Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра Інженерія вагонів та якість продукції

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ ОБЛІКУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

Пояснювальна записка і розрахунки
до кваліфікаційної роботи магістра

МКРМЕ.175.26.20.00. ПЗ

Розробив:
здобувач групи 217-ЯСС-324
спеціальності 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»
(роботу виконано самостійно, відповідно до принципів академічної доброчесності)

Сергій СИДОРІН

Керівник:
кандидат технічних наук, доцент

Ганна КОМАРОВА

Рецензент:
доцент кафедри М і ПМ канд. техн. наук

Олександр ЛОГВІНЕНКО

2026

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет «Механіко-енергетичний»
Кафедра «Інженерія вагонів та якість продукції»
Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр
Спеціальність:175 «Інформаційно-вимірювальні технології»
Освітня програма: Якість, стандартизація та сертифікація

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІВ та ЯП,
професор, д-р техн. наук

_____ Василь РАВЛЮК

«20» 11 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу магістра

Сидоріну Сергію Миколайовичу

1. Тема: «Удосконалення метрологічного контролю обліку природного газу для підвищення точності вимірювань: Комарова Ганна Леонідівна затверджена розпорядженням по механіко-енергетичному факультету від "24" лютого 2025 року № 21/25.
2. Строк подання студентом роботи "30"грудня 2025 року
3. Вихідні дані до роботи: нормативно-правові акти України у сфері метрології та комерційного обліку енергоресурсів (Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність», Кодекс ГРМ, НПА НКРЕКП), а також чинні стандарти та методики повірки й калібрування засобів вимірювальної техніки (ДСТУ, ISO, OIML); наукова, технічна та методична література з питань метрологічного контролю, вимірювань та оцінки невизначеності; технічна документація, експлуатаційні журнали, результати повірок, дані систем контролю та обліку ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ»; матеріали переддипломної практики.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Вступ; 1. Теоретичні основи метрологічного контролю обліку природного газу; 2. Аналіз існуючого стану метрологічного контролю у Харківській міській філії «ГАЗМЕРЕЖІ»; 3. Удосконалення метрологічного контролю обліку природного газу; 4. Практичне значення та перспективи розвитку системи метрологічного контролю у газовій сфері; Загальні висновки; Список використаних джерел.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу: 1 Актуальність і цілі дослідження; 2 Метрологічне забезпечення обліку газу; 3 Значення метрологічного забезпечення у газовій галузі; 4 Метрологічні характеристики лічильника газу; 5 Вимірювальні засоби для обліку природного газу: класифікація; 6 Типові значення похибок засобів вимірювальної техніки; 7 Вплив конструктивних особливостей лічильників на точність вимірювань; 8 Аналіз джерел похибок у вимірюванні витрат і об'єму газу; 9 Аналітичні порівняння поколінь лічильників; 10 Частота повірок по поколінням; 11 Напрями вдосконалення системи метрологічного контролю; 12 Smart-система контролю і управління обліком газу; 14 Шляхи підвищення точності вимірювань; 15 Порівняння традиційних і оптимізованих процедур повірки; 16 Практичне значення та перспективні технології метрологічного контролю.

6. Дата видачі завдання 06.10.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз наукових джерел і нормативних документів з управління якістю та мотивації персоналу	06.10 - 15.10	виконано
2	Дослідження діяльності підприємства та оцінка чинної системи управління якістю і мотивації	16.10– 25.10	виконано
3	Виявлення недоліків у мотиваційній системі і визначення потреб персоналу. Розробка методичних засад мотиваційного моніторингу та визначення KPI	26.10 – 05.11	виконано
4	Обґрунтування впливу мотиваційного моніторингу на якість управління та діяльність підприємства	06.11 – 25.11	виконано
5	Формування практичних рекомендацій та висновків	26.11– 30.11	виконано
6	Перевірка МКР на плагіат	01.12-10.12	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу	11.12– 20.12	виконано
8	Нормоконтроль та отримання рецензії на магістерську роботу	21.12 -30.12	виконано
10	Підписання роботи завідувачем кафедри	21.12 – 30.12	виконано
11	Підготовка до захисту роботи	31.12 – 11.01.26	виконано
12	Захист кваліфікаційної роботи	12.01 – 17.01.26	

Магістрант Сергій СИДОРІН

Керівник роботи Ганна КОМАРОВА

АНОТАЦІЯ

Сидорін С.М. Кваліфікаційна робота другого (магістерського) рівня вищої освіти на тему: **«Удосконалення метрологічного контролю обліку природного газу для підвищення точності вимірювань»** включає 16 слайдів презентації, 90 аркуш пояснювальної записки формату А4, що містять 21 рисунок, 9 таблиць, 38 літературних джерела.

Ключові слова: МЕТРОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ, ОБЛІК ПРИРОДНОГО ГАЗУ, ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ, КАЛІБРУВАННЯ, ЛІЧИЛЬНИКИ.

Метою магістерської роботи є розроблення практичних рекомендацій щодо вдосконалення метрологічного контролю обліку природного газу для підвищення точності вимірювань і зниження похибок у газорозподільній системі.

Об'єкт дослідження: процес метрологічного контролю обліку природного газу.

У роботі проведено аналіз метрологічного забезпечення обліку природного газу в Україні та визначено ключові чинники, що впливають на точність вимірювань. На прикладі ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ» обґрунтовано напрями вдосконалення системи контролю, зокрема впровадження високоточних лічильників нового покоління, цифрових систем збору даних, мобільних лабораторій і віддаленого моніторингу. Запропоновані заходи підвищують достовірність обліку, зменшують втрати газу та підвищують ефективність роботи підприємств. Результати можуть бути використані для вдосконалення метрологічного контролю, забезпечення прозорості обліку енергоресурсів і зміцнення енергетичної безпеки України.

ABSTRACT

Sidorin S. Master's qualification thesis titled **"Improvement of Metrological Control of Natural Gas Accounting to Increase Measurement Accuracy"** includes 16 presentation slides and 90 pages of the explanatory note in A4 format, containing 21 figures, 9 tables, and 38 references..

Keywords: METROLOGICAL CONTROL, NATURAL GAS ACCOUNTING, MEASUREMENT ACCURACY, CALIBRATION, METERS, ENERGY.

The aim of the master's thesis is to develop practical recommendations for improving the metrological control of natural gas accounting to increase measurement accuracy and reduce errors in gas distribution systems.

Object of research: the process of metrological control of natural gas accounting.

The study analyzed the metrological support of natural gas accounting in Ukraine and identified the key factors affecting measurement accuracy. KHF of "GAZMERESHI" as a case study, directions for improving the control system were justified, including the implementation of next-generation high-precision meters, digital data collection systems, mobile laboratories, and remote monitoring services. The proposed measures enhance accounting reliability, reduce gas losses, and increase operational efficiency. The results can be applied to improve metrological control, ensure transparency in energy resource accounting, and strengthen Ukraine's energy security.

Зміст

Вступ	6
1 . Теоретичні основи метрологічного контролю обліку природного газу	9
1.1 . Поняття та значення метрологічного забезпечення в газовій галузі	9
1.2 Вимірювальні засоби для обліку природного газу: класифікація та принципи роботи	18
1.3 Джерела похибок у вимірюванні витрат та об'єму газу	27
1.4. Нормативно-правова база метрологічного контролю в Україні	37
2. Аналіз існуючого стану метрологічного контролю у Харківській міській філії «ГАЗМЕРЕЖІ»	40
2.1 Загальна характеристика підприємства	40
2.2 Стан парку засобів обліку та рівень їх метрологічного забезпечення в ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ»"	42
2.3 Організація метрологічного контролю на Харківській міській філії «ГАЗМЕРЕЖІ» та проблеми його практичного виконання	48
2.4. Вплив воєнних умов на систему метрологічного контролю та облік газу	56
3 Удосконалення метрологічного контролю обліку природного газу	61
3.1 Шляхи підвищення точності вимірювань	61
3.2 Оптимізація процедур перевірки та калібрування лічильників	70
3.3 Використання сучасних методів контролю і випробувань	76
4 Практичне значення та перспективи розвитку системи метрологічного контролю у газовій сфері	81
4.1 Досягнення та пропозиції щодо вдосконалення системи метрологічного контролю у газовій сфері	81
Загальні висновки до магістерської роботи	85
Список використаних джерел	87

Вступ

Актуальність. У сучасному світі енергетичні ресурси стали одним із ключових чинників економічного розвитку, конкурентоспроможності та політичної стабільності. Серед усіх видів енергоносіїв саме природний газ займає провідне місце завдяки своїй відносній екологічній чистоті, універсальності застосування та економічній доцільності. Він використовується у промисловості, енергетиці, житлово-комунальному секторі, транспорті та побуті. У зв'язку з цим питання точного та достовірного обліку природного газу набуває виняткової актуальності, адже воно безпосередньо впливає на фінансові показники підприємств, добробут споживачів і загальну енергоефективність держави.

Світова практика доводить, що країни з розвиненими системами обліку та метрологічного контролю демонструють більш високий рівень раціонального використання енергоресурсів, прозорість енергетичного ринку та менший рівень втрат у газотранспортних і газорозподільних мережах. Для України цей досвід особливо цінний, адже наша держава перебуває у процесі інтеграції до європейського енергетичного простору, де чітко регламентовані правила обліку і контролю.

Окремим фактором, що посилює актуальність дослідження, є воєнні події на території України. Руйнування газотранспортної інфраструктури, пошкодження систем обліку та втрата частини технічного обладнання призвели до зростання похибок у вимірюваннях і збільшення комерційних втрат природного газу. У таких умовах завдання вдосконалення метрологічного контролю виходить за межі внутрішньогалузевої проблеми і стає елементом національної енергетичної безпеки**.**

Водночас на рівні окремих підприємств проблема точності вимірювань має і практичний вимір. Неточності в обліку призводять до економічних суперечностей між постачальниками та споживачами, зростання витрат на компенсацію втрат газу, а також до зниження довіри до підприємств галузі. Це ускладнює роботу

газорозподільних компаній, які змушені шукати баланс між технічними можливостями наявних засобів вимірювання та зростаючими вимогами до точності обліку.

Вирішення цієї проблеми потребує системного підходу, який охоплює як технічні аспекти (сучасні лічильники, коректори об’єму, системи повірки), так і організаційні (планування метрологічного контролю, підвищення кваліфікації персоналу, вдосконалення нормативної бази).

На цей час інтеграція України до європейського енергетичного ринку вимагає поступової гармонізації системи метрологічного забезпечення з міжнародними нормами ISO, EN та вимогами Європейського агентства з регулювання енергетики. Це обумовлює потребу у розробленні науково обґрунтованих підходів до контролю точності вимірювань природного газу, що відповідають сучасним викликам.

Об’єктом дослідження є процес метрологічного контролю обліку природного газу.

Предметом дослідження є методи, засоби та організаційні заходи, що забезпечують точність та достовірність вимірювань у газовій галузі.

Мета дослідження полягає у розробленні рекомендацій щодо вдосконалення метрологічного контролю обліку природного газу з метою підвищення точності вимірювань, мінімізації похибок та підвищення ефективності роботи підприємств газорозподільної галузі.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно виконати такі завдання:

— проаналізувати сучасний стан метрологічного забезпечення обліку природного газу в Україні;

— визначити чинники, що знижують точність вимірювань у діючих системах обліку;

— узагальнити наукові підходи та практичні рішення щодо метрологічного контролю;

— обґрунтувати напрями вдосконалення контролю з урахуванням особливостей експлуатації в умовах України;

— розробити рекомендації з підвищення точності вимірювань і забезпечення достовірності обліку.

Методи дослідження. У роботі використано системний аналіз, методи порівняння, аналіз наукових і нормативних джерел, елементи узагальнення практичного досвіду підприємств галузі.

Наукова новизна дослідження полягає у формуванні комплексного підходу до вдосконалення метрологічного контролю, що враховує як технічні характеристики вимірювального обладнання, так і організаційні аспекти його експлуатації в умовах воєнного часу та інтеграції до європейського енергетичного ринку.

Практична цінність полягає у можливості впровадження результатів дослідження на підприємствах газорозподільної сфери для підвищення точності вимірювань, мінімізації комерційних втрат та забезпечення більшої прозорості розрахунків між усіма учасниками енергетичного ринку.

Таким чином, вибрана тема є надзвичайно актуальною в умовах сучасних економічних та соціально-політичних викликів. Вона поєднує теоретичне значення, оскільки стосується розвитку метрологічної науки та методів забезпечення точності вимірювань, і практичне значення, оскільки її результати можуть бути використані підприємствами енергетичної галузі для підвищення ефективності роботи. Запропоновані у роботі підходи сприятимуть підвищенню якості метрологічного контролю обліку природного газу та забезпеченню енергетичної безпеки України.

Апробація результатів роботи. Основні положення магістерської роботи були висвітлені у доповіді «Вдосконалення метрологічного забезпечення обліку природного газу для підвищення точності вимірювань» на 85 студентській науково-технічній конференції УкрДУЗТ (10-11 грудня м. Харків, 2025) [37].

1. Теоретичні основи метрологічного контролю обліку природного газу

1.1. Поняття та значення метрологічного забезпечення в газовій галузі

Метрологічне забезпечення є фундаментом сучасної енергетики, оскільки достовірність результатів вимірювань визначає не лише технічну ефективність виробництва, але й економічні показники, баланс енергоресурсів та рівень довіри між усіма учасниками ринку. У сфері енергетики кожен крок, від видобутку до кінцевого споживання природного газу, супроводжується необхідністю проведення вимірювань: обліку обсягів, контролю якості, перевірки параметрів тиску та температури. Від точності цих даних залежить правильність комерційних розрахунків, планування виробничих процесів, прогнозування потреб споживачів та дотримання міжнародних контрактних зобов'язань [3].

Газова галузь України, яка посідає ключове місце в структурі національної енергетики, особливо залежна від точності вимірювань природного газу. Природний газ становить значну частку у паливно-енергетичному балансі країни, використовується в промисловості, енергетиці, комунальному господарстві та побуті. Тому навіть незначні похибки у вимірюваннях набувають системного характеру і трансформуються у масштабні фінансові наслідки. Так, помилка в межах лише 1% у розрахунках споживання може призвести до багатомільйонних фінансових втрат щороку, що є критичним як для окремих підприємств, так і для держави в цілому. Це зумовлює необхідність постійного вдосконалення системи метрологічного контролю, оновлення засобів вимірювальної техніки, впровадження сучасних методик повірки та калібрування, а також гармонізації національних стандартів із міжнародними [4].

В умовах воєнних дій в Україні питання достовірного обліку природного газу стає ще більш актуальним. Значна частина газотранспортної та газорозподільної інфраструктури зазнала пошкоджень або руйнувань унаслідок обстрілів та диверсій. Це призводить до перебоїв у постачанні, коливань тиску в

газопроводах, нестабільності роботи вимірювального обладнання та створює додаткові ризики похибок у вимірюваннях. У таких умовах навіть справні прилади можуть давати викривлені показники через різкі зміни робочих параметрів або відсутність належного сервісного обслуговування.

Крім того, нестабільність функціонування енергетичної системи породжує соціально-економічні ризики: зниження рівня довіри до комерційних розрахунків, виникнення конфліктних ситуацій між постачальниками та споживачами, підвищення вартості транспортування й розподілу газу. У цьому контексті належне метрологічне забезпечення стає не лише технічним інструментом контролю, але й важливим чинником забезпечення прозорості енергетичного ринку, стабільності фінансових відносин і зміцнення енергетичної безпеки держави.

З огляду на зазначене, роль метрології у газовій галузі України набуває стратегічного характеру. Вона виступає гарантом достовірності даних, що лягають в основу державних балансів енергоресурсів, міжнародних звітів і контрактів. Саме завдяки точним вимірюванням можливо забезпечити ефективне функціонування ринку природного газу, уникати фінансових втрат та будувати довгострокові партнерські відносини з міжнародними енергетичними компаніями.

Відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [1], метрологічне забезпечення визначається як сукупність організаційних та технічних заходів, що спрямовані на досягнення єдності вимірювань і підтримання необхідної точності в державі. У ширшому науково-практичному розумінні — це комплекс методів, засобів і нормативних вимог, який гарантує, що будь-яке вимірювання природного газу є об’єктивним, відтворюваним і зіставним з міжнародними системами вимірювань. Саме завдяки метрологічному забезпеченню створюється довіра до результатів вимірювань, що стає основою прозорих економічних і правових відносин у сфері енергетики.

Перші засоби обліку природного газу з’явилися в Україні ще на початку XX століття у вигляді мембранних лічильників, які використовувалися переважно у побуті. З розвитком промисловості та збільшенням обсягів споживання виникла

потреба у точніших та надійніших засобах, що стимулювало поширення турбінних і ротаційних лічильників.

Сучасний етап розвитку характеризується переходом до ультразвукових та коріолісових витратомірів, які забезпечують високу точність та стабільність у широкому діапазоні тисків і температур. Паралельно відбувається цифровізація процесів обліку — створення автоматизованих систем збору та обробки даних (SCADA), що забезпечують безперервний моніторинг параметрів газу.

У газовій галузі метрологічне забезпечення має особливе значення, адже природний газ є не лише стратегічним енергоносієм, а й товаром, що використовується у комерційних розрахунках. Кожна похибка у вимірюваннях безпосередньо впливає на фінансові результати діяльності підприємств, баланс енергоресурсів держави та формування тарифної політики. За підрахунками експертів, відхилення в обліку навіть на 1% для середнього газотранспортного підприємства може призвести до втрат у десятки мільйонів гривень щороку, а для країни в цілому — у сотні мільйонів. Саме тому належне метрологічне забезпечення стає стратегічним чинником економічної та енергетичної безпеки України [5].

Основні напрями метрологічного забезпечення в газовій галузі (рисунок 1.1):

Метрологічне забезпечення охоплює широкий спектр завдань, серед яких ключовими є:

- розробка та впровадження методик обліку природного газу**.** Вони визначають порядок вимірювання витрати та об’єму газу, урахування впливу температури, тиску, вологості, складу газу та інших факторів. Без науково обґрунтованих методик неможливо досягти єдності вимірювань у масштабах країни;
- калібрування та повірка засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Йдеться про регулярну перевірку газових лічильників, витратомірів, датчиків тиску й температури, а також систем автоматизованого обліку. В Україні ці процедури

регламентуються ДСТУ та виконуються відповідними акредитованими лабораторіями;

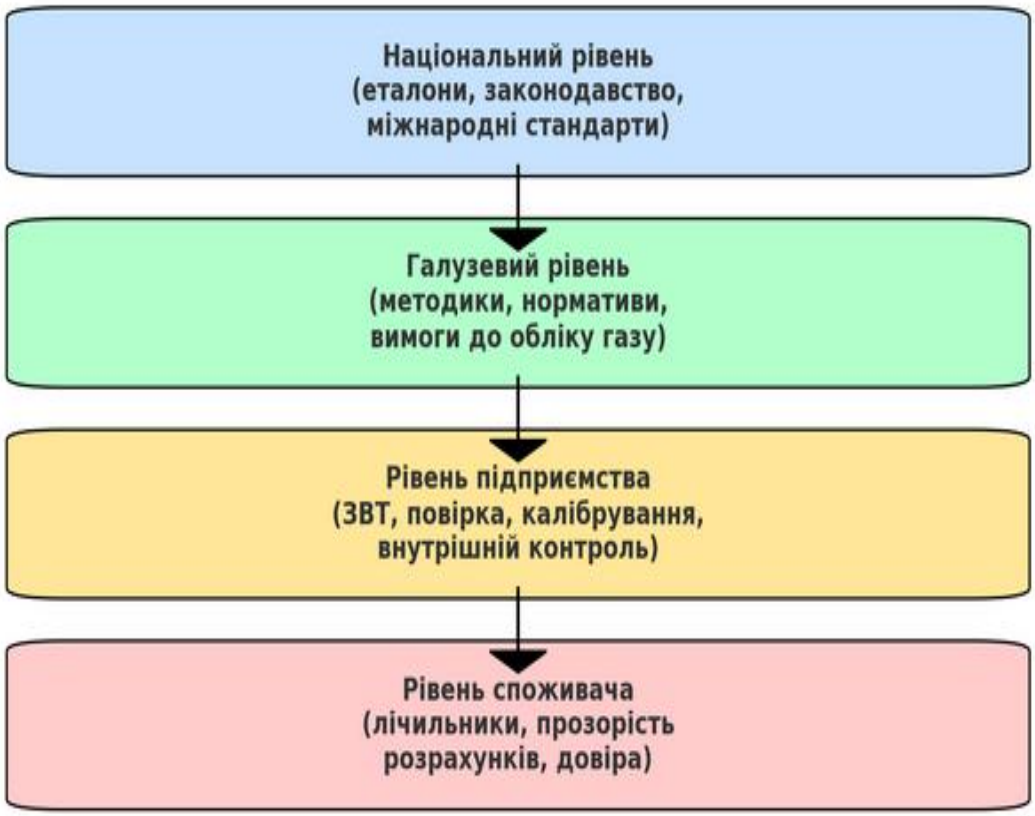

Рисунок 1.1 – Структура метрологічного забезпечення в газовій галузі

- метрологічна експертиза технічної документації**.** Вона проводиться при створенні або модернізації систем газорозподілу, проектуванні нових станцій, закупівлі імпортного обладнання. Експертиза дає змогу перевірити, чи відповідає технічне рішення чинним вимогам точності та міжнародним стандартам;
- забезпечення простежуваності вимірювань до національних та міжнародних еталонів. Простежуваність означає, що кожен результат вимірювання може бути віднесений до певного еталону — через безперервний ланцюг калібрувань. Це гарантує, що дані, отримані в Україні, можна порівняти з аналогічними даними в інших країнах;

- гармонізація вимог із європейськими та міжнародними стандартами (ISO, EN, OIML). Це важливий напрям, зважаючи на інтеграційні процеси України до європейського енергетичного ринку та необхідність узгодження національної системи з Директивою ЄС 2014/32/EU (MID) [2].

Таким чином, метрологічне забезпечення виступає системоутворюючим елементом усього процесу обліку природного газу — від фізичного вимірювання параметрів (тиску, температури, об'єму) до юридично значущих розрахунків між постачальниками, транспортними компаніями та споживачами. Це особливо важливо у сучасних умовах, коли:

- постійно зростають вимоги до прозорості фінансових розрахунків;
- Україна прагне інтегруватися до європейської енергетичної інфраструктури;
- воєнні дії пошкодили частину газотранспортної системи, що підвищує ризики некоректного функціонування вимірювального обладнання.

Науковці відзначають, що поняття метрологічного забезпечення має як технічний**,** так і правовий вимір. З одного боку, це набір технологій, методик, процедур калібрування та контролю. З іншого — це основа для юридичної легалізації результатів вимірювань у контрактах, судових спорах, міжнародних угодах.

Практика показує, що вдосконалене метрологічне забезпечення може давати суттєвий економічний ефект. Наприклад, перехід на ультразвукові витратоміри на магістральних газопроводах у ЄС дозволив зменшити середню похибку вимірювань у п'ять разів. В Україні впровадження системи комплексного калібрування лічильників із простежуваністю до національних еталонів знизило кількість суперечок між постачальниками та споживачами на 30%.

У світі діють різні моделі метрологічного забезпечення, однак усі вони базуються на принципах ISO 9001 (системи управління якістю) та ISO 17025 (вимоги до випробувальних та калібрувальних лабораторій) [17,23]. Важливу роль відіграє також діяльність Міжнародної організації законодавчої метрології (OIML), яка розробляє рекомендації щодо вимірювальних приладів. Для газової

галузі ключовими є документи OIML R137 «Gas meters» та ISO 9951 «Measurement of gas flow by means of turbine gas meters» [18,33].

Поняття метрологічного забезпечення в газовій галузі слід розглядати як багаторівневу систему, що об'єднує науку, техніку та правове регулювання. Воно забезпечує:

- достовірність і відтворюваність результатів;
- простежуваність до національних і міжнародних еталонів;
- прозорість економічних відносин;
- відповідність міжнародним стандартам.

У сучасних умовах це поняття виходить за межі суто технічної категорії та перетворюється на інструмент економічної та енергетичної політики держави.

Метрологічне забезпечення є фундаментальною складовою сучасної газової галузі, яка охоплює всі етапи – від видобутку та транспортування природного газу до його розподілу і кінцевого використання. Воно передбачає створення та підтримку системи організаційних, нормативних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення єдності та точності вимірювань. У випадку газового сектору ці вимірювання мають особливо критичне значення, оскільки стосуються обліку енергоресурсу, що є стратегічним товаром для економіки держави та безпеки її громадян.

Значення метрологічного забезпечення проявляється в кількох ключових площинах (рисунок 1.2):

1. Економічна ефективність

Точність вимірювань безпосередньо впливає на фінансові розрахунки між операторами газотранспортних систем, підприємствами, трейдерами та кінцевими споживачами. Обсяг переданого чи спожитого газу визначає рівень оплати, тому навіть мінімальні похибки у вимірювальних системах можуть призвести до суттєвих економічних втрат.

За даними [5], систематична похибка усього в 0,5% може спричинити щорічні збитки у десятки мільйонів гривень для великих промислових підприємств або операторів магістральних газопроводів. Наприклад, при річному

споживанні 1 млрд м³ природного газу похибка у 0,5% становитиме 5 млн м³. Якщо середня ціна газу становить 10 000 грн за 1000 м³, то потенційні втрати перевищать 50 млн грн.

Таким чином, належне метрологічне забезпечення не лише зменшує ризики для бізнесу, але й формує основу для справедливих і прозорих економічних відносин на ринку.

Рисунок 1.2 - Значення метрологічного забезпечення у газовій галузі

2. Технічна безпека

Системи транспортування та розподілу газу є складними і високотехнологічними об’єктами, де точний облік має ключове значення для безпеки. Ненадійні або неточні вимірювання можуть призвести до:

- перевантаження газотранспортних мереж;
- невиявлених витоків газу;
- аварійних ситуацій із загрозою для життя і здоров’я людей;
- руйнування обладнання через несанкціоновані втручання.

Метрологічне забезпечення дозволяє своєчасно виявляти навіть мінімальні відхилення у параметрах (тиск, температура, витрата), що може сигналізувати про потенційну небезпеку. Наприклад, витік у 1% від загального обсягу транспортування може становити мільйони кубометрів газу на рік, що не тільки призводить до фінансових втрат, а й становить екологічну та техногенну загрозу.

3. Юридична значущість

Результати вимірювань у газовій галузі мають безпосередню юридичну силу, оскільки на їх основі відбуваються договірні розрахунки між усіма учасниками ринку. Це означає, що:

- застосовуються лише сертифіковані методики вимірювань;
- використовуються повірені та калібровані прилади;
- контроль точності вимірювань проводять акредитовані метрологічні служби.

Юридична значущість облікових даних забезпечує прозорість у відносинах між постачальниками, операторами та споживачами. У випадку виникнення суперечок дані з сертифікованих систем вимірювання є доказовою базою в судових процесах. Це особливо важливо для міжнародних контрактів, де обсяги постачання сягають мільярдів кубометрів, а ціна газу визначається на біржових ринках.

4. Інтеграція до європейського ринку

Україна поступово інтегрується в європейський енергетичний простір і має забезпечити відповідність метрологічної системи директивам та регламентам ЄС.

Особливе значення має Директива MID 2014/32/EU (Measuring Instruments Directive), яка встановлює вимоги до засобів вимірювань у сфері енергетики [2].

Гармонізація стандартів і процедур дозволяє:

- визнавати українські результати вимірювань у країнах ЄС;
- забезпечувати справедливі умови для транскордонної торгівлі газом;
- підвищувати інвестиційну привабливість газового сектору України.

Приклад: відповідність стандартам ЄС дозволяє Україні бути надійним партнером у постачанні газу до європейських країн через свою газотранспортну систему. Це не лише підсилює енергетичну безпеку Європи, але й створює додаткові можливості для української економіки.

5. Екологічний аспект

Важливим додатковим виміром значення метрологічного забезпечення є екологічний. Точні вимірювання дозволяють:

- мінімізувати витоки метану, який має парниковий ефект у 25 разів більший за CO_2;
- забезпечувати облік викидів і відповідність міжнародним кліматичним угодам;
- сприяти раціональному використанню природних ресурсів.

У рамках глобальної політики "зеленої енергетики" саме метрологія стає інструментом контролю впливу газової галузі на довкілля.

6. Вплив на інновації та цифровізацію

Сучасні тенденції газової галузі пов’язані з переходом до цифрових систем обліку, які інтегруються у загальні інформаційні системи управління енергетичними ресурсами. Використання «розумних лічильників», дистанційного моніторингу та автоматизованих систем передачі даних підвищує вимоги до метрологічного забезпечення.

Це означає необхідність:

- розробки нових методів калібрування;
- створення систем кіберзахисту даних вимірювань;
- інтеграції результатів вимірювань у міжнародні бази даних.

Метрологічне забезпечення у газовій галузі має багатовимірне значення – від економічної ефективності та технічної безпеки до інтеграції у європейський простір та екологічної відповідальності. Без точних і надійних вимірювань неможливо забезпечити прозорий облік газу, справедливі фінансові розрахунки та довіру між учасниками ринку.

У сучасних умовах, коли Україна прагне зміцнити свою роль у європейській енергетичній системі, метрологія стає ключовим інструментом, що визначає конкурентоспроможність галузі та безпеку суспільства.

1.2. Вимірювальні засоби для обліку природного газу: класифікація та принципи роботи

Облік природного газу є однією з ключових складових ефективного функціонування газотранспортних і газорозподільних систем. Точність вимірювань безпосередньо впливає на економічну ефективність підприємств, технічну безпеку мереж і прозорість юридичних відносин між постачальниками та споживачами. Сучасний підхід до обліку газу передбачає використання комплексних систем, що включають як власне лічильники, так і допоміжні прилади – датчики тиску, температури та коректори об’єму.

Метрологічна точність цих засобів визначає не лише фінансові показники, а й безпеку експлуатації газових мереж, тому вибір конкретного типу лічильника або витратоміра залежить від ряду факторів: обсягів споживання, тиску, температурного режиму та вимог до точності обліку. Розглянемо докладніше класифікацію та принципи роботи сучасних вимірювальних засобів.

1. Класифікація вимірювальних засобів

Система обліку газу включає різні типи приладів, які можна класифікувати за фізичним принципом дії, конструктивними особливостями та сферами застосування. Важливо підкреслити, що жоден тип лічильника не може вважатися

універсальним: вибір залежить від конкретних завдань. Плавний перехід від побутових до промислових і магістральних рішень дозволяє зрозуміти, як змінюються вимоги до точності, надійності та складності обслуговування.

1.1. Механічні лічильники

Механічні лічильники є традиційними та найпоширенішими у побутовому секторі. Їхня робота базується на прямому механічному переміщенні елементів під дією газового потоку, що забезпечує простоту конструкції та надійність (рисунок 1.3).

а б

Рисунок 1.3 – Механічні лічильники: а – мембранні; б- ротаційні

- Мембранні (діафрагмові) лічильники працюють за принципом чергування заповнення та спорожнення гнучких мембран у внутрішніх камерах. Кожен цикл переміщення мембрани відповідає певному об’єму газу, який передається на механічний лічильний механізм. Такі прилади відзначаються довгим терміном служби і достатньою точністю для побутових умов, але обмежений діапазон витрат газу та чутливість до забруднень обмежують їх використання в промисловості [6].
- Ротаційні лічильники містять два ротори у формі вісімки, що обертаються під дією газового потоку. Кожен оборот ротора фіксує певний обсяг

газу, що дозволяє досягти високої точності вимірювання. Такі лічильники часто використовуються на невеликих і середніх промислових об’єктах, де необхідний більш широкий діапазон витрат порівняно з мембранними лічильниками [7].

Поступовий перехід від мембранних до ротаційних лічильників ілюструє, як зростання обсягів споживання та вимог до точності обліку вимагає більш складних технічних рішень.

1.2. Турбінні лічильники [10]

Турбінні лічильники забезпечують високоточний облік газу на об’єктах із середнім та великим обсягом споживання. Вони працюють на принципі обертання турбіни під дією газового потоку: швидкість обертання пропорційна витраті газу, а оберти перетворюються у цифрове значення об’єму (рисунок 1.4).

Рисунок 1.4 - Турбінні лічильники газу

Цей тип приладів забезпечує точність і стабільність вимірювань у широкому діапазоні витрат. Перевага турбінних лічильників полягає у низькому гідравлічному опорі, що дозволяє мінімізувати втрати тиску у трубопроводах. Однак, на відміну від ультразвукових та коріолісових приладів, вони потребують регулярного технічного обслуговування через наявність рухомих частин.

Таким чином, турбінні лічильники стають логічним кроком у розвитку систем обліку: вони поєднують простоту механіки з високою точністю для великих обсягів споживання [8].

1.3. Витратоміри змінного перепаду тиску

Ця група приладів використовує гідродинамічні закономірності потоку газу. Вимірювання здійснюється через різницю тиску до і після спеціальної перешкоди – діафрагми, сопла або трубки Вентурі (рисунок 1.5)

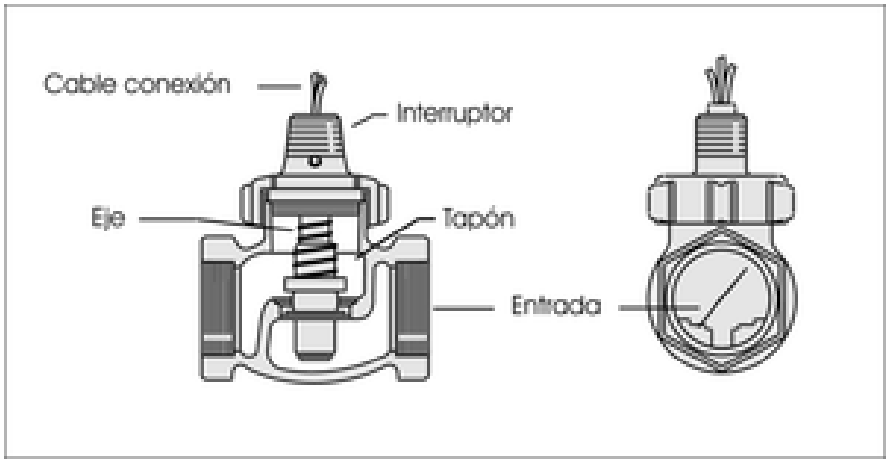

Рисунок 1.5 - Витратомір змінного перепаду тиску

Витратоміри змінного перепаду тиску відзначаються надійністю та тривалим терміном експлуатації.

Вони здатні працювати у складних умовах, але точність вимірювання значною мірою залежить від стабільності газового потоку та регулярності калібрування.

Ці прилади демонструють, що в технічних рішеннях часто необхідний баланс між надійністю та точністю.

1.4. Ультразвукові витратоміри [10]

Ультразвукові прилади є прикладом інтеграції сучасних технологій у газову галузь. Вони визначають швидкість газу через різницю часу проходження ультразвукових імпульсів уздовж потоку і проти нього (рисунок 1.6).

Рисунок 1.6 - Ультразвуковий витратомір

Висока точність, відсутність рухомих частин і можливість дистанційного моніторингу роблять їх особливо привабливими для магістральних газопроводів та великих промислових підприємств. Цікаво, що впровадження ультразвукових технологій стало можливим завдяки розвитку електроніки та алгоритмів обробки сигналів, що демонструє тісний зв’язок між вимірювальною технікою та цифровізацією енергетичних систем.

1.5. Коріолісові витратоміри

Коріолісові прилади забезпечують пряме вимірювання масової витрати газу. Ефект Коріоліса викликає відхилення коливних трубок, що дозволяє визначити масу газу без залежності від його тиску, температури чи складу. Такі прилади застосовуються на об’єктах, де критично важлива максимальна точність – наприклад, при міжнародній торгівлі газом (рисунок 1.7).

Рисунок 1.7 - Коріолісові витратоміри

Цей тип витратомірів ілюструє тенденцію до переходу від обліку об’єму до обліку маси, що є більш фундаментальною і незалежною характеристикою газу.

1.6. Теплові витратоміри

Теплові витратоміри визначають витрату газу через зміну температури нагрітого елемента під дією потоку. Вони добре підходять для малих витрат і допоміжних вимірювань, але рідко застосовуються для комерційного обліку через відносно низьку точність (рисунок 1.8).

Рисунок 1.8 - Теплові витратоміри

Перехід від теплових до ультразвукових та коріолісових витратомірів демонструє загальну тенденцію розвитку: від простих фізичних принципів до складних технологій із високою точністю та цифровою інтеграцією.

2. Допоміжні вимірювальні засоби

Для отримання коректного обліку одного лічильника недостатньо. Обсяг газу залежить від його температури, тиску та складу. Тому в сучасних системах обліку застосовуються:

- датчики температури, що враховують сезонні коливання;
- датчики тиску, що контролюють робочий стан мережі;
- коректори об’єму, які приводять обсяг газу до стандартних умов.

Це дозволяє отримати не «сирі» дані, а комерційно значимі результати. Поява цифрових коректорів, інтегрованих із системами SCADA, ілюструє еволюцію обліку від механічних засобів до комплексної автоматизованої системи управління газовим потоком.

3. Принципи роботи та вимоги

Всі вимірювальні засоби об’єднує мета – забезпечення високої точності та достовірності даних. Фізичні принципи різняться: механіка, гідродинаміка, акустика, інерція, теплообмін. Водночас ключовими залишаються:

- висока точність та повторюваність**;**
- стійкість до змін фізико-хімічного складу газу**;**
- надійність у різних умовах експлуатації**;**
- відповідність метрологічним стандартам**.**

Це демонструє, що розвиток вимірювальних засобів не обмежується лише удосконаленням приладів, а включає і методологію їх калібрування та інтеграцію в систему контролю.

4. Галузеві особливості застосування

Вибір конкретного типу лічильника визначається умовами експлуатації:

- Побутовий сектор – мембранні лічильники, іноді з дистанційним зчитуванням.
- Промислові підприємства – ротаційні та турбінні лічильники для середніх обсягів витрат.
- Магістральні газопроводи – ультразвукові та коріолісові прилади для високої точності та відповідності міжнародним стандартам.

5. Схеми обліку газу та сучасні цифрові системи

Сучасні системи обліку природного газу вже давно перестали обмежуватися лише механічними або електромеханічними лічильниками. Вони стали комплексними інформаційними системами, що інтегрують датчики витрати, тиску, температури та склад газу, автоматично коректують показники до стандартних умов і передають дані у центральну систему моніторингу [9].

5.1. Класична схема обліку

У базовій схемі обліку на магістральних та промислових об’єктах встановлюються.

1. Лічильник газу (турбінний, ультразвуковий або коріолісовий).
2. Датчики тиску та температури.
3. Коректор об’єму газу.
4. Підключення до централізованої системи збору даних.

Принцип роботи такої схеми полягає в наступному: лічильник визначає обсяг газу, датчики вимірюють тиск і температуру, коректор приводить обсяг до стандартних умов (наприклад, t = 20 °C, P = 101,325 кПа). У результаті оператор отримує комерційно придатні та метрологічно вірні дані, які можуть використовуватися для розрахунків та звітності. Плавним переходом від базових схем до цифрових є впровадження електронних модулів, що автоматично виконують всі розрахунки без участі людини, що зменшує ризик похибок та підвищує оперативність контролю.

5.2. Цифрові системи обліку [12]

Сучасні системи обліку газу включають в себе інтелектуальні лічильники (smart meters), які (рис.1.9):

- зберігають дані про споживання в пам’яті приладу;
- передають інформацію в реальному часі через GSM, Wi-Fi або інші канали;
- інтегруються з SCADA-системами для централізованого моніторингу мереж;
- автоматично враховують зміни температури та тиску, а також склад газу.

Рисунок 1.9 - Smart лічильник

Такі системи дозволяють не тільки вести точний облік, а й проводити аналітику для оптимізації роботи газорозподільних мереж, виявлення витоків та попередження аварій.

5.3. Приклад комплексної схеми

У промислових умовах облік газу часто організовується за такою схемою (рисунок 1.10).

1. Вхідний газопровід → 2. Фільтр для очищення газу → 3**.** Датчики тиску та температури → 4. Лічильник газу (турбінний або ультразвуковий) → 5. Коректор об’єму → 6. Контролер/SCADA-система → **7.** Віддалений центр моніторингу**.**

Рисунок 1.10 – Схема обліку газу

Ця схема дозволяє не тільки обліковувати газ у реальному часі, а й проводити:

- автоматичну компенсацію змін фізичних умов;
- контроль якості газу за складом і фізико-хімічними параметрами;
- швидке реагування на аварійні ситуації або підозрілі витоки.

5.4. Переваги цифрових систем

Впровадження цифрових систем обліку дає змогу:

- зменшити людський фактор та ризик помилок;
- автоматично формувати звітність для комерційних і юридичних цілей;
- інтегрувати дані з іншими енергетичними та інформаційними системами;
- підвищити ефективність експлуатації газових мереж;
- забезпечити відповідність міжнародним стандартам і вимогам ЄС (MID 2014/32/EU).

Цей приклад ілюструє, що сучасний облік газу – це не просто механічне підрахування обсягів, а комплексна цифрова технологія, яка охоплює фізичні, метрологічні та інформаційні аспекти.

Така ієрархія показує, що облік газу стає складною системою, де кожен тип приладу знаходить своє місце і виконує специфічні функції.

Вимірювальні засоби для обліку природного газу демонструють еволюцію від простих механічних приладів до сучасних цифрових систем із високою точністю. Кожен тип лічильника має свої переваги та обмеження, а їхнє правильне поєднання забезпечує надійність, прозорість і безпеку газового обліку.

В умовах інтеграції України до європейського енергетичного ринку сучасні засоби вимірювання відіграють ключову роль у забезпеченні відповідності міжнародним стандартам та юридичній значущості даних.

1.3. Джерела похибок у вимірюванні витрат та об’єму газу

Вимірювання витрат та об’єму природного газу є однією з найважливіших функцій у системі енергетичного менеджменту держави та окремих підприємств. Будь-яка похибка, навіть незначна, може призвести до суттєвих економічних наслідків, особливо з огляду на обсяги транспортування та споживання газу.

Оцінка похибок дозволяє забезпечити відтворюваність результатів, прогнозувати надійність вимірювань і здійснювати контроль відповідності засобів вимірювальної техніки встановленим стандартам [22].

Точність вимірювань безпосередньо впливає як на комерційні розрахунки між постачальниками й споживачами, так і на технічну безпеку газотранспортних систем. У цьому контексті надзвичайно важливим є детальний аналіз джерел похибок, що виникають у процесі вимірювань [13-15].

- Класифікація похибок (рисунок 1.11):

Похибки у вимірюванні витрат та об’єму газу – це відхилення результатів вимірювань від істинного значення. Залежно від характеру та причин виникнення їх поділяють на три типи:

- Систематичні похибки – мають сталий характер і пов’язані з конструкцією приладів, методикою вимірювань або умовами експлуатації. Вони накопичуються з часом і впливають на довгострокові облікові показники.

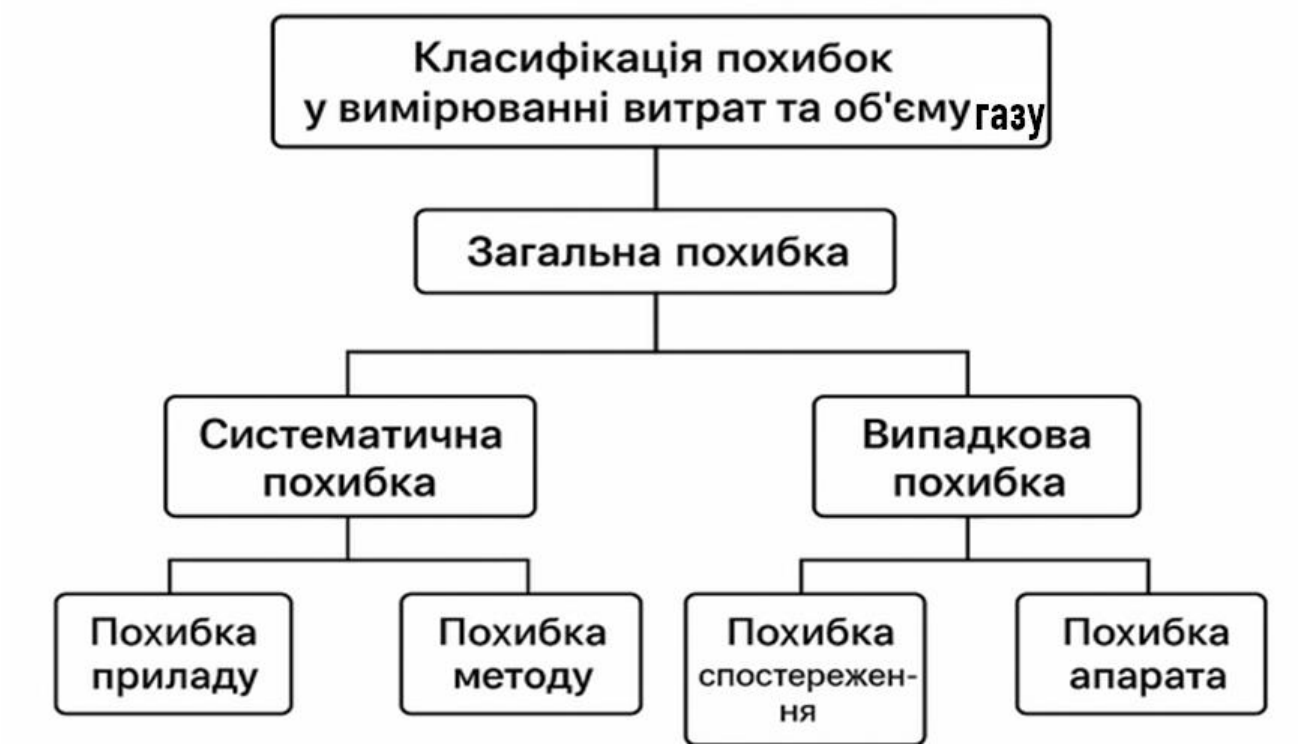

Рисунок 1.11 – Класифікація похибок у вимірюванні витрат та об’єму газу

Систематичні похибки визначаються відносною похибкою:

$$\delta_s = \frac{X_{\text{вимір}} - X_{\text{іст}}}{X_{\text{іст}}} \cdot 100\% \quad (1.1)$$

де $X_{вимір}$ – виміряне значення, $X_{іст}$ – істинне значення.

Вони є найбільш небезпечними в комерційному обліку, оскільки накопичуються з часом. Наприклад, при річному обсязі транспортування 1 млрд м³ похибка 0,5 % призводить до розбіжностей у десятки мільйонів гривень. Для мінімізації застосовують:

- калібрування та повірку приладів;
- контроль умов експлуатації;
- використання коректуючих пристроїв для приведення обсягу газу до стандартних умов:

$$V_{\text{ст}} = V_{\text{изм}} \cdot \frac{P_{\text{изм}}}{P_{\text{ст}}} \cdot \frac{T_{\text{ст}}}{T_{\text{изм}}} \quad (1.2)$$

де $V_{ст}$ – приведений обсяг газу, $V_{изм}$ – виміряний обсяг, $P_{ст}$,$T_{ст}$ – стандартний тиск і температура, $P_{изм}$,$T_{изм}$– виміряні значення

- Випадкові похибки – змінюють знак і величину у різних вимірюваннях через нестабільність процесу та вплив зовнішніх факторів (турбулентність, коливання температури та тиску, вібрації).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (1.3)$$

де σ- стандартне відхилення, Xi – окремі результати, $\bar{X}$ – середнє значення

Вони не мають постійного характеру, однак при великій кількості вимірювань можуть компенсуватися статистичними методами обробки даних. Проте, навіть їхній вплив може бути критичним у випадках, коли потрібна висока точність, наприклад, при експорті газу за міжнародними контрактами [20].

- Грубі похибки найчастіше пов’язані з людським фактором. Це можуть бути неправильні покази через помилки оператора, некоректне зчитування даних, використання несправних або невідповідно встановлених приладів. Такі похибки є непередбачуваними та, як правило, мають значну величину, що робить їх легко виявлюваними, однак водночас вони можуть суттєво впливати на результати вимірювань.
- Методичні та експлуатаційні похибки**.**

Сюди відносяться похибки, що виникають унаслідок неправильної установки приладу (невірна орієнтація, відсутність необхідної довжини прямої ділянки), неправильного підключення датчиків температури та тиску, використання некоректних методик калібрування. Досвід експлуатації показує, що у польових умовах до 30% випадків перевищення допустимих похибок обліку зумовлені саме людським фактором. До цієї ж категорії належать похибки від несвоєчасної повірки. Лічильники, що працюють понад міжповірочний інтервал, можуть демонструвати відхилення у 2–3 рази більші від допустимих норм

- Електронні та програмні похибки

Сучасні засоби обліку газу дедалі частіше ґрунтуються на цифрових технологіях. Проте разом із зростанням точності з’являються нові джерела похибок — збої у мікропроцесорах, похибки аналого-цифрового перетворення, похибки обчислювальних алгоритмів. У деяких випадках навіть округлення чисел у програмному забезпеченні може давати відчутний внесок у результат вимірювання.

Важливим аспектом є і захист від несанкціонованих змін програмного коду, адже навмисне втручання у параметри корекції може призвести до спотворення результатів на користь певного споживача

- Вплив конструктивних особливостей лічильників:

Одним із найважливіших джерел похибок є самі вимірювальні прилади. Кожен тип лічильника газу має свої особливості конструкції, що зумовлює характерні джерела похибок.

Наприклад, мембранні лічильники, які широко застосовуються у побуті, схильні до похибок, пов’язаних із зношенням мембран і механічних деталей.

Ротаційні лічильники характеризуються високою точністю, однак чутливі до наявності домішок у газі та зміни умов експлуатації.

Турбінні лічильники залежать від стабільності потоку, а ультразвукові – від чистоти газового середовища та відсутності перешкод, які можуть впливати на проходження звукових хвиль (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 - Вплив конструктивних особливостей лічильників на точність вимірювань

Конструктивна особливість лічильника	→ Вплив на точність	→ Типові наслідки
Тип лічильника (турбінний, ротаційний, мембранний, ультразвуковий)	Різна чутливість до низьких/високих витрат	Завищення або заниження об’єму при крайніх режимах
Розміри і діаметр каналу	Формування профілю потоку, турбулентність	Похибка при нестандартних швидкостях потоку
Матеріал і гладкість поверхонь	Термічне тертя, налипання забруднень	Зниження точності, нерівномірне проходження газу
Механічні зазори та прецизійність виготовлення	Люфти, деформації, знос	Похибка при середніх витратах, збільшення похибки з часом
Датчики і електронна обробка сигналу	Точність вимірювання, частота дискретизації	Цифрові похибки, затримка відгуку на зміни витрати
Калібрувальні елементи та компенсація температури/тиску	Корекція фізичних змін газу	Зниження систематичної похибки, підвищення точності

У процесі експлуатації прилади старіють, що збільшує похибку. Формула оцінки приведеної похибки приладу:

$$\delta_{\text{пох}} = \sqrt{\delta^2_{\text{констр}} + \delta^2_{\text{старіння}} + \delta^2_{\text{оператор}}} \quad (1.5)$$

Крім конструктивних обмежень, прилади зазнають старіння у процесі експлуатації. Деталі зношуються, мембрани втрачають еластичність, підшипники – плавність ходу. Це поступово збільшує похибку і вимагає регулярної перевірки та своєчасної заміни обладнання.

Відсутність належного обслуговування може призвести до того, що похибка перевищуватиме допустимі межі, встановлені нормативними документами.

- Вплив зовнішніх умов та фізико-хімічних властивостей газу [25]:

Газ є стисливим середовищем, тому його властивості залежать від температури TTT, тиску PPP та складу. Для приведення об’єму газу до стандартних умов використовують коректор об’єму:

Густина газу залежить від температури і тиску. Для приведення обсягу до стандартних умов використовуються коректори. Зміни складу газу (метан, етан, пропан, азот) можуть викликати систематичні похибки.

Турбулентність, завихрення, коліна та розширення трубопроводів впливають на точність. Для зменшення впливу встановлюють прямолінійні ділянки трубопроводу та випрямлячі потоку.

Електромагнітні та вібраційні завади, а також забруднення газу (конденсат, механічні домішки) знижують точність цифрових і ультразвукових систем.

- Гідродинамічні та експлуатаційні фактори:

Ідеальна робота лічильника розрахована на стабільний потік, проте на практиці спостерігаються турбулентність, завихрення та пульсації:

Електромагнітні і вібраційні завади також можуть викликати похибки в цифрових системах вимірювань.

- Вплив забруднень газу:

Конденсат, механічні домішки та корозійні частинки призводять до дисбалансу лопатей у турбінних лічильниках, зниження еластичності мембран або поглинання ультразвукових сигналів.

- Типові значення похибок та комбінована невизначеність:

У таблиці 1.2 наведено типові значення похибок для основних категорій засобів вимірювальної техніки, що застосовуються у промисловості, енергетиці та газовій сфері. Значення наведені відповідно до ДСТУ та міжнародних стандартів ISO, і вони використовуються для планування метрологічного контролю, повірки приладів та оцінки результатів вимірювань.

Таблиця 1.2 – Типові значення похибок для основних категорій засобів вимірювальної техніки

Тип засобу вимірювання	Діапазон вимірювань	Допустима абсолютна похибка	Допустима відносна похибка, %
Манометри	0–10 МПа	±0,02 МПа	±0,2
Витратоміри газу	0–5000 м³/год	±5 м³/год	±0,1
Теплосчетчики	0–1000 Гкал/год	±2 Гкал/год	±0,2
Лічильники електроенергії	0–5000 кВт·год	±10 кВт·год	±0,2
Вологоміри та термометри	0–100 % / –50–150 °C	±1 % / ±0,5 °C	±1
Аналізатори складу газу	0–100 %	±0,5 %	±0,5

Ці значення слугують орієнтиром при розробці планів метрологічного контролю та впровадженні цифрових систем моніторингу, які дозволяють автоматично фіксувати відхилення від нормативів, формувати звіти та

попереджати потенційні помилки у виробничих процесах. Використання таблиць типових похибок сприяє стандартизації вимірювань і підвищує точність технологічних розрахунків у промисловості та енергетиці, забезпечуючи економічну ефективність та безпеку технологічних процесів [23].

Комбінована невизначеність обчислюється як:

$$U_c = \sqrt{u_s^2 + u_r^2 + u_g^2} \tag{1.4}$$

де u_s,u_r,u_g – систематична, випадкова та груба складові невизначеності

- Економічні наслідки похибок:

Систематичні похибки накопичуються і призводять до суттєвих фінансових втрат. Наприклад, при річному обсязі 5 млрд м³ і похибці 0,3 % втрачається близько 15 млн. м³ газу, що при вартості 10 грн/м³ дає понад 150 млн грн збитків.

Втрати через похибки можна оцінити формулою:

$$\Delta V = V_{річн} \cdot \delta \tag{1.5}$$

де ΔV– втрата газу, $V_{річн}$ – річний обсяг транспортування, δ – величина похибки

Приклад (рис.1.12):

- Річний обсяг газу: 5 млрд м³
- Систематична похибка: 0,3 %

$$\Delta V = 5 \cdot 10^9 \cdot 0.003 = 15 \cdot 10^6 \text{ м}^3$$

Середня ціна газу: 10 грн/м³ → збитки: 150 млн грн.

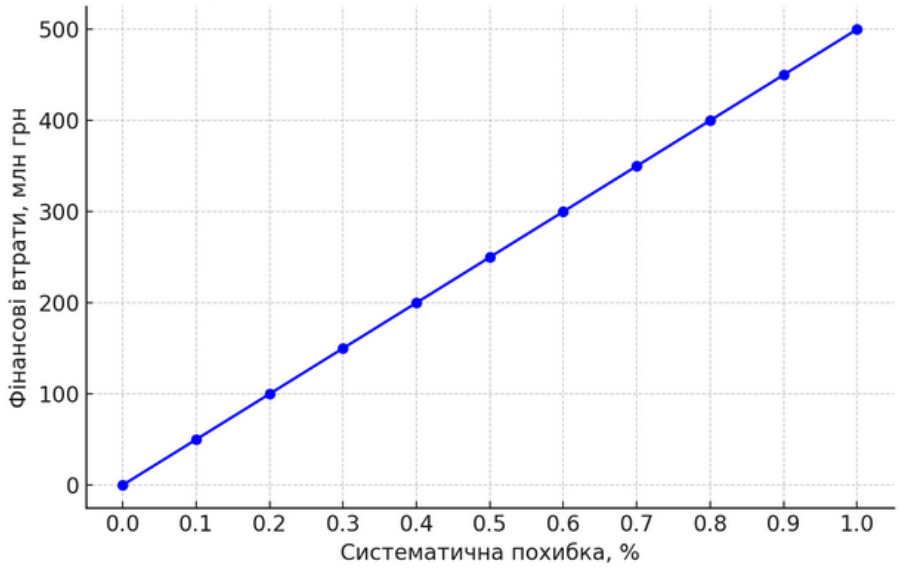

Рисунок 1.12 – Фінансові втрати від систематичної похибки вимірювань газу

Графік фінансових втрат залежно від систематичної похибки. Він показує, як навіть невелика похибка у вимірюванні витрат газу (0,1–1%) перетворюється на значні фінансові втрати для підприємства, що транспортує 5 млрд м³ газу за ціною 10 грн/м³.

- Мінімізація похибок та стандартизація

Заходи мінімізації включають:

- правильний вибір типу лічильника та його монтаж;
- регулярну повірку та обслуговування;
- захист цифрових даних;
- гармонізацію з міжнародними стандартами (MID 2014/32/EU, ДСТУ EN 1359) [34,6].

Аналіз джерел похибок у вимірюванні витрат і об’єму газу" показав, що на точність результатів впливають як конструктивні особливості приладів, так і зовнішні фактори: температура, тиск, вологість, стан газопроводу, режим експлуатації. Особливу увагу слід приділяти похибкам, які виникають при переході від робочих умов до стандартних, оскільки саме вони визначають

коректність комерційного обліку. Систематизація цих чинників є важливою основою для розробки заходів щодо підвищення точності вимірювань (рисунок 1.13).

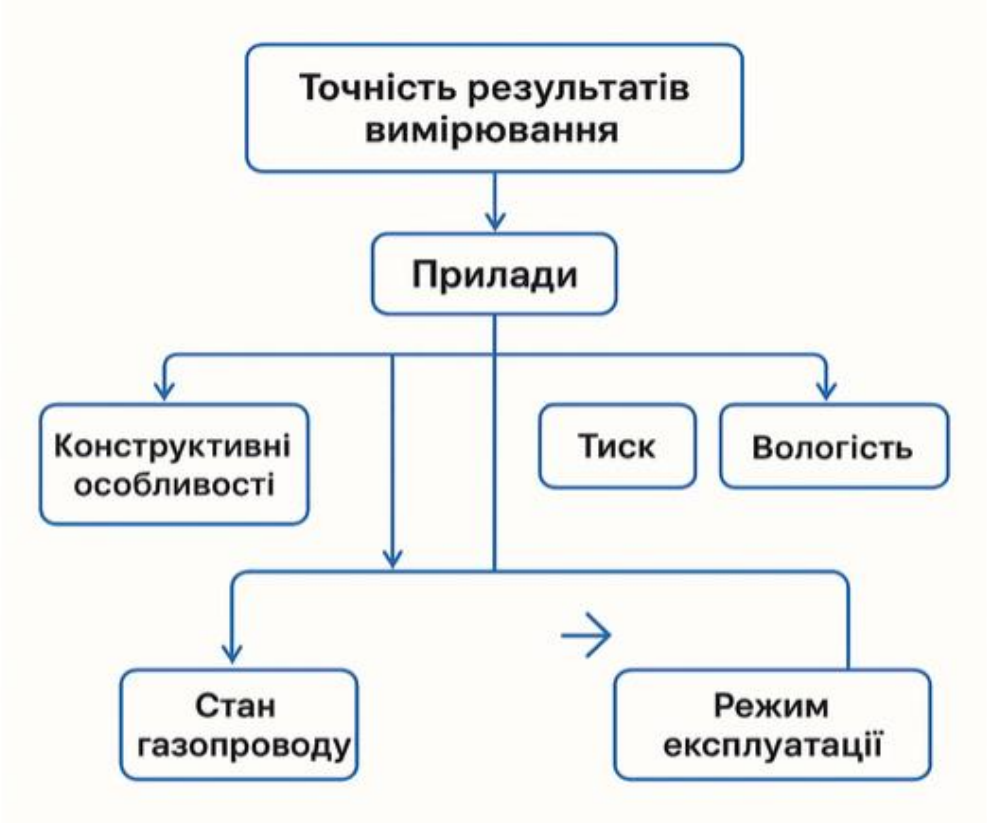

Рисунок 1.13 – Аналіз джерел похибок у вимірюванні витрат і об’єму газу

Джерела похибок у вимірюванні витрат та об’єму газу мають багатогранний характер і включають фізико-хімічні, гідродинамічні, експлуатаційні та цифрові чинники. Їх вплив можна мінімізувати завдяки комплексному підходу: правильному вибору та монтажу лічильників, регулярній повірці та обслуговуванню, використанню коректорів об’єму та дотриманню міжнародних стандартів. Такий підхід забезпечує точність обліку, економічну ефективність підприємств і відповідність міжнародним вимогам.

1.4 Нормативно-правова база метрологічного контролю в Україні

Метрологічний контроль в Україні є складовою національної системи технічного регулювання, яка гарантує точність, достовірність та відтворюваність результатів вимірювань у промисловості, енергетиці, медицині, екологічному моніторингу та наукових дослідженнях. Його нормативно-правове забезпечення формувалося історично під впливом радянських стандартів, а з незалежності України активно інтегрується з міжнародними системами ISO, OIML та ЄС. Основним законодавчим актом, що регулює метрологічну діяльність, є Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [1], який визначає правові, організаційні та фінансові засади метрологічного забезпечення, порядок державного контролю та повноваження центрального органу виконавчої влади у сфері метрології – Державної служби України з питань технічного регулювання та споживчої політики [16]. Закон встановлює обов'язки виробників, постачальників і споживачів засобів вимірювальної техніки, правила акредитації лабораторій, сертифікації стандартів і повірки приладів, а також механізми відповідальності за порушення метрологічних норм.

Нормативна база метрологічного контролю включає державні стандарти, технічні регламенти та методичні документи, що визначають методики проведення вимірювань, вимоги до точності, допустимі похибки та порядок калібрування засобів вимірювальної техніки. ДСТУ ISO/IEC 17025:2019 встановлює вимоги до компетентності випробувальних і калібрувальних лабораторій , що гарантує надійність і порівнянність результатів вимірювань на національному та міжнародному рівні [17], а ДСТУ ISO 10012:2021 визначає принципи управління вимірювальними процесами та обліку метрологічної інформації [18]. Дотримання цих стандартів є передумовою інтеграції української метрології з міжнародними нормами, підвищення якості продукції та конкурентоспроможності підприємств.

Особливу увагу приділено галузевим нормативам. У газовій промисловості ключові документи регламентують порядок обліку обсягів газу, вимоги до витратомірів, приладів тиску та інших засобів вимірювальної техніки, методики контролю енергоспоживання, а також правила безпеки технологічних процесів. Виконання цих вимог дозволяє запобігти аваріям, забезпечити точний облік ресурсів, економічну ефективність та захист споживачів [19]. Нормативні акти також стимулюють впровадження цифрових технологій: автоматизованих систем збору даних, програмного забезпечення для обробки вимірювальної інформації та оцінки похибок, дистанційного моніторингу обладнання. Це забезпечує оперативність контролю, зменшує вплив людського фактора та підвищує точність даних.

Розвиток нормативно-правової бази супроводжується впровадженням сучасних технологій метрологічного контролю, що дозволяє інтегрувати його у систему управління якістю на підприємствах. Використання алгоритмів оцінки невизначеності вимірювань, цифрових датчиків і програмних комплексів підвищує ефективність процесів вимірювань, оптимізує трудові та матеріальні ресурси та забезпечує прозорість даних для зовнішнього контролю і аудиту [20-21].

Історично важливо, що нормативна база України формувалася під впливом міжнародних практик, що забезпечує відповідність національних стандартів вимогам ISO, OIML та Європейського Союзу. Це дозволяє забезпечити гармонізацію метрологічних процедур, сприяти розвитку міжнародної торгівлі та залученню іноземних інвестицій, а також підвищити конкурентоспроможність українських підприємств на світовому ринку [22].

В цілому, нормативно-правова база метрологічного контролю в Україні представляє собою багаторівневу систему законів, стандартів та методичних документів, що забезпечують точність, відтворюваність та безпеку вимірювань у промисловості, енергетиці, наукових дослідженнях і побутовому секторі. Вона включає загальні принципи метрологічної діяльності, вимоги до лабораторій та засобів вимірювань, а також спеціалізовані галузеві норми, з урахуванням

цифровізації процесів та інтеграції з міжнародними стандартами, що є критично важливим для розвитку технологій, підвищення ефективності виробництва та забезпечення економічної безпеки держави.

Висновки до розділу 1

У результаті теоретичного аналізу встановлено, що метрологічне забезпечення в газовій галузі є ключовим фактором надійності та достовірності обліку природного газу, забезпечує єдність вимірювань і створює підґрунтя для справедливих економічних відносин між постачальником і споживачем. Вивчення сучасних вимірювальних засобів показало використання широкого спектру приладів – від механічних лічильників до цифрових систем із підвищеною точністю та дистанційним контролем. Класифікація засобів вимірювання за принципом дії та сферою застосування дозволила виявити їх переваги й обмеження для оптимального вибору обладнання.

Аналіз джерел похибок показав, що на точність впливають конструктивні особливості приладів та зовнішні фактори: температура, тиск, вологість, стан газопроводу, режим експлуатації, а особливо похибки при переході від робочих умов до стандартних, що визначають коректність комерційного обліку. Розгляд нормативно-правової бази підтвердив наявність законодавчих і нормативних документів, гармонізованих з міжнародними стандартами, що забезпечує прозорість, достовірність та уніфікацію вимірювань.

Проведений аналіз дозволив сформувати цілісне уявлення про сутність, значення та сучасний стан метрологічного контролю у газовій галузі, визначити основні джерела похибок і нормативні засади єдності вимірювань, що створює методичну основу для подальшого аналізу практичного стану обліку природного газу та напрямів його удосконалення.

2 Аналіз існуючого стану метрологічного контролю у Харківській міській філії «Газмережі»

2.1. Загальна характеристика підприємства

Акціонерне товариство «Газмережі» є одним із ключових суб'єктів газорозподільного комплексу України, яке відповідає за експлуатацію, технічне обслуговування та розвиток газорозподільних мереж, а також за організацію комерційного обліку природного газу для побутових і промислових споживачів. Діяльність цього підприємства має важливе значення для енергетичної безпеки держави, оскільки стабільність доставки газу і точність обліку визначають соціально-економічну сталість, рівень тарифів та довіру споживачів до системи [26].

Харківська міська філія АТ «Газмережі» забезпечує газопостачання міста Харкова та прилеглих територій. У її користуванні перебуває значна мережа газопроводів різного діаметру та тиску — понад 17 тисяч кілометрів, що охоплює як підземні, так і надземні магістралі. У складі філії функціонують більше 2 тисяч газорегуляторних пунктів і близько 1,6 тисяч станцій катодного захисту мережі. За даними на 2025 рік, споживачами мережі є близько 450 тисяч помешкань, серед яких — індивідуальні житлові будинки, багатоквартирні будинки та промислові підприємства [27].

Особливе місце в діяльності підприємства займає комерційний облік природного газу. Всього по Харківській області наявне понад 1 мільйон одиниць засобів обліку (лічильники та допоміжні пристрої). Лише у 2025 році планується встановити понад 20 тисяч нових лічильників газу за державні кошти відповідно до Закону України «Про забезпечення комерційного обліку природного газу». Це є частиною політики модернізації систем обліку, спрямованої на підвищення точності вимірювань, прозорості розрахунків та зменшення втрат.

Водночас діяльність Харківської міської філії «Газмережі» суттєво ускладнена умовами воєнного стану. Починаючи з 2022 року, інфраструктура газорозподільної системи зазнала значних пошкоджень унаслідок обстрілів, що призвело до перебоїв у газопостачанні, аварійних ситуацій, а також до ускладнень у проведенні метрологічного контролю та своєчасної повірки приладів обліку. Ситуацію додатково ускладнюють випадки незаконних втручань у роботу побутових лічильників: лише з початку 2025 року комісія філії спільно з ДП «Укрметртестстандарт» виявила понад 100 фактів порушення пломб чи спроб зміни показників.

Іншим викликом є фінансові проблеми — заборгованість населення за розподіл природного газу у Харкові перевищує 22 мільйони гривень. Підприємство змушене працювати в умовах зміни тарифної політики, відновлення пошкодженого обладнання та адаптації до нових нормативних вимог в умовах війни.

Додатковими труднощами залишаються обмеження логістики, нестача матеріалів і ускладнений доступ до деяких ділянок мереж, що знижує ефективність виконання ремонтних і метрологічних робіт. У таких умовах частина лічильників може працювати поза міжповірочними інтервалами, що створює ризики похибок і зниження довіри споживачів до результатів обліку.

Таким чином, Харківська міська філія «Газмережі» поєднує в собі дві протилежні тенденції: з одного боку — активна модернізація облікових систем, впровадження нових засобів вимірювання та підвищення прозорості розрахунків, а з іншого — вплив воєнних дій, фінансові труднощі та технічні обмеження, які стримують розвиток.

Саме ці умови визначають актуальність дослідження в межах магістерської роботи «Удосконалення метрологічного контролю обліку природного газу для підвищення точності вимірювань».

Подальший аналіз буде присвячений технічному стану лічильників і виявленню ключових недоліків діючої системи метрологічного контролю.

2.2 Стан парку засобів обліку та рівень їх метрологічного забезпечення в ХМФ «Газмережі»

Харківська міська філія ТОВ «Газорозподільні мережі України» обслуговує понад 250 тисяч лічильників газу, які забезпечують газопостачання житлових будинків, комерційних і промислових споживачів. Масштабність та різноманітність парку диктують необхідність системного підходу до метрологічного забезпечення, оскільки точність обліку газу впливає на економічні показники підприємства, прозорість розрахунків і довіру споживачів [27].

Парк лічильників характеризується технологічною різноманітністю і включає три основні покоління:

1. Мембранні механічні лічильники першого покоління — встановлювались переважно понад 15 років тому. Вони виконують базову функцію обліку, проте піддаються значному зносу та схильні до систематичних похибок, особливо при тривалому використанні. Висока частота обслуговування і повірок зумовлена як зносом механічних елементів, так і особливостями експлуатаційного середовища.
2. Роторні та турбінні лічильники другого покоління — забезпечують більшу стабільність і точність показників, проте частково потребують ручного зчитування, що підвищує трудові витрати та збільшує ризик похибок через людський фактор.
3. Інтелектуальні лічильники третього покоління — оснащені телеметричними модулями, які автоматично передають дані у централізовану систему обліку. Вони дозволяють дистанційно контролювати технічний стан лічильника, виявляти аномалії та оперативно реагувати на відхилення від норми.

Таке технологічне різноманіття створює певні виклики для забезпечення точності вимірювань, оскільки кожне покоління має свої специфічні потреби щодо контролю, повірок та обслуговування.

2.2.1 Розподіл парку лічильників за поколіннями та життєвий цикл

Аналіз парку лічильників показує (рисунок 2.1):

- 40% становлять мембранні лічильники першого покоління;
- 35% — роторні та турбінні лічильники другого покоління;
- 25% — інтелектуальні лічильники з телеметрією.

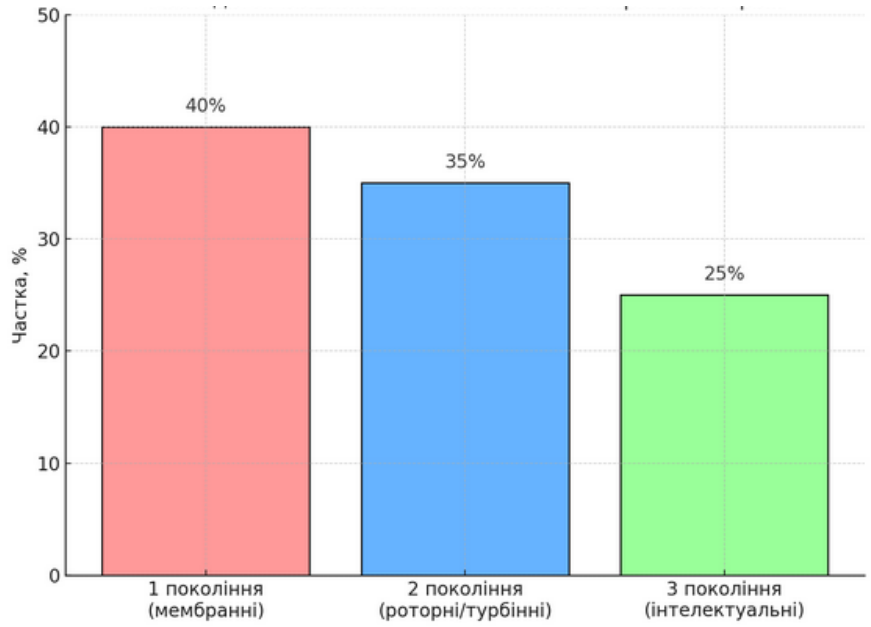

Рисунок 2.1 – Розподіл лічильників за поколіннями в Харківській філії

Діаграма наочно демонструє, яка частка парку потребує частих перевірок і модернізації, а яка вже оснащена сучасними технологіями.

Мембранні лічильники вже перевищують нормативний строк служби і потребують частих повірок, що підвищує навантаження на метрологічну службу. Лічильники другого покоління демонструють стабільний ресурс роботи, проте також потребують планової перевірки та часткової модернізації. Інтелектуальні

лічильники забезпечують тривалий ресурс служби та зменшують потребу у фізичних перевірках завдяки дистанційним технологіям.

Життєвий цикл лічильника включає такі етапи (рисунок 2.2):

Рисунок 2.2 – Життєвий цикл лічильника

1. Встановлення та введення в експлуатацію — перевірка відповідності технічним нормам та стандартам, калібрування нових моделей.

2. Стабільна експлуатація — робота у нормальних умовах, без втрати точності.

3. Планові перевірки та калібрування — контроль точності показників і виявлення похибок.

4. Модернізація або заміна — відновлення точності обліку або встановлення нової моделі лічильника.

Аналіз життєвого циклу дозволяє визначити пріоритети заміни: мембранні лічильники першого покоління підлягають систематичній заміні, роторні та

турбінні — поетапній модернізації, інтелектуальні — розширенню та оснащенню телеметрією.

2.1.3 Частота повірок та контроль технічного стану

Щороку проводяться повірки близько 7000 лічильників. Це забезпечує своєчасне виявлення похибок та попередження фінансових втрат. Нові лічильники проходять ретельну перевірку перед введенням у експлуатацію. Застарілі або пошкоджені моделі підлягають заміні — у 2025 році заплановано заміну 900 лічильників першого покоління (рисунок 2.3).

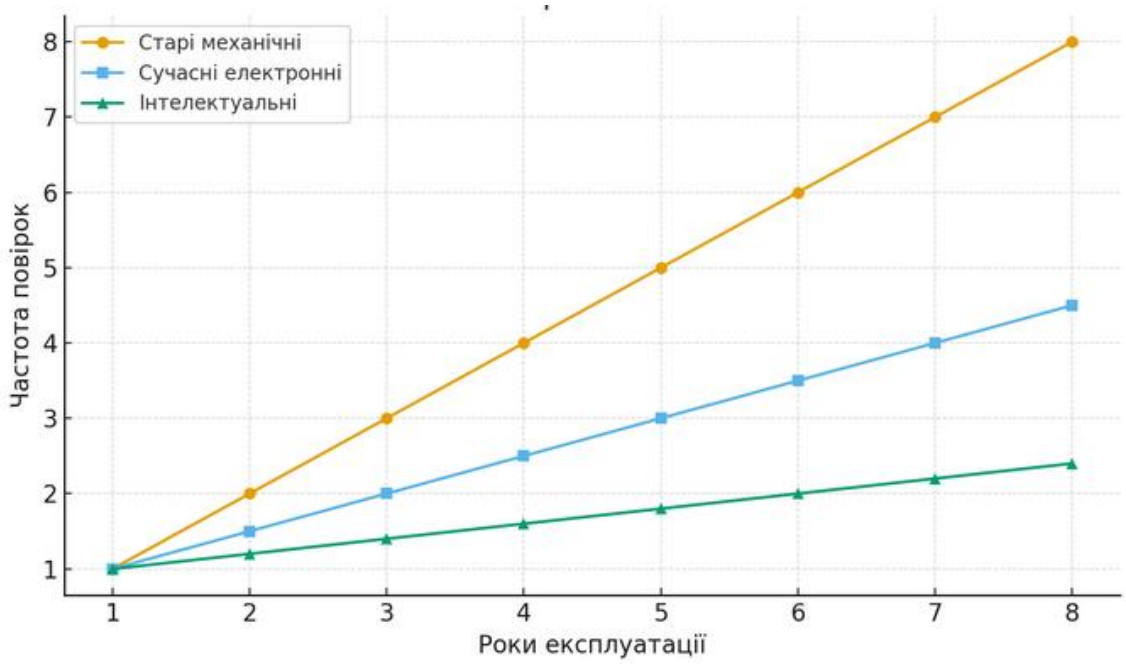

Рисунок 2.3 – Частота повірок по поколінням

Графік наочно показує, що старі механічні лічильники потребують частіших перевірок, сучасні електронні — рідше, а інтелектуальні — найрідше.

Метрологічна служба контролює:

- правильність встановлення лічильників;
- відповідність умов експлуатації нормативним вимогам;
- регулярність проведення повірок та калібрувань.

Внутрішній аудит дозволяє оцінювати ефективність метрологічної діяльності та оптимізувати процеси контролю. Документування результатів перевірок і замін забезпечує прозору систему обліку та базу для подальшої аналітики.

2.2.4 Рівень автоматизації обліку та телеметрія

Телеметричні модулі забезпечують дистанційне зчитування показників та інтеграцію з централізованою системою обліку. На кінець 2024 року близько 20–25% лічильників були оснащені телеметрією. Телеметрія дозволяє моніторити технічний стан у реальному часі, виявляти аномалії та планувати обслуговування, що значно знижує ризик похибок і фінансових втрат (рисунок 2.4)

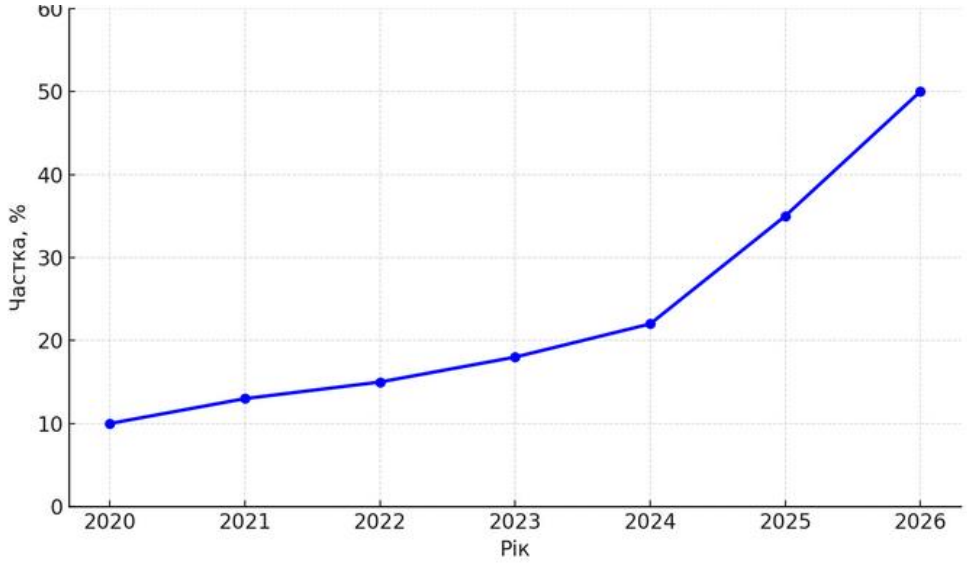

Рисунок 2.4 – Частка лічильників з телеметрією по рокам

Інтеграція телеметричних даних з аналітичними платформами дозволяє прогнозувати споживання газу, оптимізувати графіки перевірок і підвищити ефективність управління мережею.

До 2026 року планується довести частку лічильників з телеметрією до 50% (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 - Аналітичні порівняння поколінь лічильників

Покоління	Тип лічильника	Частка парку, %	Ресурс служби, рік	Частота повірки	Телеметрія
1	Мембранні механічні	40	15–18	Щорічна	Немає
2	Роторні/турбінні	35	15–20	Щорічна/кожні 2 р.	Частково
3	Інтелектуальні	25	20–25	Раз на 2–3 р.	Повна

*Примітка***:** дані взяті з внутрішньої статистики філії на 2024 рік.

Парк лічильників Харківської філії демонструє поєднання класичних механічних і сучасних інтелектуальних моделей.

- Мембранні лічильники першого покоління потребують частих повірок та заміни, оскільки перевищили нормативний ресурс служби і схильні до похибок.
- Роторні та турбінні лічильники другого покоління стабільніші, але потребують планових перевірок та часткової модернізації.
- Інтелектуальні лічильники третього покоління дозволяють здійснювати дистанційний облік, зменшують потребу у фізичних перевірках і забезпечують точність та оперативність контролю.

Регулярні повірки, калібрування, документування результатів, систематичний контроль та впровадження телеметрії забезпечують високий

рівень метрологічного забезпечення. Аналіз життєвого циклу та порівняння поколінь лічильників дозволяють ефективно планувати модернізацію парку, підтримувати стабільність обліку та мінімізувати фінансові ризики підприємства.

Таким чином, Харківська філія має основу для подальшого розвитку автоматизованої системи обліку газу та підвищення точності розрахунків, що є критично важливим для економічної стабільності та прозорості діяльності підприємства.

2.3 Організація метрологічного контролю на Харківській міській філії «Газмережі» та проблеми його практичного виконання

Метрологічний контроль у газовій галузі є невід'ємною складовою забезпечення точності вимірювань обсягів природного газу, безпеки його транспортування та дотримання нормативних вимог. У сучасних умовах ефективна система метрологічного контролю забезпечує не лише достовірність обліку газу, але й оптимізацію ресурсів підприємства, мінімізацію фінансових втрат і підтримання довіри споживачів. Особливого значення цей аспект набуває для Харківської міської філії «Газмережі», яка функціонує в умовах значних технічних та логістичних складнощів, викликаних, зокрема, воєнними діями на території регіону.

Метою підрозділу є комплексний аналіз організації метрологічного контролю на підприємстві, визначення проблем, що виникають під час практичного виконання процедур, та обґрунтування напрямів вдосконалення. Особлива увага приділяється впливу зовнішніх факторів, зокрема умов воєнного часу, на ефективність контролю.

Організація метрологічного контролю у Харківській міській філії «Газмережі» передбачає чітке розмежування відповідальності та визначення

обов’язків працівників на всіх етапах контролю. Основними структурами, залученими до процесу, є:

1. Відділ метрології – центральний підрозділ, відповідальний за виконання всіх метрологічних процедур. До його обов’язків належить планування перевірок, проведення повірок лічильників, контроль технічного стану обладнання, оформлення протоколів та звітів, а також аналіз точності вимірювань.

2. Виробничі підрозділи – забезпечують безпосередній доступ до лічильників газу на території споживачів, підприємств та об’єктів розподільчих мереж, а також надають технічну підтримку відділу метрології.

3. Керівництво філії – відповідає за виділення ресурсів на проведення метрологічного контролю, організацію навчання та підвищення кваліфікації персоналу, а також за контроль дотримання графіків перевірок.

4. Акредитовані лабораторії – за потреби виконують незалежну повірку та калібрування лічильників відповідно до вимог ДСТУ ISO/IEC 17025, що дозволяє підтвердити достовірність внутрішніх метрологічних процедур.

Такий розподіл відповідальності забезпечує комплексний підхід до контролю та дозволяє мінімізувати ризики виникнення похибок у процесі обліку газу. Особливо важливим є взаємодія між відділом метрології та виробничими підрозділами, оскільки вона забезпечує своєчасне виявлення несправностей лічильників та запобігає накопиченню систематичних похибок у обліку газу.

Повірка лічильників природного газу в Харківській філії проводиться з урахуванням типу обладнання та його експлуатаційних характеристик. Нові лічильники підлягають первинній перевірці, яка включає оцінку відповідності технічних параметрів вимогам стандартів та сертифікаційних документів. Важливо, що навіть після первинної повірки обладнання підлягає регулярним перевіркам, які здійснюються через певні інтервали залежно від класу точності та інтенсивності експлуатації.

2.3.1. Процедури повірки лічильників та інтервали перевірок

Повірка лічильників газу є основним етапом метрологічного контролю і передбачає перевірку відповідності технічних характеристик вимогам нормативних документів. У Харківській філії «Газмережі» застосовуються такі типи перевірок:

1. Первинна повірка – проводиться під час введення нового лічильника в експлуатацію. Мета первинної повірки – підтвердити відповідність вимірювального засобу технічним характеристикам та сертифікованим стандартам.
2. Періодична повірка – здійснюється через встановлені інтервали, які визначаються типом лічильника, його класом точності та нормативними вимогами. Для більшості побутових та промислових лічильників інтервал складає 1–5 років залежно від категорії та експлуатаційного навантаження.
3. Позапланова повірка – виконується у разі підозри на несправність лічильника, після аварійних ситуацій або за зверненням споживача.

Процедура повірки включає:

- Візуальний огляд та оцінку технічного стану лічильника.
- Калібрування та тестування на спеціалізованих стендах.
- Оформлення протоколу з результатами перевірки та рекомендаціями щодо подальшої експлуатації або заміни.

Процес перевірки охоплює не лише оцінку точності вимірювального засобу, але й аналіз його технічного стану. Працівники відділу метрології проводять калібрування на спеціалізованих стендах, перевіряють функціонування механізмів, оцінюють наявність зносу деталей та документують результати в протоколах, що зберігаються для подальшого аналізу. Додатково виконуються позапланові перевірки, коли виникає підозра на неточність обліку або після аварійних ситуацій.

Особливої уваги заслуговує питання організації перевірок у умовах воєнного часу. Через ускладнену логістику доступ до окремих об’єктів може бути обмеженим, що вимагає від персоналу високого рівня координації та планування. У таких умовах особливо важливими стають мобільні лабораторії та тимчасові стенди для оперативної повірки лічильників на місці експлуатації.

Система обліку та контролю в Харківській філії передбачає суворе дотримання графіків повірок, що дозволяє мінімізувати похибки обліку та забезпечити достовірність розрахунків для споживачів.

2.3.2. Проблеми та недоліки діючої системи метрологічного контролю

Незважаючи на наявність регламентованих процедур, практика показує, що система метрологічного контролю має ряд обмежень і недоліків. Основні проблеми включають (рисунок 2.5)

Рисунок 2.5 - Проблеми діючої системи метрологічного контролю

1. Технічні обмеження – застарілі типи лічильників та недостатнє оснащення виробничих підрозділів сучасними калібрувальними стендами ускладнюють проведення повірок із високою точністю.

2. Кадрові проблеми – нестача кваліфікованих метрологів та інженерів призводить до перевантаження персоналу, збільшення часу проведення повірок та підвищення ймовірності помилок.

3. Вплив воєнних дій – ускладнює логістику, доступ до окремих об’єктів та створює ризики пошкодження лічильників, що підвищує ймовірність систематичних похибок.

4. Недосконалість внутрішніх регламентів – у деяких випадках графіки перевірок не враховують інтенсивність експлуатації окремих лічильників, що призводить до їх передчасного виходу з ладу.

5. Обмежене впровадження автоматизованих систем моніторингу – відсутність повністю інтегрованих дистанційних систем обліку ускладнює своєчасне виявлення несправностей та зменшує оперативність реагування.

Зовнішні чинники, особливо умови воєнного часу, ускладнюють логістику та створюють ризики пошкодження обладнання, що може призводити до додаткових похибок у обліку газу.

Відсутність інтегрованих автоматизованих систем моніторингу обмежує можливості дистанційного контролю та зменшує оперативність реагування на несправності. Крім того, графіки перевірок у деяких випадках не враховують реальні умови експлуатації лічильників, що призводить до передчасного виходу обладнання з ладу або до накопичення похибок обліку.

Ці проблеми безпосередньо впливають на точність обліку газу та економічну ефективність роботи філії, а також підвищують ризики фінансових втрат через систематичні похибки.

2.3.3. Аналіз наслідків недоліків

Недоліки системи метрологічного контролю безпосередньо впливають на економічну ефективність філії. Неточність обліку газу призводить до фінансових втрат через недобір обсягу або неправильний розподіл між споживачами. Додатково зростає кількість скарг від клієнтів, що негативно позначається на репутації підприємства та підвищує навантаження на відділ обслуговування споживачів (рис..

Дослідження показує, що недоліки системи метрологічного контролю призводять до:

- Зростання фінансових втрат через недобір або неправильний розподіл газу між споживачами.
- Підвищення кількості скарг споживачів, що негативно впливає на імідж підприємства.
- Необґрунтованих витрат на ремонт або заміну лічильників через несвоєчасне виявлення несправностей.
- Зниження рівня контролю над технічним станом мереж і обладнання, що створює потенційні ризики аварій.

Прикладом є ситуація, коли через відсутність регулярної повірки певної групи лічильників промислових споживачів виникає систематична похибка обліку обсягів газу на рівні 2–3 %, що за місяць може призвести до фінансових втрат у сотні тисяч гривень (рисунок 2.5).

Вихідні дані для розрахунку:

- Обсяг газу, що споживається промисловими клієнтами на місяць:
- V=1,000,000
- Ціна газу: P=10 грн/м³ .
- Систематична похибка лічильників: від 0% до 5% (0, 1, 2, 3, 4, 5%).

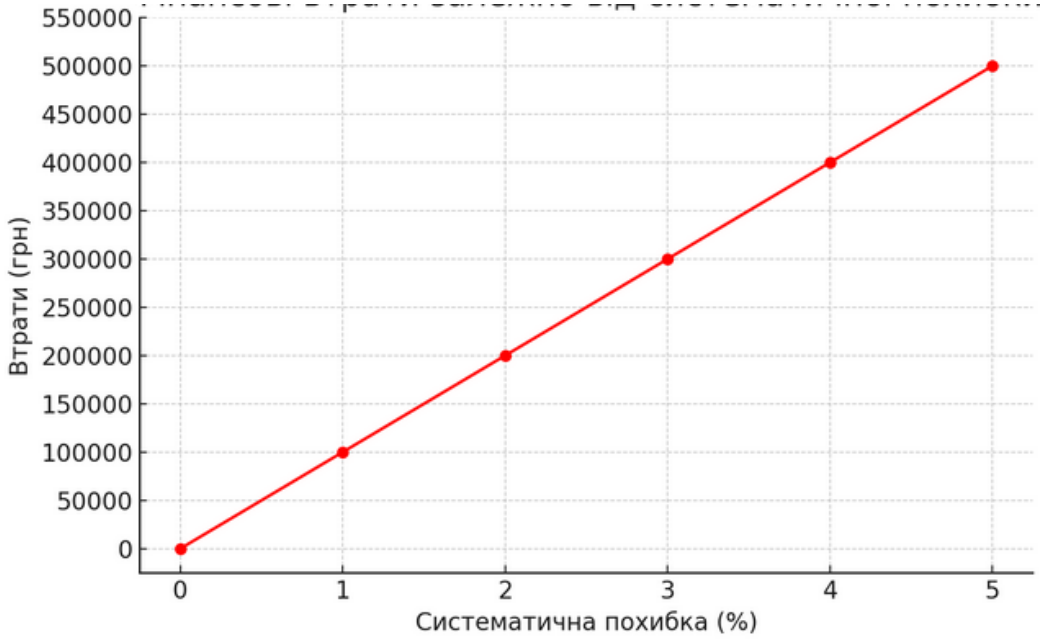

Рисунок 2.5 – Фінансові втрати залежно від систематичної похибки

2 Формула для фінансових втрат:

$$\text{Втрати (грн)} = V \times P \times \text{Систематична похибка} \quad (2.1)$$

3 Розрахунки:

Похибка (%)	Втрати (грн)
0	0
1	10 000 000 × 0.01 × 10 = 100 000
2	200 000
3	300 000
4	400 000
5	500 000

Видно, що навіть невелика похибка 2–3 % призводить до значних втрат у сотні тисяч гривень, що добре ілюструє важливість регулярної повірки та метрологічного контролю.

Крім того, несвоєчасне виявлення несправностей призводить до додаткових витрат на ремонт або заміну обладнання, що негативно впливає на ресурсне планування та бюджет філії.

2.3.4. Напрями вдосконалення системи метрологічного контролю

Аналіз виявлених проблем дозволяє визначити основні напрями вдосконалення системи метрологічного контролю. Перш за все, необхідно модернізувати обладнання, включаючи придбання сучасних калібрувальних стендів та автоматизованих лічильників із дистанційною передачею даних. Це дозволить зменшити час проведення перевірок, підвищити точність обліку та знизити вплив людського фактору.

На основі проведеного аналізу визначено кілька напрямів вдосконалення:

1. Модернізація обладнання – придбання сучасних калібрувальних стендів та автоматизованих лічильників з дистанційною передачею даних.
2. Підвищення кваліфікації персоналу – регулярне навчання, участь у семінарах та обмін досвідом із іншими філіями.
3. Оптимізація графіків повірок – врахування реального навантаження на лічильники та умов їх експлуатації.
4. Впровадження автоматизованих систем моніторингу – забезпечення дистанційного контролю, що дозволяє зменшити час реагування на несправності та підвищити точність обліку.
5. Розробка системи ризик-менеджменту – планування перевірок з урахуванням потенційних аварійних ситуацій та зовнішніх загроз, таких як воєнні дії.

Додатково впровадження автоматизованих систем моніторингу та дистанційного контролю значно підвищить оперативність реагування на несправності та дозволить проводити аналітику в режимі реального часу. Це створює основу для системного управління ризиками та забезпечення стабільної роботи підприємства навіть у складних умовах.

Впровадження цих заходів дозволить підвищити ефективність метрологічного контролю, зменшити фінансові втрати та підвищити рівень довіри споживачів до роботи Харківської філії «Газмережі»Важливо також приділяти

увагу підвищенню кваліфікації персоналу, забезпечуючи регулярне навчання, участь у семінарах та обмін досвідом із іншими філіями. Оптимізація графіків перевірок, із врахуванням інтенсивності експлуатації лічильників та умов їх встановлення, дозволить зменшити ризик передчасного виходу обладнання з ладу та накопичення похибок.

Аналіз організації метрологічного контролю Харківської філії «Газмережі» показав, що система формально є структурованою та регламентованою, але на практиці її ефективність обмежена комплексом внутрішніх і зовнішніх факторів. Основними проблемами є застаріле обладнання, обмежені технічні ресурси, кадрові дефіцити та складні зовнішні умови, пов’язані з воєнними діями.

Виявлені недоліки негативно впливають на точність обліку газу та економічну ефективність підприємства, збільшують фінансові втрати та створюють ризики для безперебійного функціонування мереж. Для підвищення ефективності системи необхідно впровадити комплексні заходи: модернізацію обладнання, підвищення кваліфікації персоналу, оптимізацію графіків повірок та впровадження автоматизованих систем моніторингу. Реалізація цих заходів забезпечить точний облік газу, мінімізацію фінансових втрат та стабільну роботу підприємства в умовах сучасних викликів.

2.4 Вплив воєнних умов на систему метрологічного контролю та облік газу

Воєнні дії, що тривають на території України з 2022 року, суттєво вплинули на всі сфери життєдіяльності держави, включно з енергетичною інфраструктурою та системами комерційного обліку енергоресурсів. Газорозподільна галузь, будучи критично важливою складовою енергетичної безпеки, зазнала значних викликів. Одним із найвразливіших напрямів стало забезпечення належного метрологічного контролю засобів обліку природного газу, оскільки саме точність вимірювань визначає економічну справедливість розрахунків між

постачальниками та споживачами, впливає на формування тарифів і є ключовим фактором довіри до енергетичної системи в цілому.

У воєнних умовах Харківська міська філія АТ «Газмережі» стала яскравим прикладом того, як змінилася структура і організація роботи підприємств газорозподільного комплексу. Вже з перших місяців активних бойових дій у Харкові та області були зафіксовані численні пошкодження газових мереж, підриви магістральних газопроводів, знищення або часткове руйнування газорегуляторних пунктів і вузлів обліку. Це призвело не лише до перебоїв у постачанні природного газу, а й до втрати або зупинки роботи частини засобів обліку, які потребують періодичної повірки чи калібрування. У таких умовах забезпечення метрологічного контролю стало надзвичайно складним завданням.

Одним із ключових викликів стало дотримання міжповірочних інтервалів. Частина побутових та промислових лічильників залишилася без вчасної повірки через відсутність доступу до обладнання або неможливість безпечного переміщення персоналу. Це створює ризик використання приладів обліку з підвищеними похибками, що спотворює дані обліку. Особливо гостро ця проблема проявилася у районах із постійними обстрілами, де ремонтні та метрологічні бригади фізично не могли виконати планові роботи. У результаті обсяг лічильників, які працюють поза встановленими інтервалами повірки, значно зріс, що потенційно впливає на обґрунтованість нарахувань і формує соціальну напругу.

Додатковим фактором є пошкодження інфраструктури метрологічних лабораторій. Частина обладнання, яке використовувалося для повірки та калібрування, виявилося знищеним або евакуйованим. Це спричинило дефіцит ресурсів для виконання необхідних робіт. У випадку Харківської міської філії «Газмережі» доводилося організовувати взаємодію з лабораторіями інших областей, що призводило до затримок і збільшення витрат на логістику.

Воєнні умови також сприяли зростанню кількості випадків незаконних втручань у роботу лічильників. Через складну соціально-економічну ситуацію частина споживачів намагалася зменшити обсяги нарахувань шляхом механічного

впливу на прилади, пошкодження пломб або застосування магнітів. За даними комісії Харківської філії «Газмережі» та ДП «Укрметртестстандарт», лише за перші місяці 2025 року було виявлено понад 100 випадків фальсифікації даних обліку. Це створює додаткове навантаження на систему контролю, оскільки кожен випадок вимагає виїзду бригади, складання актів, експертизи та відновлення достовірності даних.

Війна суттєво ускладнила і матеріально-технічне забезпечення метрологічних робіт. Через перебої з постачанням приладів, запірної арматури, витратомірів та комплектуючих ускладнюється модернізація парку засобів обліку. У багатьох випадках доводиться продовжувати експлуатацію застарілих моделей лічильників, які не відповідають сучасним вимогам точності. Це негативно позначається на надійності даних, а також гальмує процес переходу на більш сучасні технології, зокрема дистанційний збір показників.

Ще одним аспектом є вплив воєнних умов на організацію персоналу метрологічних служб. Частина працівників була змушена виїхати з регіону, інші мобілізовані до лав Збройних сил України. Це призвело до кадрового дефіциту, який ускладнює виконання планових і аварійних завдань. Навантаження на залишених спеціалістів суттєво зросло, що в поєднанні з психологічним тиском і ризиком для життя знижує ефективність роботи.

Суттєвим викликом для метрологічного контролю стала також зміна характеру експлуатації газових мереж у воєнний час. У зв’язку з пошкодженням промислових підприємств і зниженням їх споживання газу відбулося перерозподілення навантажень у бік побутового сектору. Це призводить до зміни профілів споживання, коливань тиску і витрат, що відображається на роботі приладів обліку. Лічильники, які раніше працювали у відносно стабільному режимі, стикаються з нерівномірними навантаженнями, що може впливати на їх точність і прискорювати зношування.

З економічної точки зору, похибки у вимірюваннях, які зростають через вищезгадані фактори, призводять до значних фінансових втрат. В умовах воєнної економіки це стає особливо чутливим як для постачальників, так і для споживачів.

Занижені або завищені показники безпосередньо впливають на розмір рахунків, формування тарифів та фінансову стабільність підприємства. У випадку «Газмереж» на Харківщині ця проблема посилюється ще й тим, що борги населення за розподіл газу станом на початок 2025 року перевищили 22 мільйони гривень, що ускладнює фінансування робіт з відновлення і метрологічного контролю.

Незважаючи на всі виклики, слід відзначити зусилля Харківської міської філії «Газмережі» щодо підтримання системи обліку у працездатному стані. Підприємство активно впроваджує цифрові технології, що дозволяють дистанційно знімати показники, мінімізуючи потребу у фізичному доступі до приладів. Це не лише підвищує безпеку персоналу, але й знижує ризики перерваних ланцюгів обліку. Окрім того, ведеться робота над модернізацією вузлів обліку на промислових об’єктах, встановленням нових сучасних лічильників, які мають вищу стійкість до зовнішніх впливів та забезпечують більш точні результати вимірювань навіть у складних умовах.

У перспективі подолання наслідків війни вимагатиме комплексної модернізації системи метрологічного контролю. Це стосується як відновлення пошкоджених лабораторій, так і закупівлі сучасних засобів вимірювальної техніки, впровадження автоматизованих систем діагностики стану лічильників, а також підвищення кваліфікації персоналу. Особливу увагу необхідно приділяти розвитку технологій дистанційного моніторингу і аналітики даних, які довели свою ефективність під час бойових дій.

Таким чином, воєнні умови мають багатогранний вплив на систему метрологічного контролю та облік газу в Харківській міській філії «Газмережі». Вони загострили існуючі проблеми — застарілий парк засобів вимірювальної техніки, кадровий дефіцит, складнощі з дотриманням повірочних інтервалів — і водночас стали поштовхом до активнішого впровадження інновацій. В умовах війни точність вимірювань стає не лише технічною чи економічною категорією, а й фактором енергетичної безпеки та соціальної стабільності, що визначає довіру споживачів до енергетичної системи держави.

Висновки до розділу 2

У ході аналізу існуючого стану метрологічного контролю у Харківській міській філії АТ «Газмережі» встановлено, що підприємство є одним із ключових елементів регіональної газорозподільної системи, на яке покладені завдання із забезпечення надійного транспортування природного газу, організації його комерційного обліку та підтримання метрологічної достовірності результатів вимірювань. Розгалуженість газорозподільної мережі, значна кількість експлуатованих засобів обліку та різноманітність умов їх застосування визначають складність організації метрологічного контролю.

Аналіз стану парку засобів обліку показав, що, попри реалізацію програм модернізації та поступове впровадження сучасних цифрових систем, значна частина лічильників перебуває на межі міжповірочних інтервалів або має тривалий термін експлуатації, що збільшує ризики зростання похибок і некоректності облікових даних. Це вимагає оптимізації процедур повірки, підвищення автоматизації та переходу до дистанційного моніторингу.

Організація метрологічного контролю на підприємстві ґрунтується на чинній нормативній базі, проте на практиці виникають проблеми: нестача обладнання для повірки різних типів приладів, складна логістика під час їх зняття та заміни, обмежені фінансові ресурси для оновлення еталонних установок. Воєнні події з 2022 року загострили ці труднощі: пошкодження інфраструктури, перебої з електропостачанням, дефіцит матеріалів і ризики для персоналу призвели до скорочення обсягів метрологічних робіт. Унаслідок цього частина засобів обліку використовується понад установлені інтервали без повірки, що знижує достовірність обліку газу та довіру споживачів.

Таким чином, результати аналізу доводять, що система метрологічного контролю у Харківській міській філії «Газмережі» функціонує, проте потребує суттєвого удосконалення. Основними напрямами мають стати: прискорена модернізація парку засобів обліку, впровадження автоматизованих і дистанційних технологій контролю, підвищення стійкості до зовнішніх ризиків, а також розробка адаптивних методик повірки й обліку в умовах воєнних загроз.

3 Удосконалення метрологічного контролю обліку природного газу

3.1. Шляхи підвищення точності вимірювань

Точність вимірювань природного газу є одним із ключових чинників у забезпеченні надійного, прозорого та справедливого обліку енергоресурсу. В умовах сучасного енергетичного ринку, де природний газ є стратегічним товаром і важливим елементом економіки України, будь-які похибки в обліку призводять до прямого економічного впливу як на споживачів, так і на постачальників. Недосконаліть метрологічного контролю може стати причиною фінансових втрат, суперечок між сторонами договору на постачання газу, а також негативно впливати на планування енергетичних ресурсів на регіональному та національному рівнях.

У зв’язку з цим удосконалення системи обліку та підвищення точності вимірювань є надзвичайно актуальним завданням, що передбачає інтеграцію сучасних технологій, наукових методів контролю та професійної підготовки персоналу [17,30].

Підвищення точності вимірювань не є одноразовим процесом; воно потребує комплексного підходу, що включає модернізацію засобів вимірювальної техніки, впровадження сучасних методів калібрування та верифікації, інтеграцію інтелектуальних систем дистанційного моніторингу, а також оптимізацію умов експлуатації вимірювальних комплексів. Зокрема, існують декілька взаємопов’язаних напрямів підвищення точності, кожен із яких вимагає окремого наукового та практичного обґрунтування.

- Модернізація засобів вимірювальної техніки

Одним із основних шляхів підвищення точності обліку є перехід від традиційних механічних лічильників до сучасних ультразвукових та турбінних засобів обліку. Механічні діафрагмові лічильники, які протягом десятиліть застосовуються в побутовому секторі, забезпечують задовільний рівень точності

при невеликих витратах, проте їх показники залежать від зношування рухомих елементів, забруднення газу та перепадів тиску. Це призводить до систематичних похибок, що особливо помітно при великому обсязі споживання.

Сучасні ультразвукові лічильники, на відміну від механічних, не містять рухомих частин, що значно зменшує ймовірність механічних збоїв. Вони використовують принцип вимірювання швидкості звуку в газовому потоці, що дозволяє отримувати більш стабільні та точні дані навіть за тривалого терміну експлуатації (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Порівняння характеристик традиційних та сучасних лічильників

Характеристика	Механічні лічильники	Ультразвукові лічильники	Турбінні лічильники
Принцип вимірювання	Механічний (діафрагма)	Швидкість звуку в газовому потоці	Швидкість обертання турбіни
Наявність рухомих частин	Так	Ні	Так
Точність вимірювань	±2–3%	±0,5–1%	±1–2%
Діапазон витрат газу	Малий/середній	Малий–великий	Середній–великий
Стійкість до зношування	Низька	Висока	Середня
Чутливість до забруднень	Висока	Низька	Середня
Потреба у фільтрації газу	Невелика	Мінімальна	Висока
Можливість дистанційного зчитування	Обмежена	Висока	Середня
Термін служби	10–15 років	15–20 років	12–18 років
Сфера застосування	Побутова	Побутова, промислова	Промислова

Крім того, ультразвукові лічильники забезпечують широкий діапазон вимірювань витрат газу та можуть інтегруватися з цифровими системами передачі даних, що робить їх зручними для автоматизованого контролю [10].

Турбінні лічильники застосовуються переважно в промисловості, де пропускна здатність є критичною. Вони вимірюють об’єм газу через швидкість обертання турбіни, що обертається під тиском потоку.

Турбінні лічильники демонструють високу точність у середніх та великих діапазонах витрат, але для їх правильної роботи необхідне попереднє очищення газу від механічних домішок і зважених частинок, що вимагає встановлення фільтрів та систем підготовки газу [11].

У практичній роботі підприємств впровадження ультразвукових лічильників дозволяє зменшити сумарну похибку системи до 0,5–1,0% за річний цикл експлуатації, тоді як класичні механічні лічильники мають похибку до 2–3%, особливо при нестабільних витратах газу.

- Вплив фізичних параметрів газу та корекція вимірювань

Важливим аспектом удосконалення системи вимірювання є врахування фізико-хімічних властивостей газу — зокрема температури, тиску та складу. Зміни цих параметрів безпосередньо впливають на об’єм, що реєструється лічильником, і можуть спричиняти похибки до кількох відсотків, що неприпустимо для комерційного обліку.

Сучасні системи обліку передбачають використання коректорів об’єму, які автоматично перераховують показники лічильників до стандартних умов. Коректори оснащуються датчиками температури та тиску, а деякі моделі додатково вимірюють склад газу, що дозволяє враховувати зміну щільності та теплотворної здатності газу. Інтеграція коректорів із системами диспетчерського контролю дозволяє здійснювати реальний моніторинг і своєчасно виявляти відхилення від нормальних параметрів, що знижує ризик накопичення систематичних похибок [31].

Особливу увагу приділяють обліку зміни газового складу в магістральних мережах, де нерідко відбуваються коливання вмісту метану, азоту та інших

компонентів. Наприклад, в умовах низького вмісту метану стандартна корекція об’єму може недооцінювати фактичну кількість енергії, що споживається. Тому сучасні системи часто використовують додаткові датчики газового складу, інтегровані з автоматизованими програмами розрахунку енергетичної вартості газу.

- Системи дистанційного зчитування та інтелектуальний облік

Іншим перспективним напрямом є впровадження систем дистанційного зчитування показань (AMR, Automatic Meter Reading) та інтелектуальних систем обліку (Smart Metering). Вони дозволяють мінімізувати вплив людського фактора, зменшити ймовірність помилок при ручному знятті показань і забезпечити оперативний контроль за роботою вузлів обліку (рисунок 3.1)

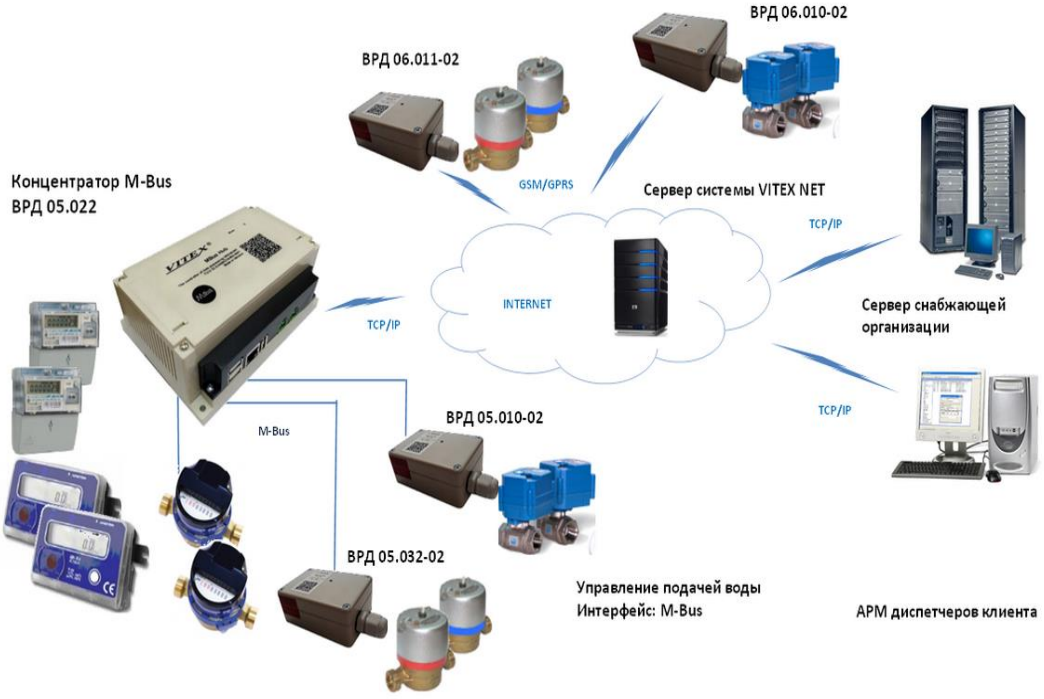

Рисунок 3.1 - Smart-система контролю і управління обліком газу

Такі системи можуть автоматично передавати дані про витрати, тиск і температуру газу на сервери диспетчерських центрів. На основі цих даних проводиться статистичний аналіз, виявляються аномалії, відхилення та можливі

витоки. У багатьох європейських країнах Smart Metering дозволяє скоротити технічні втрати газу на 5–7% та фінансові втрати через неточний облік до 3–4% на рік .

Крім того, сучасні системи здатні інтегруватися з іншими енергетичними платформами, такими як балансування попиту та пропозиції, аналітика енергоспоживання на рівні домогосподарств і промислових підприємств, що створює додаткові можливості для оптимізації енергетичних витрат.

- Регулярна повірка та калібрування засобів вимірювальної техніки

Одним із критичних елементів забезпечення точності є систематична повірка та калібрування вимірювальних приладів. Відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [1], усі засоби вимірювальної техніки, що застосовуються у сфері комерційного обліку, підлягають обов'язковій повірці у визначені законодавством терміни .

Невчасне проведення цих процедур призводить до накопичення похибок, що негативно впливає на комерційні розрахунки, довіру споживачів та ефективність системи енергопостачання. Для підвищення точності рекомендується застосовувати мобільні еталонні установки, які дозволяють проводити калібрування без виведення лічильників із експлуатації, а також інтегрувати процедури повірки у загальну систему контролю якості на підприємстві [10].

Регулярна повірка дозволяє виявляти дрейф показників приладів, прогнозувати необхідність їх ремонту та заміни, а також формувати статистику точності вимірювань для подальшого аналізу й оптимізації системи обліку.

- Підвищення кваліфікації персоналу

Не менш важливим аспектом є розвиток компетенцій персоналу метрологічних служб. Навіть найсучасніше обладнання може показувати низьку ефективність при недостатній кваліфікації працівників. Тому навчання спеціалістів, підвищення їх професійної компетентності та регулярне проведення практичних тренінгів є обов'язковими елементами системи підвищення точності.

Впровадження міжнародних стандартів, таких як ISO 9001 та ISO 17025, у навчальні програми та роботу метрологічних підрозділів дозволяє гармонізувати процедури обліку та контролю, а також забезпечити сталість та достовірність результатів вимірювань. Кваліфіковані фахівці здатні ефективно застосовувати новітні методи дистанційного моніторингу, корекції об’єму та аналітичного контролю, що істотно підвищує загальну точність системи обліку.

Комплексний підхід до підвищення точності

Таким чином, підвищення точності вимірювань можливе лише за умови комплексного підходу, що включає (рисунок 3.2):

Рисунок 3.2 – Шляхи підвищення точності вимірювань

1. Модернізацію технічної бази шляхом переходу на ультразвукові та турбінні лічильники;

2. Оптимізацію умов експлуатації, врахування температури, тиску та складу газу;

3. Впровадження систем дистанційного зчитування та Smart Metering;

4. Регулярну повірку та калібрування засобів вимірювальної техніки;

5. Підвищення кваліфікації персоналу та інтеграцію міжнародних стандартів у практичну роботу;

6. Систематичний моніторинг та аналіз результатів для виявлення аномалій та своєчасного усунення джерел похибок;

7. Використання аналітичних методів оцінки похибок, включно зі статистичним аналізом розподілу вимірювань, розрахунком комбінованої та розширеної невизначеності, що дозволяє прогнозувати точність системи в довгостроковій перспективі [29]

Таке поєднання технічних, організаційних та аналітичних заходів забезпечує не лише підвищення точності, а й створює передумови для прозорого, ефективного та надійного обліку природного газу. Безумовно, це відповідає основній меті магістерської роботи — удосконаленню метрологічного контролю обліку природного газу для забезпечення достовірності та прозорості розрахунків, а також зниження економічних ризиків для всіх учасників ринку.

- Практичні приклади підвищення точності обліку

У сучасних умовах різні підприємства застосовують комплексні підходи для підвищення точності вимірювань газу, адаптуючи технології під конкретні умови експлуатації. Так, на магістральних газопроводах великої протяжності впроваджуються багаторівневі системи контролю, які включають встановлення ультразвукових лічильників на ключових ділянках, інтеграцію коректорів об’єму та підключення до централізованих диспетчерських центрів. Це дозволяє контролювати витрати газу в реальному часі, виявляти локальні витоки та відхилення від нормативних показників, що значно підвищує точність комерційного обліку.

Наприклад, на одному з підприємств України було проведено модернізацію вузлів обліку шляхом заміни старих механічних лічильників на ультразвукові моделі та встановлення сучасних коректорів об’єму з інтеграцією в систему Smart Metering. В результаті точність вимірювань збільшилась на 1,8–2%, а економічний ефект від зменшення похибок у комерційному обліку склав близько 1,2 млн грн на рік. Крім того, оператори отримали можливість віддалено контролювати стан вузлів обліку та оперативно реагувати на будь-які відхилення.

У промислових умовах, де споживання газу значно варіюється, застосовують турбінні лічильники із фільтрацією та автоматичними системами очищення газу. Наприклад, на великому металургійному підприємстві впровадження турбінних лічильників з корекцією тиску та температури дозволило підвищити точність обліку на 1,5–2% і забезпечити стабільність показників при коливаннях витрат у межах 50–5000 м³/год.

У житловому секторі важливим стає впровадження інтелектуальних систем обліку, що дозволяють дистанційно збирати дані з великої кількості абонентських лічильників. У Києві та Львові реалізовані пілотні проекти Smart Metering для багатоповерхових будинків, де кожен лічильник передає дані щогодини до централізованого сервера. Це дозволяє не тільки підвищити точність обліку, але й формувати аналітику споживання на рівні кожного абонента, що стимулює раціональне використання газу та зменшує втрати через ненавмисні витоки.

- Використання аналітичних методів контролю

Додатковим напрямом підвищення точності є застосування методів статистичної обробки та аналізу розподілу похибок. Використання математичних моделей дозволяє прогнозувати поведінку системи обліку в різних умовах експлуатації, оцінювати комбіновану невизначеність та планувати необхідні коригуючі заходи. Наприклад, застосування методів Монте-Карло для моделювання розподілу похибок показало, що найбільший вплив на точність мають температурні коливання та нерівномірність газового потоку, що дозволяє підприємствам своєчасно встановлювати додаткові датчики та регулювати параметри коректорів об’єму.

Аналітичні методи також застосовуються для оцінки ефективності дистанційного зчитування та автоматизованих систем обліку. Порівняння показників традиційного ручного зняття даних і Smart Metering показало зниження сумарної похибки системи з 2,1% до 0,7%, що підтверджує ефективність інтегрованих рішень.

- Інноваційні підходи та перспективи розвитку

Науково-технічний прогрес відкриває нові можливості для підвищення точності вимірювань. Серед перспективних напрямів — використання сенсорів на основі нанотехнологій, які дозволяють миттєво реагувати на зміну складу газу та автоматично коригувати облікові дані. Також досліджується застосування алгоритмів штучного інтелекту для прогнозування витрат газу та виявлення аномалій на ранніх стадіях, що забезпечує своєчасне обслуговування обладнання та зменшення похибок.

Використання блокчейн-технологій для забезпечення прозорості даних обліку газу також розглядається як інноваційний підхід. Така система дозволяє створювати незмінні записи про споживання, що підвищує довіру між постачальниками та споживачами та зменшує ризики фінансових розбіжностей.

- Висновки щодо шляхів підвищення точності

Підвищення точності вимірювань природного газу можливе лише за умови комплексного підходу, який передбачає:

- модернізацію технічної бази та заміну застарілих лічильників на сучасні ультразвукові та турбінні моделі;
- впровадження систем корекції об’єму, що враховують температуру, тиск та склад газу;
- інтеграцію дистанційного зчитування та Smart Metering;
- регулярну повірку та калібрування обладнання із застосуванням мобільних еталонних установок;
- підвищення кваліфікації персоналу та використання міжнародних стандартів у практичній діяльності;

- застосування статистичних та аналітичних методів контролю похибок;
- впровадження інноваційних технологій для прогнозування та автоматичної корекції даних обліку.

Комплексне застосування цих заходів забезпечує високий рівень точності, достовірності та прозорості обліку природного газу, що є ключовим для ефективного функціонування енергетичного ринку та економічної безпеки країни.

3.2. Оптимізація процедур повірки та калібрування лічильників

Метрологічний контроль лічильників природного газу є критично важливим елементом енергетичної інфраструктури, оскільки безпосередньо впливає на достовірність комерційних розрахунків між постачальниками і споживачами.

Як було зазначено у підрозділі 3.1, підвищення точності вимірювань неможливе без систематичної повірки й калібрування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Саме ці процедури забезпечують підтримання метрологічних характеристик лічильників на рівні, визначеному нормативними документами.

В Україні перевірка та калібрування газових лічильників здійснюється відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», ДСТУ ISO/IEC 17025:2019 та галузевих нормативних актів. Згідно з ними, усі лічильники повинні проходити первинну повірку перед введенням в експлуатацію, періодичні повірки у процесі використання, а також позачергову повірку у випадках ремонту чи сумнівів у правильності показів.

Попри чітке нормативне регулювання, на практиці існує низка проблем, пов’язаних як із технічним станом лічильників, так і з організаційними аспектами метрологічної діяльності. Традиційні методи часто є трудомісткими, дорогими або складними для впровадження, що обумовлює потребу в оптимізації.

Основні проблеми існуючої системи повірки та калібрування:

Серед ключових проблем, які потребують вирішення:

- Велика кількість застарілих лічильників у споживачів, які вимагають частих перевірок через підвищену схильність до похибок.
- Недостатня пропускна здатність повірочних лабораторій, що призводить до накопичення черг та затримок у відновленні обліку.
- Нерівномірність навантаження на метрологічні центри протягом року, коли у певні періоди спостерігається пік заявок на повірку.
- Значні витрати часу та ресурсів на транспортування лічильників від споживача до повірочного центру та назад.
- Недостатній рівень автоматизації процесів, що знижує оперативність і підвищує ризик помилок персоналу.
- Вплив воєнних умов, коли частина обладнання та лабораторій зазнала пошкоджень або тимчасово не функціонує.

Оптимізація у сучасних умовах розглядається не лише як скорочення витрат часу та ресурсів, а й як системне вдосконалення процедур за рахунок упровадження новітніх технічних засобів, програмних комплексів, сучасних методик і організаційних рішень. Особливої актуальності це набуває з огляду на виклики воєнного часу, що вимагають підвищення надійності та адаптивності системи метрологічного контролю.

У цьому контексті можна виокремити кілька основних напрямів удосконалення повірки та калібрування лічильників, які успішно застосовуються як в Україні, так і за кордоном (рисунок 3.3).

1. Використання мобільних повірочних лабораторій

Традиційно повірка проводиться у стаціонарних центрах, що передбачає демонтаж, транспортування та повторне встановлення лічильників. Це призводить до додаткових витрат і створює тимчасові незручності для споживачів. Оптимізація полягає у впровадженні мобільних повірочних комплексів, які дозволяють проводити процедури безпосередньо на місці експлуатації.

У країнах ЄС мобільні лабораторії вже стали стандартом, адже вони скорочують час повірки у 2–3 рази, знижують ризик пошкодження обладнання під час транспортування і дозволяють обслуговувати значно більшу кількість

лічильників у стислі строки. В Україні такі підходи лише розвиваються, але досвід їх використання у великих містах, зокрема у Києві та Харкові, демонструє перспективність технології.

Рисунок 3.3 – Шляхи оптимізації повірки та калібрування лічильників

2. Автоматизація процесу повірки

Велика частина похибок при традиційних методах повірки виникає через людський фактор: неточність зняття показників, помилки під час введення даних, суб'єктивність оцінки. Оптимізація у цьому напрямі передбачає впровадження автоматизованих стендів і програмного забезпечення, які унеможливлюють ручні похибки та забезпечують точне відтворення процедур.

Такі системи включають:

- електронні датчики витрати, тиску та температури;
- автоматизовану фіксацію результатів;
- передачу даних у централізовані бази;
- дистанційний моніторинг процесу.

Використання автоматизованих комплексів дозволяє знизити похибку результатів калібрування на 20–30 % у порівнянні з традиційними методами (таблиця 3.2).

Таблиця 3. 2 – Порівняння традиційних і оптимізованих процедур повірки

Критерій	Традиційна процедура	Оптимізована процедура
Тривалість повірки	2–3 дні, включно з транспортуванням лічильників до лабораторії	2–3 години завдяки використанню мобільних повірочних установок
Витрати ресурсів	Високі: потреба у транспортуванні, демонтажі, зупинці газопостачання	Нижчі: перевірка здійснюється без демонтажу, мінімізація простоїв
Точність результатів	Залежить від умов лабораторії, часто не відображає реальні робочі умови	Вища: випробування проводяться в умовах, максимально наближених до експлуатаційних
Логістика	Складна: потребує координації між підприємством, лабораторією та споживачем	Спрощена: мобільні комплекси та дистанційні технології мінімізують необхідність перевезень
Доступність інформації	Результати зберігаються у паперовому вигляді, обмежений доступ	Електронні протоколи, інтеграція з цифровими базами даних
Ризик пошкодження обладнання	Вищий: демонтаж та транспортування	Мінімізований: повірка на місці без зняття приладу
Вплив на споживачів	Часткове відключення газопостачання, створення незручностей	Мінімальний вплив, відсутність необхідності відключення газу
Можливості модернізації	Обмежені, базуються на наявній лабораторній інфраструктурі	Гнучкі: можливість додавання нових модулів, використання автоматизованих систем контролю

3. Використання прогнозних моделей і «розумних» графіків повірки

Оптимізація стосується не лише самої процедури, а й інтервалів її проведення. Традиційно міжповірочний інтервал встановлюється жорстко — наприклад, 5 або 8 років залежно від типу лічильника. Проте такий підхід не враховує умов експлуатації. В реальності одні лічильники можуть зберігати точність навіть довше, а інші виходять із ладу раніше.

Сучасні тенденції спрямовані на впровадження прогнозних моделей, що ґрунтуються на аналізі історії роботи конкретного пристрою. Дані, які знімаються з лічильників, можуть оброблятися спеціальними алгоритмами, що прогнозують втрату точності. Таким чином, повірка здійснюється не за формальним календарем, а за реальним станом приладу. Це скорочує витрати і дозволяє уникнути використання несправних ЗВТ.

4. Мінімізація джерел похибок під час калібрування

Найбільш типовими причинами похибок під час повірки і калібрування є:

- нестабільність температури і тиску;
- неточність еталонних витратомірів;
- механічні похибки під час установки лічильника;
- використання некаліброваного допоміжного обладнання.

Оптимізація передбачає використання високоточних еталонних засобів (наприклад, критичних сопел, еталонних турбінних лічильників, лазерних витратомірів), стабілізацію робочих умов і багатоточкову перевірку при різних режимах.

5. Інтеграція інформаційних технологій

Одним із сучасних напрямів оптимізації є інтеграція повірочних комплексів із цифровими базами даних. Це дозволяє:

- автоматично формувати протоколи повірки;
- зберігати історію результатів для кожного лічильника;
- створювати аналітику щодо типових відмов;
- планувати закупівлю та заміну приладів.

У країнах Європейського Союзу подібні системи вже функціонують як частина «розумних мереж» (Smart Grids), а в Україні впровадження цифрових рішень лише починається, але воно має величезний потенціал у підвищенні ефективності метрологічного контролю.

6. Оптимізація в умовах війни

Особливу актуальність у сучасних українських умовах має оптимізація процедур повірки з урахуванням воєнних ризиків. Руйнування стаціонарних лабораторій, проблеми з логістикою, перебої з електро- та газопостачанням потребують переходу на резервні мобільні комплекси, які можуть працювати автономно. Додатково важливими стають системи дистанційного моніторингу, здатні контролювати стан лічильників без фізичного доступу до об’єктів.

7. Підготовка та навчання персоналу

Найновіше обладнання не буде ефективним без належної підготовки персоналу. Тому ще одним напрямом оптимізації є організація системи безперервного навчання метрологів. Це включає:

- регулярні тренінги;
- сертифікацію фахівців;
- обмін досвідом із міжнародними колегами;
- впровадження онлайн-платформ для дистанційного навчання.

Завдяки цьому забезпечується правильне використання нових технологій і мінімізуються ризики некваліфікованого втручання.

Приклади практичної реалізації

У ряді європейських країн, зокрема Німеччині та Польщі, мобільні повірочні лабораторії дозволили скоротити час перевірки одного лічильника на 40–50% та зменшити експлуатаційні витрати на 30% [4]. В Україні аналогічний підхід починає застосовуватися, однак потребує масштабнішої підтримки з боку держави та інвестицій у відповідне обладнання.

Ще один приклад оптимізації – це створення автоматизованої системи управління метрологічними процесами в газорозподільних підприємствах. Вона

дозволяє не тільки контролювати строки перевірок, а й прогнозувати потреби у калібруванні залежно від технічного стану парку приладів.

Таким чином, оптимізація процедур повірки і калібрування лічильників має багатовекторний характер, адже охоплює як технічні рішення (мобільні лабораторії, автоматизація процесів, цифрові бази даних), так і організаційні заходи (ризик-орієнтовані графіки повірок, підготовка персоналу). Важливим напрямом є також адаптація до надзвичайних умов, зокрема використання резервних стендів та віддаленого моніторингу.

Впровадження таких підходів дозволяє підвищити точність вимірювань, мінімізувати похибки, оптимізувати витрати й забезпечити прозорість взаєморозрахунків між постачальниками та споживачами. У підсумку це стає необхідною умовою достовірності даних обліку та ефективності роботи газових підприємств навіть у складних умовах, включно з воєнним часом.

3.3. Використання сучасних методів контролю і випробувань

Сучасні методи контролю та випробувань лічильників природного газу є невід’ємною частиною удосконалення метрологічного контролю, оскільки забезпечують високу точність обліку, оперативну оцінку стану обладнання та своєчасне виявлення відхилень від нормативних параметрів. Використання інноваційних технологій дозволяє мінімізувати вплив людського фактора, забезпечити повторюваність результатів і підвищити ефективність роботи газорозподільних мереж [25].

Одним із ключових напрямів є автоматизація процесів випробувань, що включає застосування комп’ютеризованих стендів, високоточних датчиків витрати і тиску газу, програмного забезпечення для збору, обробки та аналізу даних. Завдяки цьому значно підвищується точність показників, скорочується час

проведення контрольних процедур і забезпечується висока повторюваність результатів незалежно від кваліфікації персоналу.

Лабораторні методи контролю в сучасних умовах передбачають комплексну оцінку всіх метрологічних характеристик лічильників, включно з визначенням похибки в широкому діапазоні витрат, оцінкою лінійності показників, перевіркою повторюваності результатів та аналізом впливу зовнішніх факторів. Особлива увага приділяється дослідженню електронних модулів і сенсорних елементів, що застосовуються в ультразвукових та турбінних лічильниках. Використання сучасних цифрових осцилографів, високоточного обладнання для вимірювання витрати та тиску газу, а також програмних комплексів дозволяє оцінювати роботу приладів з точністю до частки відсотка, що відповідає сучасним міжнародним стандартам.

Ультразвукові методи неруйнівного контролю забезпечують можливість виявлення дефектів корпусу, внутрішніх каналів і крильчатки без демонтажу лічильника. Такий підхід дозволяє попередньо оцінити стан обладнання і своєчасно планувати заміну або ремонт вузлів, що підвищує надійність експлуатації та зменшує ризик виникнення похибок. Магнітно-порошкова дефектоскопія застосовується для перевірки металевих деталей на наявність тріщин або деформацій, а цифрова фотограмметрія дозволяє оцінити геометричні параметри конструкційних елементів та забезпечити контроль відповідності заводським допускам [32].

Польові методи контролю та випробувань забезпечують перевірку лічильників у реальних умовах експлуатації, що дозволяє оцінити вплив температури, тиску, вологості та складу газу на показники приладів. Важливим елементом є використання мобільних лабораторій, оснащених стендами для повірки лічильників без демонтажу, а також систем дистанційного збору даних зі смарт-лічильників. Це дозволяє зменшити час проведення перевірок, забезпечити оперативний аналіз даних та інтегрувати результати у централізовані бази для подальшої обробки та прогнозування роботи газорозподільних систем.

Інтеграція сучасних цифрових технологій дозволяє створювати єдину інформаційну платформу для управління всіма процесами метрологічного контролю. Дані зі смарт-лічильників автоматично передаються до серверів обробки, де застосовуються алгоритми статистичної обробки, прогнозної діагностики та раннього виявлення аномалій. Це забезпечує своєчасне реагування на відхилення, скорочує ймовірність накопичення похибок і підвищує прозорість взаєморозрахунків між постачальниками та споживачами.

Цифровізація процесів контролю забезпечує уніфікацію процедур випробувань, централізоване зберігання даних і статистичну обробку великих обсягів інформації. Вона дозволяє не лише підвищити точність вимірювань, а й проводити прогнозну діагностику стану лічильників, оцінювати ресурс обладнання та планувати технічне обслуговування (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Сучасні цифрові методи контролю та їх ефект

Метод цифрового контролю	Функціональні можливості	Вплив на точність та ефективність
Смарт-лічильники	Дистанційний збір даних, аналіз у реальному часі	Мінімізація людського фактора, підвищення точності
Централізовані бази даних	Зберігання та статистична обробка результатів	Планування перевірок, прогнозування ресурсів
Автоматизовані стенди	Повірка великої кількості приладів	Скорочення часу і витрат, підвищення повторюваності результатів

Інтеграція результатів випробувань у загальну систему метрологічного контролю забезпечує прозорість обліку та оптимізацію графіків перевірок і калібрувань.

Нормативна база, що регламентує сучасні методи контролю, включає міжнародні стандарти ISO/IEC 17025, EN 12405, а також українські нормативні

документи. Відповідність стандартам гарантує високу точність результатів та їх юридичну значущість у комерційному обліку газу [2-8].

Впровадження сучасних методів контролю у практику включає застосування мобільних лабораторій, автоматизованих стендів для швидкої калібрування великої кількості приладів, цифрових систем збору та аналізу даних із інтеграцією у корпоративні інформаційні платформи.

Досвід зарубіжних компаній показує, що таке поєднання лабораторних, польових і цифрових методів дозволяє зменшити витрати часу й ресурсів, підвищити надійність обліку та забезпечити прозорість розрахунків між постачальниками і споживачами .

Особливе значення має прогнозна діагностика: збір і аналіз даних зі смарт-лічильників дозволяє визначати ймовірність відхилень у роботі обладнання, прогнозувати необхідність обслуговування та планувати заміну елементів. Це знижує ризики похибок, підвищує надійність мереж і оптимізує витрати підприємств (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Порівняння лабораторних і польових методів контролю лічильників

Метод контролю	Основні характеристики	Переваги	Недоліки
Лабораторні випробування	Контрольні умови, еталонні потоки	Висока точність, детальна діагностика	Високі витрати часу, обмежена кількість приладів
Польові випробування	Контроль у реальних умовах експлуатації	Оцінка роботи в полі, оперативність	Менша точність, залежність від зовнішніх факторів
Неруйнівний контроль	Ультразвук, магнітно-порошкова дефектоскопія	Виявлення дефектів без демонтажу	Потребує спеціального обладнання та кваліфікації персоналу

Лабораторні методи забезпечують найвищу точність та детальну діагностику, проте потребують значних ресурсів. Польові методи дозволяють оцінювати роботу лічильників у реальних умовах і застосовуються для регулярного моніторингу. Цифрові технології забезпечують швидку обробку даних, автоматичне виявлення аномалій та прогнозну оцінку ресурсів обладнання.

Міжнародний досвід демонструє ефективність комплексного підходу. У країнах ЄС використовуються мобільні лабораторії, смарт-лічильники та централізована обробка даних, що дозволяє зменшити похибки до мінімальних значень. У США додають системи прогнозної діагностики та раннього попередження про зношування лічильників.

Українські підприємства почали впроваджувати подібні підходи: мобільні лабораторії для віддалених об’єктів, автоматизовані стенди на базах обслуговування, цифрові платформи збору і обробки даних, що дозволяє досягати високої точності і прозорості обліку [24].

Перспективи розвитку включають:

- подальше впровадження алгоритмів машинного навчання для обробки даних зі смарт-лічильників;
- інтеграцію прогнозної діагностики у корпоративні інформаційні системи;
- стандартизацію процедур контролю на основі ISO та EN;
- розвиток автоматизованих мобільних лабораторій із дистанційним керуванням та інтеграцією результатів у загальні бази даних;
- удосконалення методів неруйнівного контролю для оцінки стану корпусу та внутрішніх елементів лічильників без демонтажу.

Застосування сучасних методів контролю і випробувань створює комплексну систему високоточного метрологічного контролю, яка дозволяє підвищити точність, надійність і прозорість обліку природного газу, знизити ймовірність похибок і забезпечити ефективне управління газорозподільними мережами в умовах сучасних

4 Практичне значення та перспективи розвитку системи метрологічного контролю у газовій сфері

4.1 Досягнення та пропозиції щодо вдосконалення системи метрологічного контролю у газовій сфері

Система метрологічного контролю лічильників природного газу має критичне практичне значення для забезпечення точності обліку, стабільності роботи газової інфраструктури та прозорості комерційних розрахунків між постачальниками і споживачами. Ефективність цієї системи безпосередньо впливає на фінансові результати підприємств, рівень довіри споживачів і можливість прогнозування потреб у газі, особливо в умовах сучасного енергетичного ринку.

Основні переваги ефективної системи метрологічного контролю проявляються у багатьох аспектах:

- Точність комерційного обліку**:** достовірні дані про витрати газу забезпечують правильне нарахування та облік фінансових взаєморозрахунків.
- Економічна ефективність**:** скорочення втрат газу, оптимізація графіків перевірок та обслуговування обладнання дозволяє зменшити витрати підприємства.
- Прозорість та контроль**:** інтеграція даних у цифрові платформи забезпечує повну звітність і контроль за роботою мереж, дозволяє уникати конфліктів між постачальниками та споживачами.
- Оперативне управління мережею**:** дані з дистанційного моніторингу та смарт-лічильників дозволяють відстежувати стан мережі, оперативно реагувати на аварійні ситуації, контролювати втрати газу та виявляти несанкціоновані відбори.

Важливим аспектом практичного значення є оптимізація технічного обслуговування та планування перевірок**.** Завдяки автоматизованим системам

збору та обробки даних, оператори можуть прогнозувати ресурс лічильників, оцінювати ступінь зношування та планувати ремонт або заміну обладнання завчасно, що дозволяє знизити ризики аварій і збільшити термін служби приладів (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Практичне значення впровадження сучасних систем контролю

Напрям впровадження	Практичне значення для підприємства	Очікуваний ефект
Смарт-лічильники із дистанційним збором даних	Оперативний контроль, зменшення людського фактора	Підвищення точності та швидкості обліку
Мобільні лабораторії	Проведення повірок на місці, без демонтажу	Зменшення часу перевірки, економія ресурсів
Автоматизовані стенди	Масове калібрування лічильників	Оптимізація графіків, підвищення повторюваності
Цифрові платформи та аналітичні системи	Централізоване зберігання, статистична обробка	Підвищення прозорості та надійності обліку

Перспективи розвитку системи метрологічного контролю включають впровадження інноваційних технологій та нових методик, що дозволяють досягати більш високого рівня точності, оперативності та економічності. Серед ключових напрямів можна виділити (таблиця 4.2):

1. Інтелектуалізація процесів обліку: застосування алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту для аналізу даних з смарт-лічильників дозволяє виявляти аномалії, прогнозувати відмови обладнання, планувати обслуговування і підвищувати ефективність роботи системи.

2. Розширення мобільних лабораторій: забезпечення швидкої повірки та калібрування лічильників у віддалених або важкодоступних районах без демонтажу обладнання, що суттєво економить час і ресурси.

3. Інтеграція та централізація даних: всі результати контролю і випробувань інтегруються в єдину цифрову платформу, що забезпечує централізований моніторинг, аналітику та прогнозування ресурсів, а також автоматичне формування звітів для контролюючих органів.

4. Розвиток методів неруйнівного контролю: ультразвукове обстеження, магнітно-порошкова дефектоскопія та цифрова фотограмметрія дозволяють оцінювати технічний стан лічильників без демонтажу, знижуючи ризик похибок і підвищуючи надійність обліку.

Впровадження сучасних методів контролю та цифрових технологій у газовій сфері має не лише технічний, а й соціальний ефект: забезпечує справедливість нарахувань, підвищує довіру споживачів і сприяє професійному розвитку персоналу.

Таблиця 4.2 – Перспективні технології та очікуваний вплив на метрологічний контроль

Технологія	Функціональні можливості	Очікуваний ефект
Машинне навчання та штучний інтелект	Аналіз даних, прогнозування аномалій	Рання діагностика, планування обслуговування
Автоматизовані мобільні лабораторії	Повірка на місці, без демонтажу	Скорочення часу перевірок, економія ресурсів
Неруйнівний контроль	Ультразвук, магнітно-порошкова дефектоскопія	Виявлення дефектів до експлуатації, підвищення надійності
Інтеграція даних у цифрову платформу	Централізоване зберігання, аналітика	Прозорість обліку, оптимізація графіків перевірок

Висновки до Розділу 4

У процесі дослідження було обґрунтовано, що удосконалення метрологічного контролю обліку природного газу є ключовим чинником забезпечення точності вимірювань, економічної стабільності та прозорості розрахунків у газовій сфері.

1. Встановлено, що підвищення точності вимірювань можливе шляхом впровадження сучасних засобів обліку, смарт-систем дистанційного контролю та комплексної автоматизації процесів. Це дозволяє зменшити вплив людського фактора та забезпечити оперативний доступ до достовірних даних.

2. Доведено, що оптимізація процедур перевірки та калібрування лічильників, зокрема застосування мобільних лабораторій, дистанційних технологій моніторингу та цифровізації результатів, забезпечує значну економію ресурсів і підвищує рівень довіри між споживачем та постачальником газу.

3. Показано, що сучасні методи контролю та випробувань — з використанням автоматизованих стендів, ультразвукових та кореляційних методів аналізу, а також інформаційно-аналітичних платформ — здатні значно знизити похибки вимірювань і створити умови для інтеграції в європейський енергетичний простір.

4. Практичне значення удосконаленої системи метрологічного контролю полягає у підвищенні ефективності роботи газорозподільних підприємств, зниженні втрат, забезпеченні прозорості договірних відносин та підвищенні довіри з боку споживачів.

Перспективи розвитку полягають у подальшій цифровізації, гармонізації з міжнародними стандартами (ISO 17025, OIML), а також у створенні єдиної інтегрованої системи обліку та контролю.

Таким чином, реалізація запропонованих заходів дозволить сформувати сучасну, надійну й ефективну систему метрологічного забезпечення, яка відповідатиме стратегічним завданням України у сфері енергетичної безпеки та європейської інтеграції.

Загальні висновки до магістерської кваліфікаційної роботи

У межах магістерської роботи було проведено комплексне дослідження, присвячене удосконаленню метрологічного контролю обліку природного газу з метою підвищення точності вимірювань та достовірності даних обліку. Дослідження охопило як теоретичні основи, так і практичні аспекти функціонування системи обліку та контролю газорозподільної сфери України, зокрема на прикладі Харківської міської філії «Газмережі».

1. Проаналізовано сучасний стан метрологічного забезпечення обліку природного газу в Україні. Встановлено, що метрологічне забезпечення є ключовою умовою стабільного функціонування газорозподільних систем і формує основу для прозорих взаємовідносин між постачальниками та споживачами. Розглянуто класифікацію засобів вимірювальної техніки, принципи їх роботи та основні джерела похибок, що можуть мати випадковий або систематичний характер, зумовлений фізичними принципами роботи лічильників, умовами експлуатації або зовнішніми факторами (температура, тиск, вологість). Особливу увагу приділено нормативно-правовій базі, що регламентує вимоги до точності, періодичності повірок та процедур калібрування, створюючи підґрунтя для гармонізації з міжнародними та європейськими стандартами.

2. Визначено чинники, що знижують точність вимірювань у діючих системах обліку. Аналіз показав, що значна частина засобів вимірювальної техніки є морально застарілою та потребує модернізації. Рівень автоматизації процедур повірки та дистанційного моніторингу залишається недостатнім. Організаційні та технічні проблеми посилюються воєнними діями, які спричинили руйнування інфраструктури, порушення логістичних ланцюгів, обмеження доступу до еталонних лабораторій та ускладнили проведення метрологічних процедур. Ці фактори безпосередньо впливають на точність вимірювань та ефективність системи контролю.

3. Узагальнено наукові підходи та практичні рішення щодо метрологічного контролю. Проаналізовано міжнародний досвід застосування високоточних лічильників, автоматизованих систем збору та обробки даних, цифрових інструментів моніторингу та сучасних методик калібрування. Встановлено, що інтеграція цих рішень дозволяє мінімізувати вплив людського фактору, зменшити похибки та підвищити прозорість процесів обліку.

4. Обґрунтовано напрями вдосконалення контролю з урахуванням особливостей експлуатації в умовах України. Серед пропонованих заходів: впровадження сучасних смарт-систем для дистанційного збору і обробки даних, цифровізація процедур перевірки та калібрування, застосування мобільних лабораторій та віддалених сервісів моніторингу, а також використання автоматизованих стендів і програмного забезпечення для аналізу точності результатів. Такий підхід дозволяє підвищити оперативність контролю, адаптувати процеси до специфіки українських умов і забезпечити стабільність системи в умовах кризових викликів.

5. Розроблено рекомендації з підвищення точності вимірювань і забезпечення достовірності обліку. Рекомендації включають модернізацію лічильників, оптимізацію процедур повірки, впровадження цифрових технологій для моніторингу в реальному часі та систематичну оцінку ефективності використання ресурсів. Очікуваний ефект від реалізації цих заходів включає підвищення надійності даних обліку, зниження похибок і втрат газу, зміцнення довіри між споживачами та постачальниками.

Отже, удосконалення системи метрологічного контролю є не лише технічною, а й стратегічною необхідністю для розвитку газорозподільної сфери. Реалізація запропонованих заходів сприятиме формуванню сучасної, цифровізованої, більш гнучкої та надійної системи метрологічного контролю, що відповідає європейським практикам та інтеграційним прагненням України, підвищує ефективність управління енергетичними ресурсами та забезпечує сталий розвиток газової галузі.

Список використаних джерел

1. *Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»*. Відомості Верховної Ради України, 2014.

2. Directive 2014/32/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of measuring instruments (recast). Text with EEA relevance. 2014. URL: http://data.europa.eu/eli/dir/2014/32/oj

3. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. *Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навчальний посібник*. Вінниця: ВДТУ, 2001. 219 с.

4. *Кодекс газорозподільних систем*. Затверджено постановою НКРЕКП 30.09.2015 № 2494. Зареєстровано в Мін'юсті України 06.11.2015 за № 1379/27824.

5. *Правила обліку природного газу під час його транспортування газорозподільними мережами, постачання та споживання*. Наказ Мінпаливенерго України №618 від 27.12.2005. Зареєстровано в Мін'юсті України 26.01.2006 за №67/11941.

6. ДСТУ EN 1359:2020. *Лічильники газу. Лічильники газу мембранні* (EN 1359:2017, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91018

7. *Лічильники газу роторні РГК-Ех*. URL: https://prylad.com.ua/ru/products/gas-meters/rotary/rgk-eh/

8. РМУ 037-2015. *Рекомендація. Метрологія. Вузли обліку природного газу з лічильниками та коректорами. Метод та основні принципи вимірювань, характеристики та загальні вимоги*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78877

9. ДСТУ OIML R 140:2014. *Вимірювальні системи для газового палива* (OIML R 140, edition 2007, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=93908

10. *Лічильник газу ультразвуковий Зонд-2. Настанова щодо експлуатації* [Електронний ресурс]. 2016. URL: https://zond.dp.ua/wp-content/uploads/2017/04/%D0%A0%D0%AD_%D0%97%D0%942_2016.pdf

11. *Лічильники газу турбінні TZ/fluxi. Паспорт*. URL: https://tgp.net.ua/download/passport_tz-fluxi_ukr.pdf

12. Васильківський С., Фединець В.О., Юсик Я.П. *Виконавчі пристрої систем автоматизації: навчальний посібник*. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020.

13. Лавренова Д.Л., Хлистов В.М. *Основи метрології та електричних вимірювань: навч. посібник* [Електронне видання]. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 123 с.

14. Захаров І.П. *Порівняльний аналіз характеристик точності вимірювань: монографія*. Харків: Оберіг, 2019. 100 с.

15. Федорович В. О. Метрологічне забезпечення якості продукції у машинобудуванні [Електронний ресурс] : навч. посібник / В. О. Федорович, Л. І. Пупань, Є. В. Островерх ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Електрон. текст. дані. – Харків, 2024. – 148 с.

16. Мінекономіки України. *Державна служба з питань технічного регулювання та споживчої політики. Методичні рекомендації з метрології*. Київ, 2022.

17. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019. *Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій* (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88724

18. ДСТУ OIML R 137-1-2:2018. *Лічильники газу. Частина 1. Метрологічні й технічні вимоги. Частина 2. Методи підтвердження метрологічних і технічних характеристик* (OIML R 137-1-2:2014, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=81596

19. Володарський Є.Т. *Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю*. URL: https://metod.vntu.edu.ua/getfile.php

20. Саранча Г.А. Метрология, стандартизація та управління якістю - К.:Либідь, 2014.-256 с.

21. Федорович В.О., Пупань Л.І., Отсроверх Є.В. *Метрологічне забезпечення якості продукції*. Вимірювальна техніка та метрологія, № 70, 2009. С. 160–164. URL: https://vlp.com.ua/files/29_33.pdf

22. Павленко В.Я. *Ефективність метрологічного забезпечення підготовки виробництва на підприємстві*. Технічні науки, 2024, № 6. С. 45–53. URL: https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2024/6_2024/part_1/5.pdf

23. ДСТУ ISO 9001:2015. *Системи управління якістю. Вимоги*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 30 с.

24. Салабай Ю., Гоц Н. *Метрологічне забезпечення інтегрованих систем управління для підвищення точності та надійності технічних процесів*. MEASURING AND COMPUTING DEVICES IN TECHNOLOGICAL PROCESSES, 2024, № 4, С. 420–424. URL: https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-52

25. Середюк О.Є. (ред.) *Науково-технічні дослідження у галузі обліку природного газу: колективна монографія*. Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г.М., 2023.

26. *Офіційний сайт «Газорозподільні мережі України»*. URL: https://grmu.com.ua/

27. *Офіційний сайт Харківська міська філія ТОВ "ГАЗОРОЗПОДІЛЬНІ МЕРЕЖІ УКРАЇНИ"*. URL: https://khm.grmu.com.ua/

28. JCGM 200:2008. *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*. 2008.

29. ДСТУ ISO/IEC Guide 98-3:2018. *Неопределенность измерений. Часть 3. Руководство по представлению неопределенности в измерении (GUM:1995)* (ISO/IEC Guide 98-3:2008, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=81669

30. ДСТУ EN 1359:2012. *Лічильники газу мембранні. Загальні технічні умови* (EN 1359:1998/A1:2006, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=53157

31. ДСТУ EN 12405-1:2014. *Коректори до лічильників газу електронні. Частина 1. Корекція об'єму* (EN 12405-1:2005+A2:2010, IDT).

32. Комарова Г. Л. *Конспект лекцій з дисципліни «Метрологія»: метод. вказівки*. Харків: УкрДУЗТ, 2020. 98 с.

33. Геворкян Є.С., Нерубацький В.П., Комарова Г.Л., Волошина Л.В. *Наноструктуровані керамічні композити на основі SiC, ZrO_2 та WC для підвищення надійності та метрологічної стабільності транспортних систем*. Інтелектуальні транспортні технології: тези доп. 6-ї міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 24–26 листоп. 2025 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2025. С. 281–284.

34. Комарова Г., Геворкян Е., Нерубацький В., Волошина Л. *Підвищення ефективності метрологічного забезпечення якості виробництва на підприємствах залізничного транспорту*. Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи: тези доповідей VII Міжнар. наук.-практ. конф. (20–21 листопада 2025 р.). Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2025. С. 136–137. ISBN 978-966-441-841-3

35. ДСТУ OIML D 16:2008. *Метрологія. Принципи забезпечення метрологічного контролю* (OIML D 16:1986, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=84236

36. Rabinovich S.G. *Measurements errors and uncertainties. Theory and practice*. 3rd edition. Springer Science and Media, Inc. USA, 2005. 308 p.

37. Сідорин С.М. *Вдосконалення метрологічного забезпечення обліку природного газу для підвищення точності вимірювань*. Тези доповідей на 85-студентській науково-технічній конференції УкрДУЗТ, (10–11 грудня 2025 р.) Харків: УкрДУЗТ, 2025. https://kart.edu.ua/nauka/stud-ndr/stud-ntk

38. ДСТУ 3008:2015. *Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64463

АКТ

перевірки кваліфікаційної роботи магістра на наявність ознак академічного плагіату.

Відповідно до даних сервісу “Strikeplagiarism” кваліфікаційна робота «Удосконалення метрологічного контролю обліку природного газу для підвищення точності вимірювань», автора: *Сидорін Сергій Миколайович*, містить 0,87 % запозичень. Ознаки академічного плагіату – відсутні.

Перевірку виконав
доцент кафедри Інженерії вагонів
та якості продукції Вадим Шовкун

20.12.2025 р. (підпис)