за мінімальної і максимальної можливих відтворюваних витрат, кількісні значення яких не конкретизовані. Однак головна відмінність – результат перевірки метрологічної характеристики: в українському [9] – це

контроль придатності до експлуатації, а в російському [58] – отримання результату проведення повірки. Також в [58] не конкретизовано, на якому середовищі повинен бути метрологічно атестованим еталонний лічильник, тільки сказано, що він повинен мати чинне свідоцтво про повірку.

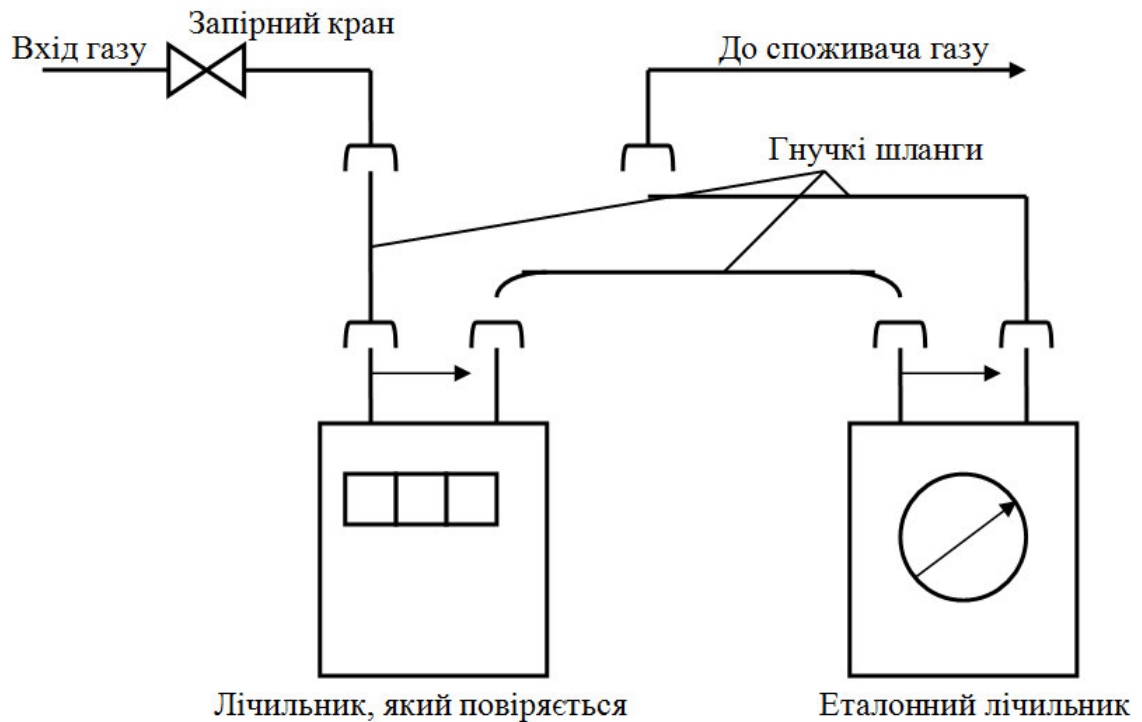


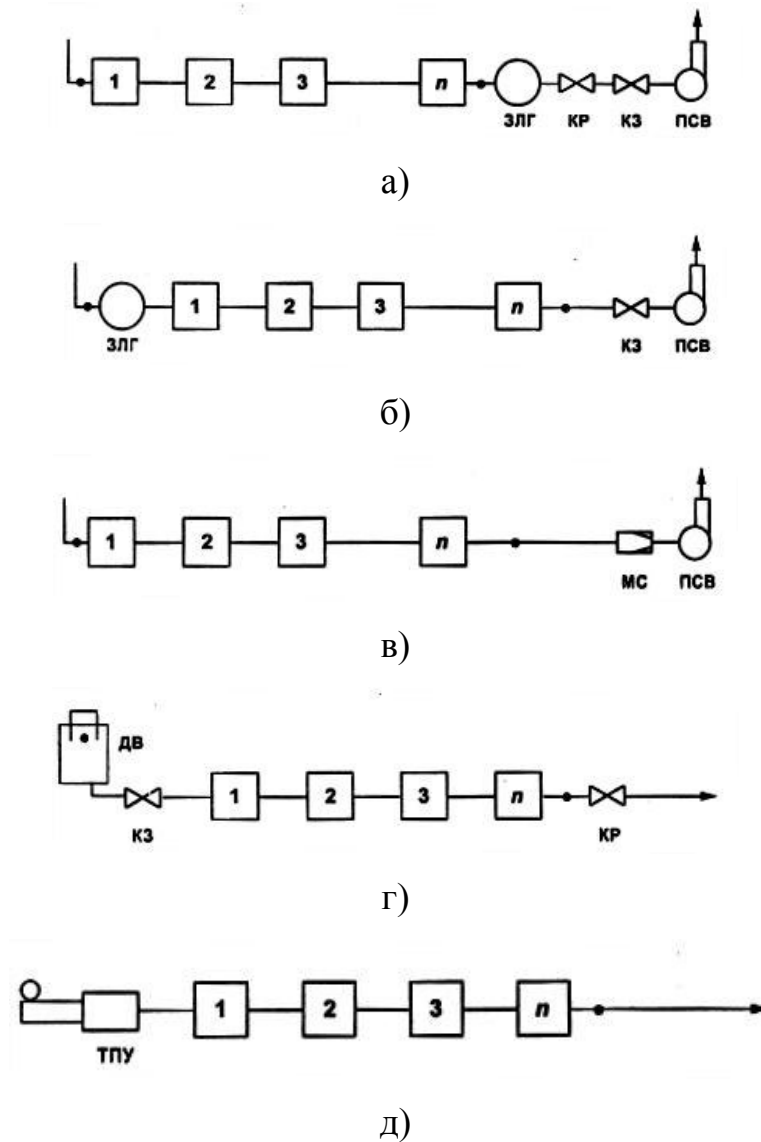
Рисунок 1.7 – Схема методики здійснення повірки ПЛГ за місцем експлуатації

1.5 Технічні засоби для метрологічного дослідження ПЛГ

Для повірки ПЛГ за їх демонтажу з місця експлуатації у відповідності до [13, 21] 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.

Принципові схеми установок із [13] подані на рис. 1.8.



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 – трубопоршневна установка; ПСВ – пристрій створення витрати (розрідження); ● – місця вимірювання температури та тиску

Рисунок 1.8 – Схеми повірочних установок

В додатку А наведена порівняльна характеристика вітчизняних і закордонних еталонних витратовимірювальних установок, які знайшли застосування для перевірки ПЛГ.

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 додатку А 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 [11,63,65,66,68,69,114], трубопоршневі установки у [11,64], установки з використанням критичних сопел у [62,71,79], установки з еталонним лічильником у [78,84,87,102].

На сьогоднішній час також розроблені установки PVT-типу метрологічного призначення, назва яких не відображена в чинних нормативних документах [13], але їх згідно призначення і метрологічних характеристик можна віднести до повірочних установок об'єму і об'ємної витрати газу згідно нової Державної повірочної схеми [32]. Цього типу еталонні установки передбачають застосування опосередкованого методу вимірювання витрати газу шляхом вимірювання тиску, температури газу в каліброваній ємності при витіканні газу з неї через дроселючий пристрій і ПЛГ. В даний час дослідні зразки цих установок на діапазони витрат повітря від 0,016 до 10 м³/год вже експлуатуються в умовах ПАТ "Івано-Франківськгаз" (м. Івано-Франківськ) [89]. Відомі також закордонні реалізації установок цього типу на природному газі, зокрема у Франції, які використовуються для функціонування на великих витратах (понад 100 м³/год) [11].

Методи повірки, калібрування лічильників та витратомірів природного газу, що діють сьогодні в Україні, необхідно привести у відповідність до вимог Європейського Союзу. Міжнародні нормативні документи такі як: ДСТУ EN 12261:2006, EN 1776:1998, OIML R 137-12:2012, OIML R 140:2007, ISO 17089-1:2010 регламентують, що повірка і калібрування лічильників газу має виконуватися суто в умовах, адекватних (ідентичних) робочим під час їх експлуатації.

Створення мобільних установок (рис. 1.9) згідно методології [14] відкриває можливості проведення повірки і калібрування лічильників як за місцем їх експлуатації без демонтажу, так і демонтованих, на реальному газі в діапазоні робочих об'ємних витрат, тиску і температури з урахуванням хімічного складу газу в режимі реального часу [72].

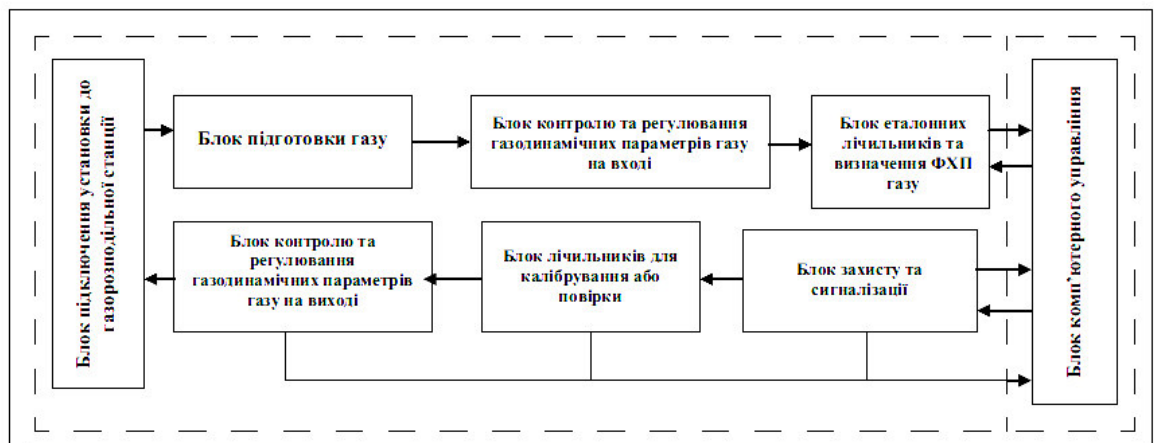


Рисунок 1.9 – Блок-схема мобільної установки для калібрування або повірки засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу

Такі установки можна транспортувати територією України без обмежень та технологічно приєднувати для метрологічних досліджень до будь-якої газорозподільної станції, а також проводити дослідження метрологічних характеристик вузлів обліку газу.

Описана схема установки (рис. 1.9) відображає методологічні підходи до створення мобільних установок з функціонуванням на природному газі і стосується насамперед повірки промислових лічильників або вузлів обліку

газу, що підкреслюється наявністю блока підключення установки до газорозподільної станції. Щодо застосування такої установки для метрологічної перевірки побутових лічильників згідно наведеної блок-схеми передбачається наявність блоку еталонних лічильників та засобів визначення фізико-хімічних параметрів газу. Таким чином в наведеній схемі не відображені особливості функціонування за умови метрологічного дослідження ПЛГ [72].

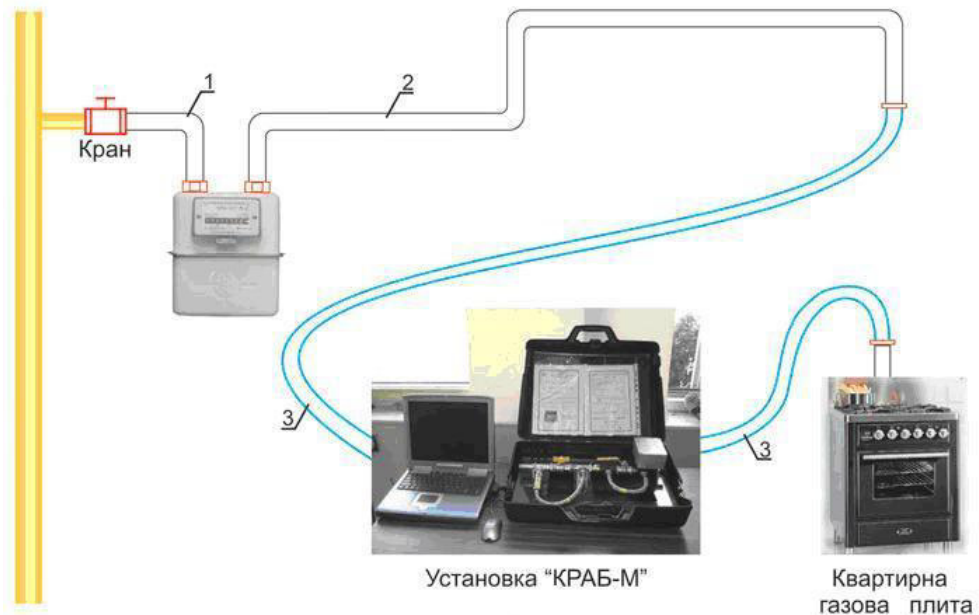
У відповідності до вимог інструкції [9] фахівцями ВАТ «Львівгаз» та ІФНТУНГ був розроблений портативний пристрій для бездемонтажного діагностування ПЛГ на місці експлуатації [1]. На відміну від [9] пристрій оснащений різної продуктивності пальниками з індивідуальними кранами для регулювання подачі газу. Це дало можливість розширити робочий діапазон витрат. Пристрій реалізований на базі контрольного лічильника мембранного типу GALLUS-200, G4 з діапазоном витрат від 0,04 до 6 м³/год, границя допустимої похибки $\pm 3\%$.

Методика проведення діагностування з використанням описаної вище установки в цілому схожа з процедурою, описаною в [9]. Відмінність полягає в тому, що газ спалюється не у газоспоживному обладнанні, а у пальниках, якими укомплектований пристрій.

Застосування пристрою [1,29] дало можливість з 2002 року провести діагностування у споживачів близько 26 тис. ПЛГ типорозмірів G4, G6, що сприяло проведенню позачергової повірки і ремонту 21 тис. лічильників газу і зменшенню комерційних втрат газу в умовах ВАТ «Львівгаз». Однак з точки зору юридично-чинного аспекту він також може використовуватися тільки як засіб експрес-контролю, оскільки йому властиві вище зазначені недоліки практичної реалізації інструкції з використанням контрольного ПЛГ.

Нові тенденції практичного створення еталонних установок для метрологічного забезпечення ПЛГ за кордоном стосуються розроблення мобільних установок з функціонуванням на природному газі, які

під'єднуються до газової лінії між ПЛГ і квартирним газоспоживним обладнанням. Так в створеній в Росії установці «КРАБ-М» [2] в якості еталонних засобів використовуються струменеві і ролико-лопатеві лічильники на витрати в діапазоні від 0,03 до 6 м³/год з похибкою $\pm 0,5\%$, а в установці СПУ-3 [2] - струменевий витратомір на витрати від 0,02 до 40 м³/год з основною похибкою $\pm 0,5\%$. На рис. 1.10 зображено схему підключення установки «КРАБ-М». Принцип дії цієї установки полягає в задаванні певної величини витрати газу і порівнянні показів еталонного лічильника і ПЛГ за результатами якого визначають похибку ПЛГ. При цьому у конкретизації призначення установок акцентується увага щодо її застосування для повірки ПЛГ.



1, 2 – ділянки будинкового трубопроводу; 3 – ділянки гнучкого шлангу установки «КРАБ-М»

Рисунок 1.10. Схема підключення установки «КРАБ-М»

Однак в закордонних джерелах, на які є посилання в [2], не розкриті методики метрологічної атестації еталонних засобів на природному газі, що не дає можливості кваліфіковано оцінити достовірність результатів калібрування і можливість забезпечення вказаної точності вимірювань.

Більшість еталонних витратовимірювальних установок за своєю конструкцією і технічною реалізацією передбачають можливість мобільного виконання, крім установок дзвонового і трубопоршневого типів. Однак їх фактична реалізація на сьогоднішній день звелася до стаціонарного варіанту виконання практично всіх типів повірочних установок, що пояснюється складністю їх практичної реалізації і відсутністю формулювання завдання на створення таких установок зі сторони державних органів метрологічного нагляду. Також слід зазначити, що більшість еталонних установок реалізовано на повітрі, а відомі реалізації на природному газі стосуються тільки дослідження промислових лічильників газу.

Про актуальність метрологічного перевіряння ПЛГ, в тому числі їх діагностування, свідчать ряд нових патентозахищених способів і пристроїв їх реалізації. Так зокрема, спосіб діагностування засобів витратовимірювальної техніки [61] передбачає визначення величини зміни поточних спектральних характеристик випадкових сигналів (шумів) в корпусі функціонуючого лічильника. Однак даний спосіб діагностування є складним для реалізації, оскільки потребує наявності початкових спектральних характеристик робочих шумів лічильника.

Спосіб діагностування ПЛГ згідно [30] передбачає порівняння значень фактичних втрат тиску на лічильнику від витрати із номінальною характеристикою цього параметра, яка отримана під час метрологічних випробувань. Недолік такого способу діагностування полягає у складності вимірювання втрат тиску на лічильнику безпосередньо в експлуатації.

Що ж стосується експрес-контролю лічильників газу відомим є патентозахищений пристрій [47, 80], який реалізований на базі двох ємностей (високого і низького тиску) і передбачає використання рівняння стану газу і порівняння зміни маси газу, яка протекла через випробувальну ділянку, з масою газу, яка протекла через досліджуваний лічильник із врахуванням змін тиску і температури.

Існують також патенто захищене технічне рішення перевіркою установки на базі критичних сопел [62, 71, 79]. Дані рішення можуть бути використані як в стаціонарному так і в мобільному варіанті виконання, що дає можливість досліджувати ПЛГ в експлуатації. Перевагами такого типу рішень є стабільність відтворення витрати внаслідок використання критичних сопел та можливість функціонування як на повітрі, так і на природному газі. А недоліком є необхідність забезпечення критичного режиму витікання робочого середовища.

Кожний із вказаних методів визначення метрологічних характеристик ПЛГ є за своїм призначенням перевіркою відповідності метрологічних характеристик лічильників їх паспортним значенням. Однак відмінністю є різна юридична чинність результатів перевірки. Так юридично чинними є повірка (первинна, періодична і позачергова), а діагностування, експрес-контроль і безпосередньо перевірка метрологічних характеристик може стосуватися обмеженого діапазону витрат функціонування лічильників або обмеженої кількості контрольованих характеристик, що може бути підставою для проведення позачергової повірки.

Аналіз методів і пристроїв для метрологічного контролю лічильників газу показав, що інтенсивно розвиваються дослідження у цій сфері. Одним із напрямків є застосування контрольних лічильників газу, які дозволяють перевіряти технічний стан лічильників за місцем експлуатації з використанням повітряного робочого середовища або навіть природного газу шляхом визначення його порогу чутливості робочих засобів вимірювання і їх похибки переважно за мінімальних робочих витрат [50]. Повірка за таких умов засобів вимірювання практично є неможливою, оскільки еталонний засіб вимірювання є співрозмірним за похибкою з контрольним лічильником. Такий підхід на сьогодні є методично регламентованим для промислових лічильників газу [41, 85].

Для ПЛГ їх метрологічне перевіряння може здійснюватися шляхом проведення експрес-контролю згідно нормативного документу [9], який

передбачає визначення похибки побутового лічильника за місцем експлуатації шляхом порівняння показів з показами контрольного лічильника. Однак юридично така операція не може бути використаною для повірки ПЛГ, так як контрольний лічильник не є еталонним і для його використання як еталонного необхідна метрологічна атестація останнього на природному газі. Зауважимо тут, що на сьогоднішній день в Україні є відсутні еталонні установки з функціонуванням на природному газі на малих витратах (від $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$).

Поряд з цим такий підхід застосування контрольних лічильників для бездемонтажного дослідження ПЛГ в практичному аспекті може бути застосований для підвищення ресурсних можливостей газопостачальних підприємств [90, 98] у сфері підвищення ефективності їх роботи шляхом зменшення втрат природного газу.

Відомими є декілька запатентованих способів та технічних рішень для діагностування та контролю метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки. Так вище вже викладено суть способу діагностування стану лічильників та витратомірів газу [61] шляхом порівняння спектральних характеристик шумів, які виникають при роботі вимірювальних засобів внаслідок девіації елементів конструкції. Незважаючи на простоту такого технічного рішення для практичної реалізації необхідно попередньо знати спектральні характеристики шумів справних приладів для кожного типу і типорозміру, а також потрібна відповідна апаратура (спектральні аналізатори), що на даний час є суттєвим недоліком розглянутого способу діагностування.

Згідно з патентом [30] діагностування лічильників газу базується на визначенні залежності втрат тиску газу в ньому від витрати газу, яка проходить через нього при вимірюванні об'єму. Зміна відхилення цієї характеристики лічильника від номінальної, яка отримується під час первинної метрологічної повірки, є інформативним параметром діагностування технічних і метрологічних характеристик лічильника і

дозволяє встановити момент виникнення несправності лічильника і зробити висновок про його придатність. Цей спосіб забезпечує опосередковане діагностування технічного стану лічильників і не дає однозначної відповіді про конкретну фактичну похибку досліджуваного приладу, що не може бути застосованим для метрологічного перевіряння лічильників, в тому числі і ПЛГ.

Одним із сучасних нових підходів є застосування еталонних вимірювальних засобів об'єму газу, які можуть бути метрологічно атестованими на повітрі з використанням методики перерахунку результату вимірювання на умови функціонування на природному газі [83]. Саме згідно такого підходу розроблена методологія створення установок для бездемонтажного метрологічного експрес-контролю ПЛГ [49], яка передбачає їх виконання у вигляді окремого мобільного пристрою, який під'єднується на період дослідження до лінії газопостачання у будинкову газову мережу замість наявного газоспоживного обладнання.

Відомими також є застосування для метрологічного забезпечення ПЛГ в експлуатаційних умовах установки «КРАБ-М» [2], яка функціонує на природному газі, про що описано вище при аналізі нормативної бази.

Серед нових принципів практичної реалізації бездемонтажного діагностування ПЛГ можна відзначити спосіб, який здійснюють без втручання в будинкову газову мережу шляхом порівняння попередньо розрахованої величини об'єму газу, який спалюється застосуванням визначеної комбінації пальників газоспоживного обладнання з об'ємом газу, відрахованого ПЛГ за період проведення контролю [43, 73].

Цей спосіб дозволяє діагностувати метрологічні характеристики лічильників газу без їх демонтажу з лінії газопостачання при вимірюванні значення надлишкового тиску і температури природного газу у будинковому газопроводі після лічильника газу. Також повинне бути відомим значення найнижчої теплоти згоряння природного газу, яка попередньо визначається за результатами досліджень вимірювальної лабораторії газозбутових

організацій, або визначається опосередкованими методами [104,150]. Однак такий спосіб характеризується недостатньою точністю, оскільки розрахована теплота згоряння газу у споживача, яку визначають з достатньо великою методичною похибкою (не менше 1 %), може суттєво відрізнятись від експериментально визначених якісних параметрів газу внаслідок наявності транспортної затримки газу до споживачів від місця проведення його контролю. Поряд з цим наявність можливих забруднень в отворах звужувальних пристроїв пальників газоспоживного обладнання від неякісного природного газу також може суттєво змінити їх технічні характеристики і знижує точність діагностування ПЛГ.

Таким чином удосконалення засобів для бездемонтажного метрологічного перевіряння ПЛГ є актуальною задачею сьогодення.

Одним із апробованих принципів побудови установок, для метрологічної перевірки ПЛГ полягає у застосуванні як еталонних перетворювачів витрати витратомірів змінного перепаду тиску на базі нестандартизованих звужувальних пристроїв (ЗП) [49, 100]. Одночасно конструктивною особливістю цих установок є використання попередньо проградуєваних спеціальної конструкції ЗП у вигляді торцевих сопел, які в установках виконують функції первинних перетворювачів витрати робочого середовища [100]. При визначенні метрологічних характеристик ПЛГ здійснюється порівняння об'єму газу, розрахованого опосередкованим методом за параметрами газу перед ЗП, з об'ємом газу, відліченого ПЛГ за інтервал часу при їх дослідженнях.

Блок-схема проведення метрологічної перевірки ПЛГ згідно розробленої установки [72] наведена на рис. 1.11, яка за допомогою технологічного вузла під'єднання (ВП) і вентиля K_5 під'єднується при перевірці до будинкового газопроводу замість квартирного газоспоживного обладнання.

Однак за такого методу потрібно попередньо градуєвати ЗП та розробити алгоритм визначення зміни температури і тиску у ПЛГ і вузлах перевіркової установки при її функціонуванні.

Вдосконаленим варіантом технічного рішення установки для проведення метрологічних досліджень ПЛГ з точки зору досягнення підвищення точності вимірювань об'єму газу і забезпечення функціонування на природному газі є використання логічно завершеного конструктивного виконання окремого вимірювального блока з попередньо проградуєваними ЗП разом з прилеглими під'єднувальними трубопроводами [73] і укомплектованого прецизійними вимірювальними засобами тиску і температури природного газу, що фактично відповідає схемі на рис 1.11.

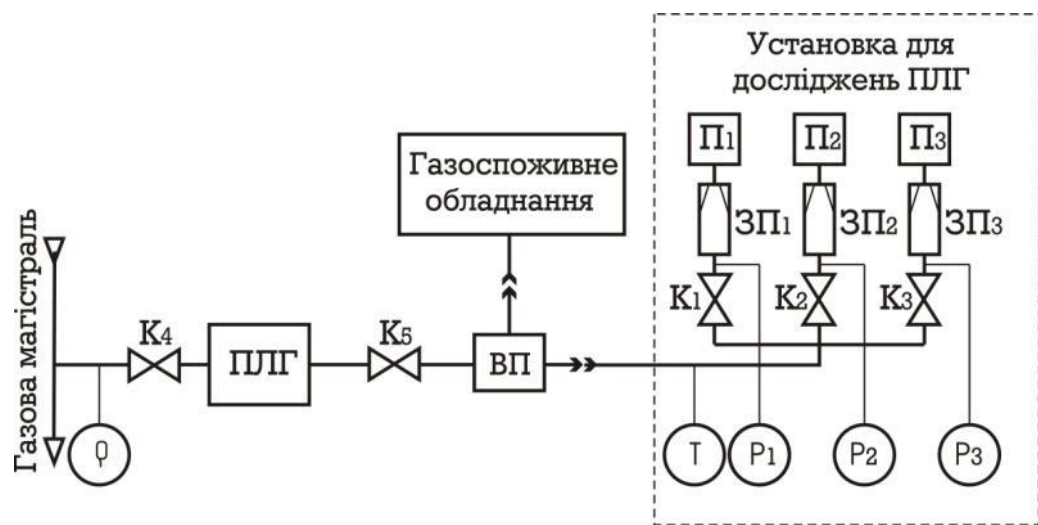


Рисунок 1.11 – Схема проведення метрологічних досліджень ПЛГ з вимірюванням тиску і температури перед ЗП

При цьому робочий тиск і температуру газу у ПЛГ розраховують їх вимірюванням у прилеглий ділянці приєднувального трубопроводу перед ЗП з наступним приведенням цих параметрів до умов ПЛГ згідно із заданою витратою і техногічними параметрами з'єднувального трубопроводу між ПЛГ і ЗП. Також особливістю градуєвання спеціального ЗП разом з прилеглими ділянками трубопроводу є її проведення з використанням робочого середовища – замітника природного газу – і з коригуванням результатів для умов визначення метрологічних характеристик ПЛГ на реальному середовищі. Ідеальним варіантом виконання було би доповнення пристрою блоком поточного вимірювання густини або компонентного складу

природного газу, що внаслідок значної вартості на сьогоднішній день є економічно не виправданим. Тому, на даний час, інформація про склад газу повинна бути отримана із газопостачальної організації або за результатами хроматографічного аналізу проби газу відібраної перед випробуваннями ПЛГ. Розглянуте таке технічне рішення також передбачає під'єднання установки для досліджень ПЛГ із застосуванням технологічного вузла приєднання замість існуючого у споживача газоспоживного обладнання.

1.6 Вибір і обґрунтування напрямку досліджень

За результатами досліджень встановлено, що метрологічне перевіряння ПЛГ під час їх експлуатації є актуальною задачею для підвищення точності і достовірності обліку природного газу і може бути реалізовано шляхом визначення похибки ПЛГ в експлуатаційних умовах.

Тенденції розвитку еталонних засобів для ПЛГ свідчать про необхідність розроблення мобільних установок для оцінювання метрологічних характеристик ПЛГ з використанням не тільки повітря як робочого середовища, але також і природного газу.

На підставі аналізу методів і засобів для метрологічного перевіряння ПЛГ можна сформулювати такі завдання, які необхідно вирішити в дисертаційній роботі:

–провести аналіз методів і засобів для метрологічного перевіряння ПЛГ та обґрунтувати напрямки їх удосконалення для реалізації бездемонтажного метрологічного перевіряння ПЛГ;

–встановити закономірності зміни похибки ПЛГ різних типорозмірів, яка є визначальною для досягнення точного обліку природного газу побутовими споживачами;

–розробити метод метрологічного перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном контрольованих витрат і здійснити його метрологічні дослідження;

–розробити математичні моделі теплообмінних процесів еталонних установок для калібрування робочих еталонів і повірки побутових лічильників;

–дослідити методи звіряння засобів вимірювань об'єму різних принципів дії на природному газі;

–розробити нові концептуальні технічні рішення еталонних установок для метрологічного перевіряння ПЛГ за місцем експлуатації;

–провести апробацію розробленого методу для метрологічного перевіряння ПЛГ.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ БЕЗДЕМОНТАЖНОГО МЕТРОЛОГІЧНОГО ПЕРЕВІРЯННЯ ПЛГ

2.1 Дослідження статистичних закономірностей зміни похибки мембранних ПЛГ при їх експлуатації

Для дослідження експлуатаційних метрологічних характеристик ПЛГ спочатку проаналізуємо криві похибок конкретних окремих ПЛГ після міжповірного терміну експлуатації, тобто дослідимо закономірності зміни їх метрологічних характеристик [95, 135].

Використання для цієї мети інтегральної характеристики, якою може бути середньозважена похибка [27] є недостатньо повною, оскільки не відображає основних закономірностей зміни похибки при експлуатаційних умовах функціонування ПЛГ. Тому необхідно додатково математично описати закономірності зміни похибки для різних лічильників. Це дасть змогу здійснити кількісний вплив не тільки на вид метрологічної характеристики, але і встановити алгоритмічні закономірності щодо її зміни.

На рис. 2.1 наведені графічні залежності зміни похибок для окремих ПЛГ GALLUS G4 типорозміру G4.

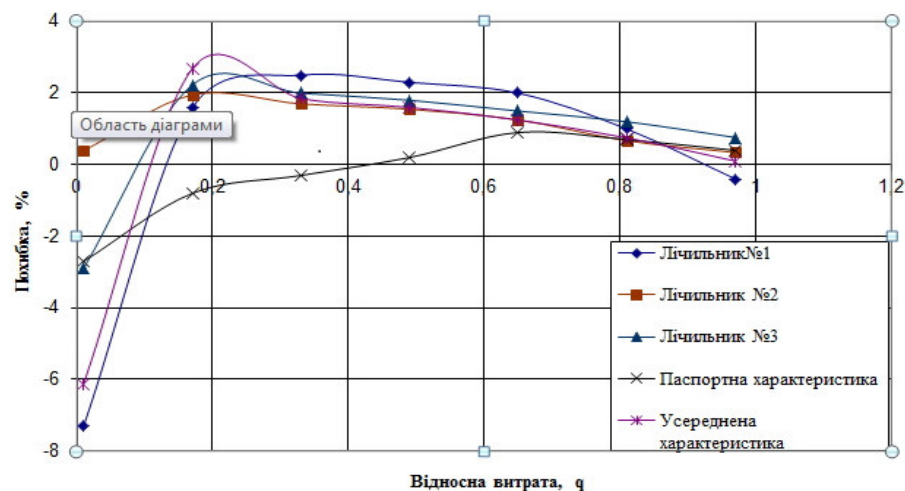


Рисунок 2.1 – Графічна ілюстрація залежності зміни похибок для ПЛГ GALLUS типорозміру G4.

Для дослідження (рис. 2.1) обрано три конкретних лічильники з експериментально визначеними на еталонній установці ПАТ «Івано-Франкіськгаз» похибками для семи значень витрати, що дало можливість зобразити у вигляді кривих графічні залежності зміни їх похибки. На цьому графіку також наведена крива, яка відображає середнє значення зміни похибки для цих трьох лічильників. Вона отримана усередненням похибок для трьох вибраних для дослідження ПЛГ. Крім того, тут також вказана паспортна характеристика, яка виходячи з практичного і наукового досвіду авторів вивчення метрологічних характеристик ПЛГ сформована таким чином [144]:

$$\begin{aligned} \delta_{q_{\min}} &= -2,7\%, \quad \delta_{2q_{\min}} = -0,8\%, \quad \delta_{0,1q_{\max}} = -0,3\%, \\ \delta_{0,2q_{\max}} &= 0,2\%, \quad \delta_{0,5q_{\max}} = 0,9\%, \quad \delta_{q_{\max}} = 0,4\%, \end{aligned} \quad (2.1)$$

де q_{\min} , q_{\max} - мінімальна і максимальна робочі витрати ПЛГ відповідно.

Співставлення експериментальних і паспортних кривих похибок дає можливість вивчати закономірності зміни метрологічних характеристик ПЛГ при їх експлуатації.

Враховуючи подібність похибки ПЛГ здійснено апроксимаційне моделювання похибки ПЛГ для кожної з наведених на рис.2.1 кривих [135]. Відносна витрата q подана як співвідношення робочого заданого значення витрати до максимальної витрати досліджуваного лічильника. При цьому для моделювання застосовувалися апроксимаційні поліноми 3 і 5 степенів, що дало можливість оцінити точність апроксимації виходячи із критерію середнього квадратичного відхилення похибки при апроксимації. Ілюстрація результатів апроксимаційного моделювання для паспортної кривої похибок наведена на рис. 2.2, з якого видно особливості здійснення апроксимації.

Результати апроксимації всіх 5-ти кривих і кількісні оцінки отриманого при цьому середнього квадратичного відхилення похибки подані в табл. 2.1. Застосування поліномів вищого порядку є недоцільним, оскільки застосування полінома 5-го порядку практично забезпечує проходження кривої через всі точки отриманих похибок і похибка апроксимації за цих умов є практично мінімальною.

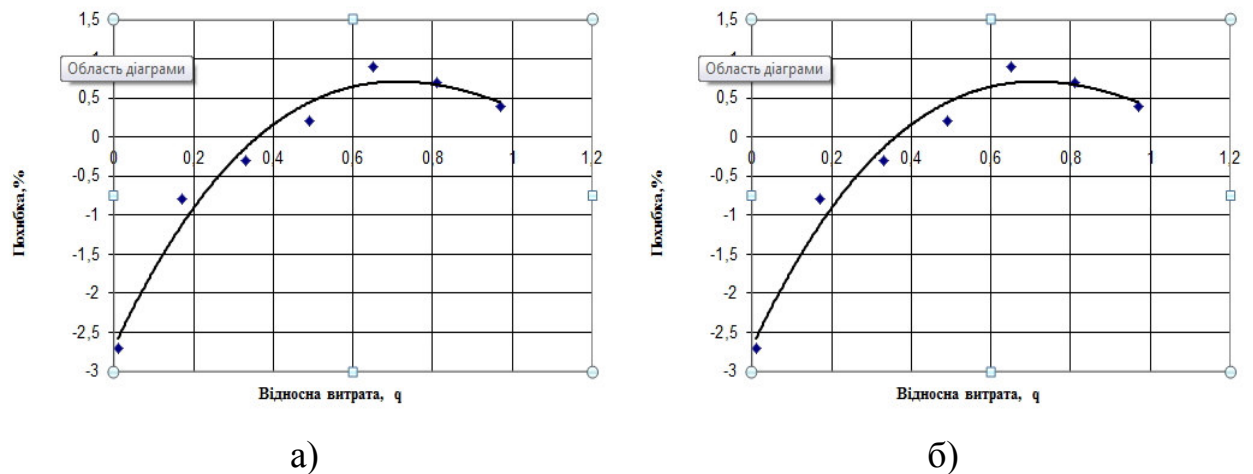


Рисунок 2.2 – Апроксимація паспортної кривої похибок ПЛГ
поліномами 3-го (а) і 5-го (б) порядку

Наведені результати практично показують відсутність закономірностей для математичного опису зміни похибки ПЛГ за результатами опрацювання даних періодичної повірки декількох окремих ПЛГ.

Для вирішення поставленої мети визначення закономірностей зміни похибки ПЛГ слід провести статистичні дослідження метрологічних характеристик ПЛГ. Апробація перших такого типу досліджень для встановлення закономірності зміни похибки в робочому діапазоні лічильників викладена в [7, 75].

Похибку ПЛГ визначають експериментальним шляхом за допомогою еталонних установок і алгоритму її визначення за вказаною раніше формулою (1.1).

При статистичних дослідженнях використані результати повірки в 2015 році понад трьох тисяч ПЛГ мембранного типу на еталонних установках ПАТ «Івано-Франківськгаз» (м. Івано-Франківськ). Відповідно до [12, 13] похибка ПЛГ експериментально визначалася на трьох робочих витратах q_{\min} , $0,2q_{\max}$, q_{\max} . При цьому був здійснений конкретизований поділ лічильників по їх типорозмірах, заводах-виготовлювачах і по діапазону зміни похибок за мінімальної витрати.

Таблиця 2.1- Результати апроксимації похибок ПЛГ

Вид графіка похибки	Апроксимаційна залежність	Сума квадратів відхилень похибок, %
Лічильник №1	$\delta = -7,3 + 61,4q^1 - 108,0q^2 + 54,11q^3$	3,93
	$\delta = -8,41 + 115,76q^1 - 462,9q^2 + 874,4q^3 - 786,34q^4 + 267q^5$	0,003
Лічильник №2	$\delta = 0,39 + 10,65q^1 - 22,04q^2 + 11,39q^3$	0,196
	$\delta = 0,14 + 25,87q^1 - 131,69q^2 + 291,15q^3 - 297q^4 + 112q^5$	0,0032
Лічильник №3	$\delta = -2,83 + 33,80q^1 - 64,82q^2 + 35,12q^3$	2,05
	$\delta = 3,59 + 73,98q^1 - 330,5q^2 + 657,7q^3 - 606,11q^4 + 209,4q^5$	0,041
Паспортна характеристика	$\delta = -2,80 + 12,72q^1 - 12,40q^2 + 2,71q^3$	0,43
	$\delta = -2,88 + 221,6q^1 - 92,1q^2 + 243,5q^3 - 292,5q^4 + 123,1q^5$	0,301
Усереднена характеристика	$\delta = -5,95 + 56,15q^1 - 108,52q^2 + 59,33q^3$	7,18
	$\delta = -7,3 + 134,1q^1 - 632q^2 + 1305,9q^3 - 1234,8q^4 + 434,7q^5$	0,158

З врахуванням різних значень похибок ПЛГ і статистичного оцінювання результатів повірки було вибрано п'ять діапазонів зміни похибок за мінімальної витрати q_{\min} , які конкретизуються на рис. 2.3.

Наступним етапом був вибір статистичної кількості лічильників одного типорозміру, значення похибки яких знаходились 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. 2.3. Графічна ілюстрація відображає конкретні числові значення усереднених похибок на трьох нормованих витратах і умовні (не розраховані) апроксимовані криві за допомогою стандартного програмного пакету залежності зміни похибки вибірок ПЛГ для покращення сприйняття закономірностей зміни похибок ПЛГ за даними повірки після восьмирічного терміну експлуатації.

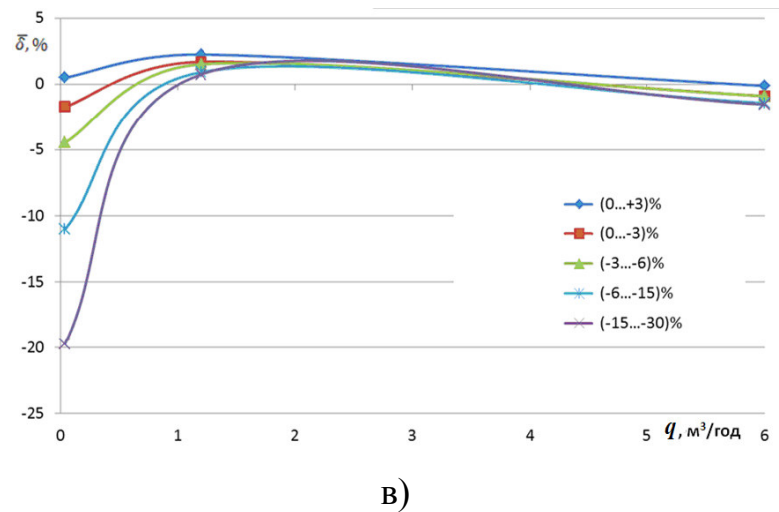
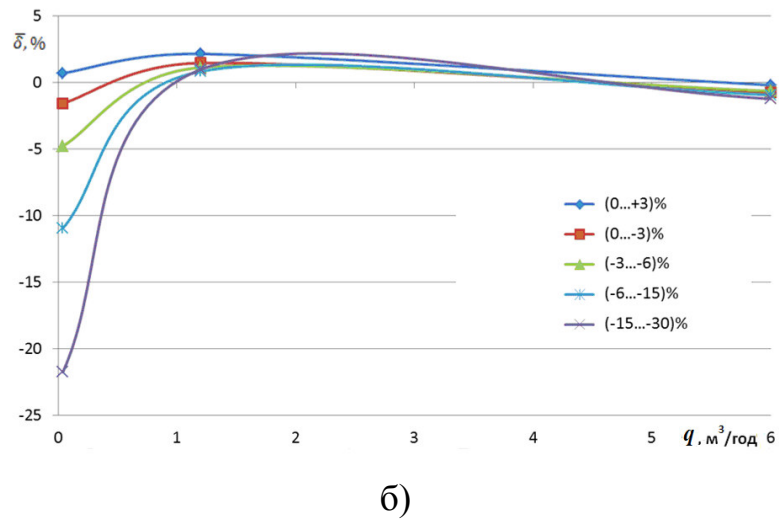
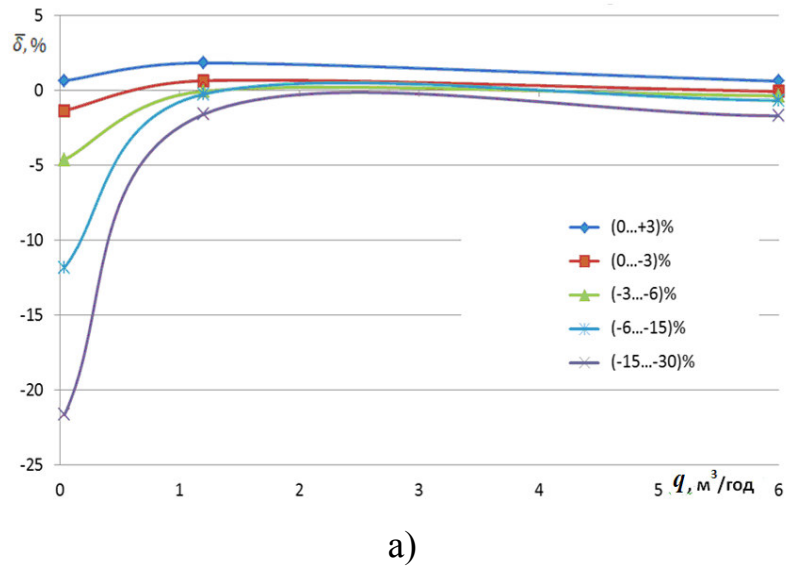


Рисунок 2.3 – Графічна ілюстрація зміни середнього значення похибки ПЛГ типорозміру G4 при п'яти різних її діапазонах на мінімальній витраті q_{\min} для лічильників GALLUS (а), METRIX (б), SAMGAS (в)

З отриманих результатів слідує, що зміни похибок ПЛГ характеризуються статистично подібними закономірностями, тобто очевидним є суттєве зростання від'ємної похибки в діапазоні від q_{\min} до $0,2q_{\max}$, і набагато менша зміна похибки в діапазоні від $0,2q_{\max}$ до q_{\max} . Враховуючи, що згідно чинного законодавства в Україні за результатами періодичної повірки ПЛГ дозволяються до експлуатації за умови, що їх похибка знаходиться в діапазоні від мінус 6% до +3% [12, 17]. Тому за основу статистичних досліджень взяті ПЛГ із допустимою для подальшого застосування похибкою.

За основу формування вибірок лічильників було вибрано діапазон отриманих значень похибки, які визначалися за найменшої (мінімальної) робочої витрати лічильників q_{\min} . З врахуванням того, що границя основної допустимої похибки еталонної установки при повірці ПЛГ не може перевищувати $\pm 0,5\%$ [32], здійснюємо поділ ПЛГ на вибірки з інтервалом похибки 1,5% при мінімальній витраті. За таких умов діапазони зміни похибок будуть становити [103]:

- діапазон додатних похибок при q_{\min} від +1,51 до +3% (діапазон 1),
- діапазон додатних похибок від 0 до +1,5% (діапазон 2),
- діапазон від'ємних похибок при q_{\min} від 0 до -1,5% (діапазон 3),
- діапазон від'ємних похибок від -1,51 до -3% (діапазон 4),
- діапазон від'ємних похибок від -3,01 до -4,5% (діапазон 5),
- діапазон від'ємних похибок від -4,51 до -6% (діапазон 6).

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

Після формування вибірок здійснені обчислення усереднених значень похибок на досліджуваних витратах q_{\min} , $0,2q_{\max}$, q_{\max} для кожної вибірки

лічильників щодо діапазону похибки на мінімальній витраті q_{\min} . Розрахунки здійснювалися за формулами:

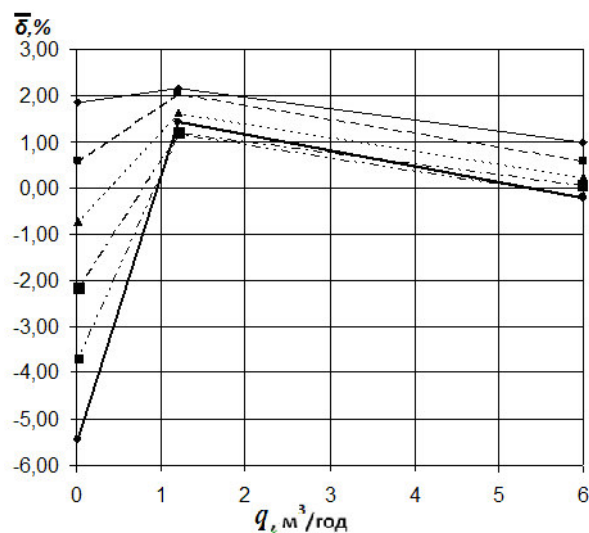
$$\bar{\delta}_{q1}^j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \delta_{q_{\min}i}^j, \% \quad (2.2)$$

$$\bar{\delta}_{q2}^j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \delta_{0,2q_{\max}i}^j, \% \quad (2.3)$$

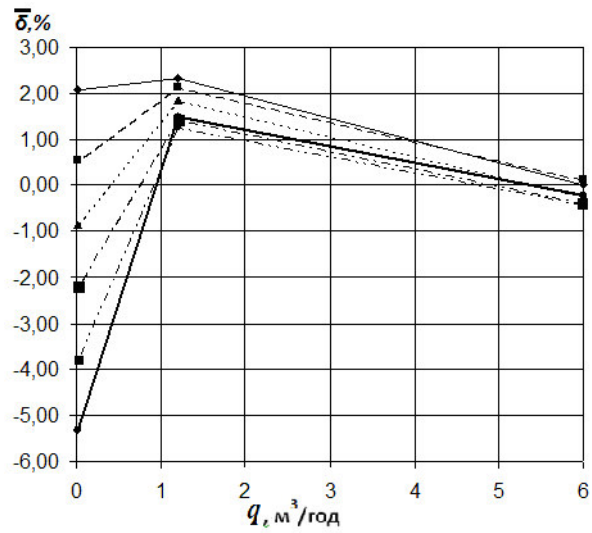
$$\bar{\delta}_{q3}^j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \delta_{q_{\max}i}^j, \% \quad (2.4)$$

де $\bar{\delta}_{q1}^j$, $\bar{\delta}_{q2}^j$, $\bar{\delta}_{q3}^j$ – середні арифметичні значення похибки ПЛГ для j -го діапазону зміни похибки за мінімальної витрати q_{\min} , витрати 20% від максимальної $0,2q_{\max}$ і за максимальної витрати q_{\max} відповідно; i – порядковий номер ПЛГ; j – порядковий номер досліджуваного діапазону зміни похибки при q_{\min} ; N_j – кількість лічильників у вибірці з j -го діапазону зміни похибки при q_{\min} .

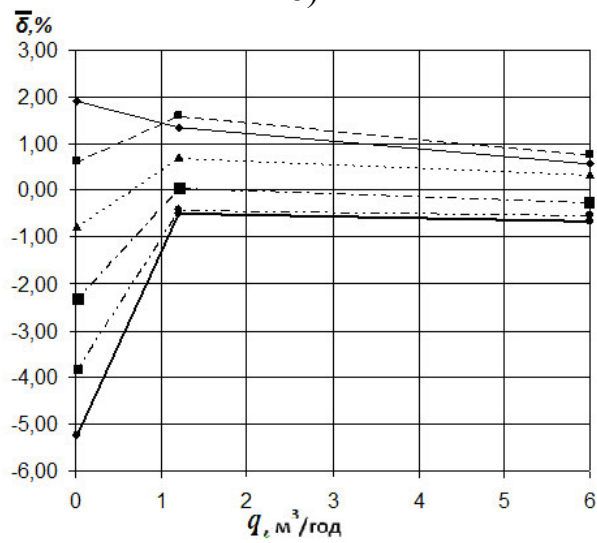
Графічна ілюстрація усереднених результатів періодичної повірки ПЛГ подана на рис. 2.4.



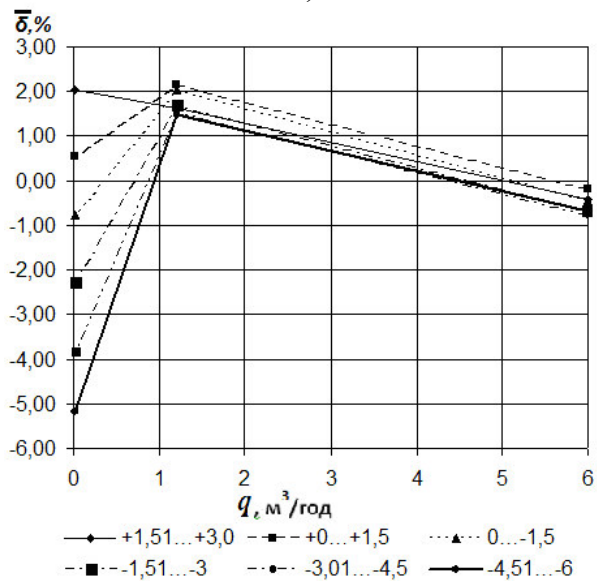
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.4 – Графічна ілюстрація кусково-лінійної інтерполяції результатів періодичної перевірки ПЛГ METRIX G4 (а), METRIX G6 (б), GALLUS G4 (в), SAMGAS G4 (г).

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

$$\sigma_{q1}^j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_j} (\delta_{q1}^j - \bar{\delta}_{q1}^j)^2}{N_j(N_j - 1)}}, \% \quad (2.5)$$

$$\sigma_{q2}^j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_j} (\delta_{q2}^j - \bar{\delta}_{q2}^j)^2}{N_j(N_j - 1)}}, \% \quad (2.6)$$

$$\sigma_{q3}^j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_j} (\delta_{q3}^j - \bar{\delta}_{q3}^j)^2}{N_j(N_j - 1)}}, \% \quad (2.7)$$

В формулах (2.5)-(2.7) для спрощення математичного запису похибка $\delta_{q\min i}$ записана як δ_{q1}^j і відповідно $\delta_{0,2q\max i}$ як δ_{q2}^j , а також $\delta_{q\max i}$ як δ_{q3}^j .

При статистичних дослідженнях також оцінювалася кількісна зміна похибки ПЛГ при q_{\min} і при q_{\max} , відносно її значення при $0,2q_{\max}$, які позначені як $\Delta\delta_{21}^j$ і $\Delta\delta_{23}^j$ відповідно. Для цього використовувався алгоритм [97, 103]:

$$\Delta\delta_{21}^j = \bar{\delta}_{q2}^j - \bar{\delta}_{q1}^j, \quad (2.8)$$

$$\Delta\delta_{23}^j = \bar{\delta}_{q2}^j - \bar{\delta}_{q3}^j, \quad (2.9)$$

$$K_j = \Delta\delta_{23}^j / \Delta\delta_{21}^j, \quad (2.10)$$

де K_j – коефіцієнт інтерполяційності форми похибки для j -го діапазону зміни похибки ПЛГ за витрати q_{\min} (безрозмірний коефіцієнт).

Результати статистичних досліджень вибірок ПЛГ за формулами (2.2)-(2.10) подані в табл. 2.2ч2.5 [103].

Таблиця 2.2 – Статистичні характеристики похибок ПЛГ METRIX G4

№ діапазону похибки при q_{min} і його межі, %	$\bar{\delta}_{q1}^j$, %	$\bar{\delta}_{q2}^j$, %	$\bar{\delta}_{q3}^j$, %	N	σ_{q1}^j , %	σ_{q2}^j , %	σ_{q3}^j , %	$\Delta\delta_{23}^j$, %	$\Delta\delta_{21}^j$, %	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 ПЛГ METRIX G6

№ діапазону похибки при q_{min} і його межі, %	$\bar{\delta}_{q1}^j$, %	$\bar{\delta}_{q2}^j$, %	$\bar{\delta}_{q3}^j$, %	N	σ_{q1}^j , %	σ_{q2}^j , %	σ_{q3}^j , %	$\Delta\delta_{23}^j$, %	$\Delta\delta_{21}^j$, %	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 ПЛГ GALLUS G4

№ діапазону похибки при q_{min} і його межі, %	$\bar{\delta}_{q1}^j$, %	$\bar{\delta}_{q2}^j$, %	$\bar{\delta}_{q3}^j$, %	N	σ_{q1}^j , %	σ_{q2}^j , %	σ_{q3}^j , %	$\Delta\delta_{23}^j$, %	$\Delta\delta_{21}^j$, %	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 ПЛГ SAMGAS G4

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

На основі отриманих статистичних даних для метрологічного оцінювання експериментально-розрахункового методу визначення похибки ПЛГ на максимальній витраті доцільно розглянути напрями його реалізації.

Перший напрям [103] полягає у розрахунку узагальненого приросту для обчислення похибки ПЛГ на максимальній витраті з врахуванням всіх вибраних і досліджених j -их діапазонів зміни похибки при мінімальній витраті q_{\min} (стосується одного типорозміру і одного виробника). Розрахунок числового значення похибки при q_{\max} для кожного i -го повірюваного ПЛГ здійснюється за алгоритмом:

$$\delta_{q3i} = \delta_{q2i} - \bar{\Delta}\delta_{23}, \quad (2.11)$$

$$\bar{\Delta}\delta_{23} = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L \Delta\delta_{23}^j, \quad (2.12)$$

де δ_{q3i} – розраховане значення похибки i -го ПЛГ на витраті q_{\max} ; δ_{q2i} – експериментально визначена похибка i -го ПЛГ при його повірці на витраті на витраті $0,2q_{\max}$; $\bar{\Delta}\delta_{23}$ – середнє значення зміни похибки ПЛГ при витраті q_{\max} порівняно з витратою $0,2q_{\max}$ з врахуванням зміни похибки ПЛГ при q_{\min} в діапазоні від мінус 6% до плюс 3%; L – кількість вибраних діапазонів при q_{\min} для дослідження статистичних характеристик зміни похибки (в нашому випадку згідно таблиць 1ч4 їх кількість становить 6).

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

$$\sigma_{\Delta\delta_{23}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^L (\Delta\delta_{23}^j - \bar{\Delta}\delta_{23})^2}{L(L-1)}}, \quad (2.13)$$

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

2.2 Дослідження впливу експериментальних і конструктивних факторів стабільність метрологічних характеристик ПЛГ

Дослідження впливових факторів на похибку при функціонуванні ПЛГ може сприяти не тільки виявленню конструктивних недоліків при експлуатації ПЛГ, але і слугувати підставою для запровадження рекомендацій щодо тривалості міжповірочного чи взагалі експлуатаційного (без перевірки з наступною заміною) терміну використання. Такий підхід зумовлює необхідність вивчення закономірності зміни похибки не окремих досліджуваних ПЛГ, а статистичного оцінювання досліджуваних впливових факторів на функціонування ПЛГ.

За основу статистичного дослідження [140] вибрані результати періодичної перевірки 3576 ПЛГ, з яких GALLUS – 1382, METRIX – 323, SAMGAS – 1252. При цьому аналіз був виконаний для лічильників типорозміру G4 різних підприємств-виробників. Інформативним параметром для аналізу вибрана похибка ПЛГ за мінімальної витрати і на підставі цього здійснений аналіз у відсотках від їх кількості через 3%, з поділом на 11 діапазонів зміни похибки при мінімальній витраті, що подано гістограмами на рис. 2.5. З ілюстрації видно, що доля придатних до подальшої експлуатації ПЛГ становить GALLUS – 54,8%, METRIX – 64,7%, SAMGAS – 54,9%. Також очевидним є суттєве зростання кількості придатних до подальшої експлуатації ПЛГ за рахунок розширення зони допустимої мінімальної похибки до мінус 6% (стовбець 3). Зауважимо що при цьому на рисунку не вказана кількість ПЛГ, у яких похибка є більшою від мінус 30%, а також несправних, у яких не функціонує лічильний механізм, доля яких становить GALLUS – 10,3%, METRIX – 7,1%, SAMGAS – 7,4%.

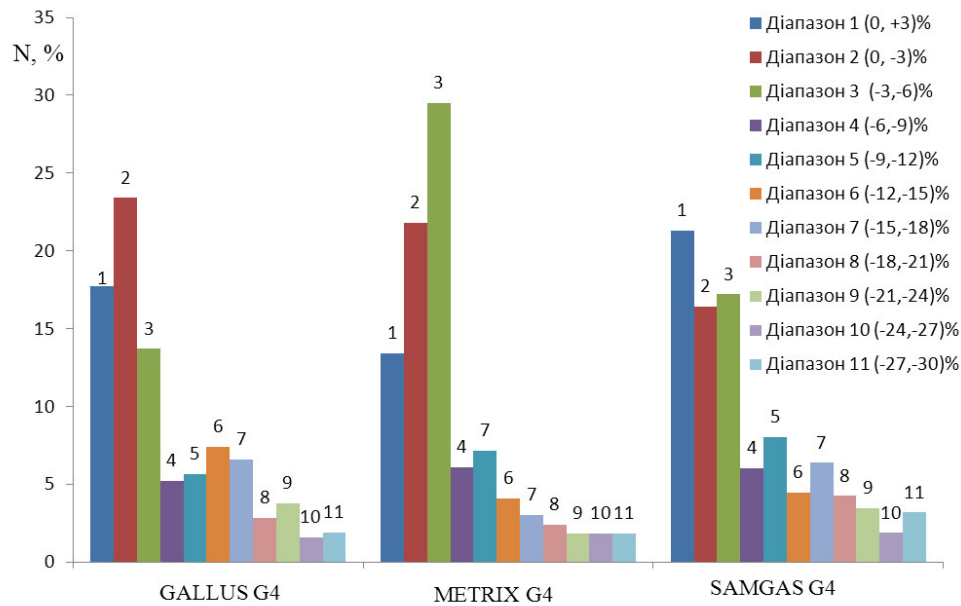


Рисунок 2.5. Розподіл кількості лічильників за діапазонами похибок при мінімальній витраті

Встановлено закономірності зміни експлуатаційної похибки ПЛГ, які підтверджують практично однакові закономірності у лічильників різних виробників. Виявлено дещо кращі експлуатаційні властивості лічильників типу METRIX порівняно із GALLUS і SAMGAS.

Для дослідження впливу типорозміру ПЛГ на їх експлуатаційні характеристики здійснено порівняльний аналіз статистичних закономірностей зміни похибки мембранних ПЛГ моделі METRIX типорозмірів G4 і G6 виробництва Польщі [96].

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

загальної статистичної вибірки відповідала кількість лічильників G4 – 90,9%, G6 – 53,4%.

Гістограми розподілу кількості придатних лічильників за діапазонами похибок при мінімальній робочій витраті (рис. 2.6) можуть бути об'єктом дослідження перш за все організацій – виробників. З них видно, що відсоток придатних лічильників типорозміру G4 дещо нагадує несиметричний нормальний закон розподілу, а вид закону розподілу для лічильників G6 більш близький до рівномірного, хоча можна виділити локальне зростання відсотка ПЛГ з діапазоном похибки $0 \dots +1,5\%$. Ці гістограми вказують, що найбільший відсоток придатних ПЛГ характеризуються на мінімальній витраті додатною похибкою в діапазоні $0 \dots +1,5\%$, наявність якої після закінчення міжповірочного терміну ПЛГ багато вітчизняних науковців і виробників вважали гіпотетичною. Вважалось, що похибка ПЛГ після закінчення міжповірочного терміну експлуатації при визначенні похибки за мінімальної робочої витрати як правило повинна зміщуватися у від'ємну сторону. Тут додамо, що це явище звичайно має місце, але не у всіх мембранних ПЛГ, про що ілюструють криві, які подані нижче на рис. 2.7.

Порівняльний аналіз зміни похибки різних типорозмірів наведений на рис. 2.7 а, б, в. На них криві зміни похибки умовно зображені не кусково-інтерполяційними залежностями, а регресійними моделями для всього досліджуваного діапазону робочих витрат з використанням спеціальної поліномної залежності зі степенями від мінус 2 до плюс 2 [94]. Графічні залежності підтверджують практично однакові закономірності зміни похибки ПЛГ різних типорозмірів [96], які характеризують зростання похибки в діапазоні від q_{min} до $0,2q_{max}$ і зменшення похибки в діапазоні від $0,2q_{max}$ до q_{max} .

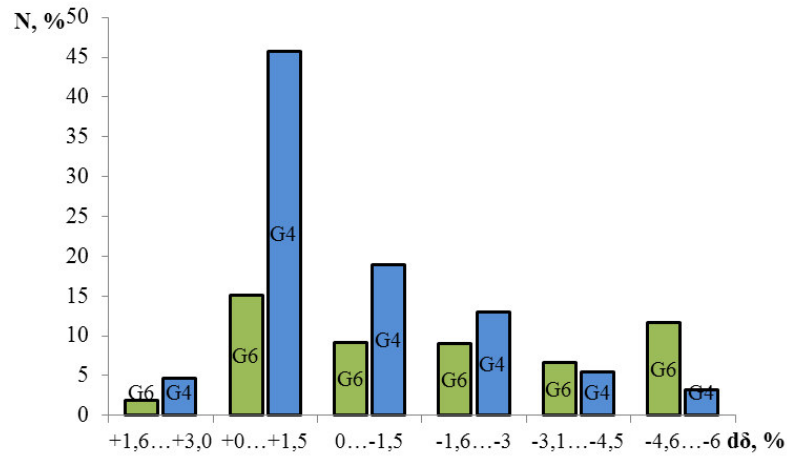
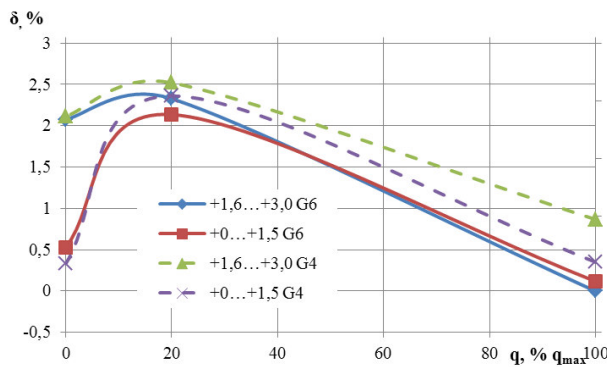
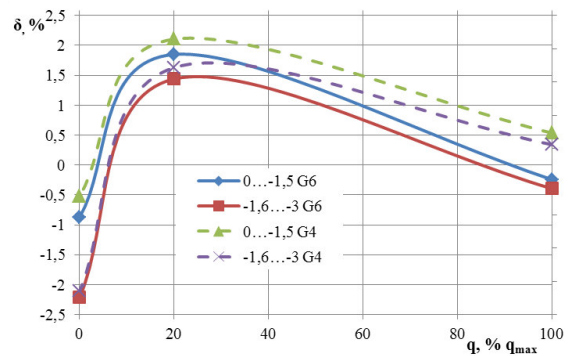


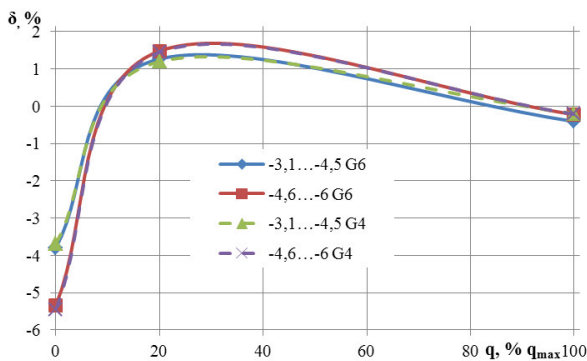
Рисунок 2.6 – Розподіл кількості придатних лічильників за типорозмірами від діапазону похибок при мінімальній витраті



а)



б)



в)

Рисунок 2.7. – Графічна ілюстрація закономірностей зміни похибки різних типорозмірів побутових ПЛГ моделі METRIX

При цьому величина зміни похибки для першого діапазону витрат практично не корелює із величиною зміни похибки для другого діапазону витрат. Однак кількісна зміна похибки для другого діапазону витрати є досить стабільною для двох типорозмірів ПЛГ і не перевищує 1,65 % і 2,32 % для G4 і G6 відповідно. Водночас можна виявити градацію зміни похибки стосовно похибки за витрати q_{min} , що подано в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Результати порівняльного аналізу зміни похибок мембранних ПЛГ типорозмірів G4 і G6 виробництва METRIX

Діапазон зміни похибки при q_{min} , $d\delta$, %	Типорозмір G4		Типорозмір G6		Зміна похибки для різних типорозмірів $\bar{\Delta}\delta^{G6, G4}$, %
	Середнє значення похибки $\bar{\delta}_{q_{min}}^{G4}$, %	Середнє значення зміни похибки $\bar{\Delta}\delta^{G4}$, %	Середнє значення похибки $\bar{\delta}_{q_{min}}^{G6}$, %	Середнє значення зміни похибки $\bar{\Delta}\delta^{G6}$, %	
+1,6 ... +3,0	1,87	1,182	2,07	2,329	1,147
+0 ... +1,5	0,59	1,433	0,53	2,019	0,586
0 ... -1,5	-0,72	1,414	-0,87	2,092	0,678
-1,6 ... -3	-2,15	1,160	-2,21	1,833	0,673
-3,1 ... -4,5	-3,69	1,393	-3,79	1,676	0,283
-4,6 ... -6	-5,44	1,659	-5,33	1,704	0,045

Для розрахунку похибок в табл. 2.6 використовувалися формули:

$$\bar{\Delta}\delta^{G4} = \bar{\delta}_{0,2q_{max}}^{G4} - \bar{\delta}_{q_{max}}^{G4} \quad (2.14)$$

$$\bar{\Delta}\delta^{G6} = \bar{\delta}_{0,2q_{max}}^{G6} - \bar{\delta}_{q_{max}}^{G6} \quad (2.15)$$

$$\bar{\Delta}\delta^{G6, G4} = \bar{\Delta}\delta^{G6} - \bar{\Delta}\delta^{G4} \quad (2.16)$$

З табл. 2.6 видно, що розходження між зміною похибки лічильників G6 і G4 для окремих вибраних діапазонів похибки при q_{min} близька до 0,5-0,7 %, при цьому зміна похибки у лічильників G6 завжди є більшою від зміни похибки для лічильників G4. Водночас більше розходження (1,147%) спостерігається для лічильників з додатною похибкою при мінімальній робочій витраті і найменше (0,045%) – для лічильників із найбільшою допустимою від’ємною похибкою при мінімальній робочій витраті.

На похибку ПЛГ впливає інтенсивність їх експлуатації. Для цього вивчимо вплив інтенсивності функціонування ПЛГ на похибку за мінімальної робочої витрати, що вибрано як інформаційний параметр.

Дослідження [155] базувалися на статистичних результатах повірки ПЛГ після завершення міжповірочного терміну експлуатації, графічна ілюстрація яких подана на рис. 2.8. Результати аналізу сформовані від значень виміряного об'єму газу з інтервалом 20 тис. м³.

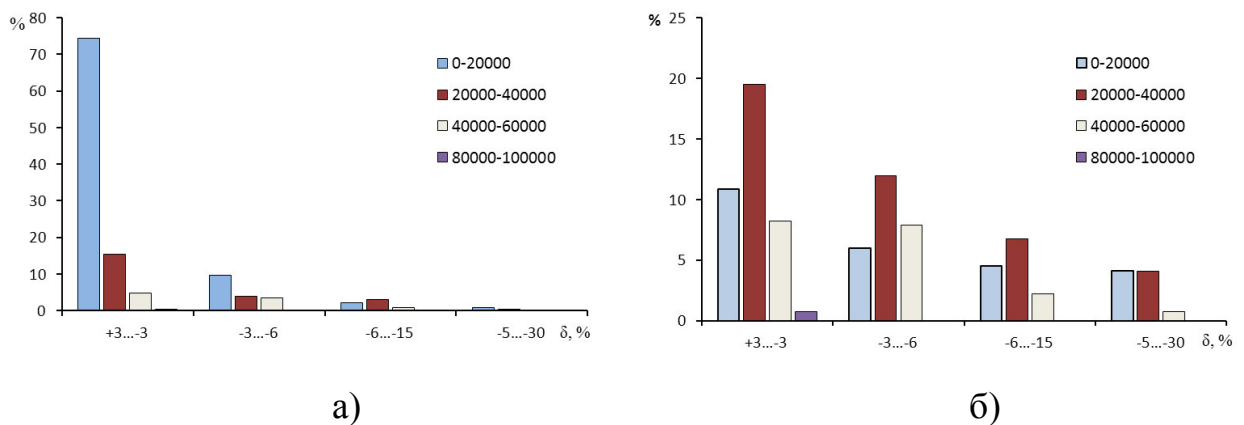


Рисунок 2.8 – Результати статистичних досліджень ПЛГ типорозмірів G4 (а) і G6 (б) моделі METRIX (Польща)

За даними досліджень експериментально виявлено суттєвий вплив виміряного об'єму газу на кількість придатних лічильників, число яких зменшується із зростанням виміряного об'єму. При цьому цей вплив в більшій мірі визначальний для лічильників меншого типорозміру G4 порівняно із типорозміром G6.

Дослідимо більш конкретно закономірності зміни похибки конкретних типів ПЛГ від інтенсивності експлуатації в міжповірочний період, що опосередковано характеризує якість їх виготовлення підприємствами виробниками [128].

За основу статистичного дослідження вибрані результати повірки в 2017 р. понад чотирьох тисяч ПЛГ на еталонних установках ПАТ «Івано-Франківськгаз». Було вибрано для аналізу чотири різних підприємств-виробників ПЛГ однакового типорозміру G4, зокрема GALLUS, METRIX, OKTAVA, SAMGAS. Формування вибірок лічильників було здійснено за

об'ємом V обліченого (виміряного) природного газу за міжпіврічний період, який був вибраний з інтервалом 10 тис. м^3 з максимальним значенням виміряного об'єму до 60 тис. м^3 .

Інтенсивність експлуатації подана відповідними гістограмами на рис.2.9. Вони характеризують відносну кількість ПЛГ (у відсотках від повіреної кількості), похибка яких при мінімальній витраті знаходилася в допустимих межах (-6% ... +3%), а також в межах (-6% ... -30%). Ця межа досліджуваних від'ємних похибок, які перевищують допустиму похибку, вибрана нами умовно оскільки такий підхід розширяє можливості оцінювання зміни похибки, а також, на наш погляд, за таких умов ПЛГ ще можуть бути відремонтованими. В іншому випадку вони підлягають заміні на справний ПЛГ.

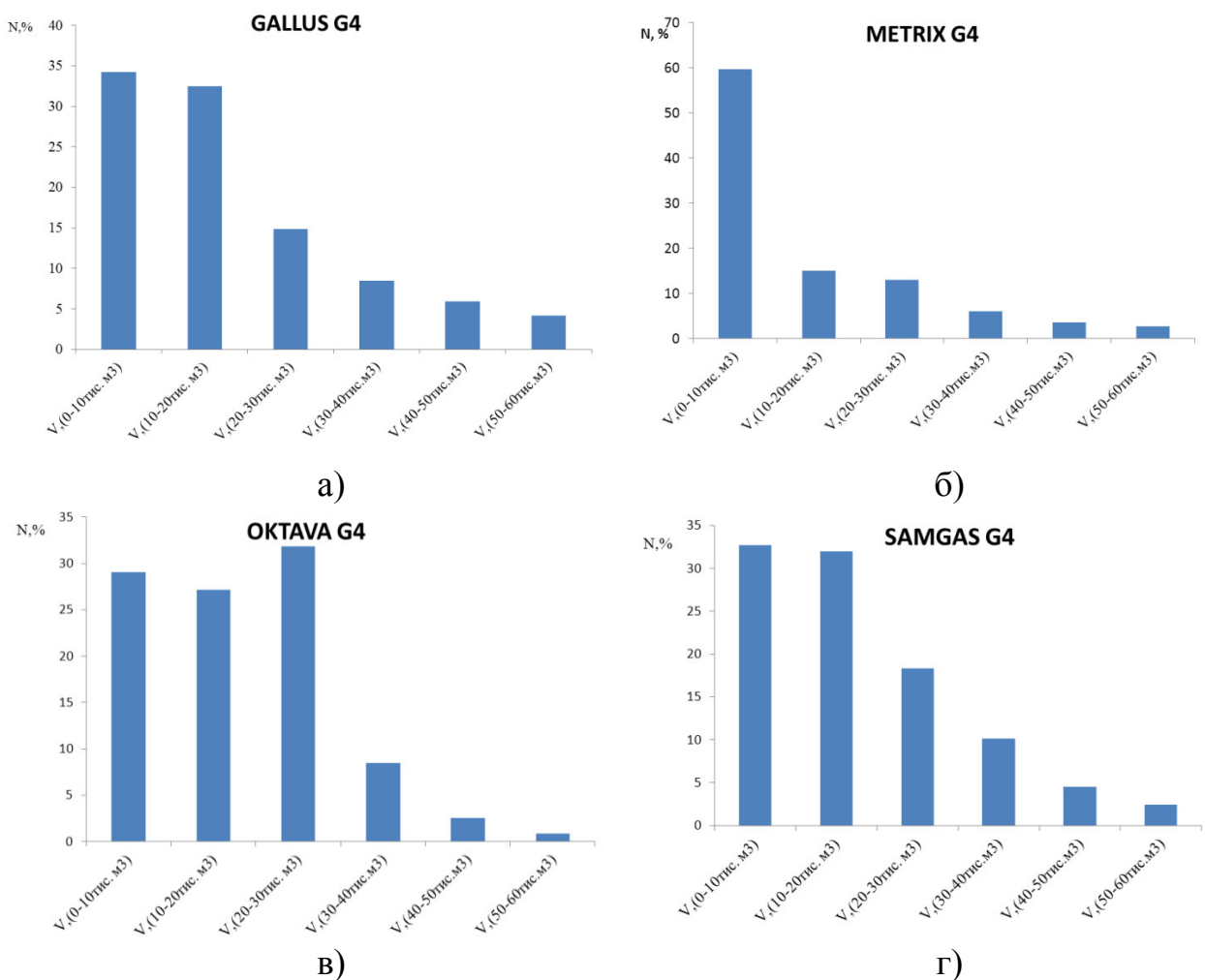


Рисунок 2.9 – Графічна ілюстрація зміни розподілу кількості лічильників від виміряного ними об'єму

З рис. 2.9 видно практично подібні статистичну закономірність зменшення відносної кількості ПЛГ, які знаходяться у більш інтенсивній експлуатації, тобто здійснюють облік більшого об'єму природного газу за міжпівірочний період. Ці графіки також характеризують закономірності практичних аспектів встановлення ПЛГ у побутових споживачів.

З використанням програмного забезпечення “MS Excel” отримані закономірності зміни похибки ПЛГ на мінімальній витраті q_{min} (рис 2.10, а), на максимальній витраті q_{max} (рис 2.10, б) і на витраті $0,2q_{max}$ (рис 2.10, в) [26].

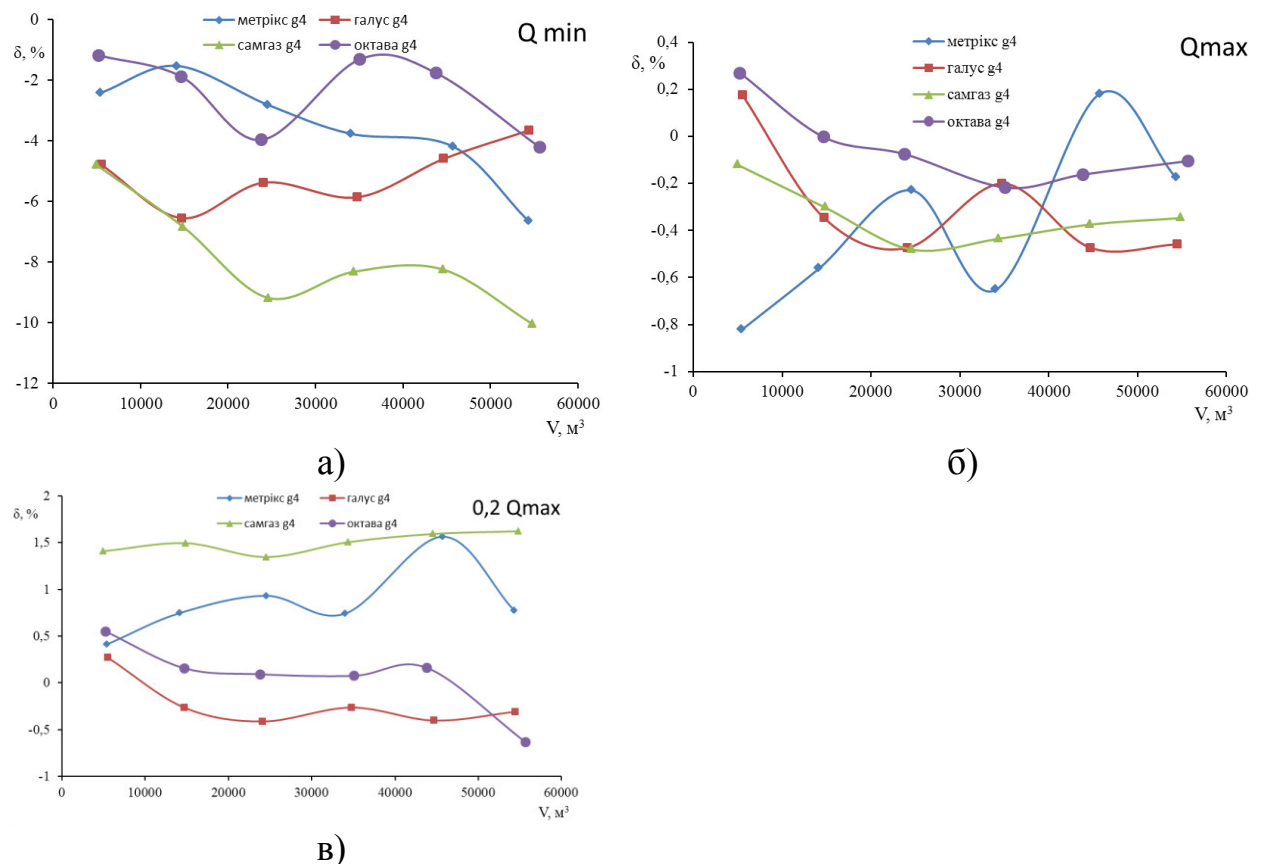


Рисунок 2.10 – Графічна ілюстрація зміни похибки ПЛГ на витраті q_{min} (а) і на витраті q_{max} (б)

За результатами досліджень статистично встановлено зростання від'ємної похибки із збільшенням об'єму виміряного газу для всіх виробників крім GALLUS G4. Пояснення цих даних практично відсутнє, однак не є підставою характеризувати найкращу якість цього типу ПЛГ, хоча і цим фактором не можна нехтувати. Для METRIX G4 похибка зростає від -2,4% при 5,4 тис m^3 до -6,6% при 54,3 тис m^3 , а для SAMGAS G4 зростання від'ємної похибки становить від -4,8% при 4,9 тис m^3 до -10,1%

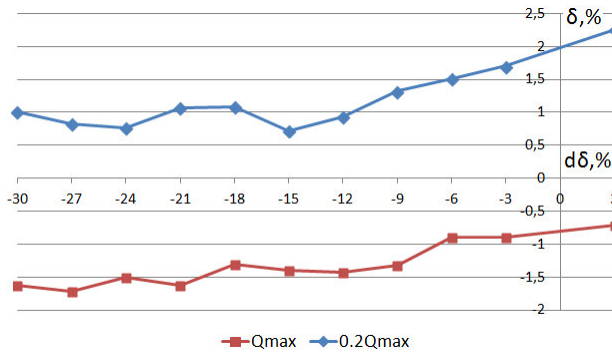
при 54,8 тис м³. Ці дані характеризують кращі експлуатаційні властивості ПЛГ типу METRIX G4 порівняно із SAMGAS G4, оскільки похибка перших практично відповідає допустимому значенню (-6%) при повірці ПЛГ, а ПЛГ типу SAMGAS G4 після вимірювання понад 20 тис м³ підлягають ремонту, оскільки їх похибка перевищує допустиму.

Закономірності зміни похибки на витратах q_{max} і $0,2q_{max}$ практично відсутні для всіх типорозмірів і характеризують про відсутність впливу вимірюваного об'єму на похибку ПЛГ за цих умов, яка не перевищує допустиму паспортну.

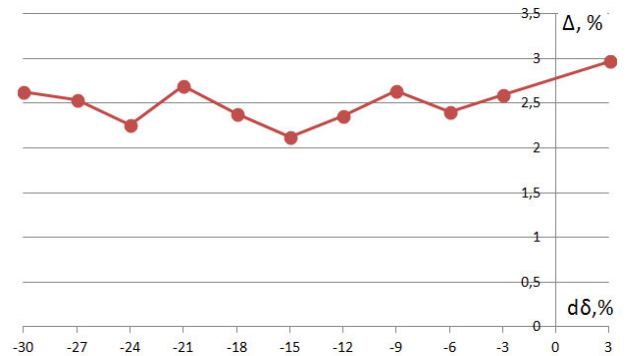
За результатами досліджень встановлено вплив експлуатаційних і конструктивних факторів на стабільність метрологічних характеристик ПЛГ, що дозволяє коригувати міжповірочний інтервал для ПЛГ шляхом його збільшення за умови вимірювання лічильниками впродовж міжповірочного інтервалу не більше певної кількості газу, яка, наприклад, для лічильників типорозміру G4 не повинна перевищувати 30 тис.м³;

Проведений статистичний аналіз зміни похибки ПЛГ при їх експлуатації [7, 76] тільки кількісно характеризує зміну метрологічних характеристик і не дає можливості здійснити математичне узагальнення. Тому потрібним є узагальнення результатів експериментальних досліджень ПЛГ для розроблення методології бездемонтажного перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном робочих витрат, яка вимагає моделювання і врахування статистичних закономірностей зміни похибки ПЛГ [136].

За основу статистичного дослідження вибрані результати повірки понад трьох тисяч ПЛГ на еталонній установці ПАТ «Івано-Франківськгаз». Було вибрано для аналізу три типи різних підприємств-виробників побутових лічильників типорозміру G4. Групування лічильників було здійснено по діапазону отриманих значень, а саме вибраний таким чином: додатна похибка при q_{min} (*dian.1*), діапазон від'ємних значень похибок від 0 до мінус 3% (*dian.2*), діапазон від'ємних значень від мінус 3 до мінус 6% (*dian.3*) і т.д. (рис.2.11-2.13).

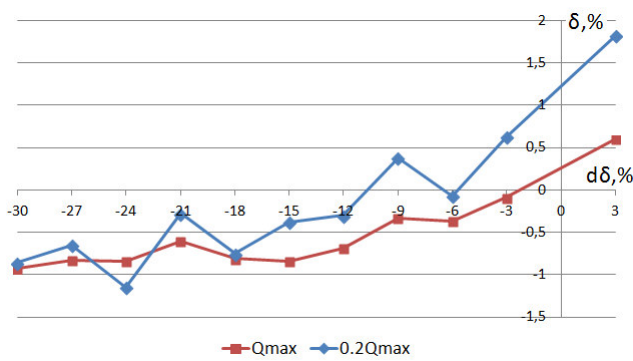


а)

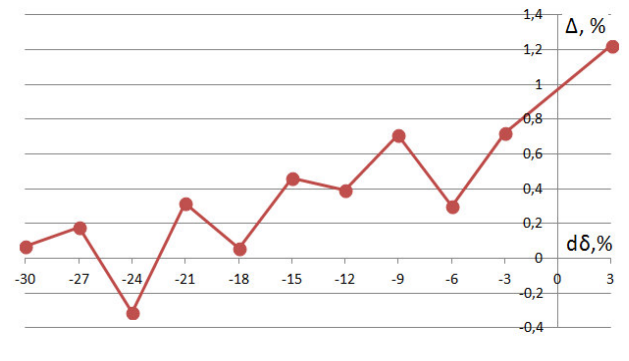


б)

Рисунок 2.11 – Графічна ілюстрація зміни похибки лічильників САМГАЗ G4: а) при витраті $0,2q_{max}$ та q_{max} ; б) абсолютне значення різниці похибок лічильників при витраті $0,2q_{max}$ та q_{max} відповідно.

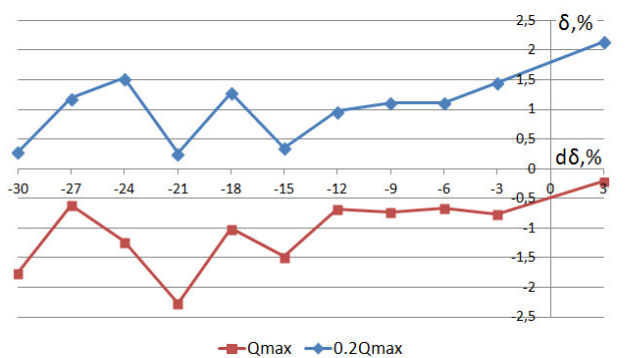


а)

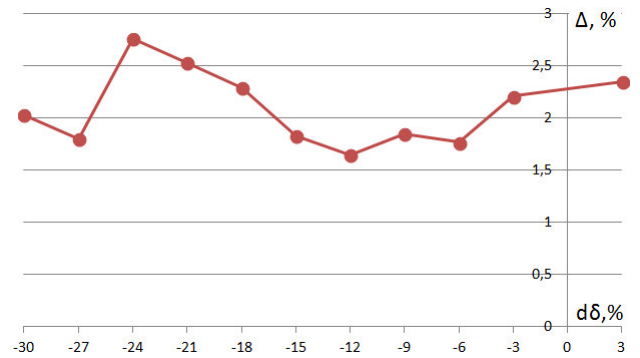


б)

Рисунок 2.12 – Графічна ілюстрація зміни похибки лічильників GALLUS G4: а) при витраті $0,2q_{max}$ та q_{max} ; б) абсолютне значення різниці похибок лічильників при витраті $0,2q_{max}$ та q_{max} відповідно.



а)



б)

Рисунок 2.13 – Графічна ілюстрація зміни похибки лічильників METRIX G4: а) при витраті $0,2q_{max}$ та q_{max} ; б) абсолютне значення різниці похибок лічильників при витраті $0,2q_{max}$ та q_{max} відповідно.

На рис. 2.11, а - 2.13, а, наведені ілюстрації зміни похибок $\delta, \%$ ПЛГ за витрати q_{max} та $0,2q_{max}$ як функції від вказаних вище умовних діапазонів похибки $d\delta, \%$ за витрати q_{min} . А на рис. 2.11, б - 2.13, б наведені графічні ілюстрації зміни різниці похибок ПЛГ $\Delta, \%$ за витрати $0,2q_{max}$ та q_{max} як функції від $d\delta, \%$.

В цьому розділі вище вже показано, що в переважній більшості похибка лічильників під час експлуатації зростає у від'ємному напрямку, що зумовлює недооблік вимірюваних об'ємів газу. Це вимагає вивчення закономірностей зміни похибки ПЛГ впродовж їх експлуатації, що може бути підставою для запровадження рекомендацій щодо тривалості міжповірочного терміну їх експлуатації, а також виявленню конструктивних недоліків при експлуатації ПЛГ різних заводів виробників.

Тому дослідимо вплив тривалості експлуатації ПЛГ на зміну їх метрологічних характеристик, насамперед похибки [128].

За основу статистичного дослідження вибрані три виробники побутових ПЛГ типорозміру G4 (закордонні і вітчизняні): GALLUS G4 (Actaris, Франція, Німеччина); METRIX (Польща); САМГАЗ (Україна). За основу досліджень покладено три діапазони років випуску ПЛГ: 2004-2007 (I діапазон), який орієнтовно відповідає тривалості першого міжповірочного терміну експлуатації; 1999-2003 (II діапазон), який стосується подвійному міжповірочному терміну експлуатації; 1990-1998 (III діапазон), який стосується триразовому терміну міжповірочної експлуатації.

Статистичний об'єм вибірки становив 3582 лічильники з яких 2216, першого діапазону років випуску, в тому числі 596 GALLUSG4, 250 METRIX, 1046 САМГАЗ і 324 лічильники цих типів, у яких похибка була більшою за мінус 30% або цілком несправні. По лічильників другого діапазону випусків ці числа становили: 506 з яких 207 GALLUS G4, 20 METRIX, 111 САМГАЗ і 168 несправних. По лічильників третього діапазону випусків ці числа становили: 763 з яких 579 GALLUSG4, 53 METRIX, 95 САМГАЗ, а також 36 несправних.

При дослідженнях лічильники були поділені на чотири діапазони зміни похибок за мінімальної робочої витрати 0...-3, 0...+3, -3...-6, -6...-30. Результати аналізу лічильників подані на рис 2.14. При цьому числа 1, 2, 3 над стовпцями в гістограмах характеризують ПЛГ типу METRIX, САМГАЗ, GALLUS відповідно.

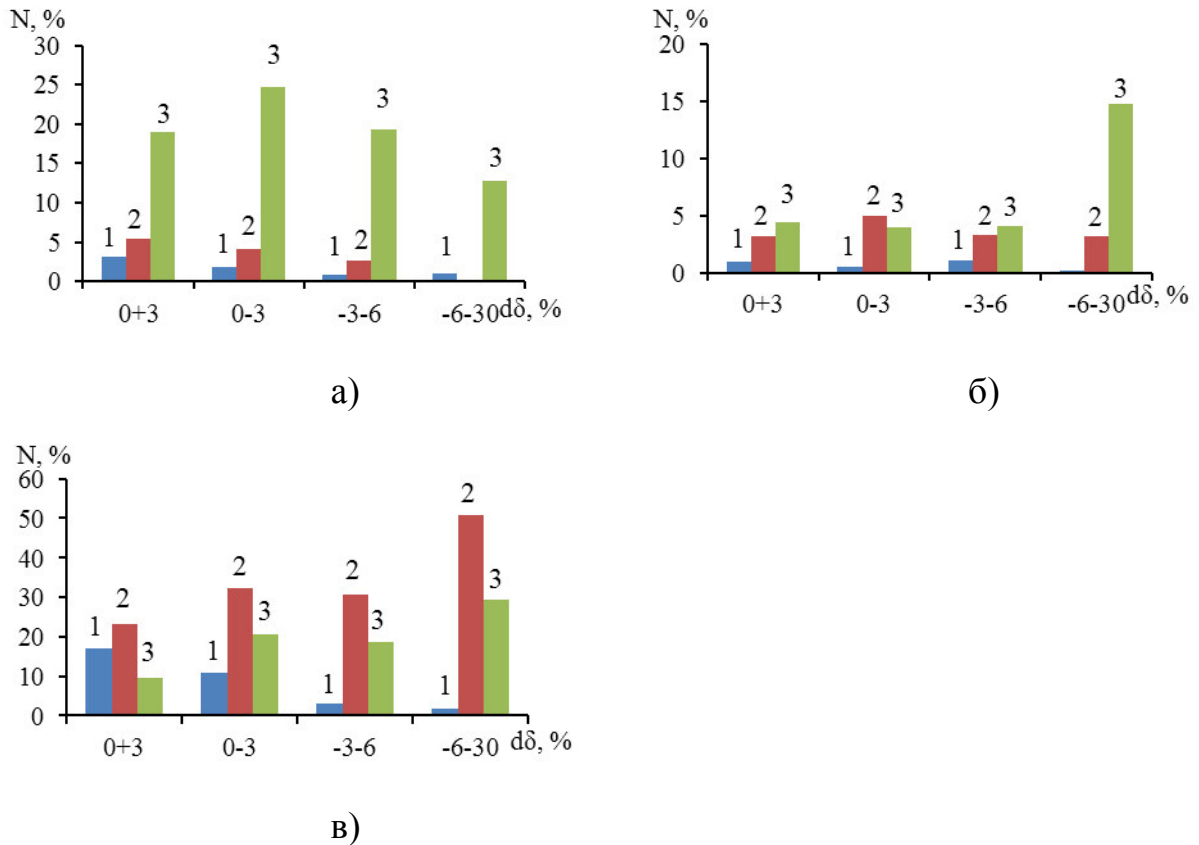


Рисунок 2.14 – Результати статистичних досліджень похибки ПЛГ від тривалості їх експлуатації для років випуску: 1990-1998 (а); 1999-2003 (б); 2004-2007(в)

Результати аналізу вказують що кількість лічильників N_u відсотках за лежить від тривалості експлуатації. При цьому найбільша кількість лічильників у яких похибка відповідала паспортна становила після першого між повірного терміну експлуатації 56 % для лічильників типу САМГАЗ 28% для METRIX і GALLUS 30%. При цьому кількість придатних лічильників для подальшої експлуатації, тобто у яких похибка не перевищувала -6%, становила 86 % САМГАЗ, 31% METRIX і 48% GALLUS.

Решта лічильників підлягала ремонту або заміні. Тут зауважимо що нами не врахований відсоток лічильників, у яких похибка була більша від -30% і на наш погляд вони підлягають заміні на новий (цю кількість можна розрахувати за результатами залишку у відсотках при сумуванні по стовпцях).

Аналогічно після двох міжповірочних термінів експлуатації кількість придатних лічильників зменшилася до 11% для САМГАЗ, 2,4% для METRIX і 12,3% для GALLUS. Після трьох міжповірочних термінів експлуатації частка придатних лічильників становила 12% для САМГАЗ, 5,8% для METRIX і 62% для GALLUS. З цих даних не очікувано не виявлено закономірність зменшення придатних лічильників після зростання терміну експлуатації зокрема для лічильників GALLUS. Очевидної відповіді на цей факт немає але можна припустити що якість лічильників середини 90-х років була кращою ніж першого десятиліття 2000 років, або лічильники належним чином відремонтовані, що зумовило збільшення долі придатних лічильників, або на це вплинуло інтенсивність їх експлуатації. Також виявлено суттєве зростання частки придатних лічильників САМГАЗ після першого міжповірочного терміну експлуатації порівняно з іншими типами лічильників, що може характеризувати достатньо високу якість сучасних українських ПЛГ.

Розроблення методу бездемонтажного перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном робочих витрат обґрунтовує доцільність моделювання статистичних закономірностей зміни похибки ПЛГ, за результатами їх повірки після восьми і більше років експлуатації [77].

Групування лічильників було здійснено по діапазону отриманих значень похибки, яка визначалася за найменшої (мінімальної) робочої витрати q_{min} . За таких умов було вибрано 11 діапазонів зміни похибок з інтервалом 3% в діапазоні від +3% до -30%, деякі з яких ілюструються на рис. 2.15.

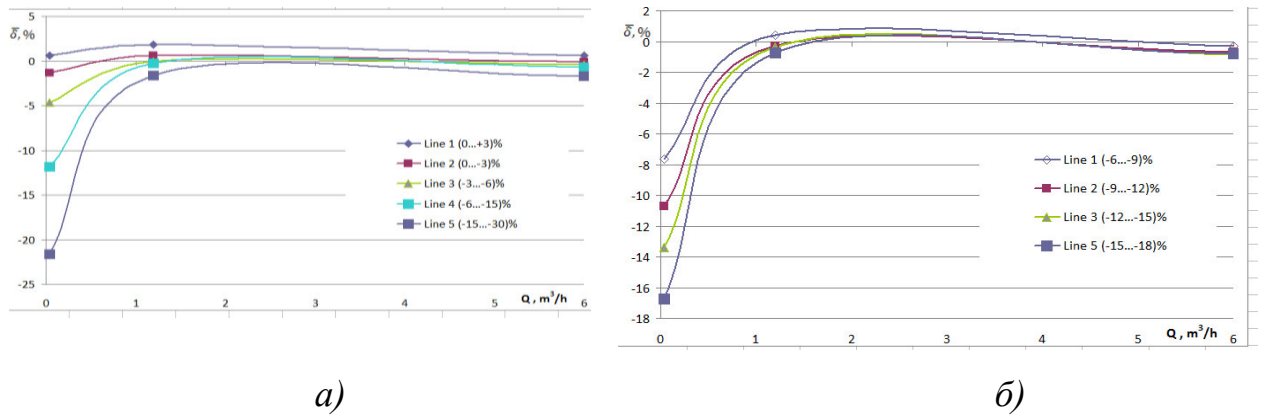


Рисунок 2.15 – Графічна ілюстрація зміни похибки ПЛГ типу GALLUS G4 для різних діапазонів зміни похибки при q_{min} : від +3% до -30% (а); при інтервалах зміни похибки через 3% в діапазоні від -6% до -18% (б).

Візуальний аналіз закономірностей зміни похибок внаслідок їх неперіодичності і недостатньої подібності свідчить про дослідження можливості застосування спеціальної поліномної залежності для їх моделювання такого виду [94].

$$\bar{\delta}(Q) = A_{-2}Q^{-2} + A_{-1}Q^{-1} + A_0 + A_1Q^1 + A_2Q^2 \quad (2.17)$$

Результати моделювання наведені в табл. 2.7 [77].

Таблиця 2.7. Результати моделювання коефіцієнтів апроксимаційного полінома для ПЛГ типу GALLUS G4.

Діапазон зміни $\bar{\delta}_{Q_{min}}$	A_{-2}	A_{-1}	A_0	A_1	A_2
0...+3%	0,004	-0,163	2,055	-0,037	-0,037
0...-3%	0,004	-0,190	0,532	0,131	-0,040
-3...-6%	0,004	-0,252	-1,164	0,889	-0,128
-6...-9%	0,002	-0,369	-0,212	0,588	-0,101
-9...-12%	0,008	-0,605	-0,688	0,755	-0,126
-12...-15%	0,005	-0,646	-0,941	0,901	-0,147
-15...-18%	0,020	-1,125	-1,210	1,110	-0,173
-18...-21%	0,042	-1,866	0,409	-0,150	0,767
-21...-24%	0,043	-1,974	-0,233	1,026	-0,181
-24...-27%	0,049	-2,277	0,671	0,603	-0,134
-27...-30%	0,059	-2,691	1,320	0,247	-0,093

Застосування наведеного алгоритму моделювання дозволяє на підставі статистичного аналізу визначати похибку ПЛГ для витрат, на яких не проводилися експериментальні дослідження, наприклад, внаслідок неможливості в силу технологічних обмежень відтворювати максимальну витрату через досліджувані ПЛГ.

Ці дослідження також підтверджують можливість застосування наведених алгоритмів для моделювання зміни похибки ПЛГ і теоретично обґрунтовують метод практичного запровадження бездемонтажної перевірки ПЛГ за обмеженим діапазоном робочих витрат.

Тепер зупинимось на висвітленні нових підходів до статистичного оцінювання похибок ПЛГ при їх експлуатації [76], зокрема таких, які базуються на теорії середньозваженої похибки [133].

Результати досліджень обмеженої кількості лічильників (трьох типів типорозміру G4 по 15 штук) [133] в деякій мірі можна вважати неповними, оскільки не відображають зміну похибки з врахуванням відносної кількості ПЛГ з різними видами кривих похибок. Також на даний час є відсутніми алгоритми, які би враховували кількість лічильників з одним діапазоном похибки порівняно з загальною кількістю досліджуваних лічильників. Середньоарифметичне значення експериментально визначеної статистичної похибки ПЛГ на певній витраті є недостатньо правильним. Так, наприклад, наявність похибки мінус 15 % на одній досліджуваній витраті одного лічильника при визначенні середнього значення цієї похибки може звести її до нуля при встановленні похибки плюс 1% на такій самій витраті для 15 лічильників. Тому арифметичне сумування без врахування кількості лічильників, яким властива похибка може бути в багатьох випадках недостатньо коректним.

Шляхом розроблення нових підходів до статистичного оцінювання і узагальнення результатів експериментальних досліджень ПЛГ під час їх періодичної повірки з використанням статистичного аналізу відкриваються

можливості здійснення кількісної оцінки технічного стану ПЛГ при їх експлуатації.

Для кількісного оцінювання зміни похибок ПЛГ як комплексного показника якості, який містить вагові коефіцієнти у вигляді врахування співвідношення відповідних робочих витрат газу, можна застосувати середньозважену похибку, яка подається відомою формулою [23, 27]:

$$\delta_{CЗ} = \frac{\sum (q_i / q_{\max}) \delta_i}{\sum (q_i / q_{\max})}, \quad (2.18)$$

де $\delta_{CЗ}$ - середньозважена похибка; δ_i - похибка на i -тій досліджуваній витраті q_i .

При цьому якщо $q_i = q_{\max}$, то у їхньому співвідношенні замість одиниці необхідно застосовувати ваговий коефіцієнт 0,4.

Використовуючи шість значень нормованих витрат, за якими розраховують середньозважену похибку для нових ПЛГ для випадку їх робочого діапазону 1:150 формула (2.18) набуває вигляду:

$$\delta_{CЗE(6m)} = \frac{0,015\delta_{q_{\min}} + 0,03\delta_{2q_{\min}} + 0,1\delta_{0,1q_{\max}} + 0,2\delta_{0,2q_{\max}} + 0,5\delta_{0,5q_{\max}} + 0,4\delta_{q_{\max}}}{1,245}, \quad (2.19)$$

де $\delta_{CЗE(6m)}$ - середньозважена паспортна похибка.

Для кількісного оцінювання середньозваженої похибки ПЛГ в умовах експлуатації використано такі статистично отримані закономірності зміни їх похибки (рис. 2.15), згідно формування вибірок за критерієм похибки при q_{\min} .

Оскільки експериментальне визначення похибки здійснюються на трьох витратах, то застосовуємо алгоритм із врахуванням похибки для трьох значень витрати. Тому із врахуванням значень витрат формула (2.18) запишеться:

$$\delta_{CЗE(3m)}^{HB} = \frac{0,015\delta_{q_{\min}} + 0,2\delta_{0,2q_{\max}} + 0,4\delta_{q_{\max}}}{0,615}, \quad (2.20)$$

де $\delta_{CЗE(3m)}^{HB}$ - середньозважена експериментально визначена похибка ПЛГ по трьох точках витрати, які охоплюють нижнє і верхнє її значення.

Для випадку повірки ПЛГ по трьох нижніх значеннях витрати, що є можливим для реалізації при визначенні похибки за місцем експлуатації, формулу (2.18) можна записати [144]:

$$\delta_{C3E(3m)}^H = \frac{0,015\delta_{q\min} + 0,03\delta_{2q\min} + 0,2\delta_{0,2q\max}}{0,245}, \quad (2.21)$$

де $\delta_{C3E(3m)}^H$ - середньозважена експериментально визначена похибка ПЛГ по трьох точках витрати, які охоплюють три нижніх її значення.

Оскільки є суттєва зміна похибки при витратах менших від $0,2q_{\max}$ доцільним є оцінювання похибки ПЛГ по чотирьох нормованих витратах, які є конкретизовані для нових ПЛГ. Згідно цих умов формула (2.18) набуває вигляду:

$$\delta_{C3E(4m)}^H = \frac{0,015\delta_{q\min} + 0,03\delta_{2q\min} + 0,1\delta_{0,1q\max} + 0,2\delta_{0,2q\max}}{0,345}, \quad (2.22)$$

де $\delta_{C3E(4m)}^H$ - середньозважена експериментально визначена похибка ПЛГ по чотирьох точках витрати.

Результати розрахунку середньозважених експериментально встановлених похибок подані в табл. 2.8 і підтверджують можливість застосування цього показника для оцінювання технічного стану ПЛГ в умовах експлуатації.

Таблиця 2.8 – Результати оцінювання технічного стану ПЛГ за середньозваженою похибкою

Діапазон зміни $\bar{\delta}_{q\min}$	$\delta_{C3E(6m)}, \%$	$\delta_{C3E(3m)}^{HB}, \%$	$\delta_{C3E(3m)}^H, \%$	$\delta_{C3E(4m)}^H, \%$
0...+3%	1,2311	0,9131	1,5966	1,6437
0...-3%	0,2092	0,0131	0,1362	0,1806
-3...-6%	-0,3393	-0,5913	-1,1441	-1,1271
-6...-9%	-0,1206	-0,4336	-1,0125	-0,8654
-9...-12%	-0,5878	-0,9301	-1,8875	-1,7075
-12...-15%	-0,7380	-1,1449	-2,3477	-2,1067
-15...-18%	-1,0227	-1,3790	-3,3628	-3,0912
-18...-21%	-0,7204	-1,0756	-3,5541	-3,1553
-21...-24%	-1,0584	-1,4373	-4,3218	-3,8962
-24...-27%	-1,0952	-1,4337	-4,5679	-4,0190
-27...-30%	-1,3220	-1,5887	-5,1930	-4,5244

2.3 Розроблення експериментально-розрахункового методу метрологічного перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном контрольованих витрат

При розробленні експериментально-розрахункового методу метрологічної перевірки ПЛГ були проаналізовані конкретні вже відомі аналогічні методи. Так, відомий [73] спосіб метрологічного перевіряння (діагностування та перевірки згідно термінології патенту) ПЛГ за зміною фактичних метрологічних характеристик ПЛГ безпосередньо на діючій лінії газопостачання реалізують шляхом порівняння величини об'єму газу, відміряного побутовим лічильником, з об'ємом газу, який розрахований за результатами вимірювань проградуйованого спеціального звужувального пристрою [73, 115].

Цей спосіб хоча і дозволяє перевіряти метрологічні характеристики лічильників газу без їх демонтажу з лінії газопостачання, однак є технологічно складним для реалізації у відповідності до чинних в Україні нормативних документів, які передбачають експериментальне визначення похибки побутових лічильників не менше ніж на трьох регламентованих робочих витратах, серед яких максимальна витрата q_{max} . Це пояснюється складністю відтворення через досліджуваний ПЛГ максимальної витрати, яка створюється будинковою мережею і повинна перевищувати витрату, яка може мати місце при одночасному функціонуванні всіх пристроїв квартирного газоспоживного обладнання, тобто досягати витрати q_{max} .

Інший спосіб повірки лічильників газу, передбачає подачу газу через послідовно встановлені повірюваний лічильник газу і еталон об'єму газу з яких одночасно вимірюють об'єм, температуру і тиск газу. Також здійснюють зняття отриманої інформації, збір, передавання і обробку цієї інформації. Далі обробку інформації здійснюють з використанням інтерполяційної залежності, яка дозволяє визначати кількість імпульсів на один кубічний метр пропущеного газу через еталон об'єму для кожної

необхідної досліджуваної витрати, що дозволяє експериментальним шляхом визначати похибку лічильників газу при їх повірці [84].

Цей спосіб і пристрій для його здійснення не можуть бути реалізовані за робочих умов ПЛГ, оскільки вони стосуються використання інтерполяційної залежності тільки для робочих еталонів, а не досліджуваних лічильників газу, і не можуть бути застосовані в умовах функціонування лічильників на природному газі, так як практично відсутні еталонні установки на малі витрати природного газу. Робочим середовищем при повірці лічильників згідно патенту є повітря, а не природний газ, що знижує точність і достовірність повірки ПЛГ та ускладнює конструктивну реалізацію цього способу і пристрою для його здійснення. Крім того, що особливо актуально, таким способом неможливо провести бездемонтажне перевіряння ПЛГ за реальних умов експлуатації, оскільки реалізація пристрою для його здійснення вимагає дослідження метрологічних характеристик лічильників газу шляхом їх демонтажу і метрологічних випробувань на спеціальній еталонній установці.

Аналогічний за призначенням метод калібрування витратомірів газу [92] стосується застосування байпасної лінії в основному трубопроводі і використання при цьому теплових перетворювачів в ній для визначення масової витрати газу. Це не може бути застосоване для умов побутових лічильників.

Патент Китаю [91] передбачає застосування методу “еталонний витратомір – калібрований давач потоку” для оцінювання метрологічних характеристик медичних інструментів і також не може бути застосованим для ПЛГ.

Патент Великобританії [93] захищає особливості комп’ютерного опрацювання градувальних характеристик витратомірів і згідно призначення неможливий для застосування щодо ПЛГ.

Розроблений метод метрологічного перевіряння [75] може бути реалізованим як на повітрі, так і на реальному середовищі – природному газі,

а при обробці інформації здійснюють побудову кусково-інтерполяційної залежності похибки лічильника газу від робочої витрати через нього [151]. При цьому похибку на двох нормованих для перевірки метрологічних характеристик витратах, які відповідають мінімальній витраті і витраті, яка становить 20% від максимальної робочої, визначають експериментальним шляхом, а похибку за максимальної витрати лічильника газу розраховують шляхом зменшення значення похибки при витраті 20% від максимальної робочої на попередньо статистично встановлену різницю між цими похибками за даними періодичної повірки лічильників після їх міжповірочного терміну експлуатації з конкретизацією щодо типу, типорозміру і організації-виробника побутового лічильника газу.

Суть реалізації методу ілюструється рис. 2.16. На ньому наведена графічна ілюстрація деяких можливих метрологічних характеристик ПЛГ.

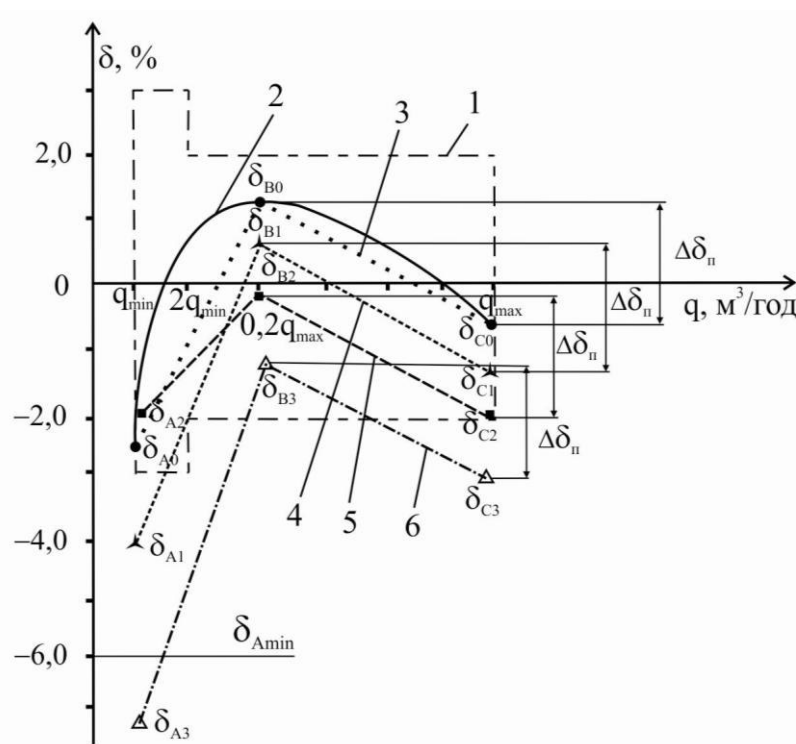


Рисунок 2.16 – Ілюстрація способу повірки побутових лічильників газу

Рис.2.16 містить графічне позначення замкненою пунктирною лінією 1 зони допустимої зміни нормативної похибки ПЛГ при їх первинній повірці в організації-виробнику. Крива 2 (суцільна лінія) відображає приклад похибки

окремого ПЛГ при випуску за результатами первинної повірки в умовах організації виробника, яка проходить через точки δ_{A0} , δ_{B0} , δ_{C0} . Лінія 3 відображає кусково-інтерполяційну залежність похибки, відображеної кривою 2, яка також проходить через точки δ_{A0} , δ_{B0} , δ_{C0} . Лініями 4, 5, 6 відображені результати кусково-інтерполяційних залежностей повірки інших ПЛГ. Зокрема, лінія 4 стосується графічної ілюстрації похибки ПЛГ, умовно позначеного №1, а лінії 5 і 6 – ПЛГ №2 і №3, відповідно. Точки δ_{A0} , δ_{B0} , δ_{C0} відображають приклад конкретних значень похибки окремого ПЛГ на витратах 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 повірці досліджуваних лічильників, умовно позначених №1, 2 і 3, відповідно. Позначення похибки лінією, яка відображає значення похибки $\delta_{A\min}$, характеризує мінімально допустиму похибку при періодичній повірці ПЛГ, яка, в свою чергу, регламентується нормативними документами на повірку ПЛГ і на даний час в Україні прийнята рівною мінус 6% [12].

Початковою інформацією для реалізації запропонованого методу повірки ПЛГ є попереднє статистичне встановлення різниці між похибкою ПЛГ на витратах 20% від максимальної робочої і на максимальній робочій витраті [152]. Для цього випадковим чином вибирають не менше тринадцяти ПЛГ, демонтованих із лінії газопостачання однакового типу, типорозміру і організації-виробника, які підлягають періодичній повірці після міжповірочного терміну експлуатації. Наприклад, такими ПЛГ можуть бути лічильники мембранного типу типорозміру G4 організації-виробника САМГАЗ (м. Рівне, Україна). Далі використовуючи еталонну повірочну установку згідно чинної в Україні методики повірки ПЛГ [12] експериментальним шляхом визначають похибку кожного лічильника на витратах q_{\min} , $0,2q_{\max}$, q_{\max} . При цьому перед процесом статистичного встановлення різниці похибок на витратах $0,2q_{\max}$, q_{\max} перевіряють, щоб

похибка на витраті q_{\min} не перевищувала трикратної допустимої похибки, тобто мінус 18%. У випадку, якщо кількість ПЛГ з похибкою до мінус 18% на витраті q_{\min} буде меншою від тринадцяти, то число досліджуваних ПЛГ збільшують до досягнення необхідної вибірки в кількості тринадцяти лічильників.

Після цього розраховують середні значення похибок за формулами

$$\delta_B = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \delta_{Bi} \quad (2.23)$$

$$\delta_C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_{Ci} \quad (2.24)$$

де δ_B, δ_C – статистично розраховані середні значення похибок ПЛГ на витратах $0,2q_{\max}$ і q_{\max} відповідно.

δ_{Bi}, δ_{Ci} – експериментально визначені за допомогою еталонної установки похибки окремих i -тих ПЛГ із вибірки, яка характеризується кількістю N лічильників

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

$$\Delta\delta_{II} = \delta_B - \delta_C \quad (2.25)$$

де $\Delta\delta_{II}$ – статистично встановлена при повірці різниця зміни похибки ПЛГ за витрат $0,2q_{\max}$ і q_{\max} .

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

При необхідності з метою підвищення метрологічної точності реалізації запропонованого способу повірки ПЛГ здійснюють по більш детальній метрологічний аналіз визначення різниці $\Delta\delta_{II}$, при якому обчислюють інші метрологічні оцінки, наприклад середнє квадратичне відхилення, розмах,

довірчу імовірність за результатами експериментальних досліджень похибки. Наприклад, за результатами опрацювання експериментальних даних статистичних досліджень мембраних ПЛГ типорозміру G4 організації-виробника САМГАЗ (м. Рівне, Україна) отримане значення зміни похибки $\Delta\delta_{II}$ становить $2,509 \pm 0,235\%$ при довірчій імовірності 95%.

Діапазон зміни значень похибки ПЛГ при їх повірці за трьома точками витрати q_{\min} , $0,2q_{\max}$, q_{\max} повинен знаходитися в межах, які сформовані замкненою пунктирною лінією 1. Зміна значення похибки у зоні, окресленої лінією 1 на витраті $2q_{\min}$ є нормативно регламентованим значенням для ПЛГ і характеризує зростання діапазону допустимої похибки на витратах, менших від перехідної витрати, яка на кресленні позначена як $2q_{\min}$. З'єднання трьох значень похибок δ_A , δ_B , δ_C для конкретних лічильників двома ділянками прямих ліній дає можливість отримати, як приклад, кусково-інтерполяційні залежності лінійними поліномами похибки ПЛГ.

Технологію перевіряння ПЛГ здійснюють наступним чином. Спочатку при закритому перекривному вентилі перед або після повірюваного ПЛГ від'єднують лінію існуючих газоспоживачів і в неї вмонтовують пристрій з еталоном об'єму газу, як приклад з еталоном лічильником газу або з обладнанням, яке дозволено до метрологічного застосування як еталононе, що містить засоби вимірювання температури і тиску природного газу.

В залежності від вибраного значення досліджуваної витрати, як приклад спочатку мінімальної q_{\min} , з використанням дроселюючого пристрою, задають вказаним режим функціонування ПЛГ. Далі відкривають кран подачі газу до обладнання, яким здійснюють пропонований спосіб, і запалюють пальник відповідного газоспалювального обладнання. При цьому природний газ, який проходить через повірюваний ПЛГ, технологічно може далі поступати в існуюче газоспоживне обладнання для спалювання або може спалюватися в спеціальному вузлі, який входить до складу еталоного обладнання.

Наступною операцією є проведення візуального або за допомогою спеціального пристрою відліків моментів початку і закінчення пропускання контрольного об'єму газу.

Похибка ПЛГ при його повірці обчислюється за формулою

$$\delta = \frac{V_L - V_E}{V_E} \cdot 100 \% , \quad (2.26)$$

де V_L і V_E – об'єми газу, виміряні повірюваним ПЛГ і еталонним лічильником або еталонним обладнанням, яке застосовується при повірці ПЛГ.

При цьому робоча витрата газу через ПЛГ розраховується за формулою:

$$q = \frac{V_E}{\tau} , \quad (2.27)$$

де τ – тривалість пропуску контрольного об'єму газу через ПЛГ.

Далі з використанням дроселюючого пристрою, або спеціального технологічного обладнання, задають іншу витрату через ПЛГ, яка відповідає витраті 20% від максимальної робочої, тобто $0,2q_{\max}$, і повторюють операцію пропускання контрольного об'єму газу з обчисленням похибки ПЛГ і робочої витрати через нього.

Після цього здійснюють розрахунок похибки ПЛГ за максимальної робочої витрати q_{\max} через нього. Її визначають шляхом зменшення експериментально визначеної похибки $\Delta\delta_B$ лічильника при витраті 20% від максимальної робочої на величину $\Delta\delta_D$, яка є статистично встановлена за результатами періодичної повірки ПЛГ і розрахована за формулою (2.27).

При виконанні повірки ПЛГ здійснюють визначення похибки ПЛГ тільки на мінімальній витраті і витраті 20% від максимальної робочої, як це відображено за текстом при описі здійснення пропонованого методу повірки.

За результатами визначення похибки, наприклад, для ПЛГ №1, отримують значення похибок, які нанесені точками δ_{A1} , δ_{B1} . Значення похибки для цього ПЛГ №1 за витрати q_{\max} знаходять шляхом зменшення похибки δ_{B1} до δ_{C1} на величину $\Delta\delta_D$, яка вже є визначеною за результатами

первинної повірки. З'єднання похибок δ_{A1} , δ_{B1} , δ_{C1} прямими, які відображені ломаною лінією 4, характеризує кусково-лінійну інтерполяцію похибки досліджуваного ПЛГ №1. Оскільки похибка при мінімальній витраті не перевищує значення δ_{Amin} , а значення похибок δ_{B1} , δ_{C1} на витратах $0,2q_{max}$, q_{max} знаходяться в межах зони, відображеної замкненою лінією 1, то ПЛГ вважається таким, що пройшов повірку і придатний до подальшої експлуатації.

Якщо при повірці, як приклад ПЛГ №2, отримані значення похибок δ_{A2} , δ_{B2} , то будується кусково-лінійна інтерполяційна залежність 5, як це показано на рис. 2.16, тобто ці значення похибок з'єднують прямою лінією, а значення похибки δ_{C2} на витраті q_{max} отримують зменшенням похибки δ_{B2} на значення $\Delta\delta_{II}$. Оскільки отримані значення похибок δ_{A2} , δ_{B2} , δ_{C2} знаходяться всередині зони замкненої лінії 1, то ПЛГ №2 вважається таким що пройшов повірку і придатний до подальшої експлуатації.

У випадку отримання при повірці ПЛГ значень похибок, за яких хоча б одна із них виходить за межі регламентованих значень, наприклад, які кількісно становлять δ_{A3} , δ_{C3} і відображені кусково-лінійною інтерполяційною лінією 6 за результатами повірки ПЛГ №3, то лічильник вважається таким, що не пройшов повірку і підлягає ремонту або заміні на інший, який є придатним до експлуатації.

Отримані значення похибок, які кількісно характеризують метрологічну характеристику ПЛГ, дають можливість зробити висновок про результати його повірки.

Розроблений метод [75], завдяки можливості реалізації на реальному робочому середовищі, (природному газі) за місцем експлуатації ПЛГ забезпечує якісно нову точність і достовірність повірки ПЛГ шляхом визначення їх метрологічних характеристик при одночасному спрощенні конструктивної реалізації методу, оскільки відпадає необхідність у створенні

установок для забезпечення експериментальним шляхом бездемонтажного визначення похибки ПЛГ на максимальній робочій витраті.

Визначення експериментальним шляхом похибки ПЛГ тільки на мінімальних витратах і на витраті, яка становить 20% від максимальної робочої, дозволяє визначати реальну похибку ПЛГ бездемонтажно за робочих умов експлуатації, чим зменшується тривалість проведення метрологічних досліджень і підвищується точність і достовірність отриманих результатів, оскільки перевірку здійснюють без демонтажу і транспортування до еталонної установки, а також із застосуванням реального робочого середовища – природного газу.

Водночас, застосування попередньо статистично встановлених закономірностей зміни похибки ПЛГ при їх експлуатації дозволяє здійснювати реалізацію розробленого методу практично для всіх типів, типорозмірів і організацій-виробників ПЛГ, що характеризує запропонований спосіб як універсальний щодо застосування для різних ПЛГ.

Можливість реалізації способу безпосередньо у газоспоживачів сприяє суттєвій економії затрат на проведення операцій перевірки, так як зникає необхідність проведення матеріально затратних операцій монтажу-демонтажу ПЛГ і їх транспортування до відповідних організацій по проведенню державного метрологічного нагляду за ПЛГ.

2.4 Дослідження теплообмінних процесів в еталонних установках для калібрування лічильників газу

Точне передавання одиниці об'єму до лічильників газу при їх первинній і періодичній перевірках є актуальною задачею. Необхідної достовірності результатів метрологічного перевіряння лічильників газу неможливо досягнути без герметичності внутрішньої порожнини еталонних установок, на результати метрологічного дослідження яких суттєво можуть впливати теплообмінні процеси.

В нормативному документі [110] показнику герметичності при повірці лічильників газу приділено недостатньо уваги - не конкретизовано основні вимоги, хоча стверджується про необхідність перевіряння герметичності. Крім того, окремі кількісні характеристики показників, які впливають на герметичність, практично не регламентуються. Одним із таких показників є зміна тиску в замкненій системі еталонної установки, яка впродовж 3-5 хвилин не повинна бути виявленою [111]. В нормативному документі на повірку побутових лічильників газу [13] зроблені спроби нормувати показник герметичності за зміною тиску за певний час, але теоретичне обґрунтування і експериментальне підтвердження цих значень практично відсутнє.

Як відомо, в кожній еталонній витратовимірювальній установці для метрологічних досліджень лічильників газу можна виділити пневматичну систему, яка формується об'ємом вузла чи конструктивного елемента відтворення або вимірювання об'єму чи витрати газу і об'ємом вимірювального трубопроводу, де монтується на період випробування досліджуваній лічильник газу [138]. Далі будемо називати цю частину еталонних установок пневматичною системою. Тому очевидним є те, що пневматична система установки для повірки лічильників газу разом із лічильником газу повинна бути герметичною для забезпечення достовірності результатів повірки.

Основні схеми еталонних установок для повірки лічильників газу наведені в [13]. За способом створення потоку газу їх можна розділити на дві групи. В установках дзвонового або поршневого типу для повірки лічильників газу створюється надлишковий тиск, який перевищує гідравлічні втрати тиску в лічильниках при їх функціонуванні. Такі установки можна віднести до установок низького або високого надлишкового тиску. В деяких конструкціях установок з еталонними лічильниками газу [102] та установках із критичними соплами [71, 79] створюють розрідження на деяку величину, які можна віднести до установок з пониженим робочим тиском (менше атмосферного).

Теплообмінні процеси, які проходять в пневматичних системах установки, вимагають часу на їх завершення або стабілізацію, наприклад, при зміні робочого тиску, що потребує врахування протікання цього процесу і є надзвичайно важливим аргументом при визначенні степені негерметичності системи.

Тому необхідним є розроблення математичної моделі теплообмінних процесів в пневматичних системах еталонних установок та дослідження тривалості часу завершення теплообмінних процесів для вибору моменту початку вимірювального процесу з врахуванням допустимого значення негерметичності [138].

Згідно нормативних документів [107, 108] герметичність пневматичної системи установок надлишкового тиску з змонтованим для випробування лічильником вважають герметичною, якщо при закритому вихідному отворі витік повітря з неї менший від об'єму, що за час метрологічної перевірки лічильників газу не перевищуватиме 0,1% від пропущеного об'єму за найменшої витрати, при якій випробовується лічильник, або якщо витік повітря не більший 0,1 дм³/год.

Герметичність пневматичної системи в установках з пониженим робочим тиском, яка складається з повірочної лінії з еталонними лічильниками газу та лічильниками, які випробовують, створюють в системі розрідження 1200...1500 Па. Далі витримують установку впродовж не менше 30 хвилин. При перевірці установки на герметичність зміна температури робочого середовища не повинна перевищувати 0,2°C. Установка вважають герметичною, якщо при випробуванні розрідженням протягом останніх 10 хвилин покази засобів вимірювання тиску не змінилися або витік повітря з установки був менший від двох величин: 0,1 дм³/год або об'єму, що не перевищує 0,1% від пропущеного об'єму за найменшої витрати [13].

Методи та засоби контролю негерметичності, які зазначені вище є недосконалими, так як не передбачають визначення конкретної тривалості часу на стабілізацію теплообмінних процесів повітря при зміні тиску.

Час t_{II} , який необхідний для повірки лічильників газу, встановлюється в технічних умовах і методиках повірки на відповідні типи лічильників газу і визначається за формулою:

$$t_{II} = V_K/q_o, \text{ с}, \quad (2.28)$$

де V_K - контрольний об'єм, м^3 , q_o - значення витрати газу, на якій повіряють лічильник, $\text{м}^3/\text{с}$.

Приклади розрахунку тривалості повірки за формулою (2.28) подані в табл.2.9.

Таблиця 2.9 – Тривалість повірки t_{II} лічильників газу в залежності від витрати та вибраного контрольного об'єму

Типо-розмір лічильника	Мінімальна витрата			Максимальна витрата		
	$q_{min}, \text{м}^3/\text{ГОД}$	$V_K, \text{м}$	$t_{II}, \text{с}$	$q_{max}, \text{м}^3/\text{ГОД}$	$V_K, \text{м}^3$	$t_{II}, \text{с}$
G 1,6	0,016	0,02	4500	2,5	0,05	72
G 2,5	0,025	0,02	2880	4,0	0,10	90
G 4,0	0,040	0,02	1800	6,0	0,10	57,6
G 6,0	0,060	0,02	1200	10,0	0,20	72
G 10	0,100	0,02	720	16,0	0,20	45

Нормування показників герметичності для лічильників газу в [12, 23-24] відсутнє і стверджується, що витіки не повинні спостерігатися. В літературі [109-112] описуються методики нормування герметичності з врахуванням вимірювання потоку витіку газу. Зокрема, в стандарті [110] норма герметичності визначається як найбільша сумарна витрата через негерметичність посудин, при якій забезпечується працездатність посудини або приладу відповідно до нормативної документації на даний прилад або посудину. Тому на думку авторів [138], такий підхід щодо дослідження показників герметичності може вирішити задачу нормування параметрів герметичності.

Як відомо, абсолютна герметичність є недосяжною, тому її необхідно розглядати як поняття відносне і можна стверджувати тільки про ступінь

герметичності. При цьому необхідна ступінь герметичності пневматичної системи характеризується найменшими значеннями витікання робочого середовища для установок надлишкового тиску і притоку повітря з навколишнього середовища – для установок з пониженим робочим тиском, що встановлюють за результатами контролю. Кількісну величину локального витікання характеризують об'ємом повітря, який витікає за одиницю часу в атмосферу (або поступає в установку з атмосфери в установках, які функціонують при тисках менших від атмосферного).

Одним із найбільш поширених методів перевірки герметичності є метод врахування зміни тиску і, відповідно, зміни контрольного об'єму газу в пневматичній системі разом з досліджуваними приладами [109].

Для визначення як стаціонарних, так і нестаціонарних газових витоків можна застосовувати таке рівняння в диференціальній формі, яке враховує зміну тиску та об'єму в ємності при витіканні з неї газу [109]:

$$q = \frac{d(PV)}{dt} = P \frac{dV}{dt} + V \frac{dP}{dt}, \quad (2.29)$$

де q - потік витоку газу через нещільності пневматичної системи, $\text{м}^3\text{Па/с}$, P , V – тиск і об'єм газу в системі відповідно, $\frac{dV}{dt}$, $\frac{dP}{dt}$ – швидкості зміни в часі об'єму і тиску газу відповідно.

Відповідно до рівняння (2.29) для розрахунку потоків газу можна використовувати два методи: постійного тиску і постійного об'єму. При $P = \text{const}$ потік газу становить:

$$q_p = P dV / dt, \quad (2.30)$$

а його вимірювання здійснюється за швидкістю зміни об'єму в камері з постійним тиском. Це явище має місце при перевірці герметичності дзвонових установок, в яких значення тиску визначається вагою дзвона [107].

При $V = \text{const}$ потік газу можна записати $q_v = V dP / dt$, а його вимірювання здійснюється за швидкістю зміни тиску газу в системі постійного об'єму, наприклад, в установках з робочими еталонами [102, 108].

Виходячи із рівняння (2.30) витоки газу через негерметичність пневматичної системи можна визначити аналогічно до [110] як зміну потоку Δq при зміні об'єму газу ΔV за час τ під дією тиску P в пневматичній системі, тобто:

$$\Delta q = (\Delta V/\tau) \cdot P. \quad (2.31)$$

Із наведеного аналізу стає зрозумілим, що допустима зміна об'єму внаслідок негерметичності пневматичної системи установок для повірки лічильників газу і лічильників газу повинна бути такою, щоб не впливати на достовірність результатів повірки лічильників газу. Тобто при реалізації такого підходу необхідно враховувати контрольний об'єм, який буде пропущений через лічильник газу при його повірці, тривалість часу повірки, тиск в пневматичній системі установки при повірці лічильників газу з урахуванням допустимого значення похибки лічильників газу і установки.

Об'єм витоку повинен мати значення не більше 0,1% від контрольного об'єму V_K при мінімальній витраті лічильника газу [107, 108], тобто допустиме значення витоку або натікання в пневматичній системі не повинно перевищувати $0,001 V_K$. Так, наприклад, при контрольному об'ємі $V_K=0,02 \text{ м}^3$ для побутових лічильників газу допустиме значення об'єму витоку не повинно перевищувати $\Delta V = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ за час повірки лічильника газу $t=4500\text{с}$.

Більш точними вимірюваннями в нашому випадку є параметр зміни тиску ΔP при зміні контрольного об'єму V_K . Тому доцільно нормувати параметр ΔP за час τ перевірки герметичності системи.

Приймаючи процес ізотермічним, можна вважати пропорційними зміни тиску і зміни об'єму, тобто $\Delta P/P = \Delta V/V$. Тому допустиме значення різниці тиску ΔP при допустимій зміні об'єму ΔV за певний час при заданому тиску P в системі можна визначити за формулою:

$$\Delta P = (\Delta V/V) P. \quad (2.32)$$

Так як перевірку герметичності установок необхідно здійснювати тільки після завершення теплообмінних процесів зупинимося більш детально на дослідженні саме цих процесів.

Змоделюємо теплообмінні процеси, які проходять з повітрям під дзвоном еталонної установки для відтворення і вимірювання об'єму газу [107,114]. Зауважимо, що в установках з пониженим робочим тиском теплообмінні процеси будуть описуватися аналогічними законами.

При підготовчому процесі, тобто при заповненні дзвона його переміщення до верхнього положення здійснюють шляхом подачі повітря від вентилятора під тиском наповнення P_H більшим від робочого тиску $P_{роб}$ під дзвоном при пропусканні контрольного об'єму, при цьому $P_H = (1,03 \dots 1,05)P_{роб}$. Повітря під дзвоном в момент закінчення його наповнення характеризується абсолютним тиском - P_H і абсолютною температурою - T_H . Після завершення перехідного процесу у верхньому положенні дзвона тиск повітря під ним зміниться до $P_{роб}$ і, відповідно, зміниться температура до $T_{роб}$. Їх зміну можна подати згідно адіабатного процесу:

$$P \cdot T^{k(1-k)} = const, \quad (2.33)$$

де $k = C_p / C_v$ - показник адіабати, який записується через співвідношення теплоємностей повітря під дзвоном при постійному тиску C_p і постійному об'ємі C_v .

Тобто для згаданих двох станів газу $P_H \cdot T_H^{k(1-k)} = P_{роб} \cdot T_{роб}^{k(1-k)}$ можна визначити $T_{роб}$ за виразом:

$$T_{роб} = T_H \left(\frac{P_H}{P_{роб}} \right)^{\frac{(1-k)}{k}}. \quad (2.34)$$

Відомо, що температура під дзвоном буде зменшуватися від початкового значення T_H до температури елементів дзвону $T_{роб}$ (ємність з розділювальною рідиною та дзвін), так як температура цих елементів стабільна.

В процесі підготовки до випробування, тобто перед пропусканням контрольного об'єму тиск під дзвоном $P_{роб}$ є величиною постійною за рахунок його стабілізації постійною вагою дзвона. Тоді термодинамічні процеси будуть протікати за ізобарним законом, коли змінюються тільки

температура T під дзвоном, яка буде зменшуватися. При цьому буде виділятися певна кількість тепла:

$$dQ = C_p dT. \quad (2.35)$$

З другої сторони, за час dt кількість тепла, переданого повітрям під дзвоном від елементів дзвонової установки, знаходимо за відомою формулою Ньютона-Ріхмана:

$$dQ = -\alpha \cdot S(T - T_p)dt, \quad (2.36)$$

де α - коефіцієнт теплопередачі, який враховує вплив розділювальної рідини, ємності і поверхні дзвона; S - площа поверхні теплопередачі; T - температура повітря під дзвоном в момент t процесу температурної стабілізації, $T_{роб}$ - робоча температура елементів дзвонової установки, яка відповідає умовам її функціонування.

Прирівняємо рівняння (2.35) і (2.36) і отримаємо таке диференціальне рівняння:

$$C_p dT = -\alpha \cdot S(T - T_{роб})dt, \quad (2.37)$$

яке запишемо у вигляді:

$$\frac{dT}{T - T_{роб}} = -\frac{\alpha \cdot S}{C_p} dt. \quad (2.38)$$

Після інтегрування виразу (2.38) отримаємо:

$$\ln(T - T_{роб}) = -\frac{\alpha S}{C_p} t + \ln C. \quad (2.39)$$

Враховуючи початкові умови, тобто $T = T_H$ при $t = 0$, визначимо постійну інтегрування $C = (T_H - T_{роб})$. Далі з рівняння (2.39) з врахуванням постійної інтегрування можна отримати вираз, який описує стан повітря під дзвоном в процесі підготовки до пропускання контрольного об'єму, тобто при стабілізації робочих параметрів дзвонової установки:

$$T = T_{роб} + (T_H - T_{роб}) e^{\frac{\alpha S}{C_p} t}. \quad (2.40)$$

Коефіцієнт α можна знайти із умови вимірювання температури під дзвоном $T = T_e$ впродовж часу експериментального дослідження t_e , тобто

$$\alpha = \frac{C_p}{S \cdot t_e} \left[\ln(T_H - T_{роб}) - \ln(T_e - T_{роб}) \right]. \quad (2.41)$$

Тому далі при відомому значенні α можна записати залежність тривалості теплообмінних процесів до досягнення певної температури T повітря під дзвоном при відомих робочих температурах $T_{роб}$ і температурі повітря при наповненні дзвона T_H :

$$t_\alpha = \frac{C_p}{S \cdot \alpha} \left[\ln(T_H - T_{роб}) - \ln(T_\alpha - T_{роб}) \right]. \quad (2.42)$$

Отримане рівняння (2.41) можна використати при експериментальному визначенні коефіцієнта теплопередачі α . В свою чергу рівняння (2.42) дозволяє визначати час витримки дзвона у верхньому положенні для вирівнювання температури повітря під дзвоном з робочою температурою вузлів дзвонової установки.

Для експериментальних досліджень була взята установка РЕОВГ-02 [114]. В ній здійснювався контроль параметрів: тиск під дзвоном P_H і температура під дзвоном T_H при завершенні наповнення дзвона, а також тиск P і температура під дзвоном T під час процесу стабілізації температури повітря і температура замкової рідини під дзвоном $T_{роб}$, яка характеризує температуру вузлів і елементів дзвону.

Результати дослідження [138] наведені на рис.2.17. Використані константи для повітря становили: $C_p = 1,004 \text{ кДж} / (\text{кгК})$, $C_v = 0,716 \text{ кДж} / (\text{кгК})$ та $k = C_p / C_v = 1,401$. Експериментально визначений коефіцієнт теплопередачі α становить $\alpha = 4,61 \cdot 10^{-1} \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{с}$.

З врахуванням фактичних конструктивних параметрів отримано зміну температури повітря під дзвоном (рис. 2.17), яка характеризує теплообмінні процеси стосовно наближення температури повітря під дзвоном до робочої $T_{роб}$. Встановлено, що цей процес може мати досить великий час стабілізації. Критерієм завершення теплообмінних процесів повинно бути допустиме залишкове значення цієї зміни, наприклад $0,15^\circ\text{C}$.

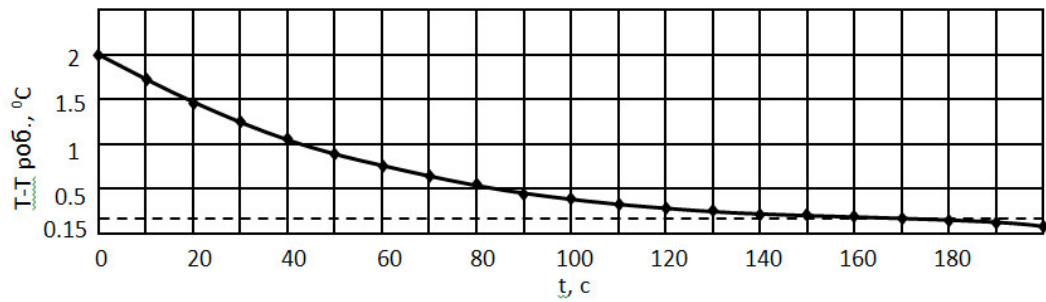


Рисунок 2.17 – Залежність зміни різниці температур повітря під дзвоном і робочої температури установки від тривалості теплообмінного процесу

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що теплообмінні процеси в піддзвоновому просторі при нерухомому дзоні у верхньому положенні є суттєвими, а через 150...180с ці зміни є незначними і установка може бути використана в експлуатаційних умовах, тобто для повірки лічильників газу або робочих еталонів.

Якщо взяти до уваги, що допустиму залишкову зміну температури повітря під дзвоном можна прийняти не більше як 0,15 сС, тобто 0,05% , тоді відповідно зміна об'єму не буде перевищувати 0,02%.

2.5 Моделювання теплообмінних процесів в еталонних установках з ємністю під тиском

Останнім часом значна увага приділяється створенню еталонних установок для калібрування лічильників і витратомірів газу, які можуть працювати на повітрі і реальному природному газі, і водночас повинні забезпечувати високу точність вимірювання. Цим завданням в значній мірі відповідають установки з ємністю під тиском (PVTt - типу), принцип дії яких базується на заповненні або витіканні газу із ємності через досліджуваний прилад з фіксацією параметрів робочого середовища на початку і при завершенні вимірювального процесу. Вивчення особливостей функціонування цих установок показало, що підвищення їх точності

можливо за рахунок більш детального врахування нестационарності фізичних процесів, які мають місце при їх роботі.

Одним із напрямків дослідження фізичних процесів в установках PVTt – типу є процес заповнення ємності установки робочим середовищем [148].

Використання програмного забезпечення “ANSYS Fluent” дало можливість змоделювати розподіл температури в ємності в різні моменти часу від початку її заповнення. Отримані результати (рис. 2.18) наведені для горизонтальної ємності об’ємом 3 м^3 і стосуються її заповнення через горизонтальний вхідний патрубок діаметром 100 мм від джерела природного газу (4,2 МПа) за умови різкого відкриття запірного крану.

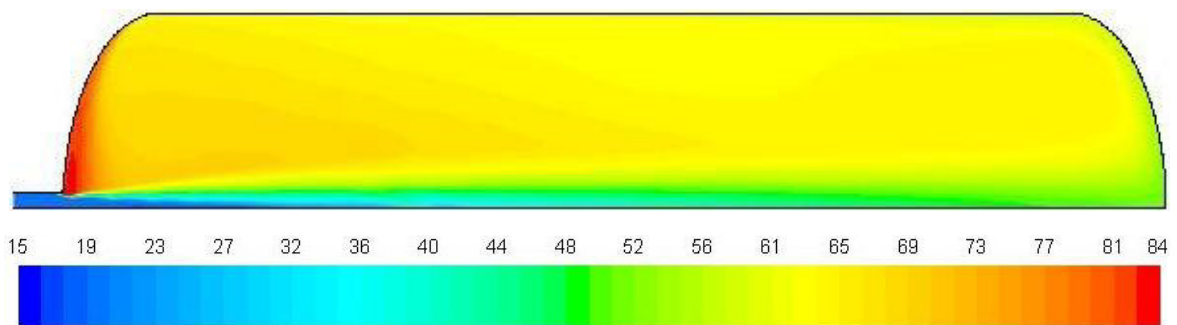


Рисунок 2.18 – Температурне поле поздовжнього перерізу ємності через 0,4 с після початку її заповнення

Отримані результати свідчать про можливість виникнення суттєвого перепаду температур всередині ємності (від 15 до 84°C) при її заповненні, що обґрунтовує необхідність вибору правильного алгоритму відкриття вхідного крану і необхідності врахування термодинамічних стабілізуючих процесів перед реалізацією процесу вимірювання. Результати моделювання дали можливість дослідити різні режими наповнення ємності з метою зменшення дестабілізуючого впливу на роботу установок PVTt – типу.

У досліджуваних умовах течія газового струменя відбувається в надзвуковій області ($\text{Ma} > 1$). Як видно з рис. 2.19 для моменту часу $t = 0,4 \text{ с}$ значення числа Маха досягає приблизно 2,4 на вході в резервуар. Далі вниз по потоку спостерігаються стрибки стиснення і ущільнення. На деякій відстані від вхідного перерізу в резервуарі (приблизно 1 м) число Маха монотонно зменшується уздовж осі струменя (рис. 2.20).

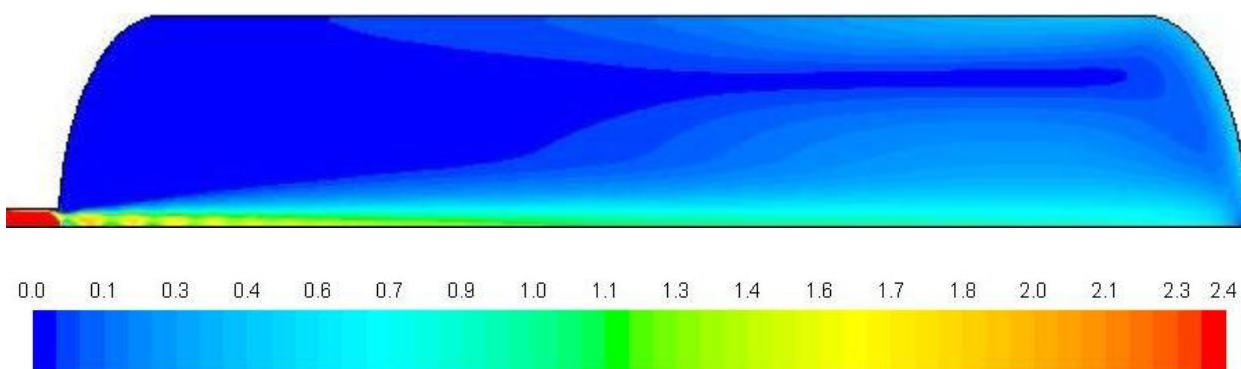


Рисунок 2.19 – Поля числа Маха в поздовжньому перерізі ємності в момент часу від початку заповнення газом $t = 0,4$ с

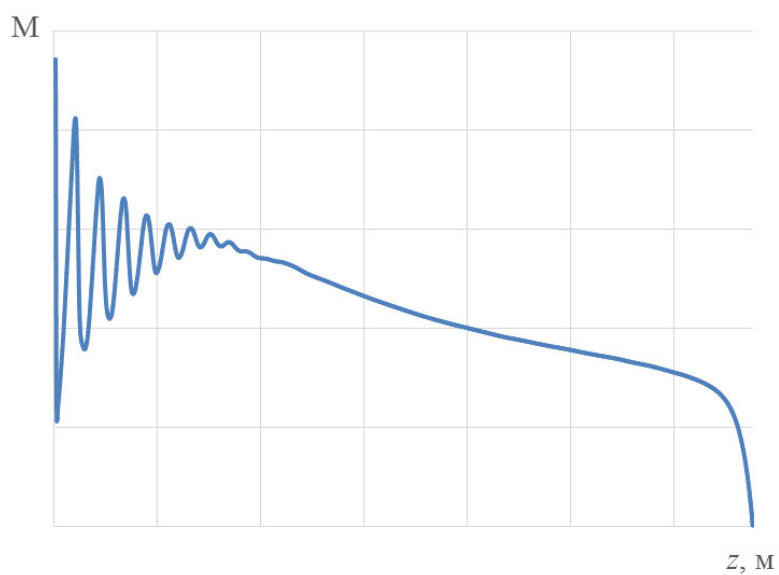


Рисунок 2.20 – Розподіл числа Маха вздовж осі ємності в момент часу $t = 0,4$ с від початку заповнення газом

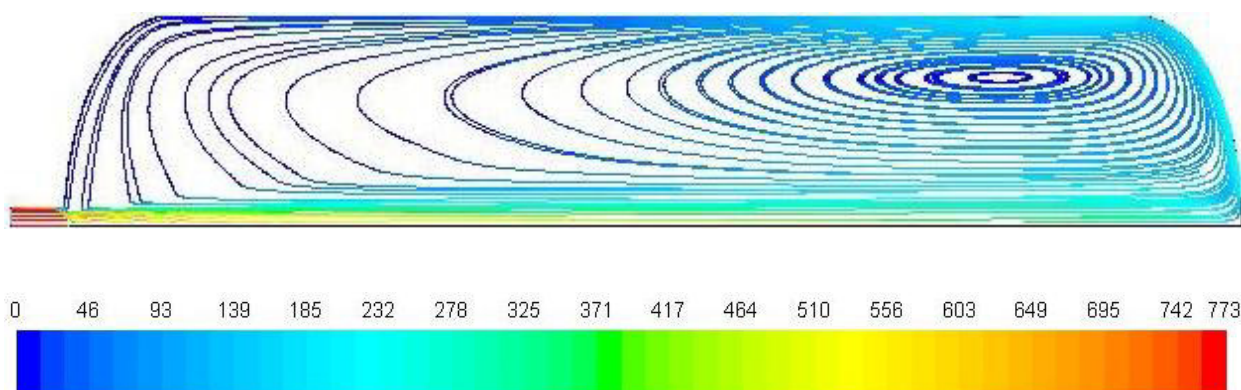


Рисунок 2.21 – Лінії потоку в поздовжньому перерізі ємності в момент часу від початку заповнення газом $t = 0,4$ с

Рис. 2.21 ілюструє лінії течії газу для моменту часу $t = 0,4$ с. Згідно з наведеними даними під час розвитку струменя вглиб резервуара значення швидкостей помітно падають. Значну частину резервуара займає рециркуляційна зона, центр якої зміщений до його задньої стінки.

На рис. 2.22 показані поля температури в досліджуваному резервуарі в різні моменти часу. Протягом заповнення газом значення температур істотно змінюються. Так, якщо в момент часу $0,1$ с максимальна температура в резервуарі досягає приблизно 40 °С, то при $t = 0,2; 0,3$ і $0,4$ с - $59; 73; 84$ °С, відповідно.

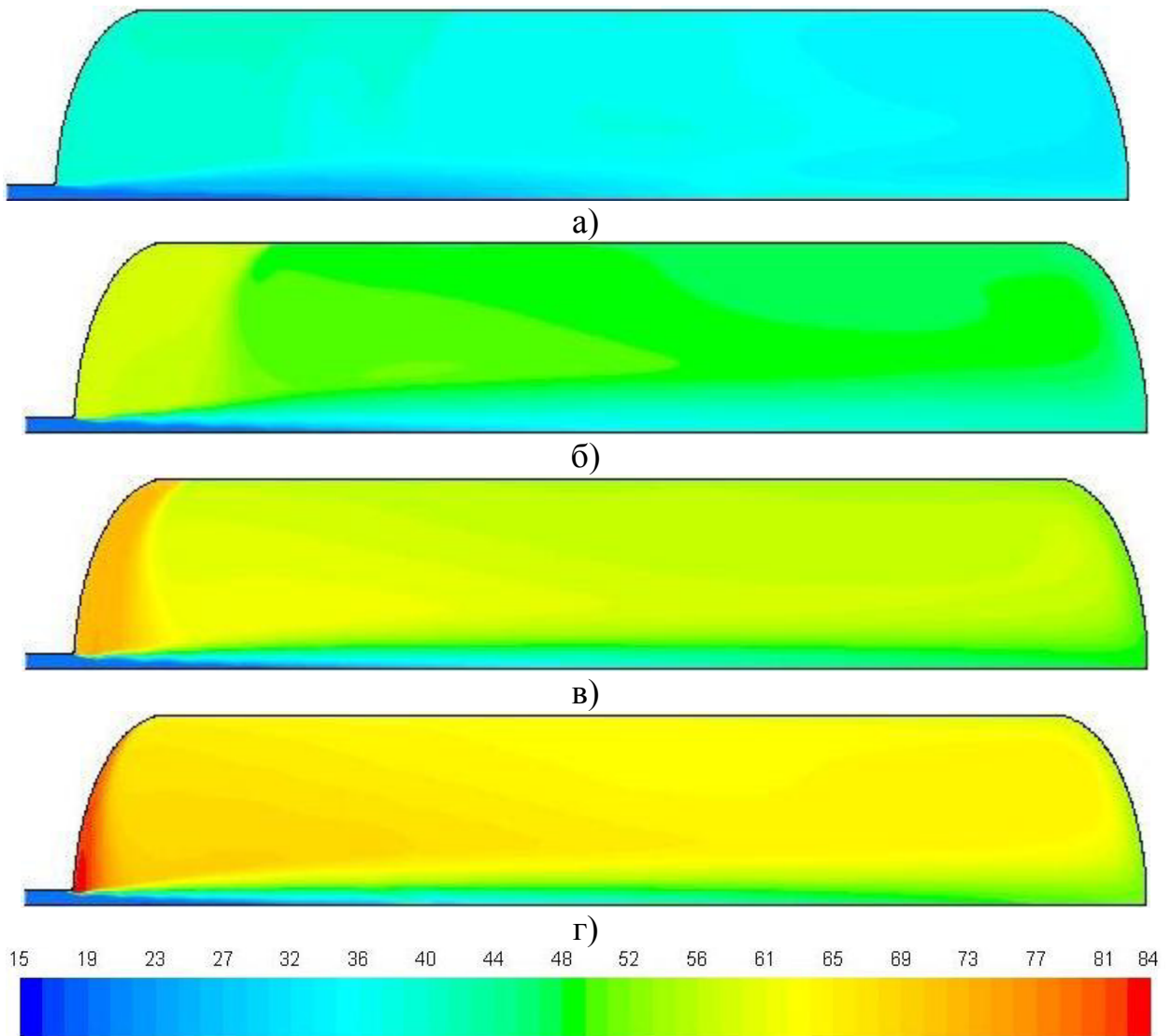


Рисунок 2.22 – Поля температури в поздовжньому перерізі ємності в різні моменти часу від початку заповнення метаном: а) $t = 0,1$ с; б) $t = 0,2$ с; в) $t = 0,3$ с; г) $t = 0,4$ с

Значна нерівномірність розподілу температури спостерігається і по об'єму резервуара. Мінімальні рівні температури газу мають місце, на початковій ділянці розвитку надзвукового струменя поблизу його осі, а порівняно високі – в області прилеглий до передньої стінки резервуара.

2.6 Висновки до розділу 2

1. Встановлені статистичні закономірності зміни похибки ПЛГ, що дозволило сформулювати новий експериментально-розрахунковий метод визначення їх похибки за обмеженим діапазоном контрольованих витрат, який дозволяє реалізувати бездемонтажне метрологічне перевіряння ПЛГ за місцем експлуатації у всьому діапазоні робочих витрат.

2. Досліджено вплив експлуатаційних характерних факторів на метрологічні характеристики ПЛГ, що дозволяє коригувати міжповірочний інтервал для ПЛГ шляхом його збільшення за умови вимірювання лічильниками впродовж міжповірочного інтервалу не більше певної кількості газу, яка, наприклад, для лічильників типорозміру G4 не повинна перевищувати 30 тис. м³.

3. Отримана математична модель теплообмінних процесів в пневматичній системі постійного об'єму дзвонових еталонних установок. За допомогою отриманих залежностей можна визначити час завершення теплообмінних процесів і, відповідно, час початку вимірювального процесу з врахуванням допустимого значення негерметичності. Визначена допустима зміна об'єму внаслідок негерметичності пневматичної системи повірочних установок для лічильників газу, яка повинна бути такою, щоб не впливати на достовірність результатів повірки лічильників. Встановлено, що при виборі допустимого значення негерметичності необхідно враховувати контрольний об'єм, який буде пропущений через лічильник газу при його повірці, а також час повірки, робочий тиск в установці, допустиме значення похибок лічильників газу і установки.

4. Розглянуто новий патенто захищений метод метрологічного перевіряння ПЛГ, який передбачає експериментальне визначення похибки за обмеженим діапазоном робочих витрат, серед яких є дві нормовані витрати, що відповідають мінімальній витраті і витраті 20% від максимальної для конкретного типорозміру ПЛГ. При цьому похибку при функціонуванні ПЛГ за максимальної витрати визначають на базі запропонованого експериментально-розрахункового методу.

5. Досліджені шляхом математичного моделювання з використанням програмного забезпечення ANSYS Fluent термодинамічні процеси в еталонних установках з ємністю під тиском, які розкривають особливості зміни градієнта температури в ємності при її наповненні, що дозволяє формулювати робочі параметри і форму ємності при використанні її як вузла еталонних установок для калібрування лічильників газу.

РОЗДІЛ 3. ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАСОБІВ МЕТРОЛОГІЧНОГО ПЕРЕВІРЯННЯ ПЛГ

3.1 Розроблення технічних рішень для побудови засобів бездемонтажного метрологічного перевіряння ПЛГ

Розроблення технічних рішень базується на порівнянні з відомими підходами і вивченні їх недоліків.

Відомий спосіб бездемонтажного діагностування побутових лічильників газу в експлуатації [44, 45] здійснюють без втручання в будинкову газову мережу шляхом порівняння попередньо розрахованої величини об'єму газу, який спалюється застосуванням визначеної комбінації пальників газоспоживного обладнання, з об'ємом газу, відрахованого побутовим лічильником газу за період проведення контролю.

Цей спосіб дозволяє діагностувати метрологічні характеристики лічильників газу без їх демонтажу з лінії газопостачання при наявності відомого значення нижчої теплоти згоряння природного газу, яка попередньо визначається за результатами досліджень вимірювальної лабораторії газозбутових організацій, і вимірюваних значень надлишкового тиску і температури природного газу у будинковому газопроводі після лічильника газу. Однак цей спосіб характеризується недостатньою точністю, оскільки розрахована теплота згоряння газу у споживача, яку визначають з достатньо великою методичною похибкою (не менше 1 %), може суттєво відрізнятись від експериментально визначених якісних параметрів газу внаслідок наявності транспортної затримки газу до споживачів від місця проведення його контролю. 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 наявність можливих забруднень в отворах звужувальних пристроїв пальників газоспоживного обладнання від неякісного природного газу також може суттєво змінити їх технічні характеристики і знижує точність діагностування ПЛГ.

Відомим також є пристрій, за допомогою якого реалізують спосіб діагностування та перевірки побутових лічильників газу за зміною фактичних метрологічних характеристик побутових лічильників газу безпосередньо на діючій лінії газопостачання шляхом порівняння величини об'єму газу, відміряного побутовим лічильником, з об'ємом газу, який розрахований за результатами вимірювань проградуйованого спеціального звужувального пристрою [73].

Конструктивно цей пристрій містить попередньо проградуйовані разом з приєднувальними трубопроводами спеціальні звужувальні пристрої з давачами параметрів тиску і температури природного газу у прилеглий ділянці приєднувального трубопроводу перед звужувальним пристроєм. При конструктивній реалізації цього способу значення параметрів тиску і температури газу на побутовому лічильнику розраховують шляхом їх вимірювання у прилеглий ділянці приєднувального трубопроводу перед звужувальним пристроєм з наступним приведенням до умов побутового лічильника газу згідно заданої витрати і технологічних параметрів з'єднувальних трубопроводів між побутовим лічильником газу і звужувальним пристроєм.

Однак конструктивна реалізація даного способу характеризується складністю, оскільки вимірювання тиску і температури робочого середовища, наприклад, природного газу у прилеглий ділянці приєднувального трубопроводу перед звужувальним пристроєм 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 звужувальними пристроями із прилеглими ділянками та засобами вимірювальної техніки для визначення тиску, температури і 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.

Розроблений комплексний пристрій для бездемонтажного діагностування та перевірки ПЛГ [88] порівняно з [73] додатково містить щонайменше один технологічний вузол відбору природного газу з давачами тиску, температури і густини природного газу, який вмонтований в один із запірних кранів експлуатаційного газоспоживного обладнання, і містить проградуйований разом з приєднувальним трубопроводом експлуатаційного газоспоживного обладнання звужувальний пристрій, який вмонтований щонайменше в один із пальників експлуатаційного 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 нового патентозахищеного за участю здобувачки дисертації пристрою для бездемонтажного діагностування ПЛГ [88] полягає у застосуванні установки на базі попередньо проградуйованих ЗП (торцеві сопла), які монтуються на час дослідження безпосередньо у пальниках газоспалювального обладнання замість ЗП, яким комплектується газоспоживне обладнання (рис. 3.1).

відбору природного газу, приєднувальний трубопровід 18 до другого комплектного ЗП 19, пальник 20.

Запропонований пристрій працює наступним чином. Спочатку при закритому перекривному вентилі 14 до одного із запірних кранів, наприклад 2, під'єднують технологічний вузол 1 із давачами 5-7 параметрів газу. Потім замість комплектного ЗП 10 пальника 11 в залежності від вибраного значення досліджуваної витрати, наприклад мінімальної, монтують необхідний попередньо проградуїований у відповідності до конструкції прилеглого приєднувального трубопроводу 9 спеціальний ЗП із їх набору для відтворення різних значень витрат газу. Далі відкривають вентиль 14 і кран 2 подачі газу до пальника 11 і запалюють його. При цьому газ протікає через побутовий лічильник 12, з'єднувальний трубопровід 15, внутрішній технологічний трубопровід 3 газоспоживного обладнання 4, відкритий кран 2 і приєднувальний трубопровід 9 до спеціального ЗП 10.

Наступною операцією є проведення візуального або за допомогою спеціального пристрою відліків моменту початку і кінця пропускання контрольного об'єму газу і вимірювання при цьому тиску, температури і густини природного газу. Вказана інформація поступає на ПЕОМ 8 по лінії 17 і від давачів 5-7 відповідно.

Похибка ПЛГ під час його діагностування або перевірки обчислюється за наступною формулою:

$$\delta = \left(\frac{V}{V_0} \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T} - 1 \right) 100, \% , \quad (3.1)$$

де V і V_0 – об'єми газу, виміряні досліджуваним ПЛГ і розраховані опосередкованим методом з використанням градуїованого звужувального пристрою відповідно; p , p_0 , T , T_0 – значення абсолютних тисків і абсолютних температур на досліджуваному ПЛГ і перед звужувальним пристроєм відповідно.

Об'єм природного газу, що проходить через звужувальний пристрій, розраховується за формулою:

$$V_o = \alpha \cdot \varepsilon \cdot F_o \cdot \tau \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_o}}, \quad (3.2)$$

де α - коефіцієнт витрати спеціального звужувального пристрою, який визначений при градуюванні разом з прилеглим приєднувальним трубопроводом; ε - поправний множник на розширення газу; F_o – площа отвору звужувального пристрою; Δp – перепад тиску на звужувальному пристрої; ρ_o - густина природного газу в робочих умовах звужувального пристрою; τ - тривалість пропуску контрольного об'єму газу через ПЛГ.

Далі 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 (3.1) дають можливість зробити висновок про результати метрологічного перевіряння ПЛГ.

Перевагою такого рішення в порівнянні з попереднім є відсутність необхідності у виготовленні як цілісного обладнання установки для метрологічної перевірки ПЛГ, що суттєво спрощує її конструктивне виконання. Однак при цьому метод також вимагає попереднього градуювання ЗП на робочому середовищі (природний газ) або їх градуювання на повітрі із застосуванням методики передачі одиниць вимірювання за умов зміни виду робочого середовища [10, 83].

Описані вище пристрої хоча і дозволяють перевіряти метрологічні характеристики ПЛГ на реальному природному газі без їх демонтажу з лінії газопостачання, однак є технологічно складним для реалізації у відповідності до чинних в Україні нормативних документів, які передбачають експериментальне визначення похибки побутових лічильників при періодичній повірці не менше ніж на трьох регламентованих робочих

витратах (мінімальна витрата, 20% від значення максимальної витрати, максимальна витрата). Це пояснюється технологічною складністю і практичною неможливістю відтворення через досліджуваний ПЛГ максимальної робочої витрати, яка створюється будинковою мережею і обов'язково повинна перевищувати витрату, яка може мати місце при одночасному функціонуванні всіх пристроїв квартирного газоспоживного обладнання.

Крім того, ці пристрої не можуть здійснювати метрологічну перевірку ПЛГ з використанням повітря як робочого середовища, що на сьогоднішній день регламентовано чинними нормативними документами України [12, 13].

Тому нами розроблене нове технічне рішення [74] установки для бездемонтажного метрологічного перевіряння ПЛГ (рис. 3.2). Установка додатково обладнана джерелом робочого середовища, яке під'єднане до спеціального технологічного вузла подачі робочого середовища, змонтованого на ділянці будинкового газопроводу перед ПЛГ. Крім цього, установка додатково обладнана допоміжним еталонним вимірювальним засобом об'єму робочого середовища, наприклад лічильником, з вузлом утилізації робочого середовища, причому під'єднання допоміжного еталонного засобу здійснено через розгалужувач у з'єднувальному трубопроводі після ПЛГ перед експлуатаційним газоспоживним обладнанням.

Також установка передбачає можливість конструктивного виконання джерела робочого середовища на повітряному робочому середовищі у вигляді повітродувки або на робочому середовищі природного газу у вигляді ємності зі стиснутим природним газом.

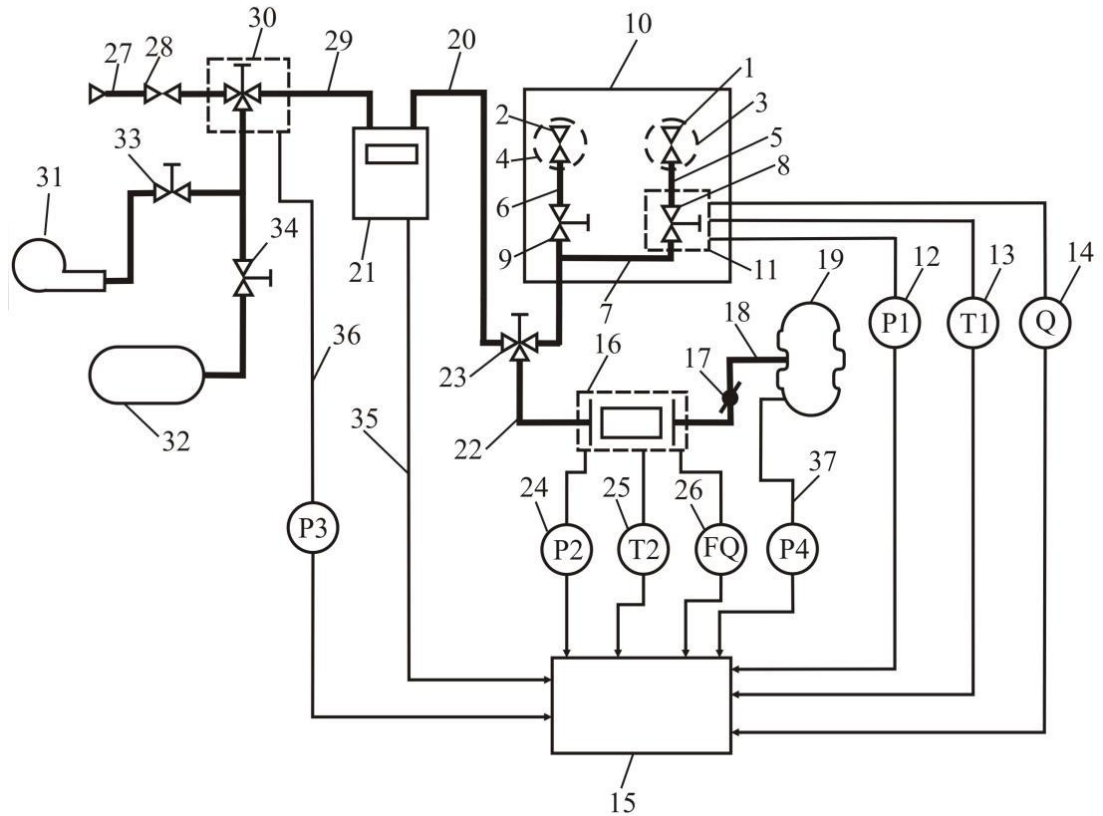


Рисунок 3.2 – Установка для бездемонтажної метрологічної перевірки ПЛГ на повітрі і природному газі

Застосування вузла утилізації робочого середовища у вигляді еластичної ємності змінного об'єму дозволяє відмовитися від спалювання природного газу при перевірці ПЛГ, що сприяє його ощадному використанню як достатньо вартісного енергоносія. Також природний газ у аспекті його ощадного застосування може бути використаний як джерело багаторазового використання робочого середовища у запропонованому комплексному пристрої при попередньому заповненні ємності зі стиснутим природним газом, яку при цьому необхідно оснастити засобом його компримування.

Застосування у запропонованому пристрої додаткового джерела робочого середовища дозволяє розширити діапазон відтворюваних робочих витрат пристрою, чим досягається можливість перевірки ПЛГ для всього діапазону їх робочих витрат, в тому числі і на максимальних. Це сприяє досягненню відповідності умов метрологічних досліджень ПЛГ до чинних

нормативних документів України в аспекті всього діапазону відтворюваних робочих витрат еталонними установками через ПЛГ, чим підвищується достовірність результатів метрологічної перевірки ПЛГ [154].

Установка містить еталонний засіб обліку робочого середовища у вигляді двох комплексних звужувальних пристроїв 1 і 2 з пальниками 3 і 4, які змонтовані з приєднувальними трубопроводами 5 і 6 у внутрішньому технологічному трубопроводі 7 із запірними кранами 8 і 9 експлуатаційного газоспоживного обладнання 10. В один із запірних кранів, як приклад 8, вмонтований технологічний вузол 11 відбору параметрів робочого середовища, який обладнаний давачами його тиску 12, температури 13 і густини 14, які через відповідні узгоджувальні пристрої під'єднані до ПЕОМ 15. Схема обладнана допоміжним еталонним вимірювальним засобом об'єму 16, наприклад лічильником робочого середовища із задавачем витрати 17 у його вихідному трубопроводі 18, який приєднаний до еластичної ємності 19 змінного об'єму. Еталонний лічильник 16 під'єднаний до з'єднувального трубопроводу 20 між ПЛГ 21 і газоспоживним обладнанням 10 за допомогою допоміжного трубопроводу 22 і розгалужувача 23. Еталонний лічильник 16 обладнаний давачами тиску 24, температури 25 і вимірюваного об'єму 26 робочого середовища, які через відповідні узгоджувальні пристрої під'єднані до ПЕОМ 15. Схема пристрою також містить ПЛГ 21, який змонтований у будинковому газопроводі 27 з перекиривним вентилям 28, з'єднувальними трубопроводами 29 і 20 з розгалужувачем 23 між ПЛГ 21 і газоспоживним обладнанням 10. У з'єднувальному трубопроводі 29 перед ПЛГ 21 змонтований спеціальний технологічний вузол 30 подачі робочого середовища від повітродувки 31 або ємності зі стисненим природним газом 32, вихідні трубопроводи яких містять відповідні запірні крани 33 і 34. На рис.4 також вказані інформаційна лінія 35 від ПЛГ 21 до ПЕОМ 15 і інформаційні лінії 36 і 37 про значення тиску робочого середовища на виході технологічного вузла 30 і у еластичній ємності 19 відповідно.

Робота пристрою полягає у можливості реалізації декількох алгоритмів функціонування, одні з яких стосуються використання природного газу як робочого середовища, а другі – використання повітря як робочого середовища.

При роботі на природному газі із застосуванням будинкового газопроводу як джерела витрати суть роботи комплексного пристрою полягає у наступному.

Спочатку при закритих перекирному вентилі 28 і запірних кранах 33, 34 до одного із запірних кранів, як приклад 8, під'єднують технологічний вузол 11 із давачами 12-14 параметрів газу. Потім замість комплектного ЗП 1 пальника 3 в залежності від вибраного значення досліджуваної витрати, наприклад мінімальної, монтують необхідний попередньо проградуїований у відповідності до конструкції прилеглого приєднувального трубопроводу 5 спеціальний ЗП із їх набору для відтворення різних значень витрат газу. Далі відкривають вентиль 28 і кран 8 подачі газу до пальника 3 і запалюють його. При цьому газ протікає через технологічний вузол 30, з'єднувальний трубопровід 29, ПЛГ 21, з'єднувальний трубопровід 20, розгалуджувач 23, внутрішній технологічний трубопровід 7 газоспоживного обладнання 10, відкритий кран 8 і приєднувальний трубопровід 5 до спеціального ЗП 1. За цих умов положення запірного вузла у розгалуджувачі 23 перекирає подачу газу до трубопроводу 22.

Наступною операцією є проведення візуального або за допомогою спеціального пристрою відліків моменту початку і кінця пропускання контрольного об'єму газу і вимірювання при цьому тиску, температури і густини природного газу. Вказана інформація поступає до ПЕОМ 15 по лінії 35 і від давачів 12-14 відповідно.

Похибку ПЛГ під час його метрологічного перевіряння за цих умов обчислюють за алгоритмом (3.1)-(3.2), який повинен бути конкретизований до конструктивного виконання еталонного засобу і до виду робочого середовища, на якому функціонує перевірна установка.

3.2 Дослідження гідравлічних витратних характеристик нестандартних звужувальних пристроїв при розробленні мобільних перевірочних установок

Методика вимірювання об'єму газу із використанням торцевих ЗП фактично є опосередкованим вимірюванням витрати, суть якої зводиться до застосування торцевих ЗП як еталонних засобів, які укомплектовані давачами тиску і температури робочого середовища [67, 74, 115].

Оскільки вимірювання витрати необхідно здійснювати при малих числах Рейнольдса Re , а теоретичне обґрунтування за таких умов вимірювання свідчить про можливу непостійність коефіцієнта витрати, доцільно при дослідженні встановити закономірності зміни коефіцієнта витрати торцевих ЗП [137].

В цьому аспекті відомими є дослідження [116] щодо експериментального визначення коефіцієнта витрати ЗП в залежності від модуля m і Re . Для їх реалізації використовувалась гідравлічна установка, на якій проводились вимірювання масової витрати Q_M , перепаду тиску на ЗП Δp , температури T та тиску p води (робочого середовища) з урахуванням її густини ρ для умов досліджень.

Коефіцієнт витрати α при застосуванні експериментального підходу визначався з рівняння:

$$\alpha = Q_M / \left(\frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2\rho\Delta p} \right). \quad (3.3)$$

За цих умов досліди стосуються випадку коли коефіцієнт розширення робочого середовища $\varepsilon=1$. Розрахунок коефіцієнта витрати здійснювався з використанням функції виду $\alpha = f(Re, m, D)$.

Відомою також є методологія досліджень [117], яка дозволяє визначати коефіцієнт розширення ε для стискуваних середовищ, наприклад, природного газу чи повітря при їх протіканні через ЗП. При цьому за результатами вимірювань масової витрати обчислюється добуток $\alpha\varepsilon$:

$$\alpha \cdot \varepsilon = Q_M / \left(\frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2\rho \Delta p} \right). \quad (3.4)$$

Коефіцієнт розширення ε робочого середовища при проходженні через досліджуваний ЗП визначається за виразом:

$$\varepsilon = (\alpha \cdot \varepsilon) / \alpha. \quad (3.5)$$

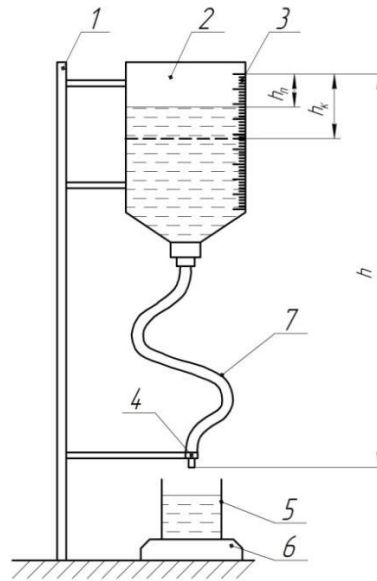
Коефіцієнт розширення визначається в наступному вигляді $\varepsilon = f(\Delta p / p, m)$.

Такий підхід дає можливість проводити перевірку результатів теоретичного моделювання витратомірів змінного перепаду тиску і досліджувати вплив виду робочого середовища на точність вимірювання. Однак такий підхід характеризується недостатньою точністю, оскільки це розрахунковий метод.

Визначення гідравлічних витратних характеристик нестандартних ЗП експериментальним методом дає можливість їх застосування після перерахунку для умов вимірювання малих витрат газу, які стосуються побутових лічильників газу.

Для практичної побудови гідравлічних витратних характеристик нестандартних ЗП розроблений лабораторний стенд (рис. 3.3), який забезпечує можливість визначення коефіцієнта витрати α торцевого ЗП або добутку αF в залежності від модуля ЗП m і числа Re на воді ($\varepsilon=1$). Стенд складається з закріпленої на штативі 1 мірної ємності для рідини 2 з контрольною лінійкою 3 для визначення рівня і відповідно перепаду тиску на ЗП.

В нижній частині ємності передбачений вузол з вмонтованим гнучким шлангом 7 для задавання різних значень гідравлічного тиску, на кінці якого знаходиться досліджуваний торцевий ЗП 4. Витік води через торцевий ЗП відбувається в ємність 5, розміщену на електронній вазі 6.



1 – штатив; 2 – ємність мірна; 3 – контрольна лінійка; 4 – торцевий ЗП; 5 – ємність; 6 – електронна вага; 7 – гнучкий шланг

Рисунок 3.3 – Принципова схема лабораторного стенду для дослідження гідравлічних витратних характеристик ЗП

При проведенні досліджень фіксувався рівень води для визначення гідростатичного тиску перед торцевим ЗП при початку експерименту і після закінчення витоку певного об'єму рідини.

Алгоритм обчислення витратних характеристик торцевих ЗП здійснюється наступним чином.

Вхідними параметрами для реалізації цього алгоритму є: маса рідини, що витекла через ЗП у мірну посудину m ; час витікання рідини τ ; температура води T ; висота на якій розміщений початок відлікової шкали відносно кінця ділянки перед звуженням торцевого сопла h ; початкова висота розміщення рідини у ємності відносно початку відлікової шкали h_p ; кінцева висота розміщення рідини у ємності відносно початку відлікової шкали h_k .

За виміряною температурою води визначаємо її динамічну в'язкість μ :

$$\mu = 2.414 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{\frac{247.8}{T-140}}. \quad (3.6)$$

Визначаємо перепад тиску на торцевому ЗП Δp за формулою:

$$\Delta p = \left(h - \frac{h_n + h_k}{2} \right) \cdot \rho \cdot g, \quad (3.7)$$

де ρ – густина води; g – сила земного тяжіння.

Розраховуємо об'ємну витрату рідини Q_v :

$$Q_v = \frac{m}{\tau \cdot \rho}. \quad (3.8)$$

Обчислюємо добуток коефіцієнта витрати α на площу поперечного перерізу сопла F :

$$\alpha F = \frac{Q_v}{\sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p}{\rho}}}. \quad (3.9)$$

Визначаємо число Рейнольдса для відповідного добутку αF за формулою:

$$Re = \frac{4 \cdot Q_v \cdot \rho}{\pi \cdot d \cdot \mu}, \quad (3.10)$$

де d – діаметр вхідної прямолінійної ділянки перед ЗП, який рівний 2,5 мм.

Експериментальні дослідження проводились для сопел різних діаметрів вихідних отворів d_0 і різних довжин прямолінійного участку L . Це пов'язано із тим, що конструктивне виконання нестандартних ЗП, може впливати на їх коефіцієнт витрати для визначення якого відсутні відомі алгоритми розрахунку. Внаслідок виконання дослідів було отримано 168 наборів даних. Для прикладу, в табл. 3.1 наведено експериментально отримані дані для торцевого ЗП із діаметром вихідного отвору $d_0=1,5$ мм і довжиною прямолінійного участку $L=6$ мм.

Для аналітичного встановлення закономірностей зміни витратних характеристик торцевих ЗП за даними табл.3.1 проведено апроксимацію даних поліномом 2-го порядку (рис.3.4):

$$\alpha \cdot F = 2,081 \cdot 10^{-6} - 3,574 \cdot 10^{-10} \cdot Re + 4,112 \cdot 10^{-14} \cdot Re^2 \quad (3.11)$$

Після проведення експериментальних досліджень важливим завданням є визначення їх метрологічних характеристик, що є необхідним для підтвердження можливості застосування отриманих залежностей витратних характеристик торцевих ЗП.

Таблиця 3.1 – Експериментально отримані набори вхідних даних

№	h, мм	h _п , мм	h _к , мм	m, кг	τ, с	t, сС
1	604	0	26	0,633	244,1	18,7
2		26	53	0,629	245,0	18,6
3		53	82	0,626	248,1	18,5
4	1042	0	26	0,619	189,0	18,6
5		26	52	0,619	191,0	18,6
6		52	80	0,608	188,9	18,7
7	1774	0	26	0,615	148,1	18,6
8		26	52	0,601	146,2	18,5
9		52	80	0,606	148,6	18,6

Для оцінки сумарної похибки при визначенні витратних характеристик розроблено метрологічну модель, яка дає можливість кількісно оцінити результуюче значення похибки [118].

В основу метрологічної моделі покладено алгоритм, що аналітично описується (3.7)–(3.10). Використовуючи ці формули отримаємо математичну модель визначення витратних характеристик торцевих сопел:

$$\alpha F = \frac{m}{\tau \cdot \rho \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(h - \frac{h_n + h_k}{2} \right)}}. \quad (3.12)$$

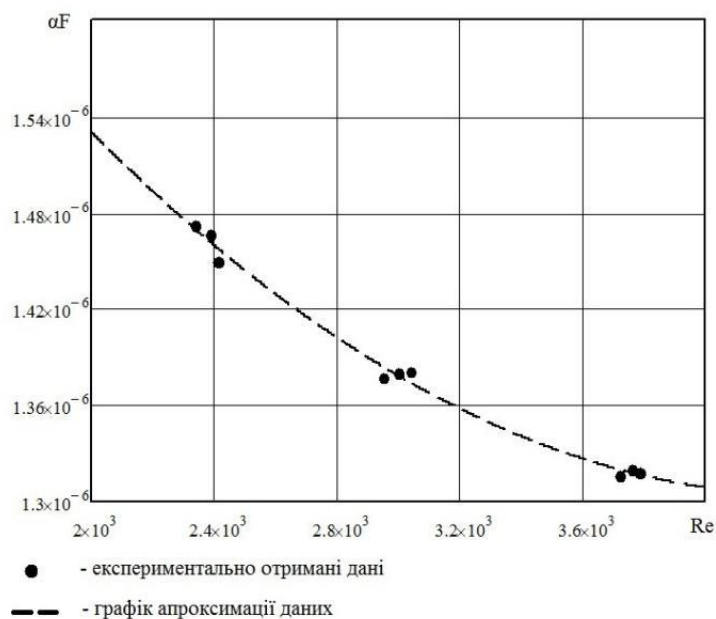


Рисунок 3.4 – Видя експериментально отриманих результатів досліджень торцевого сопла з $d_0=1,5$ мм

На основі (3.12) сформовано метрологічну модель проведених досліджень (рис.3.5), яка відображає основні складові сумарної похибки δ та взаємозв'язок між її складовими.

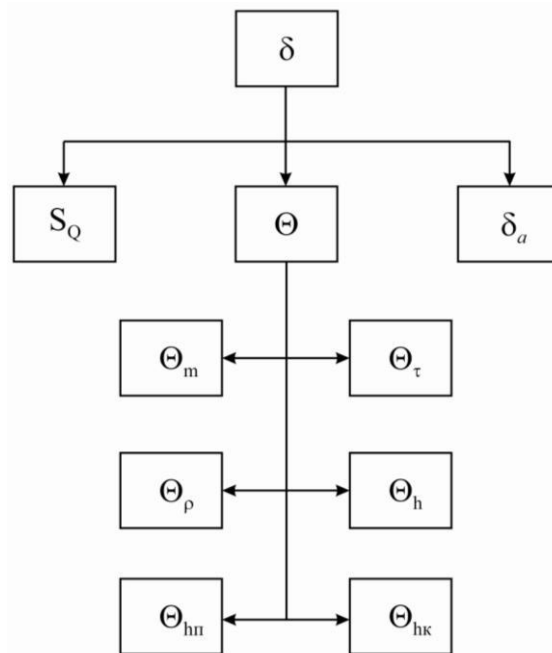


Рисунок 3.5 – Метрологічна модель досліджень витратних характеристик торцевих ЗП

Метрологічна модель [137] враховує такі складові сумарної похибки δ визначення витратних характеристик: S_Q – випадкова похибка; θ – похибка розрахунку витратної характеристики ЗП; θ_m – НСП вимірювання маси води; θ_τ – НСП вимірювання часу витікання води; θ_ρ – НСП вимірювання густини води; θ_h – НСП вимірювання висоти розміщення ємності відносно сопла; θ_{hn} – НСП вимірювання початкового рівня рідини у ємності; θ_{hk} – НСП вимірювання кінцевого рівня рідини у ємності відносно початку відлікової шкали; δ_a – НСП апроксимації.

Для чисельної оцінки границі сумарної похибки проаналізуємо кожен із вище вказаних її складових, визначити її величину та вагомість впливу на результуюче значення.

При опосередкованих вимірюваннях та відомому рівнянні вимірювань (3.12) сумарна похибка вимірювань δ_a визначається за виразом [59]:

$$\Delta_{\epsilon} = k \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_i} \Delta x_i \right]^2}, \quad (3.13)$$

де k – коефіцієнт, що визначається прийнятою довірчою ймовірністю P_3 ; x_i – i -й параметр, виміряний прямим методом; n – кількість параметрів виміряних прямим методом; Δx_i – фактичне значення похибки вимірювання i -го параметра, виміряного прямим методом.

При $P_3=0,95$ % коефіцієнт $k=1,1$ [118].

Часткова похідна по масі, часу витікання, густині води, висоті початку мірної лінійки відносно кінця ділянки перед звуженням ЗП, початковим та кінцевим рівням води в посудині відповідно, визначаються рівняннями:

$$\frac{\partial \alpha F}{\partial m} = \frac{l}{\tau \rho \sqrt{2g \left(h - \frac{h_n + h_k}{2} \right)}}, \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial \alpha F}{\partial \tau} = - \frac{m}{\tau^2 \rho \sqrt{2g \left(h - \frac{h_n + h_k}{2} \right)}}, \quad (3.15)$$

$$\frac{\partial \alpha F}{\partial \rho} = - \frac{m}{\tau \rho^2 \sqrt{2g \left(h - \frac{h_n + h_k}{2} \right)}}, \quad (3.16)$$

$$\frac{\partial \alpha F}{\partial h} = - \frac{m}{2\tau \rho \sqrt{\left(2g \left(h - \frac{h_n + h_k}{2} \right) \right)^3}}, \quad (3.17)$$

$$\frac{\partial \alpha F}{\partial h_n} = \frac{m}{4\tau \rho \sqrt{\left(2g \left(h - \frac{h_n + h_k}{2} \right) \right)^3}}, \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial \alpha F}{\partial h_k} = \frac{m}{4\tau \rho \sqrt{\left(2g \left(h - \frac{h_n + h_k}{2} \right) \right)^3}}. \quad (3.19)$$

Із врахуванням похибки вимірювальних засобів, які входять у склад лабораторного стенда вибираємо такі значення систематичні складові, які

входять у рівняння (3.17)-(3.19): $\Theta_m=0,001$ кг; $\Theta_\tau=0,2$ с; $\Theta_\rho=1$ кг/м³; $\Theta_h=0,005$ м; $\Theta_{hp}=0,001$ м; $\Theta_{hk}=0,001$ м. Згідно формули (3.13) сумарна похибка вимірювань $\delta = 8,57 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2$. Тоді похибка визначення добутку αF буде рівною:

$$\delta_{\alpha F} = \frac{\theta \cdot 100}{\alpha F} = \frac{8,57 \cdot 10^{-9} \cdot 100}{1,47 \cdot 10^{-6}} = 0,58 \%$$

Випадкову похибку S_Q оцінимо за допомогою середнього квадратичного відхилення результатів спостережень:

$$S_Q = \frac{1}{\alpha F} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha F_i - \overline{\alpha F})^2}{n-1}} \cdot 100\% , \quad (3.20)$$

де n – число дослідів; i – номер дослідів; αF_i – значення витратної характеристики ЗП при i -му досліді; $\overline{\alpha F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha F_i$ – середнє значення витратної характеристики ЗП.

За даними табл. 3.1 на підставі формули (3.20) отримаємо $S_Q = \pm 0,62 \%$.

Невилучену систематичну похибку апроксимації $\pm \delta_a$ обчислимо для даних табл. 3.1 за виразом:

$$\Delta_a = \frac{2}{\alpha F_{a \min} + \alpha F_{a \max}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha F_i - \alpha F_a)^2}{n-1}} \cdot 100\% , \quad (3.21)$$

де αF_a – величина апроксимованого значення витратної характеристики ЗП; $\alpha F_{a \min}$ та $\alpha F_{a \max}$ – відповідно мінімальне та максимальне значення апроксимованого значення витратної характеристики ЗП.

Обчисливши формулу (3.21) отримаємо НСП апроксимації: $\delta_a = 0,35\%$.

Сумарна допустима похибка δ визначення витратних характеристик ЗП представляє собою суму випадкової похибки S_Q , похибки вимірювання Θ та похибки апроксимації δ_a . Допустима похибка буде рівною:

$$\delta = S_Q + \Theta + \delta_a = 0,62 + 0,58 + 0,35 = \pm 1,55\% \quad (3.22)$$

3.3 Експериментальні дослідження вузлів обліку природного газу різних принципів дії

Одним із можливих напрямків створення еталонних засобів вимірювання витрати і об'єму природного газу базується на результатах експериментальних досліджень засобів вимірювання на природному газі.

Дослідження питань визначення втрат природного газу внаслідок наявності дисбалансу в системах транспортування та розподілу природного газу [119], або що потребує вивчення практичних аспектів газообліку з метою досягнення балансу газу в газотранспортній системі [120]. Метрологічні характеристики засобів вимірювань витрати природного газу різних принципів дії можуть суттєво відрізнятися, адже немає еталону витрати природного газу. Водночас потребують більш детального вивчення конкретні засоби вимірювання, на базі яких реалізовані вузли обліку газу, оскільки у багатьох випадках може бути альтернатива щодо вибору певного типу засобу вимірювання витрати чи об'єму газу і за цих обставин переважаючим чинником при виборі є не тільки нормативні або регламентні документи, але і відповідні метрологічні і технічні характеристики засобів вимірювання.

На сьогоднішній день для обліку природного газу на газовимірювальних і газорегуляторних станціях найбільшого застосування набули засоби вимірювання, які реалізують метод змінного перепаду тиску [11]. Поряд з цим все більшого поширення знаходять вузли обліку газу з використанням турбінних лічильників, укомплектованими відповідними обчислювачами [11]. Водночас практичного застосування набувають вузли обліку на базі ультразвукових лічильників газу [11, 121]. При цьому практично відсутні результати порівняльного аналізу результатів вимірювання різними засобами, різних принципів дії.

Відомі дослідження [122] щодо розбіжностей у результатах обчислень об'єму газу присвячені дослідженню впливу різних алгоритмів підрахунку

об'єму газу за реальних умов газопостачання, які відображають динаміку газоспоживання впродовж певного інтервалу часу (години, доби) за умови непостійності робочих значень тиску і температури газу. У цій роботі стверджується, що за таких умов вимірювання одного і того самого об'єму газу за різними програмами обробки вимірюваної інформації з врахуванням різного часу усереднення похибка може перевищувати 14%. При цьому інформація щодо порівняння миттєвих витрат з урахуванням метрологічних аспектів при вимірюванні газу засобами різних принципів дії авторам вказаної статті є невідомою.

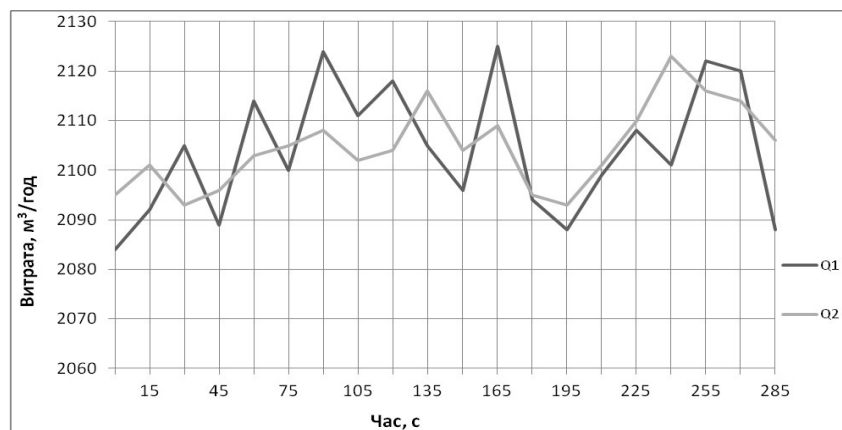
Про актуальність дослідження впливу метрологічних аспектів при опрацюванні результатів вимірювань витрати і об'єму ПГ свідчать сучасні наукові дослідження у цій сфері [123-125]. Крім того, як відомо, різні засоби обліку ПГ можуть забезпечувати отримання різних результатів вимірювань, оскільки, незважаючи на те, що похибки робочих засобів витратовимірювальної техніки є практично співрозмірними, однак з точки зору метрологічної оцінки результати можуть суттєво відрізнитися між собою. Це зумовлює в багатьох випадках, в першу чергу при комерційному обліку, встановлення дублювальних вузлів вимірювання об'єму і об'ємної витрати ПГ, як, наприклад, на газовимірювальній станції "Гребеники" [126], де на кожній із восьми замірних ниток діаметром 500 мм встановлено послідовно діафрагму і ультразвуковий лічильник *Q Sonic* фірми "Instromet". У цій статті стверджується, що таке дублювання різних методів вимірювань підвищує надійність проведення вимірювань, однак конкретних числових значень чи кількісних характеристик не подається.

Поряд з цим у сфері газообліку все в більшій мірі знаходять застосування методи статистичного і кореляційного аналізу, які є невід'ємною частиною метрологічного аналізу результатів досліджень [120, 127].

Тому доцільним є експериментальні дослідження метрологічних та імовірнісних характеристик послідовно встановлених витратомірів ПГ різних

принципів дії для пошуку напрямків підвищення достовірності обліку ними ПГ [139] і дослідження їх метрологічних і технічних характеристик при розробленні еталонних об'ємів природного газу.

Об'єктом дослідження вибраний процес вимірювання витрати ПГ ультразвуковими витратомірами і витратомірами змінного перепаду тиску. Технічний аспект досліджень реалізований на базі ультразвукового витратоміра типу ГУВР-011 (похибка вимірювання $\pm 0,5\%$, виробник АТ “Енергооблік”, м. Харків) і витратоміра змінного перепаду тиску із звукувальним пристроєм (діафрагма), який укомплектований обчислювачем об'ємної витрати та об'єму газу ОЕ-22ДМ (границя допустимої відносної похибки при обчисленні об'єму газу, зведеного до стандартних умов $\pm 0,5\%$, виробник ТОВ “СЛОТ”, м. Івано-Франківськ). Досліджувані засоби були змонтовані при їх промисловій експлуатації на замірному вузлі одного з промислових підприємств м. Івано-Франківська. Умови досліджень стосувалися їх зимового періоду експлуатації, за яких температура ПГ становила -5°C , надлишковий тиск газу $0,3\text{МПа}$, умовний діаметр вимірювального трубопроводу 300 мм . Під час експериментальних досліджень з інтервалом 15 с одночасно фіксувалися покази двох витратомірів при вимірюванні витрати газу за робочих умов, результати яких ілюструються на рис. 3.6.



Q1- ультразвуковий витратомір; Q2 – витратомір змінного перепаду тиску

Рисунок 3.6 – Графічна ілюстрація результатів вимірювання витрати:

З нього видно, що процес вимірювання характеризується деякою непостійністю, причиною якої можуть слугувати миттєві зміни споживання витрати ПГ, а також нестабільність метрологічних характеристик складових вузлів досліджуваних технічних засобів витратовимірювання. Це обґрунтовує можливість опрацювання результатів досліджень з урахуванням теорії імовірності і математичної статистики. Оцінка статистичних характеристик результатів вимірювання здійснювалася за такими формулами і подана в табл. 3.2:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i), \quad (3.23)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i), \quad (3.24)$$

$$L_x = x_{i_{\max}} - x_{i_{\min}}, \quad (3.25)$$

$$L_y = y_{i_{\max}} - y_{i_{\min}}, \quad (3.26)$$

$$D_x = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}, \quad (3.27)$$

$$D_y = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{N - 1}, \quad (3.28)$$

$$S_x = \sqrt{D_x}, \quad (3.29)$$

$$S_y = \sqrt{D_y}, \quad (3.30)$$

де $x_{i_{\max}}, x_{i_{\min}}$ – максимальне і мінімальне значення миттєвих витрат ультразвукового витратоміра; $y_{i_{\max}}, y_{i_{\min}}$ – максимальне і мінімальне значення миттєвих витрат витратоміра змінного перепаду тиску, N – кількість результатів вимірювання.

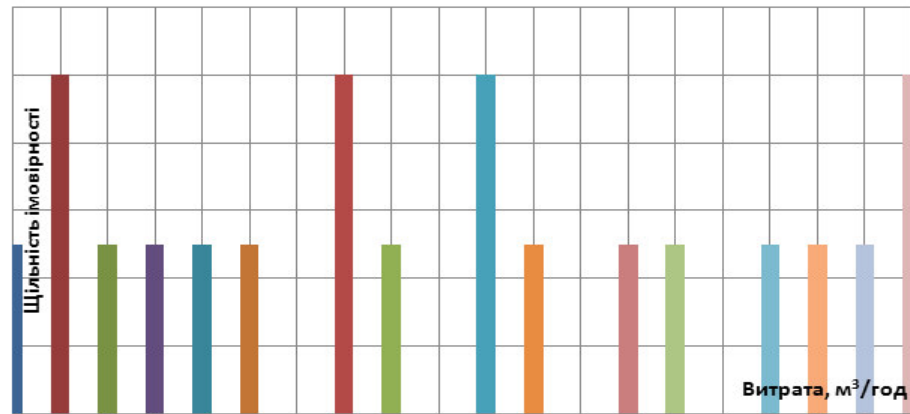
З результатів аналізу слідує, що різниця між середніми арифметичними значеннями вимірюваної витрати різними засобами не перевищує 0,026 %, що є суттєво на порядок меншим від нормованих значень метрологічних характеристик (відносна похибка) цих засобів вимірювань. При цьому найбільше значення різниці миттєвих витрат впродовж досліджуваного

процесу не перевищує алгебраїчної суми похибок двох витратомірів і становить 1,03%. В той же час значення імовірнісних характеристик ультразвукового витратоміра є суттєво більшими від витратоміра змінного перепаду тиску. Наприклад, розмах є більшим на 27,5 %, а дисперсія вищою майже у три рази. Це свідчить про різні динамічні властивості засобів вимірювання, тобто інерційність ультразвукового витратоміра є набагато меншою і він є порівняно кращим засобом при обліку витрати динамічно нестабільних процесів.

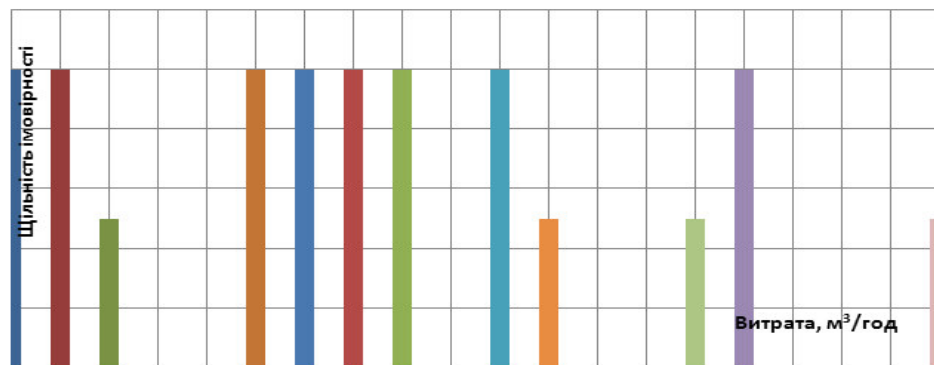
Таблиця 3.2 – Статистичні характеристики результатів вимірювання витрати

Види статистичних характеристик	Ультразвуковий витратомір, x	Витратомір змінного перепаду тиску, y	Різниця обчислених характеристик, %
Середнє арифметичне значення витрати, \bar{X}, \bar{Y} , м ³ /год	2104,15	2104,70	0,026
Розмах, L_x, L_y , м ³ /год	41	30	36,6
Дисперсія, D_x, D_y , (м ³ /год) ²	172,55	69,02	150
Стандартне відхилення, S_x, S_y , м ³ /год	13,13	8,31	58
Витрата при найбільшій різниці миттєвих значень, м ³ /год	2101	2123	-1,03 (на 240с)

Оскільки одним із шляхів підвищення достовірності вимірювання в метрологічній практиці є правильний вибір довірчих інтервалів, для аналізу яких побудовані графіки щільності розподілу імовірності результатів вимірювання для кожного із засобів вимірювання (рис.3.7).



а)



б)

Рисунок 3.7 – Щільність розподілу імовірностей результатів вимірювання витрати ультразвукового витратоміра (а) і витратоміра змінного перепаду тиску (б)

З них слідує, що вид графіків не достатньо корелює із їх загальноприйнятим виглядом для нормального закону розподілу і на перший погляд є більш близьким до рівномірного. Тому за результатами досліджень здійснене моделювання стосовно виду розподілу з врахуванням довірчої імовірності і прийнятої кількості класів при опрацюванні результатів, яке подається в табл. 3.2. Кількість класів K вибирається, виходячи із імовірнісних підходів при опрацюванні результатів вимірювань і дає можливість розрахувати ширину ΔK класу за формулою:

$$\Delta K = \frac{L}{K}, \quad (3.31)$$

де L – розмах результатів вимірювання.

З неї є очевидним, що методологія опрацювання результатів вимірювання може певним чином впливати на вид вибраного закону розподілу, а значить і на методологічні підходи при опрацюванні результатів вимірювання, які в кінцевому результаті формують границі основної допустимої похибки результатів вимірювання. Так, при довірчій ймовірності 50% і 20 класах результати вимірювання обома засобами можна вважати з рівномірним законом розподілу, а при зростанні ймовірності понад 65% і тих же 20 класах результати вимірювання можна оцінювати як за рівномірним, так і за нормальним законом.

При цьому коефіцієнт розподілу Ст'юдента для проведеної кількості вимірювань може змінюватись від 1,03 при довірчій ймовірності 0,682 до 2,86 при ймовірності 0,99, що також впливає на метрологічну оцінку результатів вимірювання. А при кількості класів 10 результати моделювання показують, що при ймовірності 50% для результатів витратоміра змінного перепаду тиску не приймається жоден із заданих видів закону розподілу.

Таблиця 3.3 – Моделювання виду закону розподілу результатів вимірювання різними типами витратомірів

Кількість класів K	Задана ймовірність, %	Ультразвуковий витратомір				Витратомір змінного перепаду тиску			
		Значення аргумента Chi^2	Сума відхилень S	Результат перевірки гіпотези $S < \text{Chi}^2$	Вид закону розподілу	Значення аргумента Chi^2	Сума відхилень S	Результат перевірки гіпотези $S < \text{Chi}^2$	Вид закону розподілу
20	50	18	8	приймається	тільки рівномірний	18	16	приймається	тільки рівномірний
20	66	21	8	приймається	рівномірний	19	16	приймається	рівномірний
		18	17		або нормальний	18	18		або нормальний
20	95	30	8	приймається	рівномірний	30	16	приймається	рівномірний
		27	17		або нормальний	27	18		або нормальний
10	50	8,3	3	приймається	тільки рівномірний	8,3	10	не приймається	-
10	66	9,5	3	приймається	рівномірний	9,5	9,4	приймається	рівномірний
		7,9	7,8		або нормальний	7,9	7,8		або нормальний
10	95	10	3	приймається	рівномірний	16	10	приймається	рівномірний
		14	7,8		або нормальний	14	7,8		або нормальний

В той же час при довірчій ймовірності 66% і 95% може бути прийнятий рівномірний або нормальний вид закону розподілу. Стосовно переваги при виборі одного із них необхідно оцінювати конкретне співвідношення між значеннями аргумента Chi^2 і сумою відхилень S .

Оскільки результати вимірювання двома витратомірами обтяжені систематичними і випадковими похибками, що можна розглядати як випадкові величини, доцільним є проведення їх кореляційного аналізу. Такий підхід дає можливість оцінити ступінь зв'язку між отриманими результатами.

Оцінку коефіцієнта кореляції можна здійснити шляхом розрахунку емпіричного коефіцієнта кореляції r за формулою:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (3.32)$$

Згідно використаного для досліджень набору експериментальних даних обчислене значення цього коефіцієнта становить 0,57, яке характеризує середній ступінь зв'язку між величинами, бо знаходиться в межах від 0,3 до 0,7 [127]. Отримане числове значення не розкриває суті кореляційного зв'язку, що потребує обчислення автокореляційних функцій $R_x(\tau)$ і $R_y(\tau)$ кожного з вимірювальних процесів і їх взаємної кореляційної функції $R_{xy}(\tau)$. Для цього використовувалися наступні формули:

$$R_x(\tau) = \frac{1}{N-k} \frac{\sum_{i=1}^{N-k} (x_i - \bar{x}) \cdot (x_{i+k} - \bar{x})}{D_x}, \quad (3.33)$$

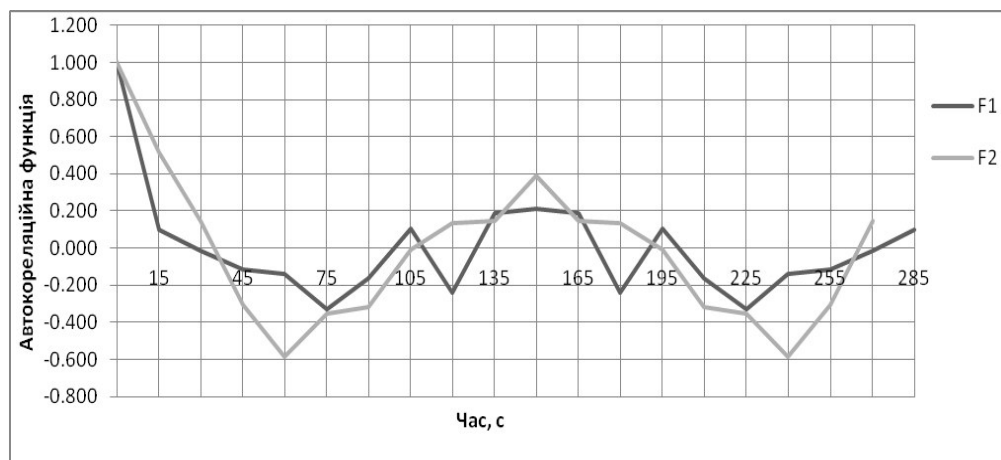
$$R_y(\tau) = \frac{1}{N-k} \frac{\sum_{i=1}^{N-k} (y_i - \bar{y}) \cdot (y_{i+k} - \bar{y})}{D_y}, \quad (3.34)$$

$$R_{xy}(\tau) = \frac{1}{N-k} \frac{\sum_{i=1}^{N-k} (x_i - \bar{x}) \cdot (y_{i+k} - \bar{y})}{S_x \cdot S_y}, \quad (3.35)$$

В формулах (3.33)-(3.35) часовий параметр $\tau = k \cdot \Delta t$ розраховується через інтервал відліку миттєвих значень $\Delta t = 15$ с і порядковий номер зсуву k від 0 до $N-1$.

Графічна ілюстрація (рис.3.8) отриманих нормованих кореляційних залежностей свідчить про стаціонарність кожного із досліджуваних випадкових процесів, що дозволяє застосовувати імовірнісні підходи при розрахунку похибки результатів вимірювання. Водночас на результати вимірювання витратоміра змінного перепаду тиску накладений періодичний тренд з періодом близько 150 с, який відсутній в ультразвуковому витратомірі. Причиною цього тренда можуть бути особливості його конструктивного виконання, наприклад, виготовленням імпульсних з'єднувальних ліній, чи резонансні явища або інші фактори, які на перший погляд є неочевидними і можуть бути виявлені в процесі додаткових досліджень і аналізу.

Нормована взаємна кореляційна функція (рис. 3.9) практично підтверджує середній ступінь зв'язку між досліджуваними величинами і вказує на наявність кореляції як додатньої (при $\tau = 120 \dots 195$ с) так і від'ємної (при $\tau = 45 \dots 75$ с і $210 \dots 240$ с) в певні моменти часу. Це свідчить, що на миттєві збільшення або зменшення витрати реагують обидва вимірювальні засоби.



F1- ультразвуковий витратомір; F2 – витратомір змінного перепаду тиску

Рисунок 3.8 – Графічна ілюстрація автокореляційних функцій

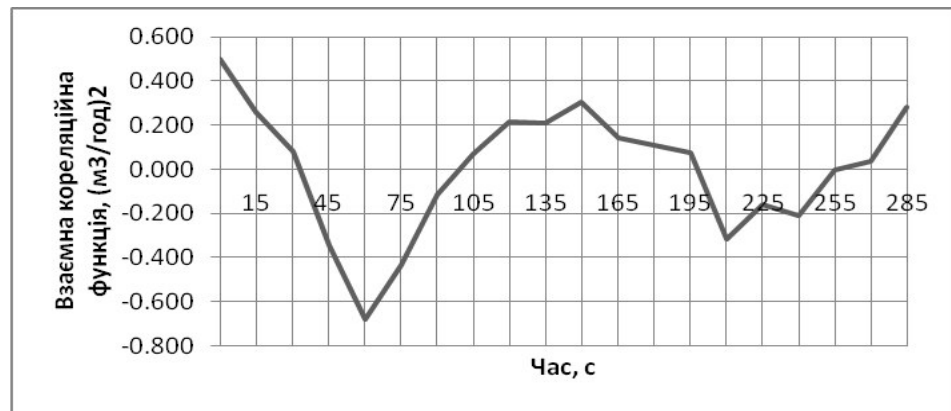


Рисунок 3.9 – Графічна ілюстрація взаємної кореляційної функції

З отриманих результатів досліджень можна зробити висновок, що обидва типи витратомірів є практично рівнозначними за метрологічними характеристиками і застосування одного із них як дублювального засобу відносно другого дозволяє підвищити достовірність результатів вимірювань.

За результатами досліджень встановлено практичне співпадіння результатів визначення середніх значень вимірюваних витрат газу ультразвуковими витратомірами і витратомірами змінного перепаду тиску, яке кількісно є на порядок меншим від їх похибки. При цьому найбільша різниця миттєвих витрат при вимірюванні не перевищує алгебраїчної суми похибок двох витратомірів. Експериментально виявлено, що ультразвукові витратоміри є більш чутливими при вимірюванні непостійних витрат.

3.4 Висновки до розділу 3

1. Здійснений аналіз функціональних можливостей і конструктивних особливостей реалізації сучасних підходів до практичної реалізації еталонних установок для метрологічного перевіряння ПЛГ з функціонуванням на природному газі. З врахуванням чинних нормативних документів України щодо періодичної повірки ПЛГ на повітрі розглянуті нові рішення щодо можливої реалізації еталонних установок, які дозволяють здійснювати бездемонтажну повірку ПЛГ на різних видах робочого

середовища (повітря або природний газ) із можливістю забезпечення відтворення через ПЛГ всього діапазону робочих витрат.

2. Проведено кількісний аналіз складових похибок, який відкриває напрямки досягнення необхідної точності витратних характеристик нестандартних ЗП, чим в кінцевому результаті може бути досягнуто підвищення точності вимірювання витрати і об'єму природного газу в побутовій сфері.

3. За результатами досліджень встановлено практичне співпадіння результатів визначення середніх значень вимірюваних витрат газу ультразвуковими витратомірами і витратомірами змінного перепаду тиску, яке кількісно є на порядок меншим від їх похибки. При цьому найбільша різниця миттєвих витрат при вимірюванні не перевищує алгебраїчної суми похибок двох витратомірів. Експериментально виявлено, що ультразвукові витратоміри є більш чутливими при вимірюванні непостійних витрат, що може бути методологічною основою для створення робочих еталонів на природному газі.

4. Обґрунтовано необхідність врахування імовірнісних характеристик результатів вимірювання при функціонуванні витратомірів природного газу, що відкриває нові практичні аспекти підвищення точності вимірювань при його обліку. При цьому види імовірнісних моделей є неоднаковими для різних конструкцій і принципів дії витратомірів і в багатьох випадках можуть відрізнятися від загальноприйнятого нормального закону розподілу, що обґрунтовує потребу уточнення виду закону за результатами статистичного опрацювання результатів вимірювань.

РОЗДІЛ 4. МЕТРОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ ПРАКТИЧНІЙ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТРОЛОГІЧНОГО ПЕРЕВІРЯННЯ ПЛГ

4.1 Метрологічна оцінка експериментально-розрахункового методу метрологічного перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном контрольованих витрат

На основі отриманих статистичних даних для метрологічного оцінювання експериментально-розрахункового визначення похибки ПЛГ на максимальній витраті розглянемо два напрями його практичної реалізації [103].

Перший напрям полягає у розрахунку узагальненого приросту для обчислення похибки ПЛГ на максимальній витраті з врахуванням всіх вибраних і досліджених j -их діапазонів зміни похибки при мінімальній витраті q_{\min} (стосується одного типорозміру і одного виробника). Розрахунок числового значення похибки при q_{\max} для кожного i -го перевірного ПЛГ здійснюється за алгоритмом (2.11)-(2.13).

Для оцінки похибки при застосування такого першого напрямку розрахуємо сумарну похибку визначення метрологічної характеристики ПЛГ на максимальній витраті за такою формулою:

$$\varepsilon(\delta_{q3}) = \Theta_e + \sqrt{(\sigma_{q2}^j)_{\max}^2 + (\sigma_{\Delta\delta 23})^2}, \quad (4.1)$$

де $\varepsilon(\delta_{q3})$ - похибка експериментально-розрахункового методу визначення похибки ПЛГ за максимальної витрати; Θ_e - значення границі допустимої похибки еталонної установки, на якій здійснювались дослідження ПЛГ, яка для сучасних дзвонових установок не перевищує $\pm 0,3\%$; $(\sigma_{q2}^j)_{\max}$ - максимальне значення середнього квадратичного відхилення середнього значення похибки ПЛГ при витраті $0,2q_{\max}$ серед j -их діапазонів зміни похибки при q_{\min} .

Результати обчислень за формулами (2.11)-(2.13) і (4.4) для досліджуваних ПЛГ подані в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Результати розрахунку статистичних характеристик та похибки при визначенні похибки ПЛГ за максимальної витрати

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

Із табл. 4.1 слідує, що результати розрахунку похибки дещо відрізняється для різних виробників ПЛГ, хоча кількісно вони досить близькі між собою. Результати досліджень показують, що застосування такого напрямку дозволяє здійснювати експериментально-розрахункове визначення похибки ПЛГ на витраті q_{\max} з похибкою, яка становить (0,58...0,70)%. Оскільки по відношенню до допустимої похибки ПЛГ $\pm 2\%$ на витраті q_{\max} це значення не перевищує третини цієї похибки, то такий методологічний підхід не суперечить нормативним підходам згідно [32] і може бути прийнятим для практичного застосування.

Другий напрям при метрологічному аналізі визначення похибки ПЛГ на максимальній витраті q_{\max} стосується застосування безрозмірного статистично-розрахованого коефіцієнта інтерполяційності K форми похибки [103], який запропонований в [136] і записується наведеною в розділі 2 формулою (2.10). Цей коефіцієнт також конкретизується для кожного окремого типорозміру ПЛГ і кожного виробника ПЛГ, а його розраховані числові значення подані в табл.2.2ч2.5. Такий підхід дозволяє розраховувати зміну похибки ПЛГ для витрат $0,2q_{\max}$ і q_{\max} не як усереднене значення для всіх діапазонів зміни похибки при q_{\min} , а конкретизувати цю зміну стосовно зміни похибки ПЛГ на витратах q_{\min} і $0,2q_{\max}$.

Аналіз статистичних закономірностей зміни похибки ПЛГ на витратах q_{min} , $0,2q_{max}$, q_{max} із врахуванням запровадження коефіцієнта інтерполяційності K [103] показав, що зміну похибки ПЛГ можна апроксимувати наступним чином:

$$\delta_{q3i} = \delta_{q2i} - K_j \cdot \Delta\delta_{21i}. \quad (4.2)$$

Враховуючи суттєвий розкид числових значень коефіцієнта K як функції від похибки при q_{min} , що подано в табл. 2.2ч2.5, а також суттєво меншу кількість ПЛГ з середньою похибкою при q_{min} в діапазоні (+1,51)-(+3)%, здійснимо апроксимацію коефіцієнта без врахування цього діапазону. Кількісне подання числових значень коефіцієнта K в координатах K , δ_{q1} (рис.4.1) свідчить про можливість математичного запису цієї залежності для кожних типорозмірів і виробників ПЛГ як експоненціальних функцій виду:

$$K = D \cdot e^{\alpha \delta_1}, \quad (4.3)$$

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

Із врахуванням (4.3) вираз (4.2) запишеться:

$$\delta_{q3i} = \delta_{q2i} - D \cdot e^{\alpha \delta_1} \cdot \Delta\delta_{21i}. \quad (4.4)$$

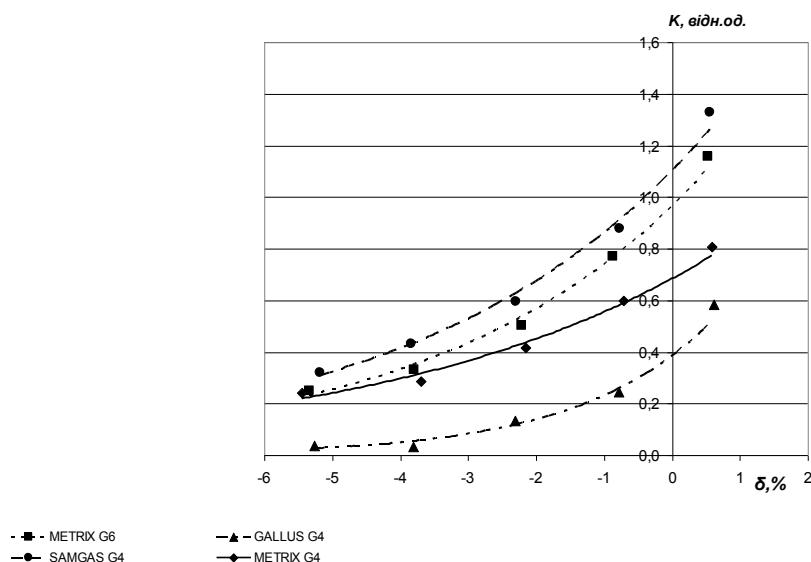


Рисунок 4.1 – Графічна ілюстрація зміни коефіцієнта інтерполяційності похибки K від усередненої похибки δ_{q1} лічильників за мінімальної витрати q_{min}

Здійснивши апроксимацію числових значень коефіцієнта K отримаємо наступний графічний вигляд апроксимованих залежностей (рис. 4.1), які подані відповідними формулами в табл. 4.2.

Достовірність апроксимації R^2 (у відносних одиницях) розраховувалося за формулою [127]:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^M (K_j - K_{Aj})^2}{\sum_{j=1}^M K_j^2 - \frac{\sum_{j=1}^M K_{Aj}^2}{M}}, \quad (4.5)$$

де K_j , K_{Aj} - статистично встановлене та розраховане за апроксимаційною залежністю j -те значення коефіцієнта K ; M - кількість точок, за якими здійснювалася апроксимація коефіцієнта K (в нашому випадку, згідно рис.4.1 $M=5$).

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

$$\delta_A(K) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M (K_{Aj} - K_j)^2}{(M-1)}} \cdot \frac{1}{\bar{K}_j} \cdot 100\%, \quad (4.6)$$

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 (4.5) і (4.6) для досліджуваних ПЛГ подані в табл.4.2.

Таблиця 4.2 – Результати моделювання апроксимаційної залежності коефіцієнта K .

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

Для оцінки точності другого напрямку експериментально-розрахункового метод визначення похибки ПЛГ на максимальній витраті q_{\max} (позначена δ_3) [103] застосуємо відому методику опрацювання результатів опосередкованих вимірювань [59].

Очевидним є те, що згідно (4.4) досліджувана похибка ПЛГ на витраті q_{\max} є функцією двох змінних, а саме експериментально визначеної похибки ПЛГ при q_{\min} (позначена δ_1) і експериментально визначеної похибки ПЛГ при $0,2q_{\max}$ (позначена δ_2).

З врахуванням виразів (4.2) та (4.4), отримаємо такий алгоритм розрахунку похибки на максимальній витраті для конкретного i -го повірюваного ПЛГ:

$$\delta_3 = \delta_2 - D e^{\alpha \delta_1} \delta_2 + D e^{\alpha \delta_1} \delta_1 \quad (4.7)$$

Для обчислення коефіцієнтів вагомості змінних δ_1 і δ_2 запишемо на базі (4.7) формули часткових похідних:

$$\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_1} = -D \cdot \delta_2 \cdot \alpha \cdot e^{\alpha \delta_1} + \delta_1 \cdot D \cdot \alpha \cdot e^{\alpha \delta_1} + D \cdot e^{\alpha \delta_1}, \quad (4.8)$$

$$\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_2} = 1 - D \cdot e^{\alpha \delta_1}. \quad (4.9)$$

Тому абсолютне значення похибки $\varepsilon(\delta_{q_3})$ при другому напрямі експериментально-розрахункового визначення метрологічних характеристики (похибки) ПЛГ на максимальній витраті буде обчислюватися за формулою:

$$\varepsilon(\delta_{q_3}) = \sqrt{\left(\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_1} \cdot \Theta_{eq1} \right)^2 + \left(\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_2} \cdot \Theta_{eq2} \right)^2 + \delta_A^2(K)}, \quad (4.10)$$

де Θ_{eq1} , Θ_{eq2} – метрологічна характеристика (граничної допустимої похибки) еталонної установки при роботі на досліджуваних витратах побутових лічильників q_1 і q_2 відповідно.

Результати розрахунків за виразами (4.7)-(4.10) наведені в табл.4.3.

Таблиця 4.3 – Результати розрахунку похибки визначення метрологічної характеристики (похибки) ПЛГ на максимальній витраті

Виробник, типорозмір ПЛГ	$\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_1}$	$\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_2}$	$\Theta_{eq1},$ $\Theta_{eq2}, \%$	$\delta_A(K), \%$	$\varepsilon(\delta_{q3}), \%$
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	$\pm 0,3$	13,0	13,01
SAMGAS G4	1,77	0,37	$\pm 0,3$	5,1	5,13

Отримані результати кількісного визначення похибки ПЛГ при функціонуванні на максимальній витраті згідно другого напрямку характеризуються суттєво більшою похибкою порівняно з похибкою реалізації першого напрямку. Це можна пояснити значною похибкою апроксимації $\delta_A(K)$ коефіцієнта інтерполяції K . Хоча згідно наведених результатів обчислень похибка визначення метрологічних характеристик ПЛГ перевищує допустимого значення похибки за максимальної витрати, тобто є більшою від $\pm 2\%$, однак виконаний метрологічний аналіз вказує на шляхи зменшення цієї похибки. Це може бути реалізовано наступним чином:

- шляхом апроксимації інтерполяційною функцією іншого виду, наприклад, поліномом другого або вищого порядку;
- виконанням апроксимації для меншого діапазону зміни похибки при мінімальних витратах, наприклад, для інтервалу від мінус 6% до мінус 1,5%;
- застосування більшої кількості точок при апроксимації коефіцієнта інтерполяції K ;
- звуженням діапазонів похибок при статистичних дослідженнях ПЛГ, наприклад 1% і менше;

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

4.2 Застосування модельного підходу для оцінювання непевності при вимірюванні об'єму газу побутовими лічильниками

Новий напрям бездемонтажного перевіряння ПЛГ для умов обмеженого діапазону робочих витрат [75], розкритих у розділі 2 і полягає в експериментальному визначенні похибки ПЛГ на двох витратах (мінімальній q_{min} і $0,2q_{max}$) і експериментально-розрахунковому методі визначення похибки на максимальній витраті q_{max} .

Неточність вимірювання при перевірці ПЛГ на витратах q_{min} і $0,2q_{max}$ визначається, виходячи з відомих підходів до обчислення неточності при функціонуванні еталонних установок з урахуванням їх паспортної розширеної неточності, яка приймається як інструментальна стандартна неточність за типом В [143].

Похибка ПЛГ при їх періодичній повірці згідно [13] визначається на витратах q_{min} , $0,2 q_{max}$, q_{max} . Тому як предметом дослідження скористаємося різницею похибок між $0,2 q_{max}$ і q_{min} і між $0,2 q_{max}$ і q_{max} [136].

Вивчення статистичних закономірностей зміни похибки ПЛГ на витратах від $0,2 q_{max}$ до q_{max} показало, що їх можна апроксимувати такою залежністю [146]:

$$\delta_{q_{max}} = \delta_{0,2q_{max}} + k_{\delta}\Delta_2, \quad (4.11)$$

де, $\delta_{0,2q_{max}}$, $\delta_{q_{max}}$ - середньоарифметичне значення похибок ПЛГ на витратах $0,2 q_{max}$ і q_{max} при багаторазових визначеннях похибки; Δ_2 - зміна абсолютного значення похибки в діапазоні від $0,2 q_{max}$ до q_{max} ; k_{δ} - коефіцієнт впливу на параметр різниці похибок ПЛГ при випробуваннях при q_{min} і $0,2 q_{max}$.

Для оцінки непевності складових [147] використовуємо формулу з урахуванням часткових похідних при непрямих вимірюваннях:

$$U_B(\delta) = \frac{1}{k_{\delta}\Delta_2} \sqrt{\left[\frac{\partial(k_{\delta}\Delta_2)}{\partial\Delta_2} \cdot \Delta(\Delta_2) \right]^2 + \left[\frac{\partial(k_{\delta}\Delta_2)}{\partial k_{\delta}} \cdot \Delta(k_{\delta}) \right]^2} \cdot 100\%, \quad (4.12)$$

де $\Delta(\Delta_2)$ - абсолютна похибка обчислення параметра; $\Delta(k_\delta)$ - абсолютна похибка розрахунку коефіцієнта впливу.

Оскільки обчислення складових полягає у використанні результатів статистичних досліджень ПЛГ, то необхідно врахувати непевності обчислення кожної з її складових за формулами:

$$U_A(\Delta_2) = \frac{1}{\Delta_2} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta}_2)^2}{n(n-1)}}, \quad (4.13)$$

$$U_A(k_\delta) = \frac{2}{k_{\delta\max} + k_{\delta\min}} \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^l (k_{\delta j} - \bar{k}_{\delta j})^2}{l-1}}, \quad (4.14)$$

де l - кількість обраних j -тих діапазонів похибки ПЛГ при q_{\min} .

Сумарна стандартна непевність функціонування ПЛГ на максимальній витраті обчислюється за формулою [146]:

$$U(Q_{\max}) = U_B(V_e) + \sqrt{U_B^2(\delta) + U_A^2(\Delta_2) + U_A^2(k_\delta)}. \quad (4.18)$$

Кінцевий вираз дозволяє кількісно здійснити метрологічну оцінку експериментально-статистичного методу обчислення непевностей на максимальній витраті ПЛГ і зіставити її відповідно до доцільності проведення експериментальних випробувань ПЛГ на максимальній витраті.

4.3 Зв'язання засобів вимірювання об'єму газу різних принципів дії на природному газі при створенні робочих еталонів на реальному середовищі

Як правило, виробники засобів вимірювальної техніки (лічильників, обчислювачів) про експлуатаційні характеристики судять за претензіями споживачів. В умовах експлуатації можуть бути виявлені тільки явні відмови, а відхилення метрологічних характеристик можуть бути виявлені лише при періодичних перевірках. Вплив умов експлуатації комплексу засобів вимірювальної техніки на кінцевий результат - достовірність обліку газу - можуть залишатися невиявленими, тому що результати періодичних

перевірок в лабораторних умовах засобів вимірювальної техніки можуть залишатися позитивними. Водночас практично невиченим питанням є розроблення робочих еталонів на малі витрати природного газу.

Тому питання вивчення метрологічних характеристик засобів обліку природного газу в експлуатаційних умовах різних принципів дії є актуальним завданням [149].

Теперішні наукові дослідження щодо засобів обліку природного газу стосуються вивчення їх метрологічних характеристик на еталонних установках, в яких для підвищення достовірності результатів досліджень у все більшій мірі використовується природний газ як робоче середовище [14, 15, 33]. Зазначені результати досліджень не можуть бути підтверджені в експлуатаційних умовах, оскільки необхідний демонтаж лічильників і можливу зміну їх метрологічних характеристик при транспортуванні.

Для контролю метрологічних характеристик в умовах експлуатації можуть застосовуватися контрольні лічильники газу [50], практичне застосування яких перш за все стосується тільки діагностування лічильників з метою визначення неперевищення похибки допустимого значення.

Відомо також застосування дублюючих вузлів обліку природного газу різних принципів дії [126] для підвищення достовірності точності обліку без конкретизації їх метрологічних характеристик.

Практично експериментально невивченим питанням є метрологічні характеристики витратомірів змінного перепаду тиску природного газу в умовах експлуатації, оскільки вони визначаються переважно розрахунковим шляхом на стадії проектування [11]. Одним із прикладів їх експериментальних досліджень можуть бути результати звірення з ультразвуковими витратомірами в промислових умовах експлуатації [139], які підтверджують сумісність їх метрологічних характеристик (похибка) при різних статистичних характеристиках результатів вимірювання витрати. Такого типу дослідження можуть бути методологічною основою для розроблення робочих еталонів природного газу. Тому доцільним є

проведення звірянь промислових засобів обліку природного газу в умовах експлуатації, в тому числі з використанням теорії непевності у вимірюваннях.

Звірення стосувалися послідовно змонтованих в трубопроводі засобів обліку природного газу різних принципів дії із застосуванням для метрологічної оцінки теорії непевності у вимірюваннях [141].

Для метрологічного дослідження вузлів обліку природного газу та їх елементів безпосередньо в умовах експлуатації створений випробувальний полігон на базі діючої газорозподільної станції високого тиску, що працює в газорозподільних мережах ПАТ «Дніпрогаз» (м.Дніпро, Україна).

В умовах полігону (рис. 4.2) передбачена можливість дослідження експлуатаційних характеристик витратомірних вузлів на природному газі безпосередньо на діючому газопроводі при абсолютному тиску до 0,6 МПа і максимальних вимірюваних витратах газу 1000 м³/год (за робочих умов).

Схема передбачає можливість одночасної роботи до 8-ми послідовно включених лічильників.

Для приведення газу до стандартних умов застосовані обчислювачі: Флоутек (для методу змінного перепаду тиску) та коректори ВЕГА 2.03 (0,7-1 МПа) для лічильників [149].



Рисунок 4.2 – Загальний вигляд полігону ПАТ «Дніпрогаз» в м.Дніпро

Полігон оснащений системою централізованого збору та обробки результатів вимірювань з досліджуваних лічильників і витратомірів. Система побудована за багатоканальним принципом і забезпечує збір і обробку результатів вимірювань з кожного вузла обліку газу, як архівних даних, так і миттєвих значень. Забезпечується повний доступ і управління коректорами-обчислювачами.

Передбачена можливість циклічного опитування даних в реальному масштабі часу з заданим інтервалом, відображення процесів в графічному вигляді як поточних, так і архівних значень.

В якості еталонного засобу вимірювання об'єму газу використовується турбінний лічильник з наступними характеристиками:

- типорозмір КВТ-1.01-G250-80-8.0-0.7;
- номінальний діаметр DN: 80 мм;
- мінімальні витрати q_{min} : 8,0 м³/год;
- перехідна витрата q_t : 12,5 м³/год;
- максимальна витрата q_{max} : 400 м³/год;
- виробник: СП «Радміртех», м.Харків;
- коректор об'єму газу ВЕГА - 2.03.

- границі допустимої відносної похибки вимірювання об'єму газу за стандартних умов для діапазону витрат:

$$q_{min} - 0,05q_{max} \pm 2,25\%; 0,05q_{max} - q_{max} \pm 1,25\%$$

Результати градуювання лічильника КВТ наведені в табл.4.4 і на рис.4.3.

Звіренню піддавався вузол обліку на базі роторного лічильника газу з характеристиками:

- типорозмір КВР-1.01G250-80-1.6-1.0;
- номінальний діаметр DN: 80 мм;
- мінімальні витрати q_{min} : 1,6 м³ / год;
- максимальна витрата q_{max} : 400 м³ / год;
- виробник: СП «Радміртех», м.Харків;

- коректор об'єму газу ВЕГА - 2.03.

- границі допустимої відносної похибки вимірювання об'єму газу за стандартних умов для діапазону витрат:

$$q_{min} - 0,05q_{max} \pm 2,0\%; 0,05q_{max} - q_{max} \pm 1,0\%$$

Таблиця 4.4 – Результати градуювання вузла обліку природного газу на базі КВТ

Діапазон	q_p , м ³ /год	Повітря			Газ	Газ, листопад 2013	
		Дніпрогаз 07.11. 2013	Харків 30.10. 2013	Івано- Франківськ, ЦСМ 12.11.2013	Івано- Франківськ газ, 2013	Полігон 3 бар	Полігон 5 бар
q_{max}	400	0,48	0,241	0,37	2,46	0,8	1,5
$0,7q_{max}$	280	0,42	0,271	-0,12	0,42	0,6	1,0
$0,4q_{max}$	160	0,54	0,27	0,12	0,40	0,5	1,1
$0,25q_{max}$	100	0,39	0,118	-0,03	0,76	0,7	1,0
	60		-0,029				
$0,1q_{max}$	40	0,08		0,25	-0,40	-0,5	-0,3
$0,05q_{max}$	20	0,15	-0,053	0,30	-0,50	-1,2	-0,3
	8		-0,162	0,41			
	5		-0,95	-0,721			
q_{min}	2,5					-0,9	1,1

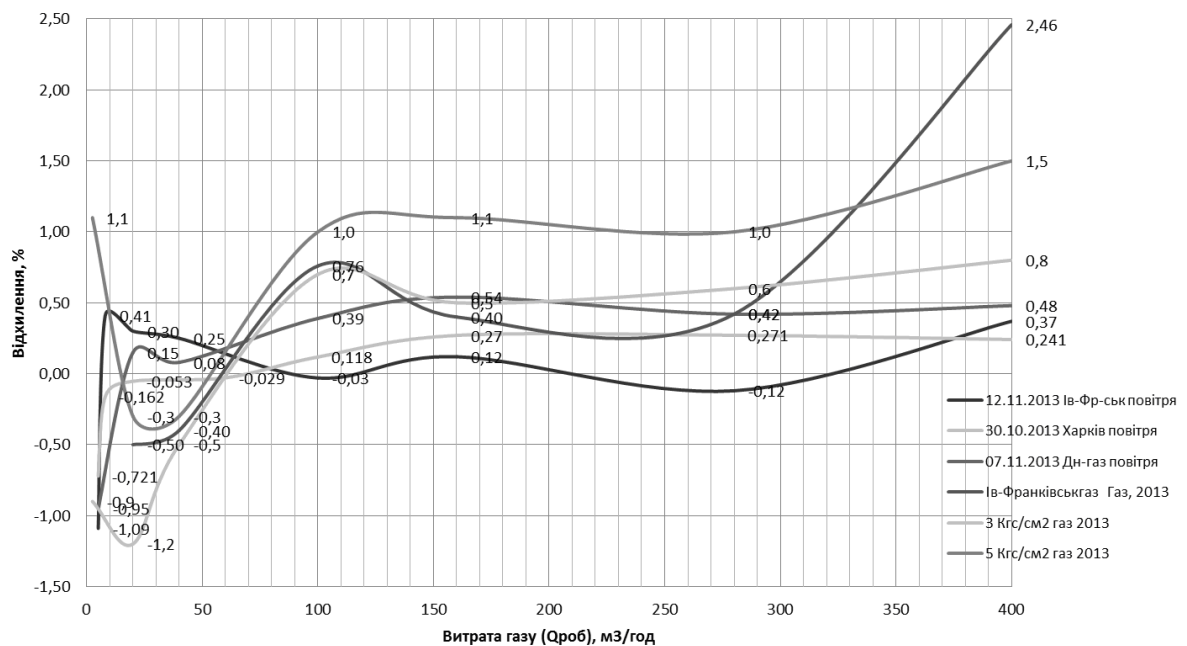


Рисунок 4.3 – Ілюстрація градуювання лічильника КВТ

Результати звірянь наведені в табл. 4.5 і на рис.4.4.

Таблиця 4.5 – Результати звіряння вузлів обліку газу на базі лічильників КВР і КВТ

Діапазон	q_p , м ³ /год	Повітря, травень 2014	Газ листопад 2013- квітень 2014		Газ листопад 2013 - квітень 2014	
			3 бар	6 бар	3 бар	6 бар
q_{max}	400	1,12	0,20	од	-0,6	-1,4
$0,7q_{max}$	280	0,91	0,40	0,4	-0,2	-0,5
$0,4q_{max}$	160	0,62	0,50	0,3	0,0	-0,8
$0,25q_{max}$	100	0,55	0,70	0,6	0,0	-0,3
$0,1q_{max}$	40	-0,81	0,80	0,4	1,3	0,7
$0,05q_{max}$	20	-0,99	1,40	0,5	2,7	0,8
q_{min}	2,5		-4,40	-1,5	-3,5	-2,5

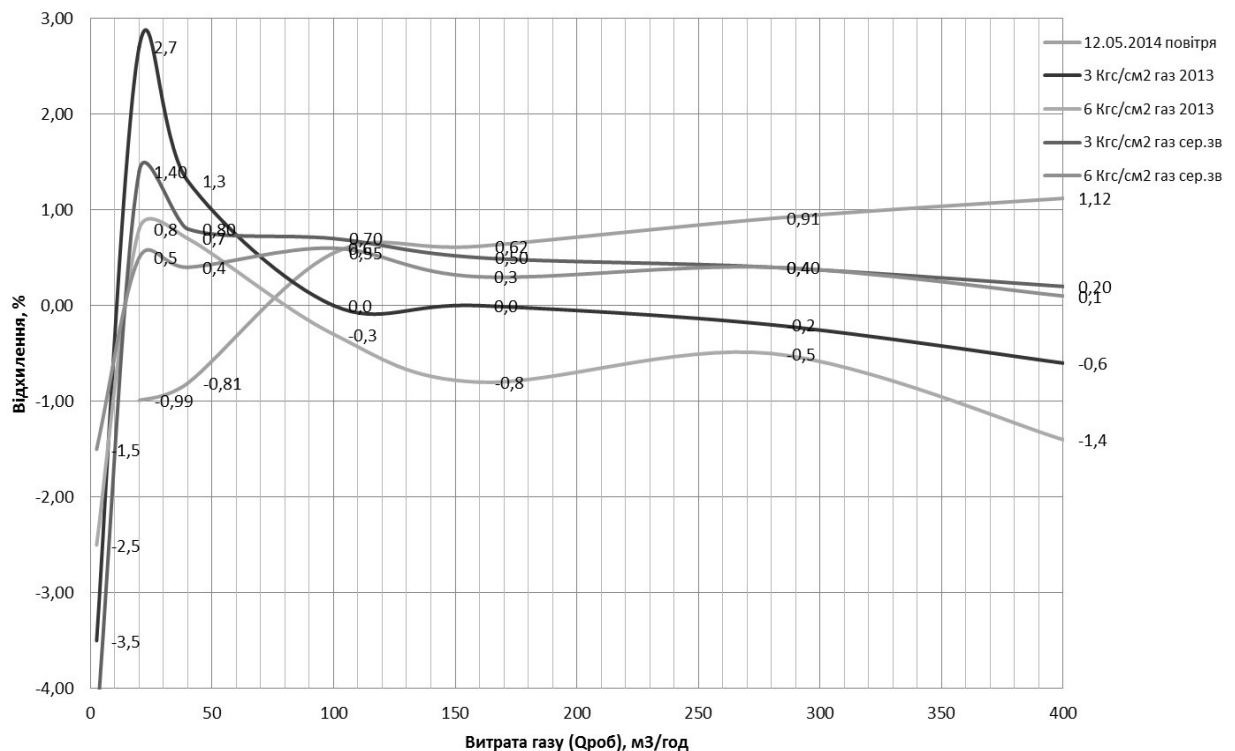


Рисунок 4.4 – Ілюстрація результатів звірянь вузлів обліку газу на базі лічильників КВР і КВТ

Непевність вимірювання при виконанні звірень обчислювалася за формулою [149]:

$$u = \sqrt{u_{BH}^2 + u_{BM}^2}, \quad (4.16)$$

де u_{BH}^2 - оцінка інструментальної стандартної непевності за типом В;

u_{BM}^2 - оцінка методичної стандартної непевності за типом В.

Значення u_{BH}^2 з урахуванням рівномірного розподілу похибки вимірювання еталонного засобу обчислюється як межа допустимої відносної похибки вимірювання об'єму газу за стандартних умов еталонним лічильником з коректором.

Значення u_{BM}^2 чисельно обчислюється як різниця показів звірюваних вузлів обліку газу.

Результати обчислення непевності для різних умов звірянь наведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Значення непевності при звірянні вузлів обліку газу на базі лічильників КВР і КВТ

Стандартна невизначеність	Діапазон витрат $q_{\min} - 0,05q_{\max}$		Діапазон витрат $0,05q_{\max} - q_{\max}$	
	3 бар	6 бар	3 бар	6 бар
$u_{BH}, \%$	1,30	1,30	0,72	0,72
$u_{BM}, \%$	2,54	1,45	0,75	0,81
$u, \%$	2,85	1,95	1,04	1,08

Звірянь піддавався також вузол обліку газу на базі витратоміра змінного перепаду тиску з характеристиками:

- вимірювальний комплекс Флоутек-ТМ №5;

- верхня межа вимірювання витрати, зведеної до стандартних умов: $1000 \text{ м}^3 / \text{год}$;

- нижня межа вимірювання витрати, зведеної до стандартних умов: $87,927 \text{ м}^3 / \text{год}$;

- внутрішній діаметр трубопроводу перед пристроєм звуження: 80мм.

- робочий тиск: до 1,6 МПа.

Результати звірень наведені в табл. 4.7 і на рис. 4.5

Таблиця 4.7 – Результати звірянь вузлів обліку газу Флоутек-ТМ і на базі лічильника КВТ

Діапазон	q_p , м ³ /ГОД	Жовтень 2013		Грудень 2013		Січень 2014		Лютий 2014	
		3 бар	5 бар	3 бар	5 бар	3 бар	5 бар	3 бар	5 бар
q_{max}	400	-0,4	-0,4	1,1	0,1	0,5	0,8	0,1	0,2
$0,7q_{max}$	280	0,0	0,0	0,3	0,3	0,8	0,9	-0,1	0,0
$0,4q_{max}$	160	-0,2	0,0	0,2	0,2	0,6	1,0	0,2	0,0
$0,25q_{max}$	100	0,1	-0,2	-0,1	0,0	0,9	0,6	0,2	0,0
$0,1q_{max}$	40	0,0	1,3	0,3	0,7	1,2	0,6	-0,4	-0,6
$0,05q_{max}$	20	2,8		1,8	1,6	2,6	1,4	2,7	1,5

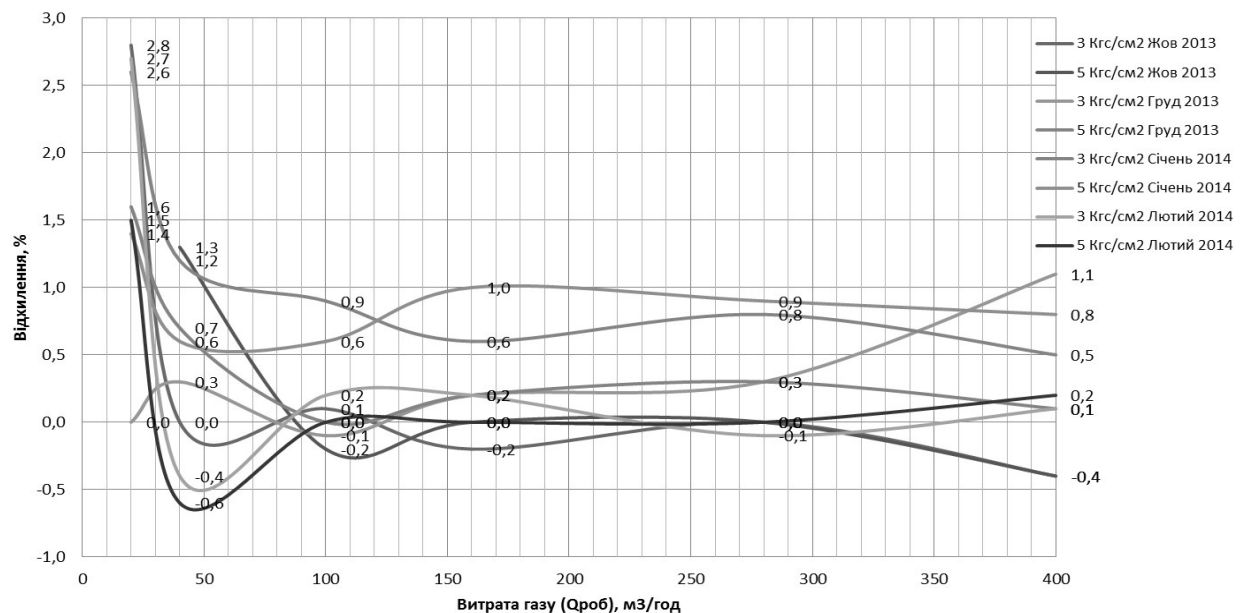


Рисунок 4.5 – Ілюстрація результатів звірянь вузлів обліку газу Флоутек-ТМ і на базі лічильника КВТ

Таблиця 4.8 – Значення непевності при звірванні вузлів обліку газу Флоутек-ТМ і на базі лічильника КВТ

Стандартна непевність	Діапазон витрат $0,05q_{max} - 0,25q_{max}$				Діапазон витрат $0,25q_{max} - q_{max}$			
	3 бар		5 бар		3 бар		5 бар	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
$u_{ВИ}$, %	1,30	1,30	1,30	1,30	0,72	0,72	0,72	0,72
$u_{ВМ}$, %	1,62	1,56	0,92	0,86	0,63	0,46	0,23	0,57
u , %	2,08	2,03	1,59	1,56	0,96	0,86	0,75	0,91

Звіряння вузлів обліку природного газу на базі роторних і турбінних лічильників з коректорами показало що на значення розширеної непевності впливає діапазон витрат лічильників газу і робочий тиск. При цьому значення непевності є меншими (1,04-1,08)% при діапазоні витрат від $0,05q_{\max}$ до q_{\max} і тисках (0,3-0,6) МПа і зростає до 1,95% і 2,85% для діапазону витрат q_{\min} до $0,05q_{\max}$ при тисках 0,6 МПа і 0,3 МПа відповідно.

Звіряння витратомірів типу ФЛОУТКЕК з вузлом обліку на базі турбінного лічильника показано, що похибка на витраті $0,25q_{\min}-q_{\max}$ становить (0,75-0,95)% при тисках (0,3-0,5) МПа і зростає для діапазону витрат $0,05q_{\max}-0,25q_{\max}$ до 1,56% при 0,5 МПа і до 2,03% при 0,3МПа. Встановлено зменшення похибки при звіряннях із збільшенням діапазону витрат і із збільшенням робочого тиску.

Проведені дослідження підтвердили можливість проведення звірянь практично рівних за похибкою засобів вимірювання об'єму природного газу. Отримані результати дозволили чисельно охарактеризувати непевність вимірювання вузла обліку в умовах експлуатації, що відкриває шляхи підвищення достовірності вимірювання об'єму та витрати газу і розробити нові методологічні підходи до створення маловитратних еталонних лічильників з функціонуванням на природному газі.

4.4 Дослідження алгоритмів розрахунку похибки в еталонних установках об'єму та витрати газу при створенні робочих еталонів

В сучасних еталонних установках відтворення та вимірювання об'єму та витрати газу застосовують інформаційно-вимірювальні системи, побудовані на базі мікропроцесорних засобів з програмним забезпеченням для оброблення результатів вимірювання. Вимірювання параметрів робочого середовища, а саме тиску, температури, об'єму, як правило, здійснюють за допомогою давачів та еталонів об'єму із високою точністю. Реальне програмне забезпечення інформаційно-вимірювальних систем розроблене відповідно до

необхідних алгоритмів і дозволяє здійснити обчислювальні операції на основі вимірних параметрів в доступній для оператора формі. Чинні експлуатаційні та нормативні документи [13] регламентують відповідний алгоритм розрахунку похибки лічильника газу на еталонних установках, який може характеризуватися похибкою внаслідок ненормованих вимог до застосовуваних засобів вимірювань. Разом з тим є відсутнім алгоритм розрахунку дійсних значень тиску і температури при послідовному встановленні декількох досліджуваних лічильників у повірювальній лінії еталонних установок, а також алгоритми інтерполяції та апроксимації функції перетворення в еталонних лічильниках газу. Тому дослідження програмних алгоритмів функціонування еталонних установок є актуальною задачею, вирішення якої сприяє підвищенню точності цих установок.

Аналіз літературних джерел вказує на те, що повірку лічильників газу на еталонних установках об'єму та витрати газу здійснюють відповідно із методикою повірки [12, 13] для кожного типу лічильників. У методиці повірки лічильників газу, а також в алгоритмі розрахунку їх похибки δ при повірці за допомогою еталонних установок об'єму та витрати газу застосовується такий алгоритм:

$$\delta = \left[\frac{V_L T_e P_L}{V_e T_L P_e} - 1 \right] \cdot 100, \% \quad (4.17)$$

де V_e, V_L – об'єм середовища, яке проходить через еталонний засіб вимірювання та лічильник газу; T_e, T_L – абсолютне значення температури повітря в еталонному засобі вимірювання та лічильнику газу; P_e, P_L – абсолютне значення тиску в еталонному засобі та в лічильнику газу.

В (4.17) об'єм середовища, яке проходить через лічильник газу та еталонний лічильник газу повірочної установки може бути визначений за такими виразами:

$$V_L = I_L / K_L, \quad (4.18)$$

$$V_e = I_e / K_e, \quad (4.19)$$

де I_L , I_e – сумарна кількість імпульсів лічильника газу і еталонного засобу вимірювання за виміряний контрольний об'єм газу, відповідно; K_L , K_e – коефіцієнти перетворення (імп/м³) повірюваного та еталонного лічильників газу, відповідно.

Очевидним є те, що кожний із змінних параметрів V_e , T_e , P_e , V_L , T_L , P_L буде впливати на загальний результат визначення похибки δ .

Алгоритм розрахунку дійсних значень тиску і температури в установках при одночасній повірці послідовно з'єднаних лічильників газу (багатомісна повірювальна лінія) в чинних нормативних та експлуатаційних документах [13] не наводиться, але може використовуватися в реальному програмному забезпеченні виробників еталонних установок.

Відомі алгоритми інтерполяції та апроксимації функції перетворення в установках з еталонними лічильниками газу [86, 102, 129] при пошуку шляхів підвищення точності функціонування еталонних установок потребують більш ґрунтовного дослідження.

Тому необхідним є дослідження алгоритмів розрахунку похибок в еталонних установках об'єму та витрати газу, зокрема алгоритму розрахунку похибки повірюваного лічильника газу на еталонних установках, алгоритму розрахунку дійсних значень тиску і температури газу для багатомісної повірювальної лінії еталонних установок і алгоритму інтерполяції та апроксимації функції перетворення в еталонних лічильниках газу [134].

Розглянемо кожний із названих алгоритмів окремо.

Дослідження алгоритму розрахунку похибки досліджуваного лічильника газу на еталонних установках.

Як вже вказано вище розрахунок похибки лічильника газу, який повіряється, здійснюється за формулою (4.17). Виходячи з неї, проведемо дослідження впливу зміни атмосферного тиску на результати обчислення похибки лічильника газу, приймаючи до уваги можливі реальні зміни атмосферного тиску. Відомо, що впродовж доби атмосферний тиск змінюється і в його значеннях спостерігається два максимуми – біля 10 і 22

годин та мінімуми – біля 4 і 16 годин. Ближче до екватора ці зміни складають 300-400 Па. В середніх і полярних широтах добове коливання атмосферного тиску може бути більш суттєвим у зв'язку із проходженнями циклонів і атмосферних фронтів. При цьому зміни мають неперіодичний характер і практично є непрогнозованими, тобто будь-коли впродовж доби тиск може різко підвищитись або знизитись. Так за добу інколи тиск в одному пункті може змінитись на 2000-3000 Па.

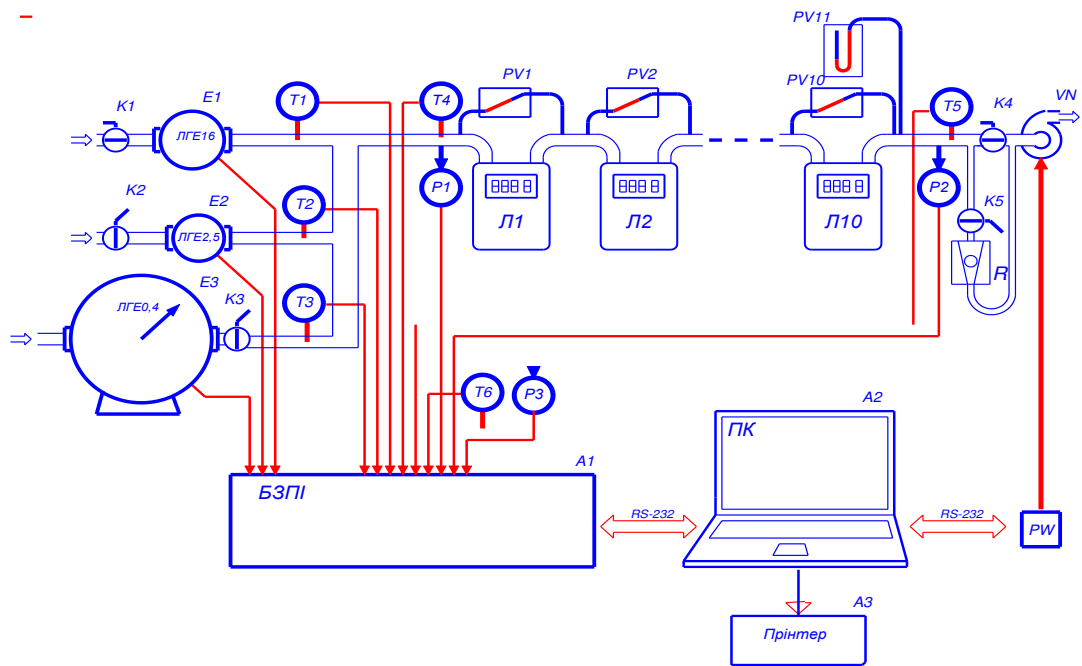
У зв'язку з річною зміною температури та сезонними змінами у м. Києві на рівні моря за даними багаторічних спостережень середній тиск у січні становить 102,1 кПа, а в липні - 101,2 кПа, тобто річна амплітуда 900 Па. При цьому зауважимо, що абсолютна амплітуда річної зміни атмосферного тиску на рівні земної поверхні в Україні досягає 600-820 Па.

Таким чином для дослідження приймаємо річну зміну абсолютного тиску від 102,1 до 101,2 кПа при необхідному максимальному розрідженні або надлишковому тиску вимірювального середовища в еталонних установках до 2 кПа (для умов повірки одного турбінного лічильника газу або 10 мембранних лічильників газу). Приймаємо також, що температура на повірюваному і еталонному лічильниках газу становить 293 К, що буде відповідати умові $V_{II} = V_e$.

Після розрахунків об'єму газу із застосуванням основного рівняння стану газу [11] отримаємо різні розраховані значення виміряного об'єму. Обчислена при цьому похибка буде становити 1,959% при абсолютному тиску 102,1 кПа і 1,976% при тиску 101,2 кПа. Тобто різниця при розрахунку похибки від зміни атмосферного тиску може складати 0,017%, що є суттєвим для еталонних установок. Тому в еталонних засобах вимірювання об'єму газу повинні застосовуватися перетворювачі абсолютного тиску.

Дослідження алгоритму розрахунку дійсних значень тиску і температури газу для багатомісної повірювальної лінії еталонних установок. При цьому необхідно вяснити: як буде змінюватися фактично розрахована похибка лічильника газу при його повірці в залежності від місця розташування у

повірювальній лінії. Очевидним є те, що похибка змінюватися не буде, якщо перед кожним лічильником газу проводити вимірювання тиску, а після кожного лічильника – температуру. В типових схемах еталонних установок з вимірювальною лінією для групи лічильників газу відбір тиску і температури здійснюється на її початку та в кінці, тобто перед першим лічильником газу та після останнього лічильника газу (рис.4.6).



E1 – E3 – еталонні лічильники газу, Л1 – Л10 – досліджувані лічильники газу в повірювальній лінії, T1 – T6 – перетворювачі термоопору, P1, P2 – перетворювачі різниці тиску, P3 – перетворювач абсолютного тиску, K1 – K3 – засувки запірні, K4, K5 – засувки регулюючі, FV1 – FV11 – вакуумметри, VN – задавач витрати повітря, PW – регулятор частоти.

Рисунок 4.6 – Структурна схема установки УПЛГ-10 для перевірки лічильників газу

Тому в алгоритмі розрахунку похибки лічильника газу необхідно коригувати абсолютні значення температури і тиску. Так при кількості лічильників газу рівних n , значеннях тиску P_i і значеннях температури T_i для кожного i -го досліджуваного лічильника можна визначати за формулами:

$$P_i = P_{ex} + (P_{вух} - P_{ex})(i - 1) / n, \quad (4.20)$$

$$T_i = T_{ex} + (T_{вух} - T_{ex}) i / n, \quad (4.21)$$

де P_{ex} , T_{ex} – абсолютне значення тиску і температури робочого середовища на вході в багатомісну повірювальну лінію, відповідно; $P_{вих}$, $T_{вих}$ – абсолютне значення тиску і температури робочого середовища на виході з багатомісної повірювальної лінії, відповідно.

В деяких установках алгоритм розрахунку тиску перед лічильником газу не відповідає формулі (4.17) і, відповідно, вносяться суттєві похибки при повірці лічильників газу. Якщо змінити місце розташування лічильника на повірювальній лінії при спрощеному алгоритмі $P_i = P_{ex} + (P_{вих} - P_{ex}) i / n$ (так як цей фактор присутній в багатьох установках) та перемістити з першого місця на будь-яке інше місце (від другого до десятого), то його похибка буде залежати від місця розташування і за даними опрацювання результатів досліджень авторів статті може перевищувати навіть 0,3%.

Дослідження алгоритму інтерполяції та апроксимації функції перетворення в еталонних лічильниках газу.

Еталонні лічильники газу, як засіб передавання одиниці об'єму газу, набули широкого застосування в установках для повірки лічильників газу [11, 102]. Основну складову похибки установки складає похибка еталонних лічильників об'єму газу. Використовуючи алгоритм метрологічної атестації робочих еталонів об'єму газу [107, 108], можна визначити з достатньою точністю їх коефіцієнт перетворення K_D (імп/м³) для всього діапазону функції перетворення. Однак досвід роботи з метрологічної атестації еталонних лічильників газу ЛГЕ-25; ЛГЕ-250 і ЛГЕ-2500 показує, що коефіцієнт перетворення у всьому діапазоні не є постійним, а для опису функції їх перетворення достатньо мати 6-7 метрологічно атестованих точок, які можна апроксимувати степеневим поліномом [94]. Але завдання дослідження полягає у тому, щоб апроксимаційна крива була максимально наближена до точок, отриманих при метрологічній атестації. Величина відхилення згаданих точок від апроксимаційної функції буде впливати на похибку еталонного лічильника газу.

Для дослідження та аналізу було взято інтерполяційну криву у виді

кубічних сплайнів та степеневий поліном, який застосовували для апроксимації функції перетворення еталонного лічильника газу. При цьому визначення коефіцієнтів поліному здійснювалося за допомогою програми «MS Excel функції LINEST» та методом найменших квадратів [134].

Слід зауважити, що інтерполяція – методичний підхід, за допомогою якого отримують аналітичні залежності табличних функцій за умови, що аналітична функція $Q(x)$ проходить через всі задані експериментальні точки, а апроксимація – методичний підхід, за допомогою якого знаходиться така аналітична функція $Q(x)$, що “найкращим чином” наближається до заданої табличної функції. Звичайно “найкращим чином” – це критерій, при застосуванні якого використовується критерій мінімуму середнього квадратичного відхилення (СКВ), який заснований на тому, що сума квадратів відхилень аналітичної функції $q(x_i)$ від експериментально отриманих дискретних значень y_i в i -их точках (при $i=0,1, \dots, k$) повинна бути мінімальною, тобто:

$$\sum q(x_i - y_i)^2 \rightarrow \min . \quad (4.22)$$

Інтерполяцію можна розглядати як частковий випадок апроксимації, якщо відхилення степеневого поліному від експериментальних значень дорівнює нулю [131, 132].

Для дослідження були взяті результати державної метрологічної атестації еталонних лічильників газу ЛГЕ-25.

Через сім точок похибка еталонного лічильника, отриманих при його державній метрологічній атестації, проведено криву, отриману методом кубічних сплайнів, тобто криву інтерполяції.

Для апроксимації функції перетворень еталонного лічильника газу, заданої таблично, приймаємо степеневий поліном такого виду [53]:

$$K = \sum_{l=0}^4 (A_l q^{l-2}), \quad (4.26)$$

де K – кількість імпульсів на 1 метр кубічний, q – витрата, A – коефіцієнти, l – кількість коефіцієнтів.

За допомогою програми MS Excel були розраховані коефіцієнти степеневого поліному та побудована крива. Використовуючи цей же степеневий поліном методом найменших квадратів, розраховані його коефіцієнти та побудована крива апроксимації.

Таблиця 4.8 – Результати апроксимації функції перетворення еталонного лічильника газу ЛГЕ-25 різними методами заданої таблично

Витрата Q, м ³ /год	Коефіцієнт перетворення, імп/м ³	Коефіцієнт перетворення при апроксимації по MS Excel, імп/м ³	Відхилення при апроксимації по MS Excel, %	Коефіцієнт перетворення при апроксимації МНК, імп/м ³	Відхилення при апроксимації по МНК, %
2,93	25302,61	25303,734	0,00	25315,973	0,05
6,03	25288,76	25280,197	-0,03	25244,202	-0,18
10,05	25229,04	25267,877	0,15	25290,12	0,24
12,5	25338,72	25315,772	-0,09	25332,214	-0,03
15,96	25428,49	25387,198	-0,16	25382,236	-0,18
20,07	25384,66	25431,443	0,18	25412,239	0,11
25,14	25397,67	25384,437	-0,05	25392,963	-0,02

$K, \text{імп/м}^3$

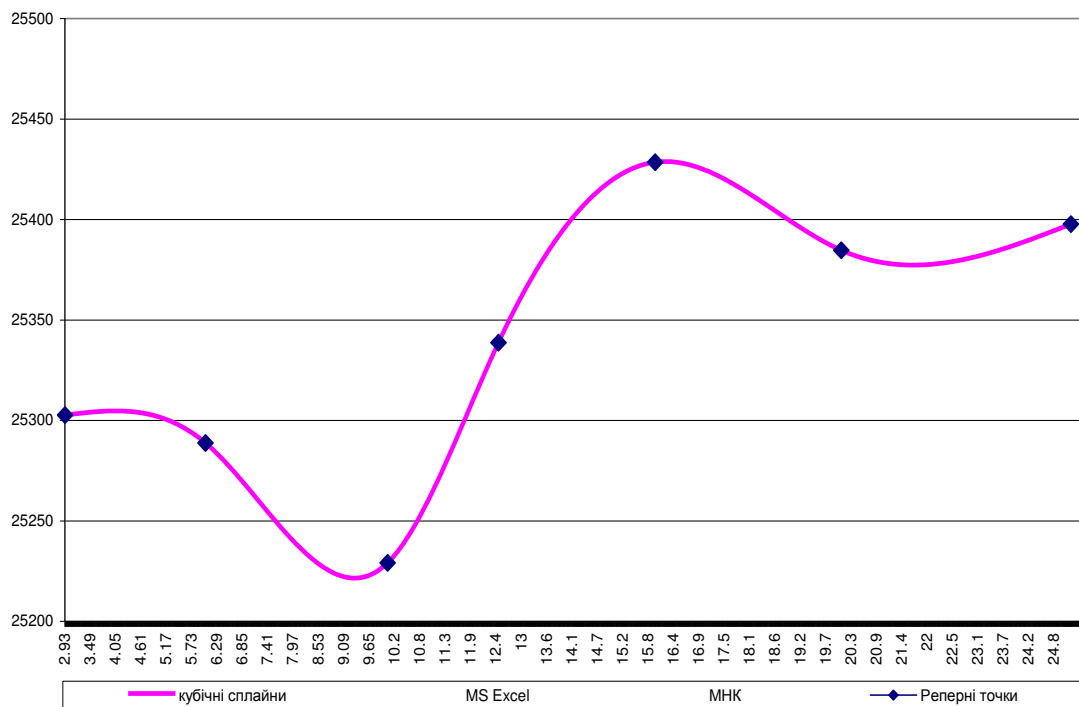


Рисунок 4.7 – Графіки апроксимації функції перетворення еталонного лічильника газу ЛГЕ-25 за 7-ма точками

Отримані за зазначеними вище методами функції перетворення еталонного лічильника газу ЛГЕ-25, який може бути застосованим для перевірки метрологічних характеристик ПЛГ, зображені на рис.4.7, а результати розрахунку коефіцієнтів та відхилень від експериментальних даних приведені в табл.4.8.

Аналізуючи результати дослідження, які приведені на рис.4.7, можна стверджувати, що крива полінома (кубічні сплайни) плавно проходить через всі точки функції перетворення лічильника ЛГЕ-25, а крива степеневого поліному, коефіцієнти якого отримані за допомогою програми MS Excel, найближче проходить тільки по трьох точках. По трьох точках в ЛГЕ-25 найбільші відхилення складають 0,18%. Треба зауважити, що функція LINEST, яка використана в програмі MS Excel для апроксимації функції перетворення еталонного лічильника газу, призначена для лінеаризації (вирівнювання) лінії, яка найкраще апроксимує наявні дані. Крива степеневого поліному, коефіцієнти якого розраховані по методу найменших квадратів, проходить поблизу всіх точок функції перетворення з відхиленням 0,18% для ЛГЕ-25. Підкреслимо також, що крива апроксимації функції перетворення для ЛГЕ-25 має чотири екстремуми, а запропонований для апроксимації в даному випадку поліном другого порядку не дозволяє отримати достовірні дані з мінімальною похибкою. Це також свідчить про вплив програмного забезпечення на метрологічні характеристики еталонних установок при формуванні їх метрологічних моделей.

4.5 Апробація експериментально-розрахункового методу метрологічного перевіряння ПЛГ і розроблення проекту нормативного документу для повірки ПЛГ в умовах експлуатації

Апробація стосувалася методу метрологічного перевіряння побутових лічильників газу (ПЛГ) за обмеженим діапазоном нормованих відтворюваних

робочих витрат (мінімальна витрата q_{\min} і витрата 20% від максимальної $0,2q_{\max}$), який розроблений при виконанні дисертаційної роботи.

Експериментальне визначення похибок ПЛГ моделей САМГАЗ G4 і METRIX G4 в умовах ПАТ "Івано-Франківськгаз" здійснювалося з використанням установки повірочної дзвоногового типу ІФГАЗ-2 з діапазоном вимірювань від $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$ до $16 \text{ м}^3/\text{год}$, яка призначена для визначення та контролю метрологічних характеристик лічильників газу типорозмірів від G1,6 до G10 з використанням повітря як робочого середовища. Метрологічні характеристики установки: границя похибки $\pm 0,27\%$; розширена невизначеність вимірювань при коефіцієнті охоплення $k=2$ становить $\pm 0,27\%$.

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

Другим етапом було проведення апробації застосування експериментально-розрахункового методу визначення похибки ПЛГ на максимальній витраті для довільно сформованої вибірки із п'яти лічильників моделей САМГАЗ G4 і METRIX G4 (див додаток В). При цьому було здійснено визначення експериментальним шляхом похибки для кожного лічильника на трьох витратах q_{\min} , $0,2q_{\max}$, q_{\max} і порівняння похибки на максимальній витраті $\delta_{q_{\max}}$ з розрахованим її значенням $\delta_{q_{\max}}^{\text{розрах}}$ згідно розробленого методу перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном робочих витрат.

Результати експериментальних досліджень подані в таблицях додатку В, а алгоритм опрацювання даних експериментальних досліджень також поданий в додатку В.

Встановлено працездатність методу метрологічного перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном нормованих відтворюваних робочих витрат, оскільки різниця між розрахованою похибкою лічильників на максимальній витраті і експериментально визначеною на повірочній установці не перевищує 0,35% для ПЛГ моделі САМГАЗ G4 і 1,15% для ПЛГ моделі METRIX G4, що практично не перевищує половини допустимої похибки ($\pm 2\%$) ПЛГ на максимальній витраті.

Розроблений проект нормативного документу для повірки ПЛГ в умовах експлуатації, який у перспективі після його затвердження відкриває можливість практичного запровадження бездемонтажної повірки ПЛГ на природному газі.

Проект розробленого вказаного нормативного документу викладений в додатку Д.

4.6 Висновки до розділу 4

1. Розглянуті і метрологічно оцінені алгоритми практичної реалізації двох напрямів експериментально-розрахункового методу при визначенні похибки ПЛГ за умови функціонування на максимальній витраті.

Кількісна оцінка похибки визначення похибки ПЛГ за максимальної витраті згідно *першого напрямку*, який враховує узагальнений приріст зміни похибки з врахуванням всіх обраних діапазонів зміни похибки ПЛГ за мінімальної витрати показала, що вона практично не перевищує третини ($\pm 0,7\%$) від паспортної похибки ПЛГ ($\pm 2\%$) на максимальній витраті. Це обґрунтовує можливість практичного застосування цього методу при повірці ПЛГ за обмеженим діапазоном робочих витрат.

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

2. Проведені результати метрологічних досліджень нового методу метрологічного перевіряння ПЛГ обґрунтовують доцільність його практичного застосування, оскільки це суттєво знижує вартісні затрати еталонних установок внаслідок зменшення їх робочих діапазонів витрат, сприяє збільшенню продуктивності еталонних установок за рахунок повірки ПЛГ на двох нормованих замість трьох витратах, а також відкриває можливості реалізації не тільки метрологічного перевіряння, але і повірки ПЛГ за місцем експлуатації внаслідок усунення потреби застосування спеціального джерела витрати з додатковим технологічним обладнанням для відтворення максимальної робочої витрати через ПЛГ при запровадженні його бездемонтажного перевіряння.

3. Проведено моделювання фізичних процесів в еталонних установках при калібруванні ПЛГ, які стосуються особливостей повірки ПЛГ і апроксимації градуувальної характеристики еталонних засобів вимірювальної техніки.

Встановлено, що в еталонних установках необхідно застосовувати давачі абсолютного тиску, а не надлишкового, оскільки не врахування цього може привести до збільшення похибки еталонних установок на 0,02%.

Показано, що при багатомісній повірювальній лінії обов'язково потрібно враховувати місцеположення кожного досліджуваного лічильника газу (насамперед при метрологічних дослідженнях побутових лічильників) і в алгоритм розрахунку похибки досліджуваного лічильника необхідно брати

розраховані значення тиску і температури за відповідними вказаними в цьому розділі формулами, оскільки додаткова неврахована методична похибка може перевищувати 0,3%.

4. Встановлено що при калібруванні робочих еталонів апроксимаційний степеневий поліном з розв'язком по методу найменших квадратів дає добрі результати співпадіння з експериментальними точками при наявності не більше двох екстремумів, що дає йому право на застосування в визначенні функції перетворення еталонних лічильників газу. За інших умов необхідно застосовувати алгоритми кубічних сплайнів для інтерполяції функції перетворення еталонних лічильників газу, так як вони проходять через всі експериментально отримані точки без відхилення і забезпечують можливість підвищення точності еталонних установок.

5. З використанням модельного підходу запропоновано алгоритм оцінювання непевності при визначенні похибки на максимальних робочих витратах ПЛГ при вимірюванні ними об'єму газу.

6. Здійснено звіряння вузлів обліку природного газу на базі роторних і турбінних лічильників з коректорами, яке показало що на значення розширеної непевності впливає діапазон витрат лічильників газу і робочий тиск. При цьому значення непевності є меншими (1,04-1,08)% при діапазоні витрат $0,05q_{\max}-q_{\max}$ і тисках (0,3-0,6) МПа і зростає до 1,95% і 2,85% для діапазонів витрат $q_{\min}-0,05q_{\max}$ при тисках 0,6 МПа і 0,3 МПа відповідно.

Звіряння витратомірів типу ФЛОУТКЕК з вузлом обліку на базі турбінного лічильника показано, що похибка на витраті $0,25q_{\min}-q_{\max}$ становить (0,75-0,95)% при тисках (0,3-0,5) МПа і зростає для діапазону витрат $0,05q_{\max}-0,25q_{\max}$ до 1,56% при 0,5 МПа і до 2,03% при 0,3МПа. Встановлено зменшення похибки при звіряннях із збільшенням діапазону витрат і із збільшенням робочого тиску.

7. Наведені результати апробації метрологічного перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном робочих витрат, які підтвердили правильність методичного підходу при реалізації розробленого методу метрологічного

перевіряння.

8. Розроблений проект нормативного документу для повірки ПЛГ в умовах експлуатації.

ВИСНОВКИ

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішене актуальне науково-прикладне завдання у галузі вимірювання об'єму природного газу, яке стосується удосконалення методу і технічних засобів для метрологічного перевіряння побутових лічильників газу (ПЛГ). При цьому отримані такі наукові і практичні результати:

1. Проведено аналіз методів, нормативних документів і засобів для метрологічного перевіряння ПЛГ, за результатами якого здійснено обґрунтування напрямків удосконалення методу і технічних засобів для бездемонтажного метрологічного перевіряння побутових лічильників.

2. Вперше встановлено статистичні закономірності зміни похибки мембранних ПЛГ, в діапазоні від +3% до -30% при мінімальних витратах, що дозволило науково обґрунтувати і сформулювати новий патенто захищений експериментально-розрахунковий метод визначення їх похибки за обмеженим діапазоном контрольованих витрат, який дозволяє реалізувати бездемонтажне метрологічне перевіряння ПЛГ за місцем експлуатації у всьому діапазоні робочих витрат, при якому похибка визначення похибки ПЛГ на максимальній витраті не перевищує $\pm 0,7\%$.

3. Вперше досліджено вплив експлуатаційних і конструктивних факторів на стабільність метрологічних характеристик ПЛГ, що дозволяє коригувати міжповірочний інтервал для ПЛГ шляхом його збільшення за умови вимірювання лічильниками впродовж міжповірочного інтервалу не більше певної кількості газу, яка, наприклад, для лічильників типорозміру G4 не повинна перевищувати 30 тис. м³;

4. Набули подальшого розвитку теоретичні дослідження теплообмінних процесів у еталонних витратовимірювальних установках для калібрування робочих еталонів на базі еталонних лічильників газу, що покращує їхні конструктивні та метрологічні характеристики.

5. Набуло подальшого розвитку звіряння засобів вимірювання об'єму природного газу різних принципів дії, що відкриває можливості удосконалення технічних засобів вимірювання об'єму за малих витрат природного газу як еталонних засобів для реалізації бездемонтажного метрологічного перевіряння ПЛГ на природному газі. Встановлено зменшення похибки при звіряннях турбінних і роторних лічильників, а також витратомірів типу ФЛОУТЕК до $\pm (0,75-0,95)\%$ на витратах (20-100)% від максимальних і тисках близьких до (0,5-0,6) МПа, а також встановлено зростання цієї похибки до $\pm (1,95-2,85)\%$ при витратах від мінімальних до 20% від максимальних і тисках (0,3-0,5) МПа. Встановлено зменшення похибки при звіряннях до $\pm(0,7-1,0)\%$ із зростанням тиску від 0,3 до 0,6 МПа.

6. Набула подальшого розвитку теорія метрологічних досліджень ПЛГ з метою коректного оцінювання їх метрологічних характеристик при реалізації експериментально-розрахункового методу визначення похибки ПЛГ за обмеженим діапазоном контрольованих витрат з використанням теорії похибок і концепції непевності вимірювань.

7. Розроблено нові технічні рішення установок для метрологічного перевіряння ПЛГ на місці експлуатації, які захищені патентами України на винаходи і корисні моделі, що на відміну від відомих методичних і технічних підходів дає можливість визначати похибку ПЛГ за місцем експлуатації.

8. Здійснено апробацію експериментально-розрахункового методу метрологічного перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном робочих витрат, що підтвердило правильність теоретичних підходів і практичних рішень для створення перевірочних установок, які можуть використовуватися для метрологічного перевіряння ПЛГ як за місцем експлуатації, так і при їх демонтажі із застосуванням стаціонарних еталонних установок. При цьому як робоче середовище в залежності від конструкції перевірочних установок може використовуватися природний газ або повітря.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гончарук М. І., Чеховський С. А., Середюк О. Є. Рациональне використання природного газу як одна із складових збереження його ресурсів. *Нафтова і газова промисловість*. 2005. № 2. С. 3–10.
2. Сучасний стан метрологічного забезпечення побутових лічильників газу / О. Є. Середюк, А. Г. Винничук, Л. А. Витвицька, З. П. Лютак. *Методи та прилади контролю якості*. 2011. № 26. С. 65–70.
3. Облік газу в дії: скільки газових лічильників встановлено в Україні. [Електронний ресурс] URL: <https://104.ua/ua/gas> (дата звернення: 03.07.2019). Назва з екрану.
4. Газ і гроші. [Електронний ресурс] URL: <https://104.ua/ua/gas-and-money> (дата звернення: 04.07.2019). Назва з екрану.
5. 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.
6. Повірка побутових лічильників газу під час експлуатації / О. Є. Середюк, Т. І. Лісевич, Б. І. Прудніков, Я. С. Федоришин. *Методи та прилади контролю якості*. 1999. № 3. С. 89–91.
7. Seredyuk O., Liutenko T., Seredyuk D., Warsza Z. Badanie bledow pomiarowych gazomierzy membranowych po szesciu latach ich eksploatacji. *Zeszyty Naukowe Wydzialu Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdanskiej*: publ. XXI Miedzynarodowe Seminarium Metrologow: MSM 2017, 12-15 wrzesnia, 2017. Rzeszow-Czerniowce: Gdansk, 2017. Nr 55. S. 65–68.
8. Наказ Мінекономрозвитку і торгівлі України від 08.02.2016 № 193 "Про затвердження Порядку проведення повірки з законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів".
9. 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.

10. Середюк О. Є., Винничук А. Г. Мобільна установка для бездемонтажного діагностування побутових лічильників газу. *Нафтогазова енергетика*. 2007. № 3(4). С. 76–80.

11. Облік природного газу: довідник / уклад.: М. П. Андрієшин, О. М. Карпаш, О. Є. Середюк [та ін.]; за ред. проф. С. А. Чеховського. Івано-Франківськ: ПП «Сімик», 2008. 180 с.

12. 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).

13. 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).

14. Щупак І. В., Чернищенко О. М., Андрієшин М. П. Сучасні підходи до вимірювання об'єму та об'ємної витрати природного газу. *Нафтогазова галузь України*. 2014. № 5. С. 39–41.

15. Власюк Я. М., Компан А. І., Власюк Л. Я. Достовірність приладового обліку природного газу. *Нафтогазова галузь України*. 2013. №6. С. 38–40.

16. Шевченко В. В. Счетчики газа: устройство и применение. *Отопление и ГВС*. 2004. № 1. С. 20–21.

17. ДСТУ 3336-96. Лічильники газу побутові. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 1996-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України. 1996. 9 с. (Державний стандарт України).

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

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

20. Счетчик газа диафрагменный Gallus 2002. Паспорт. Actarismeteringsystems. 2007. 8 с.
21. ДСТУ 3607-97. Лічильники газу побутові. Правила приймання та методи випробувань. [Чинний від 1998-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 1997. 24 с. (Державний стандарт України).
22. Технічний регламент щодо суттєвих вимог до засобів вимірювальної техніки: Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 08.04.2009, №332.
23. ДСТУ EN12480:2006. (EN 12480:2002:IDT). Лічильники газу роторні. Загальні технічні умови. [Чинний від 2007-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. VI, 25с. (Національний стандарт України).
24. ДСТУ EN12261:2006. (EN 12261:2002:ITD). Лічильники газу турбінні. Загальні технічні умови. [Чинний від 2007-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. V, 33с. (Національний стандарт України).
25. Щодо повірки витратомірів-лічильників на природному газі / Ю. В. Кузьменко, В. В. Онушко, А. М. Рак, І. В. Щупак *Український метрологічний журнал*. 2014. № 4. С. 58–60.
26. Середюк О. Є. Дослідження впливу інтенсивності роботи побутових лічильників газу на їх метрологічні характеристики. *Приладовий облік природного газу, його нормативно-правове та метрологічне забезпечення*: матеріали Всеукр. семінар-наради, м. Запоріжжя, о. Хортиця, 27–31 трав. 2019 р., Київ: НАК «Нафтогаз України». 2019. С. 8–12.
27. ДСТУ OIML R 137-1:2006. Газові лічильники. Частина 1. Метрологічні та технічні вимоги. [Чинний від 2006-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 43 с.
28. Петришин І. С. Науково-методологічні та технічні засади забезпечення точності вимірювань витрати природного газу: дис. доктора техн. наук: 05.11.01/ІФНТУНГ. Івано-Франківськ, 2007. 379с.

29. Середюк О.Є. Метрологічне забезпечення відтворення і передавання одиниць об'єму і об'ємної витрати природного: дис. доктора техн. наук: 05.01.02 / ІФНТУНГ. Львів, 2009. 350 с.

30. Спосіб діагностування лічильників газу в експлуатації / І. С. Петришин, М. В. Кузь, Н. І. Петришин, Я. В. Безгачнюк: пат. 84908 С2 Україна, МПК (2006) G01F25/00. №а200609753; заявл. 11.09.06; опубл. 10.12.08; Бюл. № 23.

31. Середюк О.Є. Нова методологія повірки побутових лічильників газу за результатами статистичних досліджень їх експлуатаційної похибки. *Облік природного газу та метрологія*: матеріали Всеукр. семінар-нарада м. Чернівці, 21–25 травня 2018 року, Київ: НАК “Нафтогаз України”. 2018. С. 21–25

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

33. Стратегия развития метрологического обеспечения учета природного газа в Украине / А. С. Дудолад, В. Б. Большаков, Н. И. Косач, В. П. Слипушенко. *Український метрологічний журнал*. 2012. № 4. С. 31–35.

34. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю / Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк. Вінниця: ВДТУ, 2001. 210 с.

35. ГОСТ Р 50818-95. Счетчики газа объемные диафрагменные. Общие технические требования и методы испытаний . [Введен от 1995-09-26]. М.: Госстандарт России, 1996. III, 19 с.

36. Dopke J. Niezawodnosc gazomierzy miechowych. *Problemy Jakosci*. 2007. V. 39, Nr 4. P. 47–52.

37. Kuiaga P. Trwaіość gazomierzy mechanicznych – güine metody badania. *Nafta-Gaz*. 2015. №8. P. 565–571.

38. Jacek M., Jacek J. Optymalny dobytek gazomierzy mieschowych przez operatora systemu gazowniczego. *Nafta-Gaz*. 2017. № 4. P. 274–286.

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

40. Правила обліку природного газу під час його транспортування газорозподільними мережами, постачання та споживання: затв. наказом Мінпаливенерго України від 27.12. 2005 р. № 618.

41. МП 412/03–2010. Метрологія. Перевірка технічного стану вузлів обліку газу з використанням установки "ЕК–Б" / В.І. Карташев, М.В. Бабіченко, В.С. Бондаренко [та ін.]. [Чинна від 01.11.2011 р.]. К.: ДП «Укрметртестстандарт», 2010. 21 с.

42. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення. [Чинний від 1995-01-01]. Київ, 1994. 68 с.

43. Спосіб діагностування та перевірки побутових лічильників газу / О. Є. Середюк, С. А. Чеховський, А. Г. Винничук, М. І. Гончарук, Б. І. Прудніков: пат. 16522 U Україна, МПК (2006) G01 F 25/00. № u200601289; заявл. 09.02.06; опубл. 15.08.06, Бюл. № 8.

44. Петришин І. С. Щодо питання діагностування побутових лічильників газу в експлуатації. *Методи та прилади контролю якості*. 2011. № 26. С. 60–64.

45. Спосіб бездемонтажного діагностування побутових лічильників природного та зрідженого газу в експлуатації / О. А. Бас, І. С. Петришин: пат. 67329 Україна, МПК (2012.01) G01F 25/00. № u201110508; заявл. 30.08.2011; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 3.

46. Спосіб метрологічного діагностування вимірювальних трубопроводів із загальним вхідним і вихідним колекторами, які входять до складу витратомірів газу / В. М. Коломеев, А. Ф. Фролов, Ю. В. Пономарьов, В. О. Глушко: пат. 34514 С2 Україна, МПК 7 G 01 F 25/00. № 99063229; заявл. 11.06.99; опубл. 15.03.01, Бюл. № 2.

47. Пристрій оперативного експрес-контролю лічильників природного газу / О. М. Карпаш, М. О. Карпаш, І. С. Петришин, П. М. Райтер, М. І. Гончарук: пат. 71492 А Україна, МПК 7G01F25/00. № 20031213285; заявл. 31.12.03; опубл. 15.11.04, Бюл. № 11.

48. Досвід використання турбінного вимірювача швидкості потоку газу для експерс-повідки побутових лічильників газу / Є. М. Бакулін, С. П. Сидоренко, І. Я. Дарвай, І. В. Рибіцький, М. О. Карпаш. *Методи та прилади контролю якості*. 2007. № 18. С. 54–58.

49. 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.

50. Власюк Я. М., Середюк О. Є., Малісевич В. В. Аналіз застосування контрольних лічильників газу для підвищення точності обліку природного газу. *Методи та прилади контролю якості*. 2009. № 23. С. 66–72.

51. Книга по газу. *Рекламний проспект фірми SchlumberRombach*. 2000. 126 с.

52. Membranovy plynomery G4, G6 (turPG), G1.6, G2.5, G4, turBK. *Рекламний проспект фірми Premagas*. 2000. 12 с.

53. Воцинський В. С., Середюк О. Є., Лютенко Т. В. Дослідження алгоритмів розрахунку похибки в еталонних установках об'єму та витрати газу. *Приладовий облік природного газу та метрологія: Всеукр. семінар-нарада. Збірка доповідей м. Яремче, 16–19 грудня 2013 року, Київ: НАК “Нафтогаз України”*. 2013. С. 15–21.

54. Dopke J. Dokiadno ь ж rozliczania dostaw gazu w realnych warunkach opromiarowania. *Gaz, woda i technika sanitarna*. 2006. № 2. Р. 2–7.

55. Петришин І. С., Безгачнюк Я. В. Особливості повірки лічильників газу в робочих умовах. *Український метрологічний журнал*. 2006. № 2. С. 46–48.

56. ДСТУ 2708: 2006. Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення. [Чинний від 2006-07-01]. Вид.

офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. III, 13 с. (Національний стандарт України).

57. ДСТУ 4313:2004. Газ природний горючий. Вимірювання витрати. Терміни та визначення понять. [Чинний від 2004-06-05]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 35 с. (Національний стандарт України).

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

59. Метрологія і технологічні вимірювання у нафтовій та газовій промисловості : навч. посіб. / С. А. Чеховський, І. С. Петришин, Н. М. Піндус, С. П. Ващишак, Л. А. Витвицька, М. А. Кононенко, О. Є. Середюк, В. М. Романів. За ред. проф. Чеховського С. А. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2010. 534 с.

60. Петришин І. С. Сертифікаційна модель лічильника газу. *Методи та прилади контролю якості*. 2000. №5. С. 54–57.

61. Спосіб діагностування засобів витратовимірювальної техніки з рухомими чутливими елементами / С. І. Мельничук, В. М. Романів, С. В. Яковин [та ін.]: пат. 5981 U Україна, МПК 7 G01 F 25/00. № 2004031930; заявл. 16.03.04; опубл. 15.04.05, Бюл. № 4.

62. 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.

63. Дзвонова установка для градуювання та перевірки витратомірів і лічильників газу / Б. І. Прудніков, О. Є. Середюк, Я. С. Федоришин: пат. 42275 С2 Україна, МПК 7 G01 F 25/00. № 2000127353; заявл. 20.12.00; опубл. 15.02.05, Бюл. № 2.

64. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества вещества: Справочник: Кн.1. СПб.: Политехника, 2002. 409с.

65. Дзвонова установка для градуювання та перевірки витратомірів і лічильників газу / Д. О. Середюк, А. Г. Винничук, О. Є. Середюк, С. А.

Чеховський: пат. 27563 U Україна, МПК (2006) G01 F 25/00. № u200705883; заявл. 29.05.07; опубл. 12.11.07, Бюл. № 18.

66. Дзвонова витратомірна установка / Г. С. Панфілов, Л. І. Ляшенко, В. І. Шелудченко: пат. 59281 А Україна, МПК 7 G01F25/00. № 20021210480; заявл. 24.12.02; опубл. 15.08.03, Бюл. № 8. 3с.

67. Винничук А. Г. Вдосконалення методу вимірювання витрати газу з використанням торцевих звужувальних пристроїв: автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук : 05.11.01 / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2012. 21 с.

68. Робочий еталон об'єму газу дзвонового типу / В. С. Воцинський, В. В. Воцинський, В. В. Іроденко [та ін.]: пат. 46253 А Україна, МПК 7 G01F25/00. №2001053018; заявл. 03.05.01; опубл.15.05.02, Бюл. № 5.

69. 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.

70. Еталонна установка дзвонового типу / М. В. Кузь, Д. О. Середюк, Я. В. Безгачнюк: пат. 91228 U Україна, МПК (2009) G 01 F 25/00. № a200800139; заявл. 02.01.08; опубл. 12.07.10, Бюл. № 13.

71. Пристрій для калібрування, метрологічної атестації та повірки сопел критичного витоку / І. С. Петришин, П. Я. Джочко, Д. О. Середюк, Я. В. Безгачнюк: пат. 61881U Україна, МПК (2011.01) G01 F 25/00. № u201104886; заявл. 19.04.11; опубл. 25.07.11, Бюл. № 14.

72. 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.

73. 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

74. Комплексний пристрій для бездемонтажного діагностування та перевірки побутових лічильників газу / О. Є. Середюк, Т. В. Лютенко: пат. 113495 U Україна, МПК (2016.01) G01 F 25/00. № u201608707; заявл. 10.08.16; опубл. 25.01.17, Бюл. № 2.

75. 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.

76. 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.

77. Середюк О. Є., Лютенко Т. В. Застосування інформаційних технологій при статистичних дослідженнях метрологічних характеристик побутових лічильників газу при їх експлуатації. *Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості*: матер.ІІІ всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, 10–13 жовтня 2017р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. С. 112–114.

78. Пересувна лабораторія для забезпечення простежуваності робочих засобів вимірювання до державного первинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу / І. С. Петришин, П. Я. Джочко, Д. О Середюк [та ін.]: пат. 75178 Україна, МПК (2012.01) G01F 25/00. № u201205149; заявл. 25.04.2012; опубл. 26.11.2012, Бюл. № 22.

79. Пристрій для градування, метрологічної атестації та повірки сопел критичного витоку / Д. О. Середюк, О. В. Міхуткін, В. О. Протопопов, О. Є. Середюк: пат. 73194U Україна, МПК (2012.01) G01F 25/00. № u201203903; заявл. 30.03.2012; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 17.

80. Пристрій експрес-контролю лічильників природного газу / О. М. Карпаш, Є. М. Бакулін, І. Я. Дарвай: пат. 17355U Україна, МПК (2006) G01F 25/00. № u200603913; заявл. 10.04.2006; опубл. 15.09.2006, Бюл. № 9.

81. Спосіб перевірки витратомірів і лічильників газу та рідин / О. Є. Середюк, Д. О. Середюк: пат. 25669U Україна, МПК (2006) G01F 25/00. № u200603913; заявл. 10.04.2006; опубл. 15.09.2006, Бюл. № 9.

82. Пристрій експрес-контролю лічильників природного газу / О. М. Карпаш, Є. М. Бакулін, І. Я. Дарвай: пат. 25669 U Україна, МПК (2006) G01F 25/00. № 200706278; заявл. 06.06.2007; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.

83. Винничук А. Г. Експериментальні дослідження коефіцієнта розширення природного газу при вимірюванні витрати торцевими звужувальними пристроями. *Методи та прилади контролю якості*, 2015. № 2 (35). С. 54–58

84. Спосіб повірки лічильників газу і пристрій для його здійснення / В. С. Вошинський, В. В. Іроденко, В. В. Вошинський: пат.35986 А Україна, G01F25/00. № 99073810; заявл. 06.07.1999; опубл. 16.04.2001, Бюл. № 3.

85. РМУ 038–2015. Вузли обліку природного газу з лічильниками та коректорами. Порядок проведення експертизи монтажу. К.:ДП «Укрметртестстандарт», 2015. 80с.

86. Спосіб повірки лічильників газу і пристрій для його здійснення / В. С. Вошинський, В. В. Вошинський: пат. 103656C2 Україна, МПК (2013.01) G01F 25/00. № a201110690; заявл. 05.09.2011; опубл. 11.11.2013, Бюл. №21.

87. Спосіб повірки лічильників газу і пристрій для його здійснення / В. С. Вошинський, В. В. Іроденко: пат. 89047C2 Україна, МПК (2009) G01F 25/00. № a200700181; заявл. 09.01.2007; опубл. 25.12.2009, Бюл. № 24.

88. 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.

89. Устаткування для градуювання та перевірки витратомірів і лічильників газу / Л. Р. Довган, Б. І. Прудніков, І. М. Коляджин [та ін.]: пат. 4851 U Україна, 7G01F25/00. № 2004042444; заявл. 01.04.2004; опубл. 15.02.2005, Бюл. № 2.

90. Спосіб експрес-оцінки метрологічних характеристик вузла обліку газу за місцем експлуатації / В. С. Бондаренко, Я. М. Власюк, В. Ю. Готовкін: пат. 99089 С2 Україна, МПК (2012.01) G01F25/00. №а 201203056; заявл. 16.03.2012; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.

91. Calibration method and device for flow sensor of medical instrument: pat. CN104422499A China, G01F 25/00 (2006.01). №201310395568.3; appl. 03.09.2013; pub. 18.03.2015.

92. Gas flow calibration of mass flow controllers / M. Yelverton, T. Timmons: pat. US6332348B1 United States, G01F 25/00. № 09/478.154; appl. Jan. 5, 2000; pub. Dec. 25, 2001.

93. Flowmeter calibration/ Carmichael R. Q.: pat. GB2195448A United Kingdom, G01F 25/00. № 8622652; appl. Sep. 19, 1986; pub. Apr. 7, 1988.

94. Петришин І. С., Безгачнюк Я. В., Середюк Д. О. Впровадження еталонів передавання в повірочну практику засобів вимірювальної техніки об'єму та об'ємної витрати газу. *Український метрологічний журнал*. 2006. №4. С. 55–59.

95. Експериментальні дослідження і моделювання метрологічних характеристик побутових лічильників газу / О. Є. Середюк, Б. І. Прудніков, В. С. Вошинський, Т. В. Лютенко. *Облік природного газу та метрологія: Всеукр. семінар-нарада, 21–25 вересня 2015р., Одеса: збірка доповідей*. Київ: НАК «Нафтогаз України». 2015. С. 24–27.

96. Лютенко Т. В., Середюк О. Є., Криницький О. С. Метрологічні дослідження статистичних закономірностей зміни похибки побутових лічильників газу різних типорозмірів. *Technical using of measurement – 2018: тези доп. IV всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених у царині метрології, 13-18 лютого 2018р., Славське: Академія метрології України, 2018. С.34–36.*

97. Лютенко Т. В., Середюк О. Є. Дослідження стабільності метрологічних характеристик побутових лічильників газу в експлуатаційних умовах. *Приладобудування: стан і перспективи XVI міжнар. наук.-техн. конф.*, 16–17 травня 2017р., Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. С. 177–178.

98. Мобільний комплекс для експрес-контролю і технічної перевірки стаціонарного вузла обліку газу / В. Р. Купчак, Г. Ф. Боднар, Б. І. Прудніков: [та ін.]: пат. 40259U Україна, МПК (2009) G01F 1/00. № u200813739; заявл. 28.11.2008; опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6.

99. ГОСТ 8.324-2002. ГСОЕИ Счетчики газа. Методика поверки. [Введен с 2004-01-01]. М.: Госстандарт РФ, 2002. 8с. (Междугосударственный стандарт).

100. РД 50-211-80. Методические указания. Расходомеры и счетчики объемного расхода и количества газа. Методы и средства поверки. [Введены с 1980- 08-05]. – М.:Изд-во стандартов, 1981. 11с.

101. СМУК.407369.014ИС. Інструкція. Лічильники газу мембранні САМГАЗ. Методика повірки. [Затверджена 11.08.2008 року]. Івано-Франківськ: ДП “Івано-Франківськстандартметрологія”. 2008. 21с.

102. Вошинський В. С., Іроденко В. В., Вошинський В. В. Установка з еталонами об'єму газу типу УПЛГ–2500. *Методи та прилади контролю якості*. 1999. № 4. С. 104–106.

103. 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.

104. Спосіб експрес-визначення теплоти згоряння природного газу / О. М. Карпаш, І. Я. Дарвай, М. О. Карпаш [та ін.]: пат. 92846 С2 Україна: МПК (2009) G01N 25/20, G01N 29/00. № а200905201; заявл. 25.05.09; опубл. 10.12.10, Бюл. № 23.

105. Лічильник газу мембранний самгаз G4 RS/2001-22P: проспект, 2016. 5с. (Інформація: Товариство з обмеженою відповідальністю “САМГАЗ”).

106. Method of and means for accurately measuring the calorific value of combustible gases / Н. William, Jr. Clingman: pat. US4062236A United States, G01N 25/30. № 682.578; appl. May 3, 1976; pub. Dec. 13, 1977.

107. МДУ 025/03-2006. Метрологія. Установки повірочні дзвонового типу. Типова програма та методика державної метрологічної атестації. [Чинна від 2006-05-18]. Івано-Франківськ: ДП "Івано-Франківськстандартметрологія", 2006. 47 с. (Нормативний документ Держспоживстандарту України: Методика).

108. МПУ-168-03-2008. Метрологія. Установки повірочні з еталонними лічильниками газу. Методика повірки / І.Петришин, Я.Безгачнюк, Д.Середюк. [Чинна від 2008-09-01]. Івано-Франківськ: ДП «Івано-Франківськстандартметрологія», 2008. II, 10с. (Нормативний документ Держспоживстандарту України: Методика).

109. Запунный А. И., Фельдман Л. С., Рогаль В.Ф. Контроль герметичности конструкций. К.: Техніка, 1976. 152 с.

110. ГОСТ 26790-85. Техника течеискания. Термины и определения. [Введен с 1987-01-01]. М.: Изд-во стандартов, 1985. 8с.

111. ПНАЭ Г-7-019-89. Унифицированная методика контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Контроль герметичности. Газовые методы. М.: Изд-во стандартов, 1989. 9с.

112. Ланіс С. А., Льовіна Л. Е. Техніка вакуумних випробувань. М.: Машиностроение, 1963. 148 с.

113. Середюк О. Є. Дослідження впливу конструктивних параметрів еталонних дзвонових витратовимірювальних установок на їх метрологічні характеристики. *Методи та прилади контролю якості*. 2006. № 16. С. 50–54.

114. Воцинський В. С. Робочий еталон об'єму газу дзвонового типу РЕОВГ–02. *Методи та прилади контролю якості*. 2001. № 7. С. 128–129.
115. Wyznaczenie parametrów metrologicznych gazomierza domowego bez jego demontazu / O. Seredyuk, A. Vynnychuk, L. Vitvitskiy, Z. Warsza. *Polski Instalator*. 2011. № 11. P. 44–50.
116. Кабза Е. П. Математическое моделирование расходомеров с сужающими устройствами / [пер. с польского; под ред. П. П. Кремлевского]. Л.: Машиностроение, 1981. 115 с.
117. ДСТУ ГОСТ 8.586.2:2009. Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 2. Діафрагми. Технічні вимоги. [Чинний від 2010-04-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 92 с. (Державний стандарт України).
118. Метрологія та вимірювальна техніка: підруч. для студ. вищих навч. закл. / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук [та ін.]; за ред. проф. Є.С. Поліщука. Львів: Бескид Біт, 2003. 544 с.
119. Матіко Ф. Д., Пістун Є. П. Визначення балансу об'єму природного газу в системах його транспортування та розподілу. *Метрологія та прилади*. 2014. №1. С. 10–16.
120. Андрійшин М. П. Баланс газу в газотранспортній системі. *Нафтогазова галузь України*. 2014. № 1. С. 21–24.
121. Стеценко А. А., Недзельський С. Д. Обґрунтування збільшення міжповірного інтервалу витратоміра-лічильника ультразвукового ГУВР–011. *Метрологія та прилади*. 2013. № 1. С. 43–44.
122. Волосянко В. Д., Гончарук М. І., Матяш Н. Ф. Аналіз розбіжностей у результатах обчислень об'єму газу, проведених різними засобами вимірювань. *Нафтова і газова промисловість*. 2001. № 6. С. 47–51.
123. Середюк О. Є. Дослідження похибок і невизначеності вимірювань для ділянок з паралельно встановленими засобами обліку природного газу. *Метрологія та прилади*. 2011. № 6. С. 42–47.

124. Метод оцінювання неопределенности результатів вимірювання витрати природного газу методом перемінного перепада тиску / А.Д.Тевяшев, Ю.В.Пономарев, В.Б.Коток, О.А.Сендеров / *Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія–2006)*: V міжнар. наук.-техн. конф., 10–12 жовтня 2006 року. Харків: наук.праці конф. Т.2. – Харків: ННЦ “Інститут метрології”, 2006. С. 238–241.

125. Клочко Н. Б., Чеховський С. А. Вдосконалення методів оцінювання точності турбінних лічильників газу. *Метрологія та прилади*. 2014. №1(45). С. 101–105.

126. Розгонюк В. В., Власюк Я. М. ГВС “Гребеники” – газовимірювальна станція 2005 року. *Нафтова і газова промисловість*. 2003. № 3. С. 50–51.

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

128. Дослідження статичних інформаційних моделей побутових лічильників газу / О. Є. Середюк, А. Г. Винничук, Д. О. Середюк, О. С. Криницький. *Методи та прилади контролю якості*. 2018. № 2(41). С. 44–57.

129. Вошинський В. В. Аналіз інтерпольованих функцій перетворення робочих еталонів об’єму газу. *Приладобудування, 2003: стан і перспективи*: зб. тез доп. наук.-тех. конф., Київ: НТУУ «КПІ», 2003. С. 192.

130. Петришин І. С. Алгоритм досліджень та контролю метрологічних характеристик робочих еталонів об’єму газу. *Методи та прилади контролю якості*. 2001. № 7. С. 97–99.

131. Семенов Л. А., Сирая Т. Н. Методы построения градуировочных характеристик средств измерений. М.:Изд-во стандартов, 1986. 128 с.

132. Лященко М. Я., Головань М. С. Чисельні методи: підручник. К.: Либідь, 1996. 288 с.

133. Лютенко Т. В. Нові підходи до статистичного оцінювання похибок побутових лічильників газу при їх експлуатації. *Нафтогазова енергетика–*

2017: зб. тез. доп. 6-ої міжнар. наук.-техн. конф., 15–19 травня 2017р. Івано-Франківськ, 2017. С. 293–295.

134. Воцинський В.С., Середюк О.Є., Лютенко Т. В. Дослідження алгоритмів розрахунку похибки в еталонних установках об'єму та витрати газу. *Методи та прилади контролю якості*. 2013. №2 (31). С. 67–75.

135. Рябко Ю. С., Лютенко Т. В., Середюк О. Є. Моделювання закономірностей зміни похибки побутових лічильників газу. *Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання*: зб. тез доп. 5-ої наук.-практ. конф. студ. і молодих учених, 24–25 листопада 2015 р. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015. С. 175–178.

136. Середюк О. Є., Винничук А. Г., Лютенко Т. В. Дослідження статистичних закономірностей зміни похибки побутових лічильників газу при їх діагностуванні. *Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання*: зб. матер. доповідей 8-ої міжнар. наук.-техн. конф. пам'яті проф. Ігоря Кісіля, 14–16 листопада 2017р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. С. 79–80.

137. Винничук А. Г., Середюк О. Є., Лютенко Т. В. Дослідження гідравлічних витратних характеристик нестандартних звужувальних пристроїв. *Системи обробки інформації*. 2015. Вип. 6(131). С. 25–28.

138. Дослідження впливу теплообмінних процесів на перевірку герметичності еталонних установок об'єму газу / В. С. Воцинський, О. Є. Середюк, М. С. Андрук, Т. В. Лютенко. *Методи та прилади контролю якості*. 2015. № 1 (34). С. 46–53.

139. Середюк О. Є., Лютенко Т. В. Експериментальні дослідження вузлів обліку природного газу різних принципів дії. *Метрологія та прилади*. 2015. № 3(53). С. 51–56.

140. Лютенко Т. В., Середюк О. Є., Криницький О. С. Дослідження статистичних закономірностей зміни експлуатаційних похибок побутових лічильників газу. *Прикладні науково технічні дослідження*: матеріали II

міжнар. наук.-практ. конф., 3–5 квітня 2018 р., Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2018. С. 92.

141. Середюк О. Е., Компан А. И., Бондарь С. П., Лютенко Т. В., Ильенко А. С., Смирнов М. А. Результаты сличений промышленных средств учета природного газа в условиях полигона ПАО «Днепрогаз». *Неопределенность измерений: научные, законодательные, методические и прикладные аспекты: UM-2016: сб. докладов XIII междунар. научн.- техн. семинара, 13–14 апреля 2016 г. Минск, Республика Беларусь, Минск: БелГИМ, 2016. С. 111–114.*

142. Середюк О. Є., Лютенко Т. В. Метрологічні дослідження імовірнісних характеристик послідовно з'єднаних витратомірів природного газу. *Technical using of measurement – 2015: тези доп. всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених у царині метрології, 2–6 лютого 2015р., Славське: Академія метрології України, 2015. С. 107–109.*

143. Лютенко Т. В., Середюк О. Е. Применение модельного подхода к оцениванию неопределенности измерения объема газа бытовыми счетчиками при их эксплуатации. *Неопределенность измерений: научные, нормативные, прикладные и методические аспекты: UM-2017: тез. докладов XIV междунар. научн.- техн. семинара 8 сентября 2017 г. Созополь, Болгария: Софттрейд. 2017. С. 67–68.*

144. Середюк О. Є., Лютенко Т. В., Прудніков Б. І. Наукові засади бездемонтажної повірки побутових лічильників газу за обмеженим діапазоном робочих витрат. *Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2015): зб. тез доп. III міжнар. наук. конф., 27–29 жовтня 2015р. Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 43–45.*

145. Лютенко Т. В., Середюк О. Є., Винничук А. Г. Дослідження впливу газової мережі на точність вимірювання витрати торцевими звужувальними пристроями. *Приладобудування: стан і перспективи: зб. тез доп. XIV міжнар. наук.-техн. конф., 22–23 квітня 2015 р., Київ: ПБФ НТУУ «КПІ», 2015. С. 216–217.*

146. Середюк О. Е., Лютенко Т. В., Винничук А. Г. Исследования неопределенности бытовых счетчиков газа на максимальных расходах с использованием статистических методов. *Неопределенность измерений: научные, нормативные, прикладные и методические аспекты: УМ-2018: тез. докладов XV междунар. научн.-техн. семинара, 10 сентября 2018г., Созополь, Болгария: Софттрейд, 2018. С. 38.*

147. Середюк О. Є., Лютенко Т. В. Дослідження невизначеності побутових лічильників газу за максимальних витрат із застосуванням статистичних методів. *Метрологія та вимірювальна техніка: тези доп. XI Міжнар. наук.-техн. конф., 9–11 жовтня 2018 р., Харків: ННЦ “Інститут метрології”. 2018. С. 208–209.*

148. Лютенко Т. В., Середюк О. Є., Майсон М. В. Моделювання фізичних процесів в еталонних установках з ємністю під тиском. *Приладобудування: стан і перспективи: зб. тез доп. XV міжнар. наук.-техн. конф. 17–18 травня 2016р. Київ: НТУУ «КПІ». ПБФ, 2016. С. 200–201.*

149. Сличение узлов учета природного газа разных принципов действия на реальной среде / О. Е. Середюк, А. И. Компан, С. П. Бондарь, Т. В. Лютенко, А. С. Ильенко, М. А. Смирнов. *Метрология и приборостроение. 2016. № 4 (74). С. 22–26.*

150. 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.*

151. Середюк О. Є., Малісевич Н. М., Лютенко Т. В. Нові аспекти комп'ютеризованого вдосконалення метрологічного забезпечення обліку природного газу. *Автоматизоване управління багатовимірними об'єктами на засадах обчислювального інтелекту: матеріали всеукр. наук.-практ. конф., 17–19 жовтня 2018р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2018. С. 42–43.*

152. Лютенко Т. В. Концепція статистичного визначення закономірностей зміни похибки побутових лічильників газу для реалізації

бездемонтажної повірки за обмеженим діапазоном витрат. *Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання*: зб. тез доповідей VI всеукр. наук.-практ. конф. студентів і молодих учених, 15–16 листопада 2017 р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. С. 40–41

153. Середюк О. Є., Лютенко Т. В., Криницький О. С. Статистичні дослідження стабільності похибки побутових лічильників газу в залежності від тривалості їх експлуатації. *Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання*: зб. матер. доповідей 8-ої міжнар. наук.-техн. конф. пам'яті проф. Ігоря Кісіля, 14–16 листопада 2017р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. С.186–188.

154. Лютенко Т. В, Середюк О. Є, Винничук А. Г. Нові тенденції підвищення якості метрологічного контролю побутових лічильників газу за умов експлуатації. *Управління якістю в освіті і промисловості: досвід, проблеми, перспективи*: тези доп. III міжнар. наук.-практ. конф. пам'яті проф. Петра Столярчука, 11–12 травня 2017 р., Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2017. С. 182–183.

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

Додаток А

Таблиця А.1

Порівняльна характеристика деяких вітчизняних і закордонних перевірочних установок ПЛГ

Тип установки, найменування	Відносна похибка, %	Діапазон відтворюваних витрат, м ³ /год	Робоче середовище	Вид робочого еталону	Варіант виконання	Фірма-виробник, країна
<u>Дзвоніві установки</u>						
РЕОВГ-0,2	0,2	0,016-16	Повітря	Дзвін у резервуарі з рідиною	Стаціонарна	КП "СКБ ЗА", м.Івано-Франківськ (Україна)
ІФА3-1 ІФА3-2м	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)
Повірочна установка	0,2	0,02-10	Повітря		Стаціонарна	"Белгазтехника"(Білорусь)
<u>Установки з еталонним лічильником</u>						
«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)
УПСГБ-16	0,3	0,016-16	Повітря	Мембранний	Стаціонарна	КОЕЗ «Прибор»(м.Казань, Росія)
ВРГ-R	0,2	до 16	Повітря	Мембранний	Стаціонарна	Schlumberger (Франція)
П1062-01	0,5	0,016-16	Повітря	Мембранний	Стаціонарна	ОАО "ВПО"Точмаш", Владимир(Росія)
П1062-02	0,5	0,025-10	Повітря	Мембранний	Стаціонарна	ОАО "ВПО"Точмаш", Владимир(Росія)
Метрогаз	0,5	0,016-16	Повітря	Барабанный Роторний	Стаціонарна	ТзОВ «Вектор НПП», Світловодськ, (Україна)
КРАБ-М	0,5	0,006-10	Природний газ	Струменевий, ролик-лопатевий	Мобільна	ТзОВ «Глобус», м.Белгород (Росія)
СПУ-3	0,5	0,02-40	Природний газ	Струменевий	Мобільна	"Турбулентность ДОН", м.Ростов-на-Дону (Росія)
Dresser 5 2M/10M	0,5	1 - 57	Повітря	Мембранний	Мобільна	Dresser Inc. (США)


Продовження додатку А

продовження таблиці А.1

<u>Установки на базі критичних сопел</u>						
АУРС-16 АУРС-65	0,2	0,006-16 0,016-65	Повітря	Набір критичних сопел	Стаціонарна	ВКФ “Курс”, м.Дніпропетровськ (Україна)
BPG-R	0,2	до 16	Повітря		Стаціонарна	Schlumberger (Франція)
551031M 551031M-01	0,35	0,016-25 0,016-40	Повітря		Стаціонарна	ТзОВ «ЗИП Магнитоника» м.Краснодар (Росія)
У-659	0,5	0,025-10	Повітря		Стаціонарна	ТзОВ «Сигнал ЕПО», м.Енгельс- 19, Саратовська обл. (Росія)
УПСГ-6500	0,3	0,01-6500	Повітря		Стаціонарна	Argosy Technologies Ltd. (Росія)
<u>PVT-установка</u>						
ІФГАЗ-PVT	0,35-0,5	0,016-10	Повітря	Ємність високого тиску	Стаціонарна	ВАТ “Івано-Франківськгаз” (Україна)

ЗАТВЕРДЖУЮ

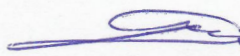
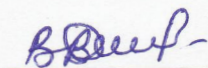
Директор ТОВ "Івано-Франківське спеціальне конструкторське бюро засобів автоматизації"

" 07 "  **Воцинський В.С.** 2019р.**АКТ**

про впровадження наукових результатів дисертаційної роботи **Лютенко Т. В.**
"Удосконалення методу і технічних засобів для бездемонтажного метрологічного перевіряння побутових лічильників газу",
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Ми, які підписалися нижче: начальник дослідного конструкторського відділу **Р. Ю. Рудзінський**, заступник начальника дослідного конструкторського відділу **В. В. Воцинський** склали цей акт про те, що результати теоретичних досліджень, відображених у дисертаційній роботі **Лютенко Т.В.**, які стосуються дослідження термодинамічних процесів в еталонних установках, використані в конструкторській документації і впроваджені при створенні робочого еталона об'єму газу дзвонового типу **РЕОВГ-0.2** з діапазоном робочих витрат від $0,016\text{ м}^3/\text{год}$ до $16\text{ м}^3/\text{год}$.

Вклад здобувачки **Лютенко Т. В.** стосується моделювання теплообмінних процесів при наповненні і термодинамічній температурній стабілізації дзвона еталонної установки. Розроблена модель використовувалася при метрологічних дослідженнях установки, зокрема при оцінюванні похибки внаслідок незавершеності теплообмінного процесу.

 **Р. Ю. Рудзінський** **В. В. Воцинський**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Перший проректор

Івано-Франківського національного технічного
університету нафти і газу

проф. Мандрик О.М.

АКТ

про використання у навчальному процесі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу наукових результатів дисертаційної роботи Лютенко Т. В. “Удосконалення методу і технічних засобів для бездемонтажного метрологічного перевіряння побутових лічильників газу”, яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

В Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу у навчальному процесі кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки (МІВТ) при підготовці бакалаврів за спеціальністю 152 – “Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка” використовуються матеріали дисертантки Лютенко Т. В. при вивченні дисципліни “Технологічні вимірювання в нафтогазовій промисловості”, зокрема:

- при засвоєнні лекційного матеріалу за темою Т 1.1.3 “Принцип дії та технічні характеристики витратомірів і лічильників” – вивчення нових методів і технічних засобів для повірки побутових лічильників газу;

- при проведенні лабораторного заняття за темою Л 1.1.3 “Проведення повірки побутових лічильників газу” – про можливість визначення похибки побутових лічильників газу розрахунковим методом на максимальній витраті при їх повірці.

При вивченні вказаної дисципліни використовуються як додаткова література наступні наукові праці Т. В. Лютенко:

1. Середюк О. Є. Лютенко Т. В. 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.

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

3. Середюк О.Є., Лютенко Т. В. Спосіб повірки побутових лічильників газу: пат. 116046 С2 Україна, МПК (2017.01), G 01 F 25/00. № а201605643; заявл. 25.05.16; опубл. 25.01.18, Бюл. № 2.

4. Середюк О.Є., Лютенко Т. В. Комплексний пристрій для бездемонтажного діагностування та перевірки побутових лічильників газу: пат. 113495 U Україна, МПК (2016.01), G 01 F 25/00. № u201608707; заявл. 10.08.16; опубл. 25.01.17, Бюл. № 2.

Начальник навчального відділу

Професор каф. МІВТ, к.т.н., проф.

Я. В. Штанько

С.А Чеховський

ЗАТВЕРДЖУЮ

Технічний директор

ПАТ "Івано-Франківськгаз"

Височанський І.І.

2019 р.



апробації результатів дисертаційної роботи Лютенко Т.В. "Удосконалення методу і технічних засобів для бездемонтажного метрологічного перевіряння побутових лічильників газу", представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Комісія у складі головного метролога ПАТ "Івано-Франківськгаз" Кашуби О.Б., начальника дільниці з ремонту та перевірки побутових лічильників газу ПАТ "Івано-Франківськгаз" Піндуса В.М., доцента кафедри "Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка" (МІВТ) Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) Боднара Р.Т., здобувачки при кафедрі МІВТ ІФНТУНГ Лютенко Т.В.

склали цей акт про таке:

1. У період з 18.06.2019 р. по 21.06.2019 р. комісія здійснила апробацію методу метрологічного перевіряння побутових лічильників газу (ПЛГ) за обмеженим діапазоном нормованих відтворюваних робочих витрат (мінімальна витрата q_{\min} і витрата 20% від максимальної $0,2q_{\max}$), який розроблений при виконанні дисертаційної роботи "Удосконалення методу і технічних засобів для бездемонтажного метрологічного перевіряння побутових лічильників газу".

2. Робоча група провела експериментальні визначення похибок ПЛГ моделей САМГАЗ G4 і METRIX G4 в умовах ПАТ "Івано-Франківськгаз" з використанням установки повірочної дзвонової типу ІФГАЗ2 з діапазоном вимірювань від $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$ до $16 \text{ м}^3/\text{год}$, яка призначена для визначення та контролю метрологічних характеристик лічильників газу типорозмірів G1,6-G10 з використанням повітря як робочого середовища. Метрологічні характеристики установки: границя похибки $\pm 0,27\%$; розширена невизначеність вимірювань при коефіцієнті охоплення $k=2$ становить $\pm 0,27\%$.

2.1 Першим етапом експериментальних досліджень було визначення за допомогою повірочної установки похибок ПЛГ на трьох витратах (q_{\min} , $0,2q_{\max}$, q_{\max}) з метою статистичного встановлення закономірностей зміни похибок ПЛГ $\Delta\delta$ при q_{\max} відносно її значення при $0,2q_{\max}$ для вибірок по 13 лічильників моделей САМГАЗ G4 і METRIX G4 (табл. А1 і табл. А3 додатку А). Похибка ПЛГ $\delta_{q_{\min}}$ при мінімальній витраті визначалася тільки для

придатних для подальшої експлуатації лічильників, тобто ця похибка повинна знаходитися в межах від мінус 6% до плюс 3%.

2.2 Другим етапом було проведення апробації застосування статистично-розрахункового методу визначення похибки ПЛГ на максимальній витраті для довільно сформованої вибірки із п'яти лічильників моделей САМГАЗ G4 і METRIX G4 (табл.А2 і табл.А4 додатку А). При цьому було здійснено визначення експериментальним шляхом похибки для кожного лічильника на трьох витратах q_{\min} , $0,2q_{\max}$, q_{\max} і порівняння похибки на максимальній витраті δq_{\max} з розрахованим її значенням $\delta q_{\max \text{ розр}}$ згідно розробленого методу перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном робочих витрат.

2.3 Алгоритм опрацювання даних, які наведені в таблицях А1...А4, поданий в додатку А до даного акту.

3. Комісія встановила відповідність методу метрологічного перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном нормованих відтворюваних робочих витрат до способу визначення метрологічних характеристик ПЛГ, який захищений патентом України на винахід № 116046 С2 (Спосіб повірки побутових лічильників газу / Середюк О.Є., Лютенко Т.В.; заявники і патентовласники Середюк О.Є., Лютенко Т.В. заявка №а201605643; заявл. 25.05.16; опубл. 25.01.18, Бюл. №2).

4. Комісія встановила працездатність методу метрологічного перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном нормованих відтворюваних робочих витрат, оскільки різниця між розрахованою похибкою лічильників на максимальній витраті і експериментально визначеною на повірочній установці не перевищує 0,35% для ПЛГ моделі САМГАЗ G4 і 1,15% для ПЛГ моделі METRIX G4, що практично не перевищує половини допустимої похибки ($\pm 2\%$) ПЛГ на максимальній витраті.

5. Комісія встановила можливість розроблення на базі запропонованого методу метрологічного перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном нормованих відтворюваних робочих витрат нормативного документу для періодичної повірки ПЛГ. При цьому повірка може бути реалізованою на стаціонарних установках (з демонтажем ПЛГ з місця експлуатації), а також на мобільних установках (без демонтажу ПЛГ з місця експлуатації) за умови застосування в цих установках робочих еталонів з функціонуванням на природному газі.

Члени комісії:

О.Б. Кашуба

В.М. Піндус

Р.Т. Боднар

Т.В. Лютенко

Додаток А

Результати метрологічних досліджень і алгоритм опрацювання даних при апробації результатів дисертаційної роботи Лютенко Т.В. в умовах ПАТ "Івано-Франківськгаз"

Таблиця А1. Статистичні метрологічні дослідження вибірки ПЛГ моделі САМГАЗ G4 для обчислення зміни похибки на витраті q_{\max}

Модель ПЛГ	Заводський номер	Рік виготовлення ПЛГ	Похибка, %			$\Delta\delta$
			$\delta_{q \max}$	$\delta_{0,2q \max}$	$\delta_{q \min}$	
САМГАЗ G4	2900315	2007	-0,04	0,98	-4,34	1,02
САМГАЗ G4	2991426	2008	-0,67	1,15	-3,57	1,82
САМГАЗ G4	2638361	2005	-1,30	0,44	-1,15	1,74
САМГАЗ G4	3915561	2011	0,40	2,58	-0,68	2,18
САМГАЗ G4	4519768	2012	1,91	2,94	0,77	1,03
САМГАЗ G4	4024499	2012	1,03	2,63	-4,92	1,60
САМГАЗ G4	2991477	2008	0,27	1,80	-3,68	1,53
САМГАЗ G4	3915455	2011	0,20	2,54	-2,81	2,34
САМГАЗ G4	3964335	2012	0,06	0,89	-2,82	0,83
САМГАЗ G4	3198448	2011	1,07	1,59	-5,04	0,52
САМГАЗ G4	2526665	2005	-0,68	1,53	-3,17	2,21
САМГАЗ G4	3207018	2011	-0,54	1,39	1,19	1,93
САМГАЗ G4	2925064	2008	-0,18	0,64	-1,42	0,82
Серед. знач. $\bar{\delta}$, %			0,12	1,62	-2,43	1,51
Серед. квадр. відхилення сер. знач. σ , %			0,238	0,228	0,563	0,166

Таблиця А2. Результати апробації застосування експериментально-розрахункового методу визначення похибки ПЛГ моделі САМГАЗ G4 на максимальній витраті

Модель ПЛГ	Завод. номер	Рік виготовлення ПЛГ	Похибка експериментальна, %			Похибка розрахункова, %	Різниця, %
			$\delta_{q \max}$	$\delta_{0,2q \max}$	$\delta_{q \min}$	$\delta_{q \max \text{ розр.}}$	$\Delta\delta_{\text{м}} = \delta_{q \max \text{ розр.}} - \delta_{q \max}$
САМГАЗ G4	3919201	2011	0,14	1,52	-4,38	$0,01 \pm 0,51$	-0,13
САМГАЗ G4	3156405	2010	0,41	1,60	-0,37	$0,09 \pm 0,51$	-0,32
САМГАЗ G4	3917411	2011	0,87	2,57	-3,30	$1,06 \pm 0,51$	0,19
САМГАЗ G4	3994281	2012	0,03	1,52	-2,09	$0,01 \pm 0,51$	-0,02
САМГАЗ G4	2968166	2008	0,50	1,81	-4,02	$0,30 \pm 0,51$	-0,20

Таблиця А3. Статистичні метрологічні дослідження вибірки ПЛГ моделі METRIX G4 для обчислення зміни похибки на витраті q_{\max}

Модель ПЛГ	Заводський номер	Рік виготовлення ПЛГ	Похибка, %			$\Delta\delta$
			$\delta_{q \max}$	$\delta_{0,2q \max}$	$\delta_{q \min}$	
METRIX G4	046256	2009	-0,90	0,43	-1,68	1,33
METRIX G4	001372	2004	0,58	2,11	-5,64	1,53
METRIX G4	00198614	2012	-0,93	0,45	1,64	1,38
METRIX G4	406445	2001	-0,41	0,98	-4,34	1,39
METRIX G4	009044	2008	0,22	0,79	-3,00	0,57
METRIX G4	093152	2012	0,28	1,36	-1,69	1,08
METRIX G4	039112	2007	-1,41	0,70	1,18	2,11
METRIX G4	101044	2004	1,24	2,03	-1,73	0,79
METRIX G4	00088850	2010	-0,77	0,08	-2,45	0,85
METRIX G4	055384	2004	1,38	2,51	0,28	1,13
METRIX G4	046466	2005	0,67	1,76	-1,39	1,09
METRIX G4	007979	2007	-0,03	1,05	-5,88	1,08
METRIX G4	011682	2007	-1,73	0,25	-1,27	1,98
Серед. знач. $\bar{\delta}$, %			-0,14	1,12	-2,00	1,254
Серед. квадр. відхилення сер. знач. σ , %			0,271	0,216	0,644	0,122

Таблиця А4. Результати апробації застосування експериментально-розрахункового методу визначення похибки ПЛГ моделі METRIX G4 на максимальній витраті

Модель ПЛГ	Завод. номер	Рік виготовлення ПЛГ	Похибка експериментальна, %			Похибка розрахункова, %	Різниця, %
			$\delta_{q \max}$	$\delta_{0,2q \max}$	$\delta_{q \min}$	$\delta_{q \max \text{ розр.}}$	$\Delta\delta_m = \delta_{q \max \text{ розр.}} - \delta_{q \max}$
METRIX G4	086119	2005	-1,57	0,80	-5,15	-0,45 \pm 0,36	1,12
METRIX G4	042445	2009	-0,20	2,20	-2,15	0,95 \pm 0,36	1,15
METRIX G4	013350	2008	-0,05	1,08	-2,98	-0,17 \pm 0,36	-0,12
METRIX G4	032903	2007	-2,52	-1,04	-4,22	-2,29 \pm 0,36	0,23
METRIX G4	011493	2007	-2,32	-0,33	-2,13	-1,58 \pm 0,36	0,74

Розрахунки середніх значень похибок здійснювалися за формулами:

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

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

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

де $\bar{\delta}_{q_{\min}}$, $\bar{\delta}_{0,2q_{\max}}$, $\bar{\delta}_{q_{\max}}$ – середні арифметичні значення похибки ПЛГ для мінімальної витрати q_{\min} , витрати 20% від максимальної $0,2q_{\max}$ за максимальної витрати q_{\max} відповідно; i – порядковий номер ПЛГ; N – кількість лічильників у вибірці ($N=13$).

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

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

$$\sigma_{0,2q_{\max}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{0,2q_{\max i}} - \bar{\delta}_{0,2q_{\max}})^2}{N(N-1)}}, \% \quad (5)$$

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

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

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

$$\Delta\delta_i = \delta_{0,2q_{\max i}} - \delta_{q_{\max i}} \quad (7)$$

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

$$\Delta\bar{\delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta\bar{\delta}_i \quad (8)$$

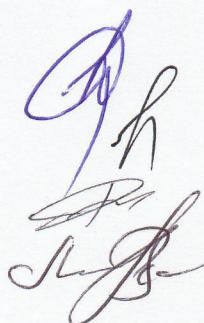
$$\sigma_{\Delta\delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta\delta_i - \Delta\bar{\delta})^2}{N(N-1)}} \quad (9)$$

Розраховане значення похибки для конкретного i -го ПЛГ $\delta_{q_{\max} \text{ розр}}$ при максимальній витраті q_{\max} і її відхилення $\Delta\delta_M$ (методична похибка) від експериментально визначеної похибки $\delta_{q_{\max}}$ обчислювалися за формулами:

$$\delta_{q_{\max} \text{ розр}} = \delta_{0,2q_{\max} i} - (\overline{\Delta\delta} \pm 3\sigma_{\Delta\delta}) \quad (10)$$

$$\Delta\delta_M = \delta_{q_{\max} \text{ розр}} - \delta_{q_{\max}} \quad (11)$$

Члени комісії:



О.Б. Кашуба

В.М. Піндус

Р.Т. Боднар

Т.В. Лютенко

Додаток Д

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

ЗАТВЕРДЖУЮ:

«__» _____ 2019 р.

Метрологія

**ЛІЧИЛЬНИКИ ГАЗУ ПОБУТОВІ
ІНСТРУКЦІЯ**

**Методика періодичної повірки
(проект)**

Видання офіційне

Івано-Франківськ
2019

ПЕРЕДМОВА

1. РОЗРОБЛЕНА Івано-Франківським національним технічним університетом нафти і газу.

РОЗРОБНИКИ: О. Середюк, д.т.н., Т. Лютенко

2. ЗАТВЕРДЖЕНА ТА ВВЕДЕНА В ДІЮ наказом № _____ ДП «Укрметртестстандарт» від _____

3. ВВЕДЕНА ВПЕРШЕ

©Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Цей документ не може бути повністю або частково відтворений, тиражований і розповсюджений як офіційне видання без дозволу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

ЗМІСТ

1. Сфера застосування.....	4
2. Нормативні посилання.....	4
3. Операції повірки.....	4
4. Засоби повірки.....	5
5. Вимоги безпеки.....	6
6. Умови та підготування до повірки.....	6
7. Проведення повірки.....	7
8. Оформлення результатів повірки.....	11
Додаток А.....	13
Додаток Б.....	18
Додаток В.....	19
Додаток Г.....	23

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Дана методика поширюється на лічильники газу побутові типорозмірів G1,6; G2,5; G4 та G6 згідно ДСТУ 3336, які експлуатуються у населення та юридичних осіб, і встановлює методи, умови та засоби періодичної повірки, калібрування та метрологічного контролю лічильників (надалі - повірка) за місцем їх експлуатації.

Дана інструкція не поширюється на промислові лічильники газу та лічильники газу побутові типорозміру G10, що експлуатуються у населення.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

- Закон «України про метрологію та метрологічну діяльність»;
- ДСТУ 2681-94 «Метрологія. Терміни та визначення»;
- ДСТУ 3336-96 «Лічильники газу побутові. Загальні технічні вимоги»;
- ГОСТ 5542-87 «Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия»;
- ГОСТ 2939-63 «Газы. Условия для определения объема»;
- ГОСТ 30319.(0...3)-96 «Газ природный. Методы расчета физических свойств»;
- ДНАОП 0.00 – 1.20 «Правила безпеки систем газопостачання України»;
- Р50-071-98 «Метрологія. Лічильники газу побутові. Методи та засоби повірки» (Рекомендації).

3 ОПЕРАЦІЇ ПОВІРКИ

При проведенні повірки повинні бути виконані наступні операції, зазначені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Перелік операцій при проведенні повірки лічильників

Назва операції	Номер пункту методики	Необхідність проведення при повірці
1 Зовнішній огляд лічильників	7.1	так
1.1 Перевірка зовнішнього вигляду лічильників	7.1.1	так
1.2 Перевірка маркування лічильників	7.1.2	так
2 Опробування лічильників	7.2	так
3 Перевірка функціонування лічильників	7.3	так

4 Визначення статистичних закономірностей зміни похибки лічильника	7.4	так
5 Визначення метрологічних та технічних характеристик лічильників	7.5	так
5.1 Визначення відносної похибки лічильників	7.5.1	так
5.2 Визначення втрат тиску на лічильниках	7.5.2	так

При негативних результатах будь - якої операції, вказаних в таблиці 3.1 повірку лічильників припиняють.

4 ЗАСОБИ ПОВІРКИ

4.1 При проведенні повірки лічильників можуть застосовуватися такі засоби повірки:

а) мобільний комплекс для проведення повірки побутових лічильників газу без зняття лічильників з трубопроводу, конструкція та принцип роботи якого наведена в додатку А;

б) мобільний комплекс для проведення повірки побутових лічильників газу зі зняттям лічильників з трубопроводу, конструкція та принцип роботи якого наведена в додатку Б;

в) пристрій із застосуванням еталонного мембранного лічильника газу із візуальним зняттям показів, схема та принцип роботи якого наведено в додатку В;

г) комплекс засобів вимірювальної техніки для проведення повірки без втручання в роботу системи газопостачання, схема та принцип роботи якого наведено в додатку Г.

4.2 Технічні і метрологічні характеристики засобів повірки наведені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 Технічні і метрологічні характеристики засобів повірки лічильників газу

Показники	Значення
1. Діапазон робочих витрат: - мінімальні, м ³ / год. - максимальні, м ³ / год.	0,016 1,0
2. Вид робочого середовища	природний газ
3. Температура робочого середовища, °С	0 ... + 30
4. Надлишковий тиск робочого середовища, кПа	1,0 ... 3,0
5. Температура навколишнього середовища, °С	0 ... + 35
6. Дискретність відліку показів лічильників газу, м ³ , не більше	0,2 · 10 ⁻³
7. Границі основної допустимої похибки вимірювання об'єму, %	±0,65

4.3 Засоби повірки повинні мати свідоцтво про метрологічну атестацію (повірку) або протокол їх калібрування на природному газі.

5 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ

5.1 При повірці лічильників необхідно дотримуватись вимог безпеки, регламентованими ДБН В 2.5 - 20 - 2001, та тими, що діють на підприємствах (організаціях), які поставляють та споживають природний газ, а також вимог безпеки, що наведені в технічних описах та інструкціях з експлуатації на засоби вимірювальної техніки та побутові лічильники газу.

5.2 Загальні вимоги безпеки за ГОСТ12.2.003.

5.3 До проведення повірки лічильників газу допускаються атестовані повірники, що пройшли інструктаж з техніки безпеки та протипожежної безпеки, пройшли навчання щодо повірки лічильників газу за місцем експлуатації з використанням засобів повірки згідно даної інструкції.

5.4 Повірники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту відповідно до технічної документації на проведення повірки та згідно порядку видавання, зберігання та користування спецодягом та запобіжними засобами.

6 УМОВИ ТА ПІДГОТУВАННЯ ДО ПОВІРКИ

6.1 Повірку необхідно проводити при:

- використанні природного газу як робочого середовища;
- температурі навколишнього середовища (повітря) - (0 ... +35) °С;
- відносній вологості навколишнього середовища (повітря) - до 80 %;
- атмосферному тиску в діапазоні (84... 106,7) кПа (630... 800 мм. рт. ст.);
- відсутності вібрації, трясіння, магнітних полів (крім земних), які впливають на роботу лічильників та засобів повірки.

6.2 Перед проведенням повірки необхідно:

- перевірити засоби повірки на наявність діючих відбитків повірочних тавр або свідoctв про їх повірку та (або) атестацію;
- підготувати засоби повірки до роботи згідно вимог ЕД, яка на них поширюється;
- перевірити працездатність всіх засобів повірки згідно ЕД на них,
- перевірити робочі місця на відповідність їх вимогам безпеки, на наявність та відповідність спецодягу та запобіжних засобів необхідним вимогам;
- перевірити дотримання умов повірки.

7 ПРОВЕДЕННЯ ПОВІРКИ

7.1 Зовнішній огляд

7.1.1 При перевірці зовнішнього вигляду лічильників перевіряють:

- відповідність відлікового пристрою вимогам нормативної документації (надалі НД), чіткість зображення цифр у всіх розрядах, відсутність крапок у розрядах;
- наявність пристроїв для встановлення пломб;
- наявність відбитків повірочних тавр;
- відсутність на поверхні лічильників пошкоджень та дефектів, що впливають на зовнішній вигляд лічильників, і можуть перешкоджати роботі лічильників та їх функціонуванню.

7.1.2 Перевірка маркування лічильників.

Перевірку маркування лічильників проводять візуально шляхом звіряння з вимогами НД. Маркування повинно бути чітким, написи повинні легко читатись та відповідати вимогам НД на лічильники.

Результати перевірки вважаються позитивними, якщо маркування лічильників відповідає вимогам НД.

7.2 Перевірка комплектності лічильників.

Перевірку комплектності лічильників проводять візуально шляхом перевірки наявності документації, передбаченої НД.

Результати перевірки вважаються позитивними, якщо комплектність лічильників відповідає вимогам НД.

7.3 Опробування лічильників

При опробуванні лічильників перевіряють функціонування лічильників. Для цього через лічильники пропускають об'єм природного газу від 1 до 5 значень циклічного об'єму лічильника за витрати від 0,25 до 1,0 м³/год та спостерігають за роботою відлікових пристроїв.

Результати опробування вважаються позитивними, якщо покази відлікових пристроїв зростають.

7.4 Визначення статистичних закономірностей зміни похибки лічильників

7.4.1 Перед процесом статистичного встановлення різниці похибок на витратах Q_{\min} , $0,2Q_{\max}$, Q_{\max} перевіряють, щоб похибка на витраті Q_{\min} не перевищувала три кратної допустимої похибки, тобто мінус 18%. У випадку, якщо кількість лічильників з похибкою до мінус 18% на витраті Q_{\min} буде меншою від тринадцяти, то число досліджуваних

лічильників збільшують до досягнення необхідної вибірки в кількості тринадцяти лічильників.

Після цього розраховують середні значення похибок за формулами

$$\delta_{0,2Q_{\max}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \delta_{0,2Q_{\max}i} \quad (7.1)$$

$$\delta_{Q_{\max}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \delta_{Q_{\max}i} \quad (7.2)$$

де $\delta_{Q_{\min}}$, $\delta_{0,2Q_{\max}}$, $\delta_{Q_{\max}}$ – статистично розраховані середні значення похибок лічильника на витратах Q_{\min} , $0,2Q_{\max}$ і Q_{\max} відповідно.

$\delta_{Q_{\min}i}$, $\delta_{0,2Q_{\max}i}$, $\delta_{Q_{\max}i}$ – експериментально визначені за допомогою еталонної установки похибки окремих i -тих ПЛГ із вибірки, яка характеризується кількістю N лічильників.

Далі статистично встановлюють різницю між похибками на витраті Q_{\max} і на максимальній витраті Q_{\max} за формулою

$$\Delta\delta_{Q_{\max}} = \delta_{0,2Q_{\max}} - \delta_{Q_{\max}} \quad (7.3)$$

де $\Delta\delta_{Q_{\max}}$ – статистично встановлена при повірці різниця зміни похибки лічильника за витрат $0,2Q_{\max}$ і Q_{\max} .

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

При необхідності з метою підвищення метрологічної точності реалізації запропонованого способу повірки ПЛГ здійснюють по більш детальній метрологічний аналіз визначення різниці $\Delta\delta_{Q_{\max}}$, при якому обчислюють інші метрологічні оцінки, наприклад середнє квадратичне відхилення, розмах, довірчу імовірність за результатами експериментальних досліджень похибки.

7.4.2 На основі отриманих статистичних даних для метрологічного оцінювання статистично-розрахункового визначення похибки лічильника на максимальній витраті здійснюють розрахунок числового значення похибки при Q_{\max} для кожного i -го повірюваного лічильника:

$$\delta_{Q_{\max}i} = \delta_{0,2Q_{\max}i} - \Delta\delta_{Q_{\max}}, \quad (7.4)$$

де $\delta_{Q_{\max i}}$ – розраховане значення похибки i -го ПЛГ на витраті Q_{\max} ; $\delta_{0,2Q_{\max i}}$ – експериментально визначена похибка i -го ПЛГ при його повірці на витраті $0,2Q_{\max}$; $\Delta\delta_{Q_{\max}}$ – середнє значення зміни похибки лічильника при витраті Q_{\max} порівняно з витратою $0,2Q_{\max}$ з врахуванням зміни похибки ПЛГ при Q_{\min} в діапазоні від мінус 6% до плюс 3%.

7.5 Визначення метрологічних та технічних характеристик лічильників.

7.5.1 Визначення відносної похибки лічильників.

Визначення відносної похибки лічильників проводять за місцем їх експлуатації за об'ємних витрат і контрольних об'ємів газу, номінальні значення яких наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Значення об'ємних витрат газу і мінімальних значень контрольних об'ємів для різних типорозмірів лічильників

Типорозмір	Об'ємні витрати, м ³ / год.		Контрольний об'єм газу, м ³
G1,6	Q_{\min}	0,016	0,01
	$2Q_{\min}$	0,032	0,01
	$0,1Q_{\max}$	0,250	0,03
	$0,2Q_{\max}$	0,500	0,03
G2,5	Q_{\min}	0,025	0,01
	$2Q_{\min}$	0,05	0,01
	$0,1Q_{\max}$	0,400	0,03
	$0,2Q_{\max}$	0,800	0,03
G4	Q_{\min}	0,040	0,02
	$2Q_{\min}$	0,080	0,02
	$0,1Q_{\max}$	0,600	0,04
	$0,2Q_{\max}$	1,200	0,04
G6	Q_{\min}	0,060	0,03
	$2Q_{\min}$	0,120	0,03
	$0,1Q_{\max}$	1,000	0,05
	$0,2Q_{\max}$	2,000	0,05

Визначення відносної похибки лічильників проводять із застосуванням методу "старт з ходу", при застосуванні засобів повірки, наведених в п. 4.1 а) та г), методу «фіксованого старту» при застосуванні засобів повірки, наведених в п. 4.1 б); в) та г).

Відносну похибку лічильників визначають шляхом пропускання через лічильники мінімальних значень контрольного об'єму газу, значення яких наведено в таблиці 7.1.

Відхилення об'ємної витрати від заданого значення при повірці лічильників і не повинно перевищувати:

- плюс- мінус 10 % для значень об'ємних витрат від 0,250 до 1,000 м³/год;
- плюс 10 % для значень об'ємних витрат 0,016; 0,025; 0,040 та 0,060 м³/год;
- плюс- мінус 10 % для значень об'ємних витрат 0,032; 0,05; 0,08 та 0,12 м³/год.

На кожній об'ємній витраті проводять одне вимірювання.

Рекомендована послідовність визначення похибки за різних витрат наведена в експлуатаційній документації на використовувані засоби повірки.

В процесі визначення відносної похибки лічильників проводять вимірювання витрат тиску та зміни температури в лічильниках внаслідок протікання газу по випробувальній лінії.

Відносна похибка лічильника з урахуванням витрат тиску та різниці температур на вході лічильника і на вході робочого еталону об'єму або еталонного засобу вимірювання об'єму обчислюється за формулами:

$$\delta = \left[\frac{V}{V_0} \times \frac{P}{P_0} \times \frac{T_0}{T} - 1 \right] \times 100, \% \quad (7.5)$$

або

$$\delta = \delta_v + k_p + k_t, \quad (7.6)$$

де V - об'єм, виміряний лічильником, що повіряється, м³; V_0 - об'єм, виміряний робочим еталоном об'єму, м³; P_0 , P - значення абсолютних тисків в робочому еталоні об'єму та лічильнику газу відповідно, Па; T_0 і T - значення абсолютної температури в робочому еталоні об'єму та в лічильнику газу відповідно, К.

Відносна похибка δ_v лічильника за результатами виміряних значень об'єму обчислюється за формулою:

$$\delta_v = \frac{V - V_0}{V_0} \cdot 100, \% . \quad (7.7)$$

Поправка k_p до відносної похибки лічильника, що спричинена різницею тиску між входом лічильника та входом робочого еталону, обчислюється за формулою:

$$k_p = ((P - P_0) \cdot 100) / P_0 = (\Delta P \cdot 100) / P_0. \quad (7.8)$$

Поправка k_t до відносної похибки лічильника, що спричинена різницею температур на вході робочого еталону та на вході лічильника, обчислюється за формулою:

$$k_t = ((T_0 - T) \cdot 100) / T = (\Delta T \cdot 100) / T. \quad (7.9)$$

Результати повірки вважаються позитивними, якщо відносні похибки лічильників за об'ємних витрат Q_{\min} кожного типорозміра лічильника не перевищують +5 ... мінус 8 % а за об'ємних витрат $2Q_{\min}$ і $0,1Q_{\max}$ не перевищують $\pm 5\%$.

5.5.2 Визначення витрат тиску на лічильниках.

Втрати тиску на лічильниках визначають за мінімальних витрат Q_{\min} та витрат $0,1Q_{\max}$. Втрати тиску обчислюють як середнє арифметичне значення найбільшого та найменшого значень перепадів тиску на лічильниках при протіканні газу протягом двох хвилин за незмінної об'ємної витрати.

Визначення витрат тиску на лічильниках ΔP_l дозволяється проводити одночасно з визначенням відносної похибки лічильників:

$$\Delta P_{l\ 0.1Q_{\max}} = P_{\text{роб}} - P_{0.1Q_{\max}} \quad (7.10)$$

$$\Delta P_{l\ Q_{\min}} = P_{\text{роб}} - P_{Q_{\min}}, \quad (7.11)$$

де $P_{\text{роб}}$ – надлишковий робочий тиск перед лічильником газу при перевірці герметичності за відсутності витрати через нього;

$P_{0.1Q_{\max}}$ – надлишковий робочий тиск на вході засобу повірки при випробуванні лічильників газу за витрати $0,1Q_{\max}$;

$P_{Q_{\min}}$ – надлишковий робочий тиск на вході засобу повірки при випробуванні лічильників газу за витрати Q_{\min} .

Результати повірки вважаються позитивними, якщо втрати тиску не перевищують 220 Па.

8 ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПОВІРКИ

8.1. Позитивні результати повірки лічильників засвідчують підписами повірника і відбитками повірочного тавра на корпусах лічильників та на пломбах лічильників, у паспортах (або у документах, що їх замінюють) або оформлюють свідоцтво про повірку встановленого зразка.

8.2. Лічильники, які відповідають позитивним результатам повірки, допускають до застосування.

8.3 Якщо в результаті повірки лічильник має додаткову похибку хоча би за одної досліджуваної витрати, величина якої перевищує зазначені в п.7.5.1 межі, але не перевищує

$\pm 15 \%$, то дозволяється такі лічильники допускати до подальшої експлуатації терміном на один рік з врахуванням поправкового коефіцієнта.

При цьому дозволяється здійснювати лічильником облік газу з врахуванням формули:

$$V = V_n (1 + \Pi) , \quad (8.1)$$

де V - об'єм газу, виміряний лічильником, м^3 ,

V_n - покази лічильника при вимірюванні об'єму, м^3 ,

Π - поправковий коефіцієнт лічильника.

Поправковий коефіцієнт лічильника розраховують за формулою з врахуванням вагових коефіцієнтів 0,25; 0,35; 0,4 умов експлуатації лічильників:

$$\Pi = - 0,25 \cdot \delta_{Q_{\min}} + 0,35 \cdot \delta_{2Q_{\min}} + 0,4 \cdot \delta_{0,1Q_{\max}} / 100, \quad (8.2)$$

де $\delta_{Q_{\min}}$, $\delta_{2Q_{\min}}$, $\delta_{0,1Q_{\max}}$ - похибки лічильника за досліджуваних витрат Q_{\min} , $2Q_{\min}$, $0,1Q_{\max}$ - відповідно.

8.4 За умов застосування поправкового коефіцієнта на лічильник оформляють свідоцтво про повірку згідно ДСТУ 2708, в яке вноситься значення поправки і вказується, що лічильник придатний до застосування з врахуванням поправки по формулі:

$$V = V_n (1 + \Pi) , \quad (8.3)$$

Один примірник такого свідоцтва про повірку видається споживачу під розписку.

8.5 При негативних результатах повірки лічильники до застосування не допускають, повірочні тавра гасять і видають довідки за формою згідно з ДСТУ 2708 про непридатність лічильника до подальшої експлуатації.

Додаток А

(Рекомендований)

МОБІЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПОВІРКИ ПОБУТОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ БЕЗ ЗНЯТТЯ ЙОГО З ТРУБОПРОВОДУ

На рисунку 1А схематично показано мобільний пристрій для повірки побутових лічильників газу за місцем експлуатації та його приєднання до газової мережі в місці приєднання газової плити.

Пристрій складається з контрольного лічильника з перетворювачем об'єму газу в електричні імпульси, який за допомогою шнура приєднаний до ПЕОМ. Контрольний лічильник атестований, має покращені характеристики, достатньо велику кількість імпульсів на одиницю об'єму і його робоча характеристика залежності кількості імпульсів від витрати занесена в пам'ять ПЕОМ, що дозволяє автоматично вносити поправки в результати вимірювань залежно від витрати. Пневматичний вхід контрольного лічильника приєднується до вхідного штуцера вставки, що встановлюється в розрив з'єднання вихідного газопроводу з гнучким шлангом, яким приєднано лічильник до газової плити. Вхід вставки приєднується до ніпеля вихідного газопроводу, а вихід вставки – до гайки гнучкого шлангу.

Можливе приєднання пристрою безпосередньо до газової плити за допомогою спеціального перехідника, що вставляється на місце газового пальника, вихід – до спеціального пальника.

Пневматичний вихід контрольного лічильника приєднаний до другого (вихідного) штуцера вставки через паралельно з'єднані між собою регулювальні сопла. Кожне сопло може бути приєднано до мережі за допомогою клапанів, що керуються за допомогою ПЕОМ.

Контрольний лічильник оснащений перетворювачем температури та перетворювачем обертів робочого органу контрольного лічильника в імпульси. Останній перетворювач приєднано до ПЕОМ.

До ПЕОМ також приєднано веб - камера, перетворювач температури та перетворювач загазованості, що розміщені в безпосередній близькості до лічильника.

Пристрій працює наступним чином.

Для проведення повірки побутового лічильника газу, який веде облік газу в оселі з газовою плитою, яка приєднана до газової магістралі за допомогою гнучкого газового шлангу, слід на вході лічильника закрити кран, гнучкий газовий шланг від'єднати від трубопроводу і на його місце встановити вставку. При цьому вхід вставки приєднати до ніпеля вихідного газопроводу, а вихід вставки – до гайки гнучкого шлангу.

На лічильник встановлюється почергово веб - камера, перетворювач загазованості та інфрачервоний перетворювач температури.

Всі ці перетворювачі приєднуються до ПЕОМ.

З ПЕОМ з'єднують також кабель від перетворювача імпульсів контрольного лічильника.

У вихідному стані вхідний кран (перед лічильником) та кран вставки відкриті, а крани газової плити закриті. Всі клапани в закритому стані, тобто перетоку газу через сопла немає.

Після монтажу пристрою слід перевірити герметичність з'єднання пристрою з лічильником та газовою плитою. Для цього слід за допомогою ПЕОМ відкрити один з клапанів (бажано на соплі з великою витратою, щоб зменшити втрати тиску на соплі), відкрити вхідний кран і через 5-10 секунд знову його закрити.

За інформацією з перетворювача тиску можна в автоматичному режимі протестувати систему на герметичність.

Якщо герметичність не достатня, то слід визначити місце розгерметизації **та рівень самоходу лічильника.**

Для цього при відкритому одному з клапанів відкрити вхідний кран і через 10-20 секунд його закрити. Запустити ПЕОМ і за допомогою веб-камери провести не менше 5 раз фотографування показів лічильника через 10-20 секунд. Якщо покази лічильника змінюються, то це вказує на відсутність повної герметизації системи від входу лічильника до газових пристроїв. Оператор оцінює рівень розгерметизації і приймає рішення про подальші дії.

Після усунення місць витoku газу повторити операцію перевірки системи на герметичність та рівень самоходу лічильника, в тому числі за допомогою перетворювача тиску.

Якщо прийнято рішення повірку лічильника продовжити, то слід відкрити вхідний кран та кран вставки та провести перевірку на наявність витоків з місць приєднання лічильників та самого лічильника за допомогою перетворювача загазованості, а також виміряти температуру інфрачервоним перетворювачем температури самого лічильника.

Покази перетворювача тиску та інфрачервоного перетворювача температури, а також перетворювача температури в контрольному лічильнику запам'ятати в ПЕОМ.

При проведенні повірки побутового лічильника газу мембранного типу, як приклад, типорозміру G6, з діапазоном вимірювань від $10 \text{ м}^3/\text{год}$ (Q_{max}) до $0.060 \text{ м}^3/\text{год}$ (Q_{min}) згідно даної методики повірку слід провести за витрат, що дорівнює $0,1 Q_{\text{max}}$ та Q_{min} ($2Q_{\text{min}}$), тобто за витрат $1,0 \text{ м}^3/\text{год}$ та $0,060$ ($0,12$) $\text{ м}^3/\text{год}$., а також перевірити чутливість лічильника за витрати $8 \text{ дм}^3/\text{год}$.

Оператор ПЕОМ запускає програму повірки, за допомогою веб-камери фотографує всі дані, що нанесено на відліковому механізмі лічильника (тип, типорозмір, завод – виробник, заводський номер, рік випуску, стан скла відлікового механізму та самого відлікового механізму, кінцеві показники лічильника тощо).

Запалюється один, два або всі пальники газової плити і ПЕОМ подає команду на відкриття клапану керування соплом з витратою $1,0 \text{ м}^3/\text{год}$.

Після виходу контрольного лічильника та лічильника в режим повірки – на витрату $1,0 \text{ м}^3/\text{год}$., ПЕОМ автоматично подасть команду на фотографування відлікового механізму та початку відліку імпульсів з контрольного лічильника.

Через певний час, тобто після проходження певної кількості імпульсів з контрольного лічильника, пропорційного заданому значенню контрольного об'єму (в нашому випадку 50 дм. куб. газу), ПЕОМ подасть команду на закінчення відліку імпульсів з контрольного лічильника та фотографування відлікового механізму, а також на закриття клапану управління соплом з витратою $1,0 \text{ м}^3/\text{год}$.

ПЕОМ під час проведення випробувань за цією витратою опитає перетворювач тиску, перетворювачі температури контрольного лічильника та лічильника, що повіряється, і автоматично обчислить та врахує поправки по різниці тисків та температурі, а також обчислить втрати тиску на лічильнику як різниця значення тиску до початку випробувань та середнім значенням тиску під час випробувань з врахуванням втрат тиску по трубопроводу від лічильника до перетворювача тиску.

Потім подається (друга) команда на відкриття клапану керування соплом з витратою $0,060 (0.12) \text{ м}^3/\text{год}$. та підказка щодо гасіння одного або інших (якщо було запалено два або всі пальники газової плити) пальників. Після виходу контрольного лічильника та лічильника в режим повірки – на витрату $0,060 (0.12) \text{ м}^3/\text{год}$., ПЕОМ автоматично подасть команду на фотографування відлікового механізму та початку відліку імпульсів з контрольного лічильника.

Через певний час, тобто після проходження певної кількості імпульсів з контрольного лічильника, пропорційного заданому значенню контрольного об'єму (в нашому випадку 30 дм. куб. газу), ПЕОМ подасть команду на фотографування відлікового механізму та закінчення відліку імпульсів з контрольного лічильника, а також на закриття клапану управління соплом з витратою $0,060 (0.12) \text{ м}^3/\text{год}$.

ПЕОМ під час проведення випробувань за цією витратою опитає перетворювач тиску, перетворювачі температури контрольного лічильника та лічильника, що повіряється, і автоматично обчислить та врахує поправки по різниці тисків та температурі, а також обчислить втрати тиску на лічильнику як різниця значення тиску до початку випробувань та

середнім значенням тиску під час випробувань з врахуванням втрат тиску по трубопроводу від лічильника до перетворювача тиску.

Проходить запит до оператора про необхідність подальшої перевірки, а саме – перевірки порогу чутливості. Якщо така необхідність відсутня, то перевірка лічильника припиняється і на табло ПЕОМ висвічуються результати перевірки лічильника.

Якщо є необхідність в перевірці порогу чутливості, то подається команда з ПЕОМ на відкриття клапану керування соплом з витратою $0,008 \text{ м}^3/\text{год.}$ та підказка щодо необхідності контролю процесу горіння пальника газової плити. Якщо пальник погас, то на нього встановлюється мікрорегулятор з шлангом на двір через вікно.

Після цього ПЕОМ автоматично подасть команду на постійне фотографування відлікового механізму, яке відображається на моніторі ПЕОМ. При цьому на ПЕОМ виводиться інформація щодо витрати газу за показами контрольного лічильника. Якщо відліковий механізм змінює свої покази за витрати $0,008 \text{ м}^3/\text{год.}$, то лічильник вважається таким, що відповідає вимогам щодо порогу чутливості.

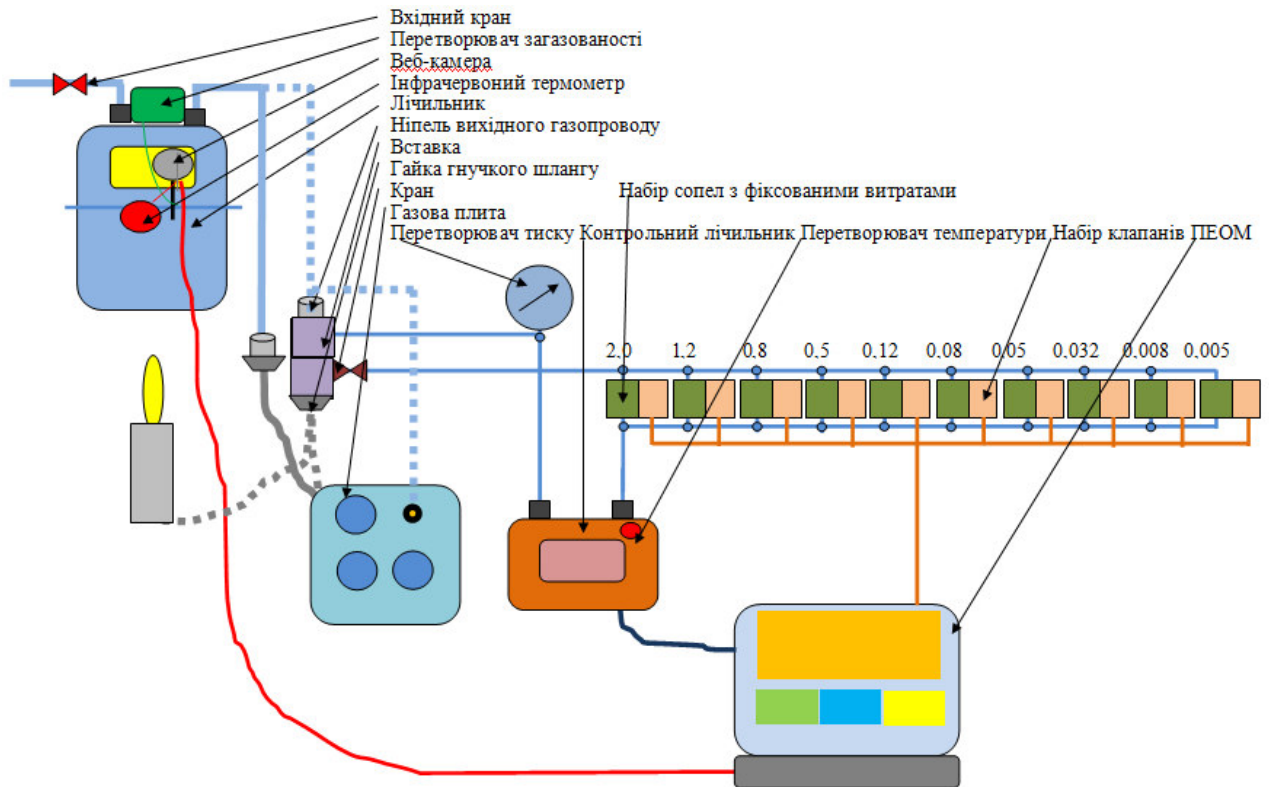


Рисунок. А1

Додаток Б

(рекомендований)

МОБІЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПОВІРКИ ПОБУТОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ ЗІ ЗНЯТТЯМ ЛІЧИЛЬНИКА З ТРУБОПРОВОДУ

На рисунку 1Б схематично показано мобільний пристрій для повірки побутових лічильників газу за місцем експлуатації зі зняттям лічильника з трубопроводу.

Лічильник знімається з трубопроводу та приєднується до мобільного пристрою за схемою, рисунок Б1.

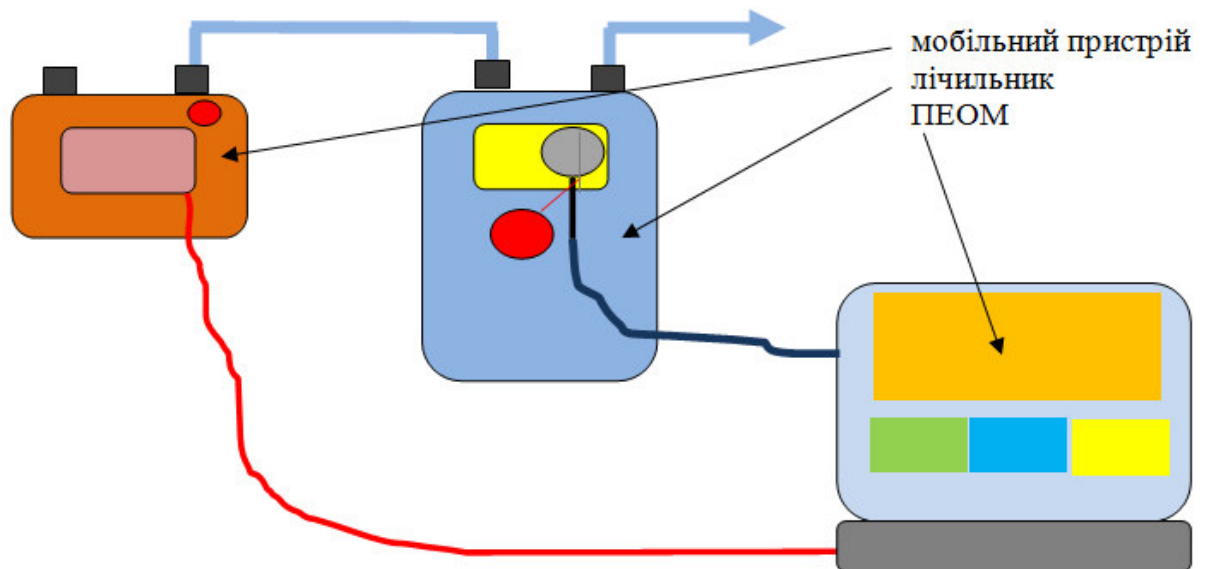


Рисунок Б1

Мобільний пристрій складається з контрольного лічильника з перетворювачем об'єму газу в електричні імпульси, який за допомогою шнура приєднаний до ПЕОМ. Контрольний лічильник атестований, його робоча характеристика залежності кількості імпульсів від витрати занесена в пам'ять ПЕОМ, що дозволяє автоматично вносити поправки в результати вимірювань залежно від витрати. Пневматичний вхід контрольного лічильника приєднано до вихідного штуцера лічильника.

Контрольний лічильник оснащений перетворювачем температури та перетворювачем обертів робочого органу контрольного лічильника в імпульси, які приєднано до ПЕОМ.

До ПЕОМ також приєднано веб - камера та перетворювач температури, що розміщені в безпосередній близькості до лічильника.

Пристрій працює аналогічно роботі звичайної повірочної установки або аналогічно пристрою та за алгоритмом, що описаний в додатку А.

Додаток В

(Рекомендований)

ПЕРЕНОСНИЙ ПОВІРОЧНИЙ КОМПЛЕКС ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕТАЛОННОГО МЕМБРАННОГО ЛІЧИЛЬНИКА ГАЗУ З ВІЗУАЛЬНИМ ЗНЯТТЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ

На рисунку В1 показано схему комплексу та його приєднання до газової мережі в місці приєднання газової плити.

Комплекс складається із еталонного мембранного лічильника з веб - камерою, яка за допомогою шнура приєднана до ПЕОМ. Еталонний лічильник атестований на природному газі, має покращені метрологічні характеристики, залежність показів лічильника від витрати занесена в пам'ять ПЕОМ, що дозволяє автоматично вносити поправки в результати вимірювань залежно від витрати.

Пневматичний вхід еталонного лічильника приєднано до вхідного штуцера вставки, що встановлюється в розрив з'єднання вихідного газопроводу з гнучким шлангом, за допомогою якого в процесі експлуатації приєднано лічильник до газової плити. Вхід вставки приєднується до вихідного газопроводу, а вихід вставки – до гнучкого шлангу.

Пневматичний вихід еталонного лічильника приєднаний до другого (вихідного) штуцера вставки.

Еталонний лічильник оснащений перетворювачем температури та тиску на його вході, які контролюються ПЕОМ. Комплекс також має сигналізатор загазованості.

До ПЕОМ приєднано веб - камера, перетворювач температури та загазованості, що розміщені в безпосередній близькості до лічильника.

Комплекс працює наступним чином.

Для проведення перевірки побутового лічильника газу, який веде облік газу в оселі з газовою плитою, яка приєднана до газової магістралі за допомогою гнучкого газового шлангу, слід на вході лічильника закрити кран, гнучкий газовий шланг від'єднати від трубопроводу і на його місце встановити вставку. При цьому вхід вставки приєднується до вихідного газопроводу (за допомогою ніпеля), а вихід вставки – до гнучкого шлангу (за допомогою гайки).

На лічильник встановлюється почергово веб - камера, перетворювач загазованості та інфрачервоний перетворювач температури.

Всі ці перетворювачі приєднуються до ПЕОМ.

У початковому стані вхідний кран та кран вставки відкриті, а крани газової плити закриті.

Після монтажу комплексу слід перевірити герметичність з'єднання комплексу з лічильником та газовою плитою. Для цього слід відкрити вхідний кран і через 5-10 секунд його закрити.

ПЕОМ за інформацією з перетворювача тиску автоматично проведе атестацію системи на герметичність.

Якщо герметичність не достатня, то слід визначити місце розгерметизації **та рівень самоходу лічильника.**

Для цього при відкритому одному з клапанів відкрити вхідний кран і через 10-20 секунд його закрити. Запустити ПЕОМ і за допомогою веб-камери провести не менше 5 раз фотографування показів лічильника через 10-20 секунд. Якщо покази лічильника змінюються, то це вказує на відсутність повної герметизації системи від входу лічильника до газових пристроїв. Оператор оцінює рівень розгерметизації і приймає рішення про подальші дії.

Після усунення місць витоку газу повторити операцію перевірки системи на герметичність та рівень самоходу лічильника, в тому числі за допомогою перетворювача тиску.

Для продовження процесу повірки лічильника слід відкрити вхідний кран та кран вставки та провести перевірку на наявність витоків з місць приєднання лічильників та самого лічильника за допомогою перетворювача загазованості, а також виміряти температуру інфрачервоним перетворювачем температури самого лічильника.

Покази перетворювача тиску та інфрачервоного перетворювача температури, а також перетворювача температури в контрольному лічильнику запам'ятати в ПЕОМ.

Повірник запускає програму повірки, за допомогою веб - камери фотографує всі дані, що нанесено на відліковому механізмі лічильника (тип, типорозмір, завод – виробник, заводський номер, рік випуску, стан скла відлікового механізму та самого відлікового механізму, кінцеві покази лічильника тощо).

Надалі відкривають горілку газової плити з найменшою потужністю і запалюють газ.

За допомогою веб - камер проводять спостереження за показами відліковим пристроїв лічильника та еталонного лічильника.

Після виходу еталонного лічильника та лічильника в режим повірки ПЕОМ автоматично подасть команду на фотографування відлікового механізму лічильника та початку відліку імпульсів з контрольного лічильника.

Через певний час, тобто після проходження певної кількості імпульсів з контрольного лічильника, пропорційного заданому значенню контрольного об'єму (в нашому випадку 30

дм. куб. газу), ПЕОМ подасть команду на закінчення відліку імпульсів з контрольного лічильника та фотографування відлікового механізму лічильника.

ПЕОМ під час проведення випробувань за цією витратою опитає перетворювач тиску, перетворювачі температури контрольного лічильника та лічильника, що повіряється, і автоматично обчислить та врахує поправки по різниці тисків та температурі, а також обчислить втрати тиску на лічильнику як різниця значення тиску до початку випробувань та середнім значенням тиску під час випробувань з врахуванням втрат тиску по трубопроводу від лічильника до перетворювача тиску.

Надалі відкриваються і запалюються всі горілки газової плити.

Після виходу еталонного лічильника та лічильника в режим повірки ПЕОМ автоматично подасть команду на фотографування відлікового механізму лічильника та початку відліку імпульсів з контрольного лічильника.

Через певний час, тобто після проходження певної кількості імпульсів з контрольного лічильника, пропорційного заданому значенню контрольного об'єму (в нашому випадку 50 дм. куб. газу), ПЕОМ подасть команду на фотографування відлікового механізму та закінчення відліку імпульсів з контрольного лічильника.

ПЕОМ під час проведення випробувань за цією витратою опитає перетворювач тиску, перетворювачі температури контрольного лічильника та лічильника, що повіряється, і автоматично обчислить та врахує поправки по різниці тисків та температурі, а також обчислить втрати тиску на лічильнику як різниця значення тиску до початку випробувань та середнім значенням тиску під час випробувань з врахуванням втрат тиску по трубопроводу від лічильника до перетворювача тиску.

Проходить запит до оператора про необхідність подальшої повірки, а саме – перевірки порогу чутливості. Якщо така необхідність відсутня, то повірки припиняється і на табло ПЕОМ висвічуються результати повірки лічильника.

Якщо є необхідність в перевірці порогу чутливості, то всі газові пальника, за виключенням пальника з найменшою потужністю вимикають, а на пальнику з найменшою потужністю споживання зменшують горіння до найменшої можливої. Обчислюють витрату газу за показами еталонного лічильника і якщо витрата відповідає порогу чутливості, то спостерігають за змінами відлікового механізму лічильника.

Якщо відліковий механізм лічильника змінює свої покази за витрати, рівній порогу чутливості, то лічильник вважається таким, що пройшов випробування.

Якщо при найменшому горінні витрата перевищує значення порогу чутливості, по витрату газу зменшують до необхідного значення, при цьому над пальником встановлюється мікрорегулятор зі шлангом на двір через вікно.

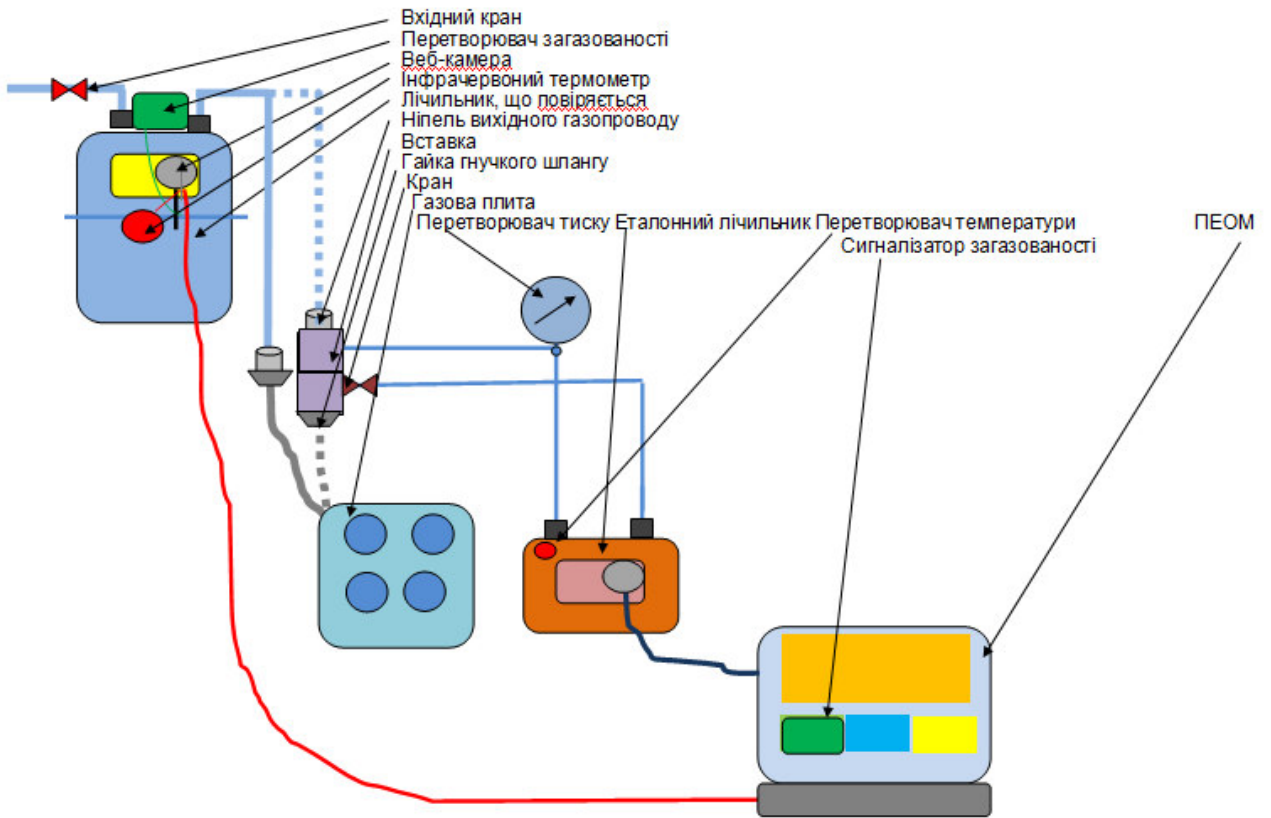


Рисунок В1

Додаток Г
(рекомендований)

**КОМПЛЕКС ЗВТ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПОВІРКИ БЕЗ ВТРУЧАННЯ В РОБОТУ
СИСТЕМИ ГАЗОПОСТАЧАННЯ**

Даний комплекс ЗВТ дозволяє провести повірку лічильника за місцем експлуатації без втручання в роботу системи газопостачання.

Він побудований на розрахунковому методі вимірювання витрати газу через пальник з відомим діаметром отвору звужувального пристрою, з відомими параметрами газу (густина газу) та параметрами витікання (тиску та температури газу, перепаду тиску на пальнику). Витрата обчислюється за формулою:

$$Q_{cmm} = 0,2109\alpha \cdot \varepsilon \cdot d_{20}^2 \sqrt{\frac{P \cdot \Delta P}{\rho \cdot T \cdot K}}, \quad (1Г)$$

де Q_{cmm} - об'ємна витрата газу через пальник, зведена до стандартних умов, м³/год.;

α - коефіцієнт витрати (попередньо визначається експериментальним методом для конкретного типу звужувального пристрою пальника і його геометричних розмірів, які застосовуються в газових плитах ~ 0,7...0,85);

ε - коефіцієнт розширення (для умов побутового газового обладнання приймається рівним 0,9975);

d_{20} - діаметр отвору в пальнику, мм;

P - абсолютний тиск газу перед пальником, кг/см²;

ΔP - перепад тиску на пальнику, кг/м²;

ρ - густина газу, кг/м³;

T - температура газу, К;

K - коефіцієнт стискуваності газу (для умов роботи побутового газового обладнання приймається рівним 0,9998).

Для реалізації цього методу необхідно:

- виміряти діаметр отвору в соплі пальника (до третього знаку після коми) або встановити замість нього попередньо проградуєований звужувальний пристрій (сопло пальника);

- виміряти тиск та температуру газу перед соплом пальника, тобто в будинковій газовій мережі, при пропусканні газу через пальник;

- виміряти перепад тиску на пальнику в процесі пропускання газу через пальник.

Перед повіркою лічильника слід зняти горілку газової плити і спеціальним пристроєм виміряти діаметр отвору в пальнику цієї горілки. Діаметр отвору пальника занести в пам'ять ПЕОМ. Після вимірювання діаметру отвору встановити зняті частини пальника на місце.

За допомогою ПЕОМ опитати перетворювач абсолютного тиску, вхід якого сполучений з атмосферою, і значення атмосферного тиску запам'ятати. Зняти другу горілку і на пальник за допомогою спеціального пристрою приєднати перетворювач абсолютного тиску для вимірювання тиску в системі.

На лічильник встановлюється веб - камера, перетворювач загазованості та інфрачервоний перетворювач температури. Всі ці перетворювачі приєднуються до ПЕОМ.

Запалити горілку, в якій вимірювався діаметр отвору пальника, та витримати її в такому стані не менше 3 хвилин з метою стабілізації температури пальника

Запустити програму повірки лічильника ПЕОМ. Так як горілка вже горить, то включається веб - камера лічильника і спостерігається за зміною показів лічильника. На ПЕОМ запускається підпрограму визначення витрати і за показами лічильника і ПЕОМ обчислює витрату. При необхідності її зміни, краном горілки, в якій горить газ, виставляється відповідне значення витрати. Після виставлення витрати подається команда на проведення першого вимірювання.

В момент подачі команди ПЕОМ подає команду на фотографування показів лічильника та запускає таймер часу протікання газу через вказану горілку. Під час протікання газу вимірюється температура лічильника, абсолютний тиск газу в системі.

Після певного часу, що пропорційний пропущеному об'єму газу за заданої витрати, ПЕОМ подає команду на фотографування показів лічильника та на припинення даного вимірювання.

Середнє значення абсолютного тиску газу в системі, виміряне абсолютним перетворювачем тиску, буде вважатися тиском перед пальником, різниця цього значення тиску та атмосферного тиску буде вважатися перепадом тиску на пальнику.

За значенням діаметра отвору пальника, тиску газу в системі та перепадом тиску на пальнику за формулою (1Д) обчислюється витрата газу через пальник.

Об'єм газу, зведений до стандартних умов, що протік через пальник, обчислюється за формулою:

$$V_{cmn} = Q_{cmn} \cdot t, \quad (2Г)$$

де - V_{cmn} - об'єм газу, який протік через пальник, зведений до стандартних умов, м³;

t - час протікання газу через пальник, год.

Середнє значення температури корпусу лічильника буде вважатися температурою газу в лічильнику, середнє значення абсолютного тиску газу в системі, виміряне абсолютним

перетворювачем тиску, буде вважатися тиском в лічильнику. Різниця показів лічильника відповідає об'єму газу, що протік через лічильник.

Об'єм газу, виміряний лічильником, зведений до стандартних умов, обчислюється за формулою:

$$V_{cmл} = V_l \cdot \frac{P \cdot T_{cm}}{T_l \cdot P_{cm} \cdot K}, \quad (3Г)$$

де - $V_{cmл}$ - об'єм газу, виміряний лічильником, зведений до стандартних умов, м³;

ΔV_l - об'єм газу, що виміряв лічильник, м³.

P – абсолютний тиск газу в системі, кПа;

T_{cm} та P_{cm} - стандартні значення параметрів газу, температура 293,15 К та тиск 101,325 кПа;

T_l - температура газу в лічильнику, К;

K - коефіцієнт стискуваності газу (для умов роботи побутового газового обладнання лічильника приймається рівним 0,9998).

Відносна похибка лічильника обчислюється за формулою:

$$\delta_v = \frac{V_{cmл} - V_{cmн}}{V_{cmн}} \cdot 100, \% , \quad (4Г)$$

де - δ_v - відносна похибка лічильника, %.

Аналогічно проводиться повірка лічильника і за інших значень витрати.

Додаток Е

Список публікацій здобувачки за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертаційної роботи

1. Середюк О.Є., Лютенко Т.В., Винничук А.Г. Дослідження можливості оцінювання об'єму газу побутовими лічильниками у всьому діапазоні витрат з використанням статистичних методів. *Український метрологічний журнал*. 2018. №2. С. 34-45.
2. 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.
3. Середюк О.Є., Компан А.И., Бондарь С.П., Лютенко Т.В., Ильенко А.С., Смирнов М.А. Сличение узлов учета природного газа разных принципов действия на реальной среде. *Метрология и приборостроение*. 2016. №4 (74). С.22-26. (Республіка Білорусь).
4. Середюк О.Є., Лютенко Т.В. Експериментальні дослідження вузлів обліку природного газу різних принципів дії. *Метрологія та прилади*. 2015. № 3(53). С.51-56.
5. Винничук А.Г., Середюк О.Є., Лютенко Т.В. Дослідження гідравлічних витратних характеристик нестандартних звужувальних пристроїв. *Системи обробки інформації*. 2015. Вип. 6(131). С. 25-28.
6. Вошинський В.С., Середюк О.Є., Андрук М.С., Лютенко Т.В. Дослідження впливу теплообмінних процесів на перевірку герметичності еталонних установок об'єму газу. *Методи та прилади контролю якості*. 2015. №1 (34). С.46-53.
7. Вошинський В.С., Середюк О.Є., Лютенко Т.В. Дослідження алгоритмів розрахунку похибки в еталонних установках об'єму та витрати газу. *Методи та прилади контролю якості*. 2013. №2 (31). С. 67-75.

8. Seredyuk O., Liutenko T., Seredyuk D., Warsza Z. Badanie bledow pomiarowych gazomierzy membranowych po szesciu latach ich eksploatacj. *Zeszyty Naukowe Wydzialu Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdanskiej*: publ.XXI Miedzynarodowe Seminarium Metrologow: MSM 2017, 12-15 wrzesnia, 2017. Rzeszow-Czerniowce: Gdansk, 2017. Nr 55. S. 65-68.
9. Комплексний пристрій для бездемонтажного діагностування та перевірки побутових лічильників газу/ О. Є. Середюк, Т. В. Лютенко: пат. 113495 U Україна: МПК (2016.01) G01 F 25/00. №u201608707; заявл. 10.08.16; опубл. 25.01.17, Бюл. №2.
10. Комплексний пристрій для бездемонтажного 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.
11. Спосіб повірки побутових лічильників газу / О. Є. Середюк, Т. В. Лютенко: пат. 116046 C2 Україна: МПК (2017.01) G01 F 25/00. №a201605643 заявл. 25.05.16; опубл. 25.01.18, Бюл. №2.
12. Рябко Ю.С., Лютенко Т.В., Середюк О.Є. Моделювання закономірностей зміни похибки побутових лічильників газу. *Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання*: зб. тез доп. 5-ої наук.-практ. конф. студ. і молодих учених, 24-25 листопада 2015 р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015. С. 175-178.
13. Середюк О.Є., Лютенко Т.В., Прудніков Б.І. Наукові засади бездемонтажної повірки побутових лічильників газу за обмеженим діапазоном робочих витрат. *Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2015)*: зб. тез доп. III-ої міжнар. наук.-техн. конф., 27-29 жовтня 2015 р., Вінниця: ВНТУ, 2015. С.43-45.
14. Лютенко Т.В., Середюк О.Є., Винничук А.Г. Дослідження впливу газової мережі на точність вимірювання витрати торцевими звужувальними пристроями. *Приладобудування: стан і перспективи*: зб. тез доп. XIV

- міжнар. наук.-техн. конф., 22-23 квітня 2015р., Київ: НТУУ «КПІ», ПБФ, 2015. С. 216-217.
15. Середюк О.Є., Лютенко Т.В. Метрологічні дослідження імовірнісних характеристик послідовно з'єднаних витратомірів природного газу. *Technical using of measurement – 2015*: тези доп. всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених у царині метрології, 2-6 лютого 2015 р., Славське: Академія метрології України, 2015. С. 107-109.
16. Лютенко Т.В., Середюк О.Є., Майсон М.В. Моделювання фізичних процесів в еталонних установках з ємністю під тиском. *Приладобудування: стан і перспективи*: зб. тез доп. XV міжнар. наук.-техн. конф., 17-18 травня 2016р., Київ: НТУУ «КПІ», ПБФ, 2016. С.200-201.
17. Середюк О.Є., Компан А.И., Бондарь С.П., Лютенко Т.В., Ильенко А.С., Смирнов М.А. Результаты сличений промышленных средств учета природного газа в условиях полигона ПАО «Днепрогаз». *Неопределенность измерений: научные, законодательные, методические и прикладные аспекты: UM-2016*: сб. докладов XIII междунар. научн.- техн. семинара, 13-14 апреля 2016г., Минск: БелГИМ, 2016. С. 111-114.
18. Лютенко Т.В., Середюк О.Є. Применение модельного подхода к оцениванию неопределенности измерения объема газа бытовыми счетчиками при их эксплуатации. *Неопределенность измерений: научные, нормативные, прикладные и методические аспекты: UM-2017*: тез. докладов XIV междунар. научн.-техн. семинара, 8сентября 2017г., Созополь, Болгария: Софттрейд, 2017. С. 67-68.
19. Середюк О.Є., Лютенко Т.В. Статистичний аналіз зміни похибки побутових лічильників газу при їх експлуатації. *Technical using of measurement – 2017*: тези доп. III всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених у царині метрології, 24-27 січня 2017 р., Славське: Академія метрології України, 2017. С. 48-51.
20. Середюк О.Є., Лютенко Т.В. Застосування інформаційних технологій при статистичних дослідженнях метрологічних характеристик побутових лічильників газу при їх експлуатації. *Інформаційні технології в освіті,*

- техніці та промисловості*: матер. III всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, 10-13 жовтня 2017р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. С. 112-114.
21. Лютенко Т.В. Нові підходи до статистичного оцінювання похибок побутових лічильників газу при їх експлуатації. *Нафтогазова енергетика – 2017*: зб. тез. доп. 6-ої міжнар. наук.-техн. конф., 15-19 травня 2017р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. С. 293-295.
22. Лютенко Т.В., Середюк О.Є. Дослідження стабільності метрологічних характеристик побутових лічильників газу в експлуатаційних умовах. *Приладобудування: стан і перспективи*: зб. тез. доп. XVI міжнар. наук.-техн. конф., 16-17 травня 2017 р., Київ: НТУУ “КПІ” ПБФ, 2017. С. 177-178.
23. Лютенко Т.В. Концепція статистичного визначення закономірностей зміни похибки побутових лічильників газу для реалізації бездемонтажної повірки за обмеженим діапазоном витрат. *Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання*: зб. тез доповідей VI всеукр. наук.-практ. конф. студентів і молодих учених, 15-16 листопада 2017 р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. С.40-41.
24. Середюк О.Є., Винничук А.Г., Лютенко Т.В. Дослідження статистичних закономірностей зміни похибки побутових лічильників газу при їх діагностуванні. *Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання*: зб. матер. доповідей 8-ої міжнар. наук.-техн. конф. пам'яті проф. Ігоря Кісіля, 14-16 листопада 2017р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. С.79-80.
25. Середюк О.Є., Лютенко Т.В., Криницький О.С. Статистичні дослідження стабільності похибки побутових лічильників газу в залежності від тривалості їх експлуатації. *Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання*: зб. матер. доповідей 8-ої міжнар. наук.-

- техн. конф. пам'яті проф. Ігоря Кісіля, 14-16 листопада 2017р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. С.186-188.
26. Лютенко Т., Середюк О., Винничук А. Нові тенденції підвищення якості метрологічного контролю побутових лічильників газу за умов експлуатації. *Управління якістю в освіті і промисловості: досвід, проблеми, перспективи: тези доп. III міжнар. наук.-практ. конф. пам'яті проф. Петра Столярчука*, 11-12 травня 2017 р., Львів: НУ "Львівська політехніка", 2017. С.182-183.
27. Лютенко Т.В., Середюк О.Є., Криницький О.С. Метрологічні дослідження статистичних закономірностей зміни похибки побутових лічильників газу різних типорозмірів. *Technical using of measurement – 2018: тези доп. IV всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених у царині метрології*, 13-18 лютого 2018р., Славське: Академія метрології України, 2018. С.34-36.
28. Лютенко Т.В., Середюк О.Є., Криницький О.С. Дослідження впливу умов експлуатації побутових лічильників газу на їх метрологічні характеристики. *Приладобудування: стан і перспективи: зб. тез. доп. XVII міжнар. наук.-техн. конф.*, 15-16 травня 2018 р., Київ: НТУУ "КПІ" ПБФ, 2018. С. 201-202.
29. Середюк О.Е., Лютенко Т.В., Винничук А.Г. Исследования неопределенности бытовых счетчиков газа на максимальных расходах с использованием статистических методов. *Неопределенность измерений: научные, нормативные, прикладные и методические аспекты: UM-2018: тез. докладов XV междунар. научн.-техн. семинара*, 10 сентября 2018г., Созополь, Болгария: Софттрейд, 2018. С.38.
30. Середюк О.Є., Малісевич Н.М., Лютенко Т.В. Нові аспекти комп'ютеризованого вдосконалення метрологічного забезпечення обліку природного газу. *Автоматизоване управління багатовимірними об'єктами на засадах обчислювального інтелекту: матеріали всеукр. наук.-практ. конф.*, 17-19 жовтня 2018р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2018. С. 42-43.
31. Середюк О.Є., Лютенко Т.В. Дослідження невизначеності побутових лічильників газу за максимальних витрат із застосуванням статистичних методів. *Метрологія та вимірювальна техніка: тези доп. XI Міжнар. наук.-*

техн. конф., 9-11 жовтня 2018 р., Харків: ННЦ “Інститут метрології”, 2018. С. 208-209.

32. Лютенко Т.В., Середюк О.Є., Криницький О.С. Дослідження статистичних закономірностей зміни експлуатаційних похибок побутових лічильників газу. *Прикладні науково технічні дослідження: матеріали II міжнар. наук.-практ. конф.*, 3-5 квітня 2018 р., Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2018. С.92.