

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”



ЛЮТЕНКО ТЕТЯНА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 006.91:681.121

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

Спеціальність 05.01.02 – Стандартизація, сертифікація  
та метрологічне забезпечення

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Середюк Орест Євгенович**,  
завідувач кафедри метрології та інформаційно-  
вимірювальної техніки Івано-Франківського  
національного технічного університету нафти і газу,  
м. Івано-Франківськ.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент  
**Мотало Василь Петрович**,  
професор кафедри інформаційно-вимірювальних  
технологій Національного університету «Львівська  
політехніка», м. Львів;

кандидат технічних наук  
**Малецька Ольга Євгенівна**,  
старший викладач кафедри охорони праці,  
стандартизації та сертифікації Української  
інженерно-педагогічної академії, м. Харків.

Захист відбудеться «05» грудня 2019 р. о 14<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.21 у Національному університеті «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 28а, ауд.713 п'ятого навчального корпусу).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1)

Автореферат розісланий «\_\_\_» листопада 2019 р.

*Вчений секретар спеціалізованої вченої ради  
доктор технічних наук, професор*



Т. З. Бубела

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день в Україні не втрачає актуальності проблема раціонального використання енергоносіїв, в тому числі природного газу, як однієї із складових енергозбереження. 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», виникає необхідність створення системи забезпечення ощадливого та раціонального використання енергоносіїв усіма категоріями споживачів. Це потребує запровадження точного і достовірного обліку природного газу 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), більшість з яких мембранного типу. Об'єм споживання газу у 2017 році в Україні побутовими споживачами становив близько 11,2 млрд. куб. м. 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, внаслідок чого відбувається недооблік природного газу.

Згідно чинних нормативних документів виявити такий факт недостовірного обліку природного газу в експлуатаційних умовах неможливо, оскільки неправильне функціонування можливо встановити лише при періодичній повірці ПЛГ, яка проводиться після восьми років експлуатації, внаслідок чого ПЛГ протягом тривалого часу можуть здійснювати облік газу некоректно. Тому існує необхідність контролю метрологічних характеристик ПЛГ впродовж міжповірочного інтервалу, для реалізації якого на сьогодні практично відсутні відповідні еталонні установки, а процедура такого контролю не передбачена нормативними документами України.

Другим, не менш важливим фактором, є неоднаковість метрологічних характеристик ПЛГ при функціонуванні на повітрі і природному газі, а також доцільність їх визначення безпосередньо за місцем експлуатації ПЛГ, оскільки їх транспортування до місця періодичної повірки і підготовка до її проведення можуть суттєво змінити метрологічні характеристики. Однак саме такий метод періодичної повірки і з використанням повітря регламентований чинними на сьогодні нормативними документами України, що є, мабуть, найважливішим недоліком при досягненні покращення точності обліку побутовими лічильниками.

Тому удосконалення методу і технічних засобів для метрологічного перевіряння ПЛГ при дослідженні і контролі їх метрологічних характеристик за місцем експлуатації є актуальним науково-прикладним завданням, що характеризує актуальність теми дисертації.

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

Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу «Наукові основи удосконалення

вимірювальної техніки та її метрологічного забезпечення у нафтогазовій галузі». 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 задачі 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 статистичного опрацювання 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.м<sup>3</sup>;

- 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 зв'язання 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 основі 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 роботах, які опубліковані у співавторстві здобувачці належить: аналіз, узагальнення, дослідження технічних можливостей засобів для реалізації бездемонтажного метрологічного перевіряння ПЛГ [1,12,23,27], опрацювання та інтерпретація статистичних результатів повірки ПЛГ [8,18-22,24,25,29], моделювання результатів експериментальних досліджень ПЛГ [11,13], обґрунтування і розроблення наукових засад бездемонтажного метрологічного перевіряння ПЛГ [4,12,32], дослідження, апроксимація і моделювання алгоритмів розрахунку похибки ПЛГ і засобів вимірювання об'єму газу різних принципів дії [5-7,14,16,17,26,28], моделювання і дослідження фізичних процесів в еталонних установках [2,15], моделювання і дослідження алгоритмів апроксимації функції перетворення еталонних лічильників газу [3], розроблення технічних рішень для вдосконалення засобів метрологічного перевіряння ПЛГ [30,31].

**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, висновків і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 166 сторінок основного тексту, 49 рисунків, 19 таблиць, 6 додатків на 42 сторінках, список використаних джерел із 155 найменувань на 19 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність вибраного напрямку досліджень, сформульовано мету, завдання та методи досліджень, показано зв’язок дисертаційної роботи з науковими програмами та планами, визначено об’єкт та предмет дослідження, вказано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача в одержаних результатах, подано відомості про їх публікації та апробацію.

**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 актуальним завданням 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 розроблення 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 здійснено теоретичне обґрунтування нового експериментально-розрахункового методу визначення похибки ПЛГ за обмеженим діапазоном контрольованих витрат, який забезпечує реалізацію бездемонтажного метрологічного перевіряння ПЛГ у всьому діапазоні робочих витрат.

Визначені закономірності зміни похибки ПЛГ за результатами статистичних досліджень метрологічних характеристик для трьох виробників ПЛГ, які ілюструються на прикладі двох моделей лічильників типорозміру G4 (рис.1).

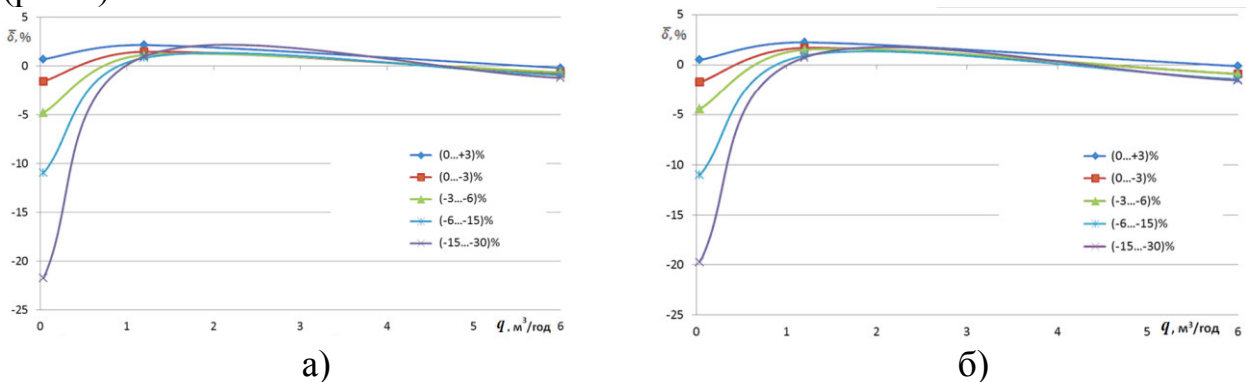


Рисунок 1 – Графічна ілюстрація зміни середнього значення похибки ПЛГ типорозміру G4 при п'яти різних її діапазонах на мінімальній витраті  $q_{min}$  для лічильників METRIX (а), SAMGAS (б)

На основі опрацювання статистичних даних досліджено два напрями експериментально-розрахункового методу для визначення похибки ПЛГ на максимальній витраті.

Перший напрям полягає у розрахунку узагальненого приросту похибки 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 перевірюваного ПЛГ здійснюється за алгоритмом:

$$\delta_{q3i} = \delta_{q2i} - \bar{\Delta}\delta_{23} \quad (1) \quad \bar{\Delta}\delta_{23} = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L \Delta\delta_{23}^j \quad (2)$$

де  $\delta_{q3i}$  – розраховане значення похибки  $i$ -го ПЛГ на витраті  $q_{max}$ ;  $\delta_{q2i}$  – експериментально визначена похибка  $i$ -го ПЛГ при його перевірянні на витраті  $0,2q_{max}$ ;  $\bar{\Delta}\delta_{23}$  – середнє значення приросту похибки ПЛГ при витраті  $q_{max}$  порівняно з витратою  $0,2q_{max}$  з врахуванням діапазону зміни похибки ПЛГ при  $q_{min}$  від мінус 6% до плюс 3%;  $L$  – кількість вибраних діапазонів при  $q_{min}$  для дослідження статистичних характеристик зміни похибки.

Статистичне оцінювання розкиду  $\sigma_{\Delta\delta_{23}}$  приросту похибки  $\Delta\delta_{23}$  рівне:



$$\sigma_{\Delta\delta_{23}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^L (\Delta\delta_{23}^j - \bar{\Delta}\delta_{23})^2}{L(L-1)}}, \quad (3)$$

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

При застосуванні такого напряму сумарна похибка визначення метрологічної характеристики ПЛГ на максимальній витраті розраховується за такою формулою:

$$\varepsilon(\delta_{q_3}) = \Theta_e + \sqrt{\left(\left(\sigma_{q_2}^j\right)_{\max}^2 + \left(\sigma_{\Delta\delta_{23}}\right)^2\right)}, \quad (4)$$

де  $\varepsilon(\delta_{q_3})$  - похибка експериментально-розрахункового методу визначення похибки ПЛГ на максимальній витраті;  $\Theta_e$  - границя допустимої похибки еталонної установки, яка не перевищує  $\pm 0,3\%$ ;  $\left(\sigma_{q_2}^j\right)_{\max}$  - 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 (2)-(4) для досліджуваних ПЛГ подані в табл.1.

**Таблиця 1 – Результати розрахунку статистичних характеристик та похибок 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	$\pm 0,37$	$\pm 0,67$

Другий напрям при метрологічному аналізі визначення похибки ПЛГ на максимальній витраті  $q_{\max}$  стосується застосування безрозмірного статистично-розрахованого коефіцієнта інтерполяційності  $K$  форми похибки. Цей коефіцієнт кількісно характеризує співвідношення між приростами похибок  $\Delta\delta_{23}$  (для витрат  $0,2q_{\max}$  і  $q_{\max}$ ) і  $\Delta\delta_{21}$  (для витрат  $0,2q_{\max}$  і  $q_{\min}$ ). Він також конкретизується для кожного окремого типорозміру ПЛГ і кожного виробника ПЛГ. 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  $K$  показав, що зміну похибки ПЛГ можна апроксимувати наступним чином:

$$\delta_{q_{3i}} = \delta_{q_{2i}} - K \cdot \Delta\delta_{21} \quad (5)$$

де  $D, \alpha$  – апроксимаційні коефіцієнти експоненційного виду зміни коефіцієнта інтерполяційності  $K$ , який записується у вигляді  $K = D \cdot e^{\alpha \cdot \delta_1}$ ;  $\delta_1$  – похибка ПЛГ за витрати  $q_{\min}$ .

Здійснивши апроксимацію числових значень коефіцієнта  $K$  отримано наступні апроксимаційні залежності, які подані в табл.2.

Достовірність апроксимації  $R^2$  (у відносних одиницях) розраховувалося за формулою:

$$R^2 = 1 - \frac{\left[ \sum_{j=1}^M (K_j - K_{Aj})^2 \right]}{\left[ \sum_{j=1}^M K_j^2 - \left( \frac{\sum_{j=1}^M K_{Aj}^2}{M} \right) \right]}, \quad (6)$$

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  $M=5$ ).

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

$$\delta_A K = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M (K_{Aj} - K_j)^2}{(M-1) \cdot 1/\bar{K}_j}} \cdot 100, \% , \quad (7)$$

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 (6) і (7) подані в табл.2.

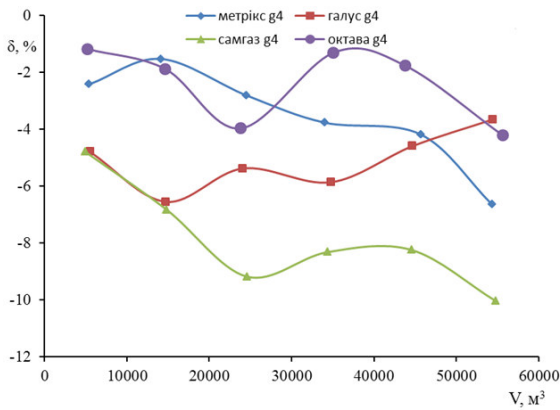
**Таблиця 2 – Результати моделювання апроксимаційної залежності коефіцієнта інтерполяційності  $K$**

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

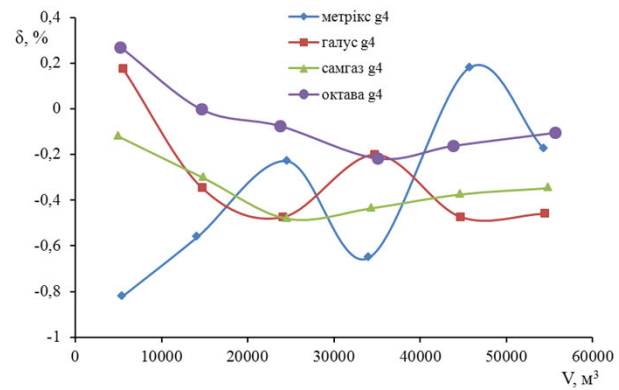
Вивчено вплив інтенсивності функціонування ПЛГ на похибку за мінімальної робочої витрати, що вибрано як інформаційний параметр. З використанням програмного забезпечення “MS Excel” отримані закономірності зміни похибки ПЛГ за мінімальної витрати  $q_{\min}$  (рис 2, а) і за максимальної витрати  $q_{\max}$  (рис. 2, б).

За результатами досліджень статистично встановлено зростання від’ємної похибки із збільшенням об’єму вимірюваного 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. м<sup>3</sup> до -6,6% при 54,3 тис. м<sup>3</sup>, а для SAMGAS G4 зростання від’ємної похибки становить від -4,8% при 4,9 тис. м<sup>3</sup> до -10,1% при 54,8 тис. м<sup>3</sup>. Ці дані характеризують дещо кращі експлуатаційні властивості ПЛГ типу METRIX G4 порівняно із SAMGAS G4, оскільки похибка перших практично відповідає допустимому значенню (-6%) при повірці ПЛГ.

Закономірності зміни похибки за витрати  $q_{\max}$  (рис. 2, б) і  $0,2q_{\max}$  практично не виявлені для всіх типорозмірів і характеризують про відсутність впливу вимірюваного об’єму на похибку ПЛГ за цих витрат.



а)



б)

Рисунок 2 – Графічна ілюстрація зміни похибки ПЛГ за витрати  $q_{min}(a)$  і за витрати  $q_{max}(б)$

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. м<sup>3</sup>.

Розроблений патентозахищений метод метрологічної перевірки ПЛГ за обмеженим діапазоном витрат. При його реалізації здійснюють побудову кусково-інтерполяційної залежності похибки лічильника газу від робочої витрати через нього. При цьому похибку на двох нормованих для перевірки метрологічних характеристик витратах, які відповідають мінімальній витраті 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.

У цьому розділі на базі використання законів термодинаміки також здійснено моделювання теплообмінних процесів в еталонній установці, яке дозволило отримати залежність тривалості теплообмінних процесів після наповнення дзвона:

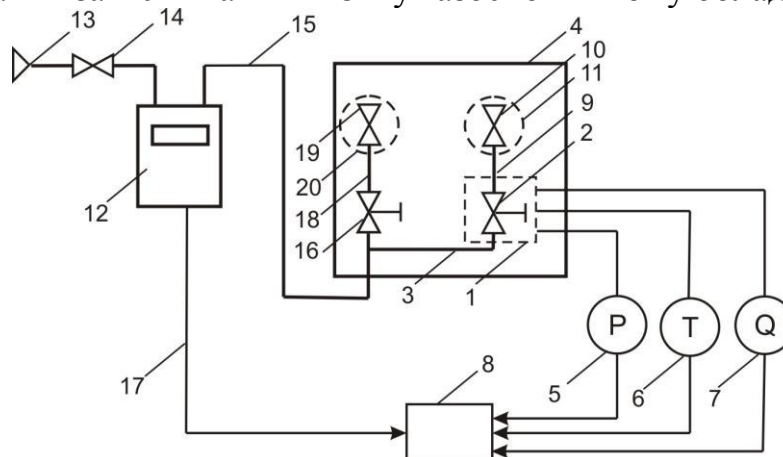
$$t = \frac{C_p}{S \cdot \alpha} \ln(T_{zn} - T_{rob}) - \ln(T - T_{rob}), \quad (8)$$

де  $C_p$  - теплоємність повітря під дзвоном при постійному тиску;  $\alpha$  - коефіцієнт теплопередачі, який враховує вплив розділювальної рідини, ємності і поверхні дзвона;  $S$  - площа поверхні теплопередачі;  $T$  - температура повітря під дзвоном в момент часу  $t$  процесу температурної стабілізації;  $T_{rob}$  - робоча температура елементів дзвонової установки, яка відповідає умовам її функціонування;  $T_{zn}$  - температура під дзвоном при завершенні наповнення дзвона.

Модифікацією отриманого рівняння (8), тобто його записом відносно  $\alpha$ , і використовуючи умову вимірювання температури повітря  $T$  під дзвоном впродовж часу експериментального дослідження  $t_e$  при стабілізованому положенні дзвона можна реалізувати експериментальне визначення теплопередачі  $\alpha$ . Наприклад, його експериментально визначене значення для дзвонової установки РЕОВГ– 0.2 становить  $\alpha = 4,61 \cdot 10^{-1} \text{ кДж/кг} \cdot \text{с}$ . В свою чергу рівняння (8) дозволяє визначати час витримки дзвона у верхньому положенні для вирівнювання температури повітря під ним з робочою температурою вузлів дзвонової установки.

Шляхом математичного моделювання з використанням програмного забезпечення “ANSYS Fluent” досліджені 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. Особливістю установки (рис.3) є застосування попередньо проградуєваних звужувальних пристроїв (ЗП) (торцевих сопел), які монтуються на час дослідження безпосередньо у пальниках обладнання замість наявних ЗП у газоспоживному обладнанні.

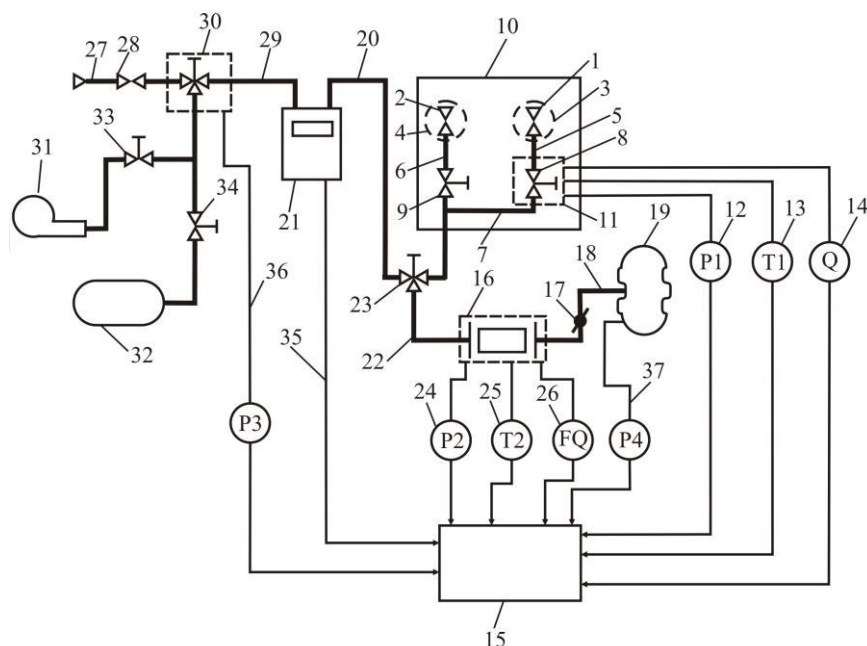


1 - технологічний вузол; 2, 16 - запірні крани; 3 - внутрішній технологічний трубопровід; 4 - газоспоживне обладнання; 5, 6, 7 - давачі тиску, температури і густини газу; 8-ПЕОМ; 9, 18 – внутрішній приєднувальний трубопровід; 10, 19 - звужувальний пристрій; 11, 20 - пальник; 12 - побутовий лічильник газу; 13, 15- будинковий трубопровід; 14 - перекирвний вентиль; 17 - інформаційна лінія

*Рисунок 3 – Схема установки для бездемонтажної метрологічної перевірки ПЛГ з використанням вмонтованих ЗП у обладнанні*

Особливістю установки (рис.4) є її додаткове обладнання джерелом робочого середовища, яке під'єднане до вузла його подачі на ділянці будинкового газопроводу перед ПЛГ. Крім цього, установка обладнана допоміжним еталонним вимірювальним засобом об'єму робочого середовища, наприклад лічильником, з вузлом утилізації робочого середовища. Установка передбачає можливість конструктивного виконання джерела робочого середовища на повітрі у вигляді повітрорудки або ємності зі стиснутим природним газом. Застосування вузла утилізації робочого середовища у вигляді

еластичної ємності змінного об'єму дозволяє відмовитися від спалювання природного газу при перевірці ПЛГ.



1,2- звужувальні пристрої; 3,4-пальники; 5,6- приєднувальні трубопроводи; 7- внутрішній технологічний трубопровід; 8,9-запірні крани; 10- експлуатаційне газоспоживне обладнання; 11-технологічний вузол відбору параметрів робочого середовища; 12, 13, 14-давачі тиску температури і густини газу; 15-ПЕОМ; 16-еталонний лічильник; 17-задавач витрати; 18, 22 – допоміжні гнучкі трубопроводи; 19- еластична ємність; 20, 27, 29- будинковий трубопровід; 21- побутовий лічильник газу; 23-розгалужувач; 24, 25, 26- давачі тиску, температури і вимірюваного об'єму еталонного лічильника; 30- технологічний вузол подачі робочого середовища; 31-повітродувка; 32- ємність зі стисненим природним газом; 33,34-запірні крани; 35,36,37-інформаційні лінії

Рисунок 4 – Схема установки для бездемонтажної метрологічної перевірки ПЛГ на повітрі і природному газі

Проведено дослідження гідравлічних витратних характеристик нестандартних ЗП для мобільних перевірочних установок з використанням розробленого лабораторного стенду (рис.5).

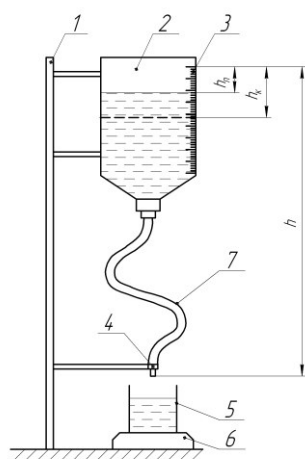
На базі отриманої математичної моделі витратних характеристик ЗП

$$\alpha F = \frac{m}{\tau \cdot \rho \sqrt{2 \cdot g \cdot \left( h - \frac{h_n + h_k}{2} \right)}}, \quad (9)$$

розроблена метрологічна модель (рис.6) щодо їх експериментальних досліджень.

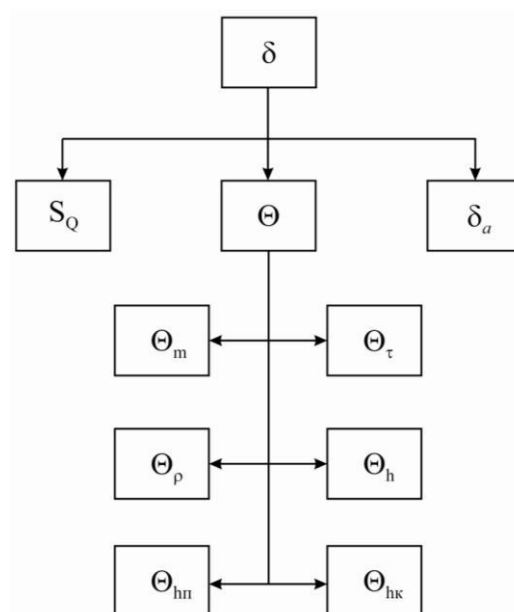
Сумарна допустима похибка  $\delta$  визначення витратних характеристик ЗП представляє собою суму випадкової похибки  $S_Q$ , інструментальної похибки вимірювання  $\Theta$  та похибки апроксимації  $\delta_a$ . Допустима похибка становила:

$$\delta = S_Q + \Theta + \delta_a = 0,62 + 0,58 + 0,35 = \pm 1,55\%. \quad (10)$$



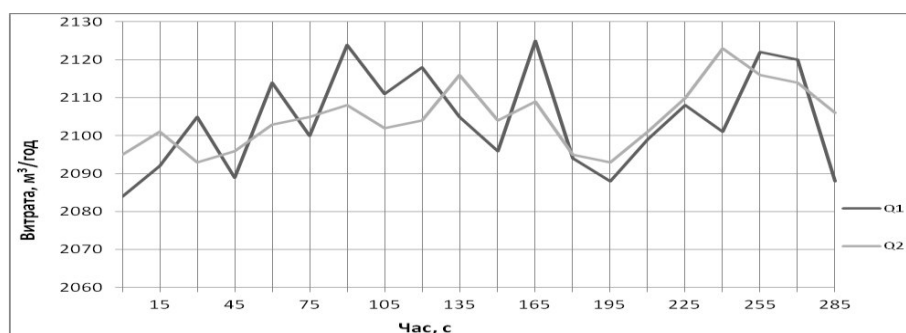
1 – штатив; 2 – мірна ємність; 3 – контрольна лінійка; 4 – торцевий ЗП; 5 – ємність; 6 – електронна вага; 7 – гнучкий шланг

*Рисунок 5 – Принципова схема лабораторного стенду для дослідження гідравлічних витратних характеристик ЗП*

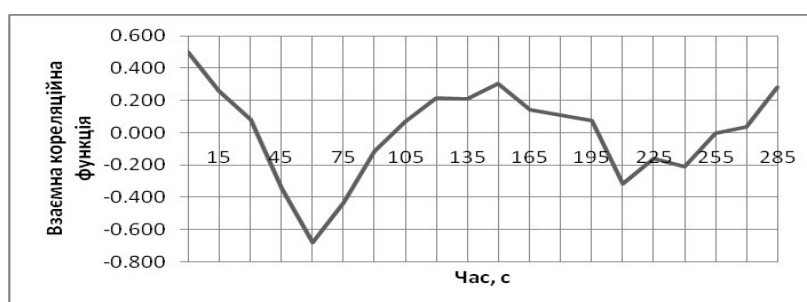


*Рисунок 6 – Метрологічна модель досліджень витратних характеристик торцевих ЗП*

В цьому розділі наведені результати проведених експериментальних досліджень вузлів обліку природного газу різних принципів дії (рис. 7, 8).



Q1- ультразвуковий витратомір; Q2 – витратомір змінного перепаду тиску  
*Рисунок 7 – Графічна ілюстрація результатів вимірювання витрати*



*Рисунок 8 – 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.

У четвертому розділі викладені результати метрологічних досліджень, які стосуються практичної реалізації метрологічного перевіряння ПЛГ.

Здійснена метрологічна оцінка експериментально-розрахункового методу метрологічного перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном контрольованих витрат. Оцінка похибки за першим напрямом реалізації запропонованого методу подається формулою (4) і описана вище в авторефераті.

Похибка  $\varepsilon(\delta_{q3})$  при другому напрямі експериментально-розрахункового визначення метрологічних характеристик (похибки) ПЛГ за максимальної витрати буде обчислюватися за формулою:

$$\varepsilon \delta_{q3} = \sqrt{\left(\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_1} \cdot \Theta_{e q1}\right)^2 + \left(\frac{\partial \delta_3}{\partial \delta_2} \cdot \Theta_{e q2}\right)^2} + \delta_A^2(K), \quad (11)$$

де  $\Theta_{eq1}$ ,  $\Theta_{eq2}$  – метрологічна характеристика (гранично допустима похибка) еталонної установки при роботі на досліджуваних витратах побутових лічильників  $q_1$  і  $q_2$  відповідно.

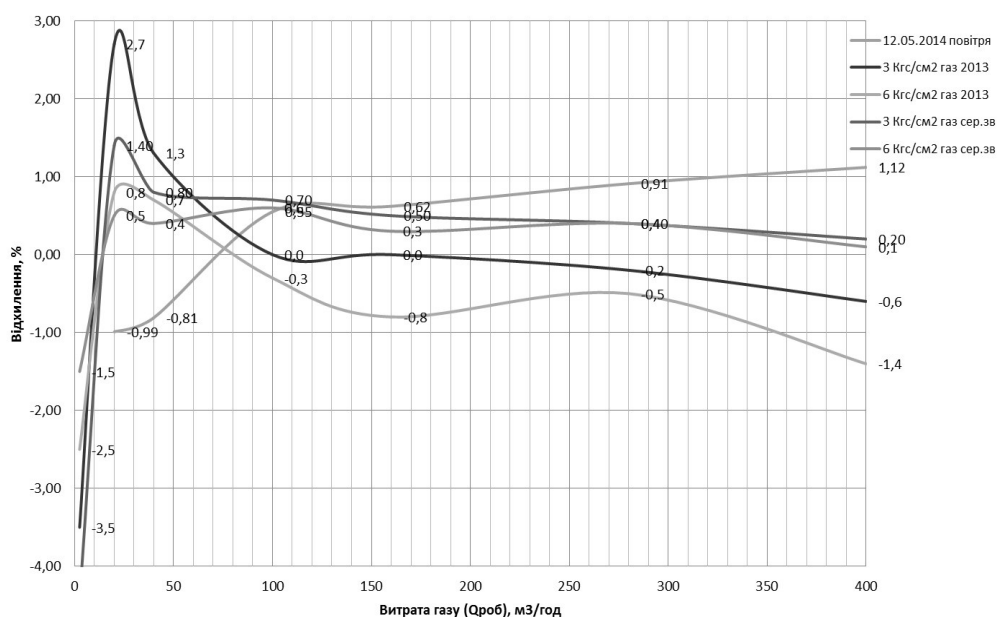


Рисунок 9 – Ілюстрація результатів звіряння вузлів обліку газу на базі лічильників КВР (роторних) і КВТ (турбінних)

В цьому розділі також наведені методологічні підходи і результати звірянь засобів вимірювання об'єму газу різних принципів дії на природному газі при створенні робочих еталонів на реальному середовищі (рис.9).

Результати звірянь кількісно характеризують особливості зміни похибки лічильників газу за різних умов їх експлуатації при конкретизації робочого діапазону витрат природного газу.

З використанням модельного підходу досліджено алгоритми оцінювання непевності при визначенні похибки на максимальних робочих витратах ПЛГ при вимірюванні ними об'єму газу.

В цьому розділі також наведено результати апробації метрологічного перевіряння ПЛГ за обмеженим діапазоном робочих витрат, які підтвердили правильність методичного підходу при реалізації розробленого методу метрологічного перевіряння. Викладено суть розробленого проекту нормативного документу для бездемонтажної повірки ПЛГ.

## 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 патентозахищений 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. м<sup>3</sup>;

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 зв'язаннях 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 ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

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 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.

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.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: УМ-2016*: сб. докладов XIII междунар. научн.- техн. семинара, 13-14 апреля 2016г., Минск: БелГИМ, 2016. С. 111-114.

18. 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: УМ-2017: тез. докладов XIV междунар. научн.-техн. семинара, 8 сентября 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: УМ-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 виміррювальна 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.

## АНОТАЦІЯ

**Лютенко Т.В. Удосконалення методу і технічних засобів для бездемонтажного метрологічного перевіряння побутових лічильників газу.**  
– На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення. Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2019.

Дисертація присвячена вирішенню науково-прикладного завдання удосконалення методу і технічних засобів для метрологічного перевіряння

побутових лічильників газу при дослідженні і контролі їх метрологічних характеристик за місцем експлуатації.

Проведено аналіз методів і засобів метрологічного перевіряння побутових лічильників газу. Встановлено статистичні закономірності зміни похибки побутових лічильників при їх експлуатації. Розроблено новий експериментально-розрахунковий метод визначення похибки побутових лічильників за обмеженим діапазоном контрольованих витрат, який забезпечує реалізацію бездемонтажного метрологічного перевіряння лічильників у всьому діапазоні робочих витрат. Досліджено вплив експлуатаційних і конструктивних факторів на стабільність метрологічних характеристик побутових лічильників газу. Здійснено математичне моделювання фізичних процесів в еталонних витратовимірювальних установках для калібрування лічильників газу, яке стосується дослідження теплообмінних процесів в установках.

Розроблено нові концептуальні технічні рішення еталонних установок для метрологічного перевіряння побутових лічильників газу за місцем їх експлуатації з можливістю використання робочого середовища повітря або природного газу. Проведено звіряння на природному газі засобів вимірювань об'єму різних принципів дії. Проведено дослідження побутових лічильників газу на основі теорії похибок і з використанням концепції непевності вимірювань.

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

## АННОТАЦИЯ

**Лютенко Т.В. Совершенствование метода и технических средств для бездемонтажной метрологической проверки бытовых счетчиков газа.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.01.02 - стандартизация, сертификация и метрологическое обеспечение. Национальный университет «Львовская политехника» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2019.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной задачи усовершенствования метода и технических средств для метрологической проверки бытовых счетчиков газа при исследовании и контроле их метрологических характеристик по месту эксплуатации.

Проведен анализ методов и средств метрологического проверки бытовых счетчиков газа. Установлено статистические закономерности изменения погрешности бытовых счетчиков при их эксплуатации. Разработан новый экспериментально-расчетный метод определения погрешности бытовых счетчиков при ограниченном диапазоне контролируемых расходов, который обеспечивает реализацию бездемонтажной метрологической проверки счетчиков во всем диапазоне рабочих расходов. Исследовано влияние эксплуатационных и конструктивных факторов на стабильность метрологических характеристик бытовых счетчиков газа. Проведено математическое моделирование физических процессов в эталонных

расходоизмерительных установках для калибровки счетчиков газа, которое касается исследования теплообменных процессов в установках.

Разработаны новые концептуальные технические решения эталонных установок для метрологической проверки бытовых счетчиков газа по месту их эксплуатации с возможностью использования рабочей среды воздуха или природного газа. Проведены сличения на природном газе средств измерений объема различных принципов действия. Проведено исследование бытовых счетчиков с использованием теории погрешностей и концепции неопределенности измерений.

**Ключевые слова:** природный газ, бытовой счетчик газа, эталонное средство, метрологическая проверка, погрешность, неопределенность, бездемонтажная проверка.

### ANNOTATION

**Liutenko T.V. Improvement of the method and the technical means for the non-dismantling metrological verification of household gas meters.** - On the rights of manuscript.

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

The dissertation is devoted to solving the scientifically applied task of improving the method and technical means for metrological verification of household gas meters in the study and control of their metrological characteristics at the place of operation.

The analysis of methods and means of metrological verification of household gas meters is carried out. Results of experimental researches statistical regularities of error change of household meters at their operation are established on the basis of their processing. A new experimental and calculation method for determining the uncertainty of household meters over a limited range of controlled flow rates has been developed, which ensures the implementation of non-dismantling metrological verification of meters in the entire operating flow rates range. The influence of operational and constructive factors on the stability of metrological characteristics of household gas meters has been investigated. Mathematical modeling of physical processes in standard flow meters for the calibration of gas meters, which is related to the study of heat exchange processes in installations has been done.

New conceptual technical solutions of standard installations for metrological verification of household gas meters at their place of operation with the possibility of using the working environment of air or natural gas have been developed. Natural gas verifications have been carried out for measuring the volume of various principles of action. The study of household meters is carried out on the basis of error theory and using the concept of uncertainty of measurements.

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