

Український державний університет залізничного транспорту

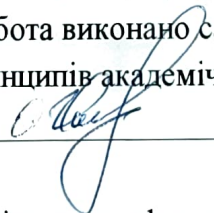
Кафедра інженерії вагонів та якості продукції

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ, ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ГАЗОВИХ МЕРЕЖ

Пояснювальна записка і розрахунки  
до магістерської кваліфікаційної роботи

МКРМЕ.175.26.27.00. ПЗ

Розробив студент групи 217-ЯСС-324  
спеціальності 175 «Інформаційно-  
вимірювальні технології» освітньої програми  
«Якість, стандартизація та сертифікація»  
(робота виконано самостійно, відповідно до  
принципів академічної доброчесності)

 Олег УСТИМЕНКО

Керівник: професор, д-р техн. наук  
Ларіса ТИМОФЄЄВА

Рецензент: доцент кафедри  
доцент кафедри  
машинобудування та технічний сервіс машин  
УкрДУЗТ, канд. техн. наук  
Андрій БАБЕНКО

# Український державний університет залізничного транспорту

Факультет механіко-енергетичний

Кафедра інженерії вагонів та якості продукції

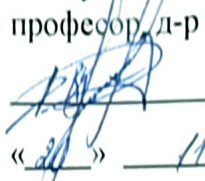
Круглий (магістерський) рівень вищої освіти

Спеціальність – 175 «Інформаційно-вимірювальна техніка»

Освітня програма – «Якість, стандартизація, сертифікація»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,  
професор, д-р техн. наук

 В. Г. Равлюк

« 28 » 11 2025 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Устименко Олега Олександровича

1. Тема «Удосконалення методів, засобів вимірювання газових мереж».

керівник Тимофєєва Лариса Андріївна, професор, д-р техн. наук

затверджені наказом по механіко-енергетичному факультету від

«    » 2025 року №    .

2. Строк подання студентом закінченої роботи «28» грудня 2025 року.

3. Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи отримати під час проходження переддипломної практики на підприємстві технічного профілю, що здійснює експлуатацію та технічне обслуговування газових мереж.

4. Під час проходження переддипломної практики необхідно ознайомитися з організаційною структурою підприємства, функціональними обов'язками його підрозділів, технічними характеристиками газових мереж, особливостями їх експлуатації, а також із внутрішньою технічною та нормативно-методичною документацією у сфері вимірювання параметрів природного газу. Студент повинен вивчити нормативно-правову та стандартну базу у сфері метрологічного забезпечення вимірювань, а також проаналізувати чинну практику контролю витрати, тиску, температури газу та обліку втрат у газових мережах.

5. На основі зібраних матеріалів необхідно сформулювати методичний підхід до удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж, виконати аналіз застосовуваних вимірювальних методик і засобів, визначити основні проблемні аспекти та обґрунтувати напрями їх удосконалення. Студент має отримати вихідні дані для виконання аналітичної та економічної частин роботи, зокрема щодо рівня втрат природного газу, структури експлуатаційних витрат, організації вимірювального контролю та ефективності функціонування газових мереж.

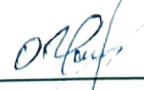
6 Перелік графічного матеріалу:

Графічний матеріал виконати у вигляді презентації (обсяг 15-20 слайдів).

7 Дата видачі завдання «24» лютого 2025 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи                                                                                              | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1. Ознайомлення з діяльністю підприємства у сфері експлуатації газових мереж, його організаційною структурою та технічною документацією.       | 26.02 - 02.03                 | виконано |
| 2. Аналіз нормативно-правової та стандартної бази у сфері вимірювання параметрів природного газу та метрологічного забезпечення газових мереж. | 03.03 – 13.04                 | виконано |
| 3. Дослідження існуючих методів і засобів вимірювання витрати, тиску, температури природного газу та обліку його втрат.                        | 14.04 – 10.06                 | виконано |
| 4. Аналіз чинної системи контролю та моніторингу параметрів газових мереж в умовах їх експлуатації.                                            | 11.06 – 03.07                 | виконано |
| 5. Обґрунтування напрямів удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж.                                                           | 04.07 – 01.09                 | виконано |
| 6. Розроблення удосконаленої методики вимірювання та обліку втрат природного газу.                                                             | 02.09 – 05.10                 | виконано |
| 7. Оцінка економічної та організаційної ефективності впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж.                   | 06.10 - 16.11                 | виконано |
| 8. Розробка та оформлення слайдів                                                                                                              | з 17.11.25 по 27.11.25        | виконано |
| 9. Отримання рецензії на МКР                                                                                                                   | 01.12.25                      | виконано |
| 10. Захист МКР в ДЕК                                                                                                                           | 14.01.26                      |          |

Студент  Олег УСТИМЕНКО

Керівник  Лариса ТИМОФЄЄВА

## **АНОТАЦІЯ**

Кваліфікаційна робота включає 15 слайдів презентації та 110 аркушів пояснювальної записки формату А4.

Ключові слова: газові мережі, вимірювання параметрів газу, витрата газу, тиск і температура газу, засоби вимірювання, метрологічне забезпечення, автоматизований контроль, енергоефективність.

Об'єктом дослідження є газові мережі систем газопостачання як об'єкт вимірювального та метрологічного контролю.

Предметом дослідження є методи, засоби та організаційно-методичні підходи до вимірювання параметрів природного газу, обліку його витрати та втрат у газових мережах.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування та розроблення удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж з метою підвищення точності обліку природного газу, достовірності контролю параметрів газу та підвищення енергоефективності й надійності систем газопостачання.

У роботі проаналізовано сучасний стан газових мереж і чинні методи вимірювання параметрів природного газу, розглянуто нормативно-правову та нормативно-методичну базу метрологічного забезпечення вимірювань. Проведено аналіз засобів вимірювання витрати, тиску та температури газу, а також існуючих підходів до обліку втрат природного газу. Виявлено основні недоліки традиційних методів і засобів вимірювання, що знижують точність та оперативність вимірювального контролю. Розроблено удосконалену методику вимірювання та обліку втрат природного газу в газових мережах, яка базується на комплексному використанні сучасних засобів вимірювання, автоматизованому зборі та обробці даних. Запропоновано рекомендації щодо впровадження удосконаленої системи вимірювання, виконано оцінку її технічної та економічної ефективності, а також розглянуто питання охорони праці та безпеки під час виконання вимірювальних робіт.

## **ABSTRACT**

The qualification work includes 15 presentation slides and 110 pages of explanatory notes in A4 format.

Keywords: gas networks, gas parameter measurement, gas flow rate, gas pressure and temperature, measuring instruments, metrological support, automated monitoring, energy efficiency.

The object of the study is gas networks of gas supply systems as an object of measurement and metrological control. The subject of the study is methods, measuring instruments, and organizational and methodological approaches to measuring natural gas parameters, gas flow accounting, and loss assessment in gas networks. The purpose of the qualification work is to substantiate and develop improved methods and instruments for gas network measurements in order to increase the accuracy of natural gas accounting, the reliability of gas parameter monitoring, and the energy efficiency and reliability of gas supply systems.

The work analyzes the current state of gas networks, existing methods for measuring natural gas parameters, and the regulatory and metrological framework. Measuring instruments for gas flow rate, pressure, and temperature are analyzed, as well as approaches to natural gas loss accounting. The main shortcomings of traditional measurement methods that reduce accuracy and operational efficiency are identified. An improved methodology for measuring and accounting natural gas losses in gas networks is developed, based on the integrated use of modern measuring instruments and automated data acquisition and processing. Recommendations for implementing the improved measurement system are proposed, its technical and economic efficiency is evaluated, and occupational health and safety issues during measurement operations are considered.

## Зміст

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ                                                                                                                       | 10 |
| 1 Теоретичні основи та аналіз сучасних методів і засобів вимірювання газових мереж                                          | 12 |
| 1.1 Газові мережі як об'єкт вимірювання: призначення, класифікація та особливості функціонування                            | 12 |
| 1.2 Нормативно-правова та стандартна база вимірювання параметрів газових мереж                                              | 15 |
| 1.3 Аналіз існуючих методів і засобів вимірювання параметрів газу в газових мережах                                         | 19 |
| 1.4 Метрологічне забезпечення вимірювань у газових мережах                                                                  | 23 |
| 1.5 Аналіз сучасного стану та проблем вимірювань у газових мережах                                                          | 25 |
| Висновки до розділу 1                                                                                                       | 28 |
| 2 Аналіз об'єкта дослідження та існуючої системи вимірювання газових мереж                                                  | 31 |
| 2.1 Характеристика об'єкта дослідження та газової мережі як об'єкта вимірювання                                             | 31 |
| 2.2 Аналіз існуючої системи вимірювання параметрів газу на об'єкті дослідження                                              | 34 |
| 2.3 Аналіз похибок вимірювання та втрат газу в газових мережах                                                              | 37 |
| 2.4 Аналіз організації метрологічного забезпечення та контролю вимірювань у газових мережах                                 | 40 |
| 2.5 Розширений аналіз інформаційного забезпечення та систем збору, передачі й обробки вимірювальних даних у газових мережах | 44 |
| 2.6 Обґрунтування необхідності удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж                                    | 47 |

|           |       |           |                                                                                     |          |                                                          |         |       |         |
|-----------|-------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------|---------|-------|---------|
|           |       |           |                                                                                     |          | МКРМЕ.175.26.27.00. ПЗ                                   |         |       |         |
| Зм        | Аркуш | № докум.  | Підпис                                                                              | Дата     | Удосконалення методів, засобів вимірювання газових мереж | Літер   | Аркуш | Аркушів |
| Розробив  |       | Устименко |  | 25.02.25 |                                                          |         |       |         |
| Перевірів |       | Тимофєєва |  | 26.02.25 |                                                          |         | 4     | 94      |
| Реєнз.    |       | Бабенко   |  |          |                                                          | УкрДУЗТ |       |         |
| Н. контр. |       | Шовкун    |  | 28.02.25 |                                                          |         |       |         |
| Затв.     |       | Равлюк    |  | 01.03.25 |                                                          |         |       |         |

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.7 Узагальнення результатів аналізу та формування вимог до удосконаленої системи вимірювання газових мереж                             | 49 |
| Висновки до розділу 2                                                                                                                   | 53 |
| 3 Удосконалення методів і засобів вимірювання параметрів газових мереж                                                                  | 55 |
| 3.1 Розширене обґрунтування концепції удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж                                         | 55 |
| 3.2 Вибір та обґрунтування удосконалених методів вимірювання параметрів газу в газових мережах                                          | 59 |
| 3.3 Вибір та обґрунтування сучасних засобів вимірювання для газових мереж                                                               | 62 |
| 3.4 Розроблення структури та принципу функціонування удосконаленої системи вимірювання газових мереж                                    | 66 |
| 3.5 Розширений алгоритм реалізації та впровадження удосконаленої системи вимірювання газових мереж                                      | 69 |
| 3.6 Оцінка техніко-економічної ефективності впровадження удосконаленої системи вимірювання газових мереж                                | 73 |
| Висновки до розділу 3                                                                                                                   | 77 |
| 4 Охорона праці, промислова та екологічна безпека під час експлуатації газових мереж                                                    | 79 |
| 4.1 Аналіз умов праці та небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час експлуатації газових мереж і вимірювального обладнання     | 79 |
| 4.2 Заходи з охорони праці та промислової безпеки під час експлуатації газових мереж і вимірювального обладнання                        | 81 |
| 4.3 Заходи з пожежної та вибухової безпеки під час експлуатації газових мереж і систем вимірювання                                      | 84 |
| 4.4 Дії персоналу в разі аварійних ситуацій та витоків газу в газових мережах                                                           | 87 |
| 4.5 Екологічні аспекти експлуатації газових мереж та вплив удосконалених систем вимірювання на зменшення негативного впливу на довкілля | 90 |

|                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Висновки до розділу 4                                                                                                                                  | 92  |
| 5 Економічне обґрунтування удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж                                                                   | 94  |
| 5.1 Обґрунтування економічної доцільності удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж                                                    | 94  |
| 5.2 Розрахунок економічного ефекту від упровадження удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж                                          | 97  |
| 5.3 Оцінка строку окупності та узагальнених показників економічної ефективності впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж | 100 |
| Висновки до розділу 5                                                                                                                                  | 102 |
| Загальні висновки                                                                                                                                      | 105 |
| Список використаних джерел                                                                                                                             | 107 |

|    |       |          |        |      |                        |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|
|    |       |          |        |      | МКРМЕ.175.26.27.00. ПЗ |
|    |       |          |        |      |                        |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |

## Вступ

Сучасні газорозподільні та газотранспортні мережі є складними технічними системами, надійність і безперебійність функціонування яких безпосередньо залежать від рівня розвитку методів і засобів вимірювання. Зростання обсягів споживання природного газу, необхідність забезпечення енергетичної безпеки, інтеграція України до європейського енергоринку та впровадження міжнародних стандартів (ISO, EN, OIML) висувають підвищені вимоги до достовірності, точності й оперативності вимірювань параметрів газових мереж. У цих умовах удосконалення засобів та методів вимірювання набуває стратегічного значення, оскільки є основою для підвищення ефективності експлуатації мереж, попередження аварійних ситуацій та підвищення економічної доцільності роботи підприємств газового сектору.

Газові мережі функціонують у складних експлуатаційних умовах, що супроводжуються значними коливаннями тиску й температури, впливом корозії, старінням матеріалів, наявністю дефектів та неоднорідностей у трубопроводах. Усе це ускладнює процес вимірювання та вимагає застосування високотехнологічних засобів контролю. Класичні прилади — манометри, ротаметри, механічні лічильники газу — поступово поступаються місцем сучасним електронним цифровим системам, ультразвуковим, турбінним, коріолісовим витратомірам, автоматизованим вимірювально-діагностичним комплексам і системам дистанційного моніторингу. Проте навіть найсучасніші технічні рішення вимагають удосконалення методичних підходів, метрологічного забезпечення, алгоритмів обробки вимірювальної інформації та підвищення чутливості й відтворюваності вимірювань.

Важливою проблемою залишається раннє виявлення відхилень у роботі газових мереж, зокрема витоків газу, зміни гідравлічного режиму,

засмічень, появи дефектів у зварних з'єднаннях, зменшення прохідної здатності трубопроводів. Від точності вимірювань тиску, температури, витрати, густини та складу газу залежить не лише коректність комерційного обліку, а й можливість оперативного реагування на аварійні ситуації. Сучасні тенденції розвитку галузі включають цифровізацію вимірювальних процесів, впровадження систем SCADA, IoT, smart metering, використання нейромережових алгоритмів для аналізу параметрів газових потоків, а також інтеграцію даних вимірювань у комплексні системи технічної діагностики.

Удосконалення засобів і методів вимірювання газових мереж також є ключовим для забезпечення відповідності міжнародним стандартам енергоефективності, точності комерційного обліку та екологічної безпеки. Україна, як частина європейського енергетичного простору, повинна забезпечити уніфікацію метрологічних підходів, гармонізацію системи контролю з вимогами EN 1776, EN 12480, ISO 17089, OIML R140 та нормативної бази, що регулює вимірювання в енергетичних мережах.

Проблематика роботи охоплює комплекс питань: аналіз сучасних технологій вимірювання параметрів газових потоків; ідентифікація недоліків існуючих технічних рішень; розгляд методів неруйнівного контролю та діагностики трубопроводів як частини вимірювального комплексу; розроблення пропозицій щодо підвищення точності вимірювань; удосконалення алгоритмів контролю працездатності та метрологічної надійності вимірювальних систем; створення рекомендацій щодо впровадження модернізованих засобів у практику експлуатації газових мереж.

Таким чином, актуальність теми дипломної роботи визначається необхідністю підвищення точності, достовірності та оперативності вимірювань параметрів газових мереж в умовах зростаючих вимог до безпеки, надійності та ефективності газорозподільних систем. Удосконалення методів вимірювання дозволить не лише знизити аварійність

і підвищити економічну ефективність експлуатації, але й забезпечити відповідність національної газової інфраструктури сучасним міжнародним стандартам.

## 1. Теоретичні основи та аналіз сучасних методів і засобів вимірювання газових мереж

### 1.1. Газові мережі як об'єкт вимірювання: призначення, класифікація та особливості функціонування

Газові мережі є складними інженерними системами, призначеними для транспортування та розподілу природного газу від джерел постачання до кінцевих споживачів. Надійність і безпека їх функціонування значною мірою залежать від точності вимірювання основних параметрів газу, зокрема витрати, тиску, температури та фізико-хімічних характеристик. У зв'язку з цим газові мережі виступають специфічним об'єктом теплотехнічних і метрологічних вимірювань, що потребує застосування спеціалізованих методів і засобів контролю.

Особливістю газових мереж є робота в умовах змінних режимів навантаження, значної протяжності трубопроводів, різноманітності конструктивних рішень і впливу зовнішніх факторів. Це ускладнює організацію вимірювального контролю та підвищує вимоги до метрологічного забезпечення.

#### Призначення та структура газових мереж

Газові мережі призначені для:

- транспортування природного газу під заданим тиском;
- забезпечення безперервного та безпечного газопостачання;
- комерційного та технологічного обліку газу;
- контролю режимів роботи та виявлення аварійних ситуацій.

За структурою газові мережі включають магістральні трубопроводи, газорозподільні мережі, газорегуляторні пункти, вузли обліку газу та допоміжне обладнання. Кожен із цих елементів є окремим об'єктом вимірювання та потребує відповідного вимірювального забезпечення.

## Класифікація газових мереж

Для систематизації підходів до вимірювання газові мережі класифікують за низкою ознак.

Таблиця 1.1 — Класифікація газових мереж

| Ознака класифікації     | Види газових мереж                   |
|-------------------------|--------------------------------------|
| За призначенням         | газотранспортні, газорозподільні     |
| За рівнем тиску         | високого, середнього, низького тиску |
| За способом прокладання | підземні, надземні                   |
| За матеріалом труб      | сталеві, поліетиленові               |
| За характером обліку    | комерційні, технологічні             |

Наведена класифікація визначає вимоги до методів і засобів вимірювання, оскільки кожен тип газової мережі має власні експлуатаційні та метрологічні особливості.

### Основні параметри газу, що підлягають вимірюванню

Під час експлуатації газових мереж контролюється низка параметрів, від точності вимірювання яких залежить як економічна ефективність, так і безпека системи.

Таблиця 1.2 — Основні параметри газу в газових мережах

| Параметр     | Одиниця виміру | Значення для вимірювання          |
|--------------|----------------|-----------------------------------|
| Витрата газу | м³/год, кг/год | Комерційний і технологічний облік |
| Тиск         | МПа, кПа       | Контроль режимів роботи           |
| Температура  | °С             | Корекція об'єму газу              |
| Густина      | кг/м³          | Розрахунок масової витрати        |
| Склад газу   | %              | Визначення теплоти згоряння       |

Зазначені параметри взаємопов'язані, що зумовлює необхідність комплексного підходу до їх вимірювання.

Особливості газових мереж як об'єкта вимірювання

Газові мережі мають низку специфічних особливостей, які ускладнюють процес вимірювання:

- змінність тиску та витрати в часі;
- вплив температури навколишнього середовища;
- наявність турбулентних потоків;
- залежність фізичних властивостей газу від його складу;
- протяжність мереж і розосередженість вимірювальних пунктів.

Ці фактори зумовлюють появу додаткових похибок вимірювання та вимагають застосування корекційних методик і автоматизованих систем збору даних.

Роль вимірювань у забезпеченні безпеки та ефективності газових мереж

Точне вимірювання параметрів газу є ключовою умовою:

- забезпечення промислової та техногенної безпеки;
- своєчасного виявлення витоків і аварій;

- коректного комерційного обліку газу;
- оптимізації режимів роботи газових мереж;
- зниження втрат газу.

Недостатня точність вимірювань або використання застарілих засобів вимірювання призводить до економічних збитків, порушення нормативних вимог і підвищення ризику аварійних ситуацій.

Таким чином, газові мережі є складним та багатофакторним об'єктом вимірювання, що характеризується змінними режимами роботи, значною протяжністю та підвищеними вимогами до безпеки. Це обґрунтовує необхідність удосконалення методів і засобів вимірювання параметрів газу, впровадження сучасних метрологічних підходів і автоматизованих систем контролю, що є предметом подальших досліджень у цій кваліфікаційній роботі.

## 1.2. Нормативно-правова та стандартна база вимірювання параметрів газових мереж

Вимірювання параметрів газових мереж здійснюється в межах чітко регламентованого нормативно-правового поля, яке визначає вимоги до точності, надійності та метрологічного забезпечення засобів вимірювання. Дотримання цих вимог є обов'язковою умовою безпечної експлуатації газових мереж, коректного комерційного обліку природного газу та запобігання техногенним аваріям.

Нормативно-правова та стандартна база у сфері вимірювання газу формується на національному та міжнародному рівнях і включає закони, державні будівельні норми, технічні регламенти, національні та гармонізовані європейські стандарти.

Законодавче регулювання вимірювань у газових мережах.

Основоположним документом у сфері вимірювань є законодавство з метрології, яке визначає правові засади забезпечення єдності вимірювань. Відповідно до вимог чинного законодавства, засоби вимірювання, що застосовуються для комерційного обліку природного газу, підлягають обов'язковій повірці та метрологічному контролю.

Крім того, діяльність у сфері газопостачання регламентується спеціальними галузевими законами та підзаконними актами, які встановлюють вимоги до експлуатації газових мереж, безпеки газопостачання та обліку природного газу.

Державні будівельні норми та галузеві правила

Державні будівельні норми та галузеві правила визначають технічні вимоги до проєктування, будівництва та експлуатації газових мереж, зокрема щодо розміщення вузлів обліку газу, вибору засобів вимірювання та умов їх встановлення.

Особлива увага приділяється вимогам до:

- розташування вимірювальних приладів;
- забезпечення доступу для технічного обслуговування та повірки;
- умов експлуатації приладів у різних кліматичних зонах;
- захисту засобів вимірювання від несанкціонованого втручання.

Національні та гармонізовані стандарти у сфері вимірювання газу

Національні стандарти, гармонізовані з європейськими та міжнародними, встановлюють технічні та метрологічні вимоги до лічильників газу, витратомірів, коректорів об'єму та допоміжних засобів вимірювання.

Таблиця 1.3 — Основні нормативні документи у сфері вимірювання газових мереж

| Група документів    | Характеристика та призначення                          |
|---------------------|--------------------------------------------------------|
| Закони України      | Регулювання метрологічної діяльності та газопостачання |
| ДБН та правила      | Вимоги до проектування й експлуатації газових мереж    |
| ДСТУ EN / ISO       | Метрологічні вимоги до засобів вимірювання газу        |
| Технічні регламенти | Оцінка відповідності засобів вимірювання               |
| Галузеві методики   | Порядок обліку та контролю витрати газу                |

Використання гармонізованих стандартів сприяє уніфікації методів вимірювання та підвищенню достовірності результатів.

Вимоги до засобів вимірювання газу

Засоби вимірювання, що застосовуються в газових мережах, повинні відповідати низці обов'язкових вимог:

- забезпечення заданої класу точності;
- стабільність метрологічних характеристик у процесі експлуатації;
- стійкість до впливу тиску, температури та складу газу;
- можливість автоматизованого зчитування та обробки даних.

Особливо жорсткі вимоги висуваються до засобів комерційного обліку газу, оскільки похибки вимірювання безпосередньо впливають на економічні розрахунки між постачальниками та споживачами.

Нормативні вимоги до методів вимірювання

Методи вимірювання витрати газу регламентуються стандартами, що визначають принципи дії вимірювальних приладів, умови їх застосування та

допустимі похибки. Найбільш поширеними є методи, засновані на вимірюванні перепаду тиску, швидкості потоку, об'єму або маси газу.

Таблиця 1.4 — Основні методи вимірювання витрати газу та їх нормативне регламентування

| Метод вимірювання  | Нормативне забезпечення | Особливості застосування          |
|--------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| За перепадом тиску | ДСТУ EN ISO 5167        | Висока точність, складний монтаж  |
| Турбінний          | ДСТУ EN 12261           | Чутливість до забруднень          |
| Ультразвуковий     | ДСТУ EN ISO 17089       | Висока точність, висока вартість  |
| Мембранний         | ДСТУ EN 1359            | Поширений у побуті                |
| Роторний           | ДСТУ EN 12480           | Стабільність у широкому діапазоні |

#### Метрологічне забезпечення та контроль

Метрологічне забезпечення вимірювань у газових мережах включає:

- первинну та періодичну повірку засобів вимірювання;
- калібрування та контроль метрологічних характеристик;
- застосування коректорів об'єму газу до стандартних умов;
- ведення облікової та технічної документації.

Недотримання вимог метрологічного забезпечення призводить до накопичення похибок і зниження достовірності результатів вимірювання.

Таким чином, нормативно-правова та стандартна база вимірювання параметрів газових мереж формує комплекс вимог до засобів і методів вимірювання, їх метрологічного забезпечення та умов експлуатації. Аналіз чинних нормативних документів свідчить про високий рівень регламентації процесів вимірювання, однак на практиці виникає низка проблем, пов'язаних із застарілими методами, обмеженими можливостями автоматизації та складністю забезпечення високої точності в умовах змінних режимів роботи газових мереж. Це обґрунтовує необхідність подальшого удосконалення методів і засобів вимірювання, що буде розглянуто в наступних підрозділах роботи.

### 1.3. Аналіз існуючих методів і засобів вимірювання параметрів газу в газових мережах

Вимірювання параметрів газу в газових мережах є основою для забезпечення безпечної експлуатації, коректного комерційного обліку та ефективного управління режимами газопостачання. У практиці експлуатації газових мереж застосовується значна кількість методів і засобів вимірювання, що відрізняються за принципом дії, точністю, умовами застосування та сферою використання. Аналіз цих методів є необхідним для визначення їх переваг, недоліків і можливостей подальшого удосконалення.

#### Класифікація методів вимірювання параметрів газу

Існуючі методи вимірювання параметрів газу умовно поділяються на прямі та непрямі, а також на контактні та безконтактні. Найбільшого поширення в газових мережах набули методи вимірювання витрати, оскільки саме цей параметр визначає обсяг спожитого газу та використовується для фінансових розрахунків.

#### Таблиця 1.5 — Класифікація методів вимірювання параметрів газу

| Ознака класифікації     | Основні методи                        |
|-------------------------|---------------------------------------|
| За принципом дії        | механічні, пневматичні,<br>електронні |
| За способом вимірювання | прямі, непрямі                        |
| За характером контакту  | контактні, безконтактні               |
| За призначенням         | комерційні, технологічні              |
| За рівнем автоматизації | автономні, автоматизовані             |

Зазначена класифікація дозволяє систематизувати підходи до вимірювання та визначити доцільність застосування того чи іншого методу в конкретних умовах експлуатації.

#### Методи вимірювання витрати газу

Найбільш поширеними в газових мережах є методи вимірювання витрати газу, засновані на різних фізичних принципах.

Метод вимірювання за перепадом тиску базується на визначенні різниці тиску на звужувальному пристрої (діафрагмі, соплі, трубці Вентурі). Даний метод забезпечує високу точність і стандартизований нормативною базою, проте потребує складного монтажу, точного дотримання прямих ділянок трубопроводу та чутливий до забруднення газу.

Турбінні та роторні лічильники працюють за принципом перетворення кінетичної енергії потоку газу в механічний рух вимірювального елемента. Вони характеризуються достатньо високою точністю та широким діапазоном вимірювань, однак чутливі до пульсацій потоку та механічних домішок.

Ультразвукові методи ґрунтуються на вимірюванні часу проходження ультразвукових хвиль уздовж і проти напрямку потоку газу. Ці методи мають низку переваг, зокрема відсутність рухомих частин, низькі гідравлічні втрати

та можливість застосування в автоматизованих системах обліку, проте характеризуються високою вартістю та підвищеними вимогами до стабільності параметрів газу.

#### Методи вимірювання тиску та температури газу

Вимірювання тиску та температури газу є необхідною умовою корекції об'єму газу до стандартних умов. Для вимірювання тиску застосовуються пружинні, мембранні та електронні датчики, які забезпечують необхідну точність у широкому діапазоні робочих параметрів.

Температура газу вимірюється за допомогою термопар, термометрів опору та напівпровідникових датчиків. Вибір конкретного засобу вимірювання залежить від умов експлуатації, необхідної точності та вимог до швидкодії.

#### Засоби вимірювання складу та якості газу

Окрім основних параметрів, у газових мережах контролюється склад і теплота згоряння газу. Для цього застосовуються хроматографи та калориметри, які дозволяють визначати фізико-хімічні характеристики газу. Такі вимірювання є важливими для енергетичних розрахунків і контролю відповідності газу нормативним вимогам.

#### Аналіз похибок вимірювання

Існуючі методи вимірювання параметрів газу характеризуються наявністю систематичних та випадкових похибок, що виникають унаслідок:

- змін режимів роботи газових мереж;
- впливу температури та тиску навколишнього середовища;
- нестабільності складу газу;
- забруднення вимірювальних приладів;
- похибок монтажу та експлуатації.

Накопичення похибок особливо критичне для комерційного обліку газу, де навіть незначні відхилення призводять до суттєвих економічних втрат.

## Порівняльна характеристика основних засобів вимірювання.

Таблиця 1.6 — Порівняльна характеристика основних засобів вимірювання витрати газу

| Тип приладу    | Переваги                               | Недоліки                 |
|----------------|----------------------------------------|--------------------------|
| Діафрагмовий   | Висока точність,<br>стандартизованість | Складний<br>монтаж       |
| Турбінний      | Широкий діапазон<br>вимірювань         | Чутливість до<br>домішок |
| Роторний       | Стабільність показів                   | Механічний знос          |
| Ультразвуковий | Безконтактність,<br>автоматизація      | Висока вартість          |
| Мембранний     | Простота, надійність                   | Обмежений<br>діапазон    |

Таким чином, аналіз існуючих методів і засобів вимірювання параметрів газу показує, що жоден із застосовуваних підходів не є універсальним і кожен має певні обмеження щодо точності, умов застосування та експлуатаційної надійності. В умовах зростання вимог до енергоефективності, безпеки та автоматизації газових мереж виникає об'єктивна необхідність удосконалення методів і засобів вимірювання, інтеграції різних підходів та впровадження сучасних автоматизованих систем контролю, що є предметом подальших досліджень у цій кваліфікаційній роботі.

### 1.4. Метрологічне забезпечення вимірювань у газових мережах

Метрологічне забезпечення вимірювань у газових мережах є фундаментальною складовою функціонування всієї газотранспортної системи, оскільки від точності, відтворюваності та стабільності результатів вимірювань залежить як безпечність експлуатації трубопроводів, так і економічна ефективність підприємств. У сучасних умовах розвитку енергетичної інфраструктури вимоги до вимірювань істотно підвищуються, що зумовлено необхідністю інтеграції в європейські ринки, забезпеченням прозорості комерційного обліку та переходом до цифрових систем моніторингу. Метрологічне забезпечення охоплює комплекс організаційних, технічних, методичних і нормативних заходів, спрямованих на забезпечення єдності вимірювань та відповідності засобів вимірювальної техніки встановленим стандартам.

Ключовим аспектом метрологічного забезпечення є нормування метрологічних характеристик засобів вимірювання. Для датчиків тиску, температури та витратомірів встановлюються такі параметри, як основна похибка, додаткова похибка під впливом температури, похибка нуля, зона нечутливості, стабільність, повторюваність і довготривала надійність. Відповідність цим характеристикам перевіряється в процесі повірки та калібрування. Повірка — це офіційна процедура, під час якої встановлюється відповідність засобу вимірювання метрологічним вимогам. Калібрування, у свою чергу, дозволяє визначити фактичні значення похибок і розробити поправки для підвищення точності вимірювань.

У газових мережах калібрування особливо важливе для витратомірів, оскільки умови руху газу значно відрізняються від лабораторних. Наявність турбулентності, неоднорідностей профілю швидкості, корозії внутрішньої поверхні трубопроводу та домішок у газі створює додаткові похибки, які мають бути враховані при експлуатації приладу. Ультразвукові та коріолісові витратоміри часто проходять багаторівневе калібрування із застосуванням

еталонних установок високої точності, що дозволяє забезпечити взаємозамінність та відтворюваність показань при встановленні на різні ділянки мережі.

Метрологічне забезпечення включає також розроблення методик виконання вимірювань (MBV). Такі методики визначають порядок встановлення датчиків, вимоги до умов експлуатації, способи усунення похибок, частоту технічного огляду та порядок документування результатів. У разі вимірювання витрати газу методика містить положення про необхідність компенсації температури та тиску, визначення коефіцієнтів розширення, врахування складу газу та характеристик трубопроводів. Значну роль відіграє аналіз невизначеності вимірювань, який дозволяє оцінити сумарний вплив випадкових, систематичних та зовнішніх чинників на кінцевий результат.

Важливим питанням метрологічного забезпечення є атестація вимірювальних каналів, тобто оцінка їхньої здатності забезпечувати задану точність у реальних умовах експлуатації. Атестація проводиться з урахуванням як характеристик окремих приладів, так і характеристик всієї системи, що включає трубопровід, фільтри, регулятори, теплові ізоляційні системи та інші елементи газової мережі. У сучасних газових компаніях створюються автоматизовані системи збору та аналізу вимірювальних даних, що забезпечують відстеження відхилень у реальному часі та дозволяють проводити діагностику несправностей.

Разом із тим метрологічне забезпечення вимірювань стикається з низкою проблем: застарілість обладнання, недостатня автоматизація процесів повірки, відсутність уніфікованих цифрових платформ для обробки даних, несвоєчасність калібрування, невідповідність реальних умов експлуатації тим, що передбачені методиками. У зв'язку з цим актуальності набуває впровадження інтелектуальних систем самодіагностики, здатних контролювати стан датчиків та прогнозувати їхню

відмову. У перспективі важливим напрямом розвитку є гармонізація національних метрологічних вимог із європейськими стандартами, а також створення високоточних еталонних установок для випробування витратомірів та сенсорів у реальних газодинамічних умовах.

Таким чином, метрологічне забезпечення є ключовим компонентом ефективної роботи газових мереж, забезпечуючи точність, достовірність і стабільність вимірювань параметрів газу. Розвиток метрологічної інфраструктури створює основу для впровадження сучасних технологій контролю та автоматизації, що дозволяє підвищити рівень техногенної безпеки та економічної ефективності газотранспортної системи.

#### 1.5. Аналіз сучасного стану та проблем вимірювань у газових мережах

Сучасний стан вимірювальних систем газових мереж характеризується поєднанням традиційних технологій, що застосовуються протягом десятиліть, і новітніх цифрових рішень, які активно впроваджуються в останні роки. Незважаючи на значний прогрес у сфері автоматизації та інтелектуальних сенсорних технологій, газові мережі досі стикаються з широким колом проблем, пов'язаних із забезпеченням точності, оперативності та надійності вимірювань. Аналіз показує, що ключові недоліки стосуються технічного стану обладнання, обмеженості методів вимірювання, низького рівня цифровізації, складності виявлення витоків та недостатньої інтеграції вимірювальних засобів у комплексні діагностичні системи.

Однією з найбільш критичних проблем є значна частка застарілих засобів вимірювальної техніки. На багатьох підприємствах досі експлуатуються механічні лічильники газу, аналогові манометри та витратоміри, що базуються на перепаді тиску. Таке обладнання характеризується високою чутливістю до зношення, забруднень, зміни

профілю потоку та механічних коливань, що суттєво знижує його точність. Відсутність автоматичного контролю стану датчиків призводить до тривалої роботи обладнання у несправному або некоректно відкаліброваному стані, що створює ризики помилок у комерційному обліку газу та підвищення небалансів мережі. Крім того, нерідко спостерігається несвоєчасна перевірка та калібрування приладів через логістичні, фінансові або організаційні причини.

Суттєві проблеми виникають і через недостатній рівень автоматизації. У багатьох мережах інформація про витрату, тиск і температуру газу збирається вручну або з використанням застарілих систем телемеханіки, які не забезпечують ані повноти даних, ані їх оперативності. Унаслідок цього неможливо забезпечити режим реального часу для моніторингу мереж, прогнозування аварій та швидкого виявлення нештатних ситуацій. У європейських країнах широке застосування отримали інтелектуальні системи SMART GAS, тоді як в Україні їх впровадження перебуває на початковій стадії.

Однією з найскладніших задач є виявлення витоків газу. Традиційні методи, такі як вимірювання небалансів потоків, акустичний контроль чи поверхневі газоаналізатори, не дозволяють з високою точністю ідентифікувати малий витік, особливо на довгих підземних ділянках мереж. Витоки можуть бути зумовлені корозійними ушкодженнями, дефектами зварних швів, зсувами ґрунту чи внутрішньою деградацією труб. Недосконалість методів їх виявлення призводить до значних економічних втрат, зниження безпеки та екологічних ризиків. Інноваційні методи — оптоволоконні сенсори, алгоритми машинного навчання, акустична томографія — лише частково впроваджені у практику і потребують подальшого технічного розвитку та адаптації до умов експлуатації.

Сучасні газові мережі також стикаються з проблемами, пов'язаними зі зміною режимів роботи, старінням інфраструктури та недостатністю даних

для побудови цифрових моделей. Відсутність точних історичних записів про параметри потоку та стан трубопроводів ускладнює прогнозування аварійності та оцінку залишкового ресурсу мережі. У багатьох випадках вимірювальні канали не інтегровані з системами управління, що обмежує можливість автоматичного регулювання тиску, оптимізації транспортних режимів та своєчасної діагностики.

Суттєвим викликом залишається недостатня гармонізація національної нормативної бази з міжнародними стандартами. Багато методів і приладів, затверджених у різних країнах ЄС, вимагають адаптації до національних вимог або залишаються недоступними через відсутність належної сертифікації. Це стримує модернізацію газових мереж і знижує конкурентоспроможність підприємств на європейському енергетичному ринку.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що сучасний стан вимірювальних систем газових мереж характеризується суттєвими структурними та технологічними обмеженнями, які потребують комплексного вирішення. Основними напрямками модернізації є впровадження високоточних інтелектуальних сенсорів, цифрових систем моніторингу, автоматизованих алгоритмів діагностики, а також активна інтеграція в міжнародний метрологічний простір. Подальший розвиток вимірювальних технологій створить передумови для підвищення точності, енергоефективності та безпеки газотранспортних систем у довгостроковій перспективі.

## Висновки до розділу 1

У результаті проведеного теоретичного аналізу встановлено, що газові мережі є складними технічними системами, параметри яких зазнають постійних змін під впливом експлуатаційних, технологічних та зовнішніх

факторів. Основними величинами, що визначають безпеку та ефективність роботи газотранспортної інфраструктури, є тиск, температура, витрата, густина, фізико-хімічний склад газу, а також геометричний і структурний стан трубопроводів. Їх точне вимірювання становить центральну ланку процесів моніторингу, діагностики та комерційного обліку природного газу.

Аналіз сучасних засобів вимірювальної техніки продемонстрував широке впровадження високотехнологічних сенсорів, ультразвукових та коріолісових витратомірів, цифрових датчиків тиску і температури, а також систем неруйнівного контролю трубопроводів. Водночас значна частина обладнання, яке використовується у газових мережах, залишається технічно та морально застарілою, що знижує точність вимірювань та ускладнює оперативне реагування на нештатні ситуації.

Розглянуто роль метрологічного забезпечення як інструмента гарантування єдності та достовірності вимірювань. Повірка, калібрування, атестація вимірювальних каналів, методики виконання вимірювань та оцінка невизначеності формують основу надійного вимірювального процесу. Встановлено, що однією з ключових проблем галузі є недостатня автоматизація метрологічних процедур та слабка інтеграція вимірювальних систем у цифрові платформи моніторингу.

Виявлено, що сучасний стан вимірювань у газових мережах характеризується низкою системних викликів: складністю виявлення малих витоків, низьким рівнем цифровізації, неповною відповідністю міжнародним стандартам, необхідністю модернізації обладнання та вдосконалення алгоритмів обробки даних. Це зумовлює потребу у створенні нових методів вимірювання, удосконаленні існуючих засобів, впровадженні інтелектуальних сенсорних мереж і програмно-аналітичних платформ.

Таким чином, теоретичний аналіз, наведений у розділі, формує комплексне розуміння проблематики вимірювань у газових мережах і створює наукове підґрунтя для подальших досліджень, спрямованих на

удосконалення методів та засобів вимірювальної техніки, що буде розглянуто у наступних розділах дипломної роботи.

Дослідження показало, що сучасні тенденції розвитку вимірювальної техніки для газових мереж орієнтовані на цифровізацію, автоматизацію та підвищення рівня інтелектуалізації вимірювальних систем. Особливу увагу приділено інтеграції сенсорів у мережеві структури типу IoT, впровадженню бездротових технологій передачі даних, використанню хмарних платформ для зберігання й аналізу інформації, а також застосуванню алгоритмів машинного навчання для прогнозування несправностей та оптимізації режимів роботи газових мереж. Такий підхід дозволяє перейти від реактивного до проактивного управління інфраструктурою, що істотно підвищує її надійність і довговічність.

Разом із тим аналіз показав, що незважаючи на наявність широкого спектра сучасних засобів вимірювання, значна кількість організацій продовжує застосовувати традиційні технології, які не відповідають сучасним вимогам точності та оперативності обміну даними. Наявні розбіжності між технічним потенціалом сучасних засобів вимірювань і фактичним рівнем їх впровадження створюють суттєві виклики для галузі. Це особливо актуально для підприємств, які працюють у змішаних інфраструктурах зі старими трубопроводами та багаторічними технологічними обмеженнями. Модернізація вимірювальних систем потребує не лише технічних інвестицій, але й нормативно-методичної гармонізації із європейськими стандартами, а також підвищення кваліфікації персоналу.

Таким чином, проведений теоретичний огляд підтверджує, що удосконалення методів і засобів вимірювання є ключовою умовою підвищення точності, надійності та енергоефективності функціонування газових мереж.

У першому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто газові мережі як складний технічний об'єкт вимірювання, проаналізовано їх призначення, класифікацію та особливості функціонування в умовах експлуатації. Встановлено, що газові мережі характеризуються значною протяжністю, змінними режимами роботи, впливом зовнішніх факторів і підвищеними вимогами до безпеки, що зумовлює складність організації точного та надійного вимірювального контролю.

Проаналізовано нормативно-правову та стандартну базу у сфері вимірювання параметрів газу, яка визначає вимоги до методів, засобів і метрологічного забезпечення вимірювань у газових мережах. Виявлено, що чинна нормативна база забезпечує високий рівень регламентації процесів вимірювання, однак її практична реалізація ускладнюється застарілими технічними рішеннями та обмеженими можливостями автоматизації.

Виконано аналіз існуючих методів і засобів вимірювання витрати, тиску, температури та фізико-хімічних параметрів газу. Встановлено, що застосовувані методи мають як переваги, так і суттєві недоліки, пов'язані з похибками вимірювання, чутливістю до умов експлуатації, механічним зносом та складністю інтеграції в автоматизовані системи контролю.

Узагальнення результатів аналізу показало, що традиційні методи та засоби вимірювання не повною мірою відповідають сучасним вимогам до точності, оперативності та надійності контролю параметрів газових мереж. Це обґрунтовує необхідність удосконалення методів і засобів вимірювання, впровадження комплексних та автоматизованих підходів до вимірювального контролю, що буде розглянуто в наступних розділах кваліфікаційної роботи.

2 Аналіз об'єкта дослідження та існуючої системи вимірювання газових мереж

## 2.1. Характеристика об'єкта дослідження та газової мережі як об'єкта вимірювання

Об'єктом дослідження у кваліфікаційній роботі є газова мережа підприємства газового господарства, що забезпечує транспортування та розподіл природного газу споживачам промислового, комунально-побутового та житлового секторів. У межах даного дослідження газова мережа розглядається не лише як інженерна система газопостачання, а й як складний багатопараметричний об'єкт вимірювання, у якому реалізується сукупність метрологічних, технічних та організаційних процесів контролю.

Газові мережі виконують ключову функцію в енергетичній інфраструктурі, забезпечуючи безперервне та безпечне постачання природного газу. Водночас саме на етапі транспортування та розподілу газу виникають найбільші ризики втрат ресурсу, похибок обліку та аварійних ситуацій, що значною мірою зумовлено недосконалістю існуючих методів і засобів вимірювання.

Газова мережа підприємства являє собою розгалужену систему трубопроводів різного діаметра та призначення, газорегуляторних пунктів, вузлів комерційного й технологічного обліку газу, а також допоміжного обладнання та систем автоматизації. Вимірювальні засоби в газових мережах розміщені на значній відстані один від одного, що зумовлює розподілений характер вимірювань і ускладнює оперативний аналіз отриманих даних.

Особливістю функціонування газових мереж є змінність режимів роботи, яка обумовлена добовими, тижневими та сезонними коливаннями споживання газу. У холодний період року спостерігається суттєве зростання витрати газу, тоді як у міжсезоння та літній період режими роботи мережі суттєво змінюються. Це призводить до нестабільності параметрів газу,

зокрема витрати, тиску та температури, що безпосередньо впливає на точність вимірювань.

Залежно від робочого тиску газові мережі поділяються на ділянки високого, середнього та низького тиску. Кожна з цих ділянок має власні експлуатаційні особливості, що визначають специфіку застосовуваних методів і засобів вимірювання.

Таблиця 2.1 — Характеристика ділянок газової мережі як об'єкта вимірювання

| Тип ділянки      | Робочий тиск  | Основне призначення       | Вимірювальні особливості                            |
|------------------|---------------|---------------------------|-----------------------------------------------------|
| Високого тиску   | понад 0,6 МПа | Транспортування газу      | Підвищені вимоги до надійності та вибухобезпечності |
| Середнього тиску | 0,005–0,6 МПа | Розподіл газу             | Значні коливання витрати                            |
| Низького тиску   | до 0,005 МПа  | Газопостачання споживачів | Високі вимоги до точності обліку                    |

З метрологічної точки зору газова мережа є складним розподіленим об'єктом вимірювання, у якому контролюється ціла сукупність взаємопов'язаних параметрів. Основними з них є витрата газу, тиск, температура, а також об'єм газу, приведений до стандартних умов. У вузлах

контролю якості додатково визначаються фізико-хімічні характеристики газу, зокрема густина та теплота згоряння.

Вузли вимірювання та обліку газу є ключовими елементами системи вимірювального контролю, оскільки саме в них здійснюється визначення кількісних показників споживання газу та формуються дані для комерційних розрахунків. Типовий вузол обліку газу складається з комплексу приладів і допоміжних засобів, що працюють як єдина вимірювальна система.

Таблиця 2.2 — Основні елементи вузла вимірювання газу

| Елемент                  | Функціональне призначення              |
|--------------------------|----------------------------------------|
| Лічильник або витратомір | Визначення витрати газу                |
| Датчик тиску             | Контроль робочого тиску                |
| Датчик температури       | Корекція об'єму газу                   |
| Коректор об'єму          | Приведення показів до стандартних умов |
| Засоби передачі даних    | Дистанційний облік і моніторинг        |

Експлуатація газових мереж здійснюється в умовах впливу численних зовнішніх факторів, серед яких значні коливання температури навколишнього середовища, підвищена вологість, вібрації, механічні навантаження та агресивні середовища. Сукупний вплив цих факторів призводить до поступового погіршення метрологічних характеристик засобів вимірювання та зростання похибок.

Окрему проблему становлять гідродинамічні особливості руху газу в трубопроводах, зокрема турбулентність потоку, пульсації тиску та порушення умов прямолінійних ділянок перед вимірювальними приладами.

Ці явища призводять до появи додаткових систематичних похибок, які складно врахувати в межах традиційних методик вимірювання.

Крім того, розосередженість вимірювальних пунктів і обмежені можливості централізованого збору даних ускладнюють оперативний аналіз стану газової мережі та своєчасне виявлення втрат і несанкціонованих відборів газу. У таких умовах особливої актуальності набуває впровадження автоматизованих систем вимірювання та моніторингу параметрів газових мереж.

Таким чином, газова мережа як об'єкт дослідження характеризується багатопараметричністю, просторовою розподіленістю вимірювальних точок, змінністю режимів роботи та підвищеними вимогами до точності й надійності вимірювань. Аналіз характеристик об'єкта дослідження підтверджує необхідність удосконалення існуючих методів і засобів вимірювання газових мереж, підвищення рівня автоматизації та метрологічного забезпечення, що є підґрунтям для подальших досліджень у наступних підрозділах кваліфікаційної роботи.

## 2.2. Аналіз існуючої системи вимірювання параметрів газу на об'єкті дослідження

Система вимірювання параметрів газу на об'єкті дослідження є складовою частиною загальної системи експлуатації газових мереж і призначена для контролю кількісних та якісних характеристик природного газу, забезпечення комерційного обліку, а також підтримання безпечних режимів роботи мережі. У межах газової мережі вимірювання здійснюється на окремих вузлах, просторово розосереджених по всій її протяжності, що формує децентралізовану структуру вимірювального контролю.

Існуюча система вимірювання параметрів газу базується на використанні локальних вузлів обліку, кожен з яких функціонує відносно

автономно. Дані з таких вузлів здебільшого використовуються для формування звітної інформації, тоді як можливості оперативного аналізу та комплексного моніторингу параметрів газової мережі є обмеженими.

Основними параметрами, що вимірюються в межах газової мережі, є витрата газу, тиск і температура. В окремих контрольних точках додатково здійснюється вимірювання фізико-хімічних характеристик газу з метою перевірки його відповідності нормативним вимогам.

Залежно від призначення вузла та рівня тиску застосовуються різні типи засобів вимірювання витрати газу. Найбільш поширеними є мембранні, роторні, турбінні та ультразвукові лічильники. Вибір конкретного типу приладу обумовлений робочим тиском, діапазоном витрат, умовами експлуатації та вимогами до точності обліку.

Таблиця 2.3 — Засоби вимірювання витрати газу, що застосовуються на об'єкті

| Тип приладу    | Сфера застосування      | Основні переваги     | Основні недоліки      |
|----------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|
| Мембранний     | Низький тиск            | Простота, надійність | Обмежений діапазон    |
| Роторний       | Середній тиск           | Стабільність показів | Чутливість до домішок |
| Турбінний      | Середній і високий тиск | Широкий діапазон     | Пульсаційні похибки   |
| Ультразвуковий | Усі рівні тиску         | Безконтактність      | Висока вартість       |

Для забезпечення корекції результатів вимірювання витрати газу до стандартних умов у складі вузлів обліку використовуються датчики тиску та температури, а також електронні коректори об'єму газу. Коректори

виконують автоматичний перерахунок виміряного об'єму з урахуванням поточних значень тиску та температури, що є обов'язковою умовою коректного комерційного обліку.

Разом з тим аналіз існуючої системи вимірювання показує, що значна частина приладів експлуатується тривалий час і морально застаріла. У таких умовах спостерігається зниження стабільності метрологічних характеристик, збільшення міжповірочних дрейфів і зростання сумарної похибки вимірювань. Особливо це характерно для механічних лічильників, чутливих до зношування та забруднення газу.

Суттєвим недоліком існуючої системи є обмежені можливості автоматизованого збору та централізованої обробки даних. У багатьох випадках зчитування показів здійснюється вручну або з використанням локальних реєстраторів, що унеможлиблює оперативне виявлення аномалій, витоків або несанкціонованих відборів газу.

Крім того, відсутність єдиного інформаційного простору для об'єднання даних з різних вузлів обліку ускладнює аналіз балансу газу в межах окремих ділянок мережі. Це знижує ефективність управління режимами газопостачання та не дозволяє повною мірою реалізувати потенціал сучасних методів моніторингу.

Важливим аспектом аналізу є також оцінка метрологічного забезпечення системи вимірювання. Хоча повірка засобів вимірювання здійснюється відповідно до встановлених нормативів, практичні умови експлуатації часто призводять до появи додаткових похибок між повірками. Це зумовлює необхідність постійного контролю технічного стану приладів і застосування методів діагностики їх метрологічних характеристик.

Таблиця 2.4 — Основні проблеми існуючої системи вимірювання газових мереж

| Проблема                           | Наслідки                          |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| Застарілі засоби вимірювання       | Зростання похибок                 |
| Низький рівень автоматизації       | Відсутність оперативного контролю |
| Розосередженість вузлів обліку     | Ускладнення аналізу балансу       |
| Обмежене метрологічне забезпечення | Накопичення систематичних похибок |

Таким чином, аналіз існуючої системи вимірювання параметрів газу на об'єкті дослідження свідчить про її функціональну працездатність, але водночас виявляє низку суттєвих недоліків, пов'язаних із точністю, надійністю та інформаційною насиченістю вимірювань. Виявлені проблеми обґрунтовують доцільність удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж, впровадження сучасних автоматизованих систем збору та обробки даних і підвищення рівня метрологічного забезпечення, що стане предметом подальших досліджень у наступних підрозділах роботи.

### 2.3. Аналіз похибок вимірювання та втрат газу в газових мережах

Однією з ключових проблем функціонування газових мереж є наявність похибок вимірювання параметрів газу, які безпосередньо впливають на достовірність комерційного обліку, коректність балансування мережі та рівень втрат природного газу. В умовах протяжних і розгалужених газових мереж похибки вимірювання мають тенденцію до накопичення, що

ускладнює виявлення реальних причин відхилень між поданими та спожитими обсягами газу.

Похибки вимірювання в газових мережах носять як систематичний, так і випадковий характер та формуються під впливом сукупності технічних, метрологічних і експлуатаційних факторів. Особливістю газових мереж є те, що навіть незначні похибки на окремих вузлах вимірювання при масштабуванні на великі обсяги транспортування призводять до суттєвих економічних втрат.

Загальна похибка вимірювання витрати газу формується з похибок первинного вимірювального приладу, датчиків тиску та температури, похибок корекції об'єму газу до стандартних умов, а також похибок, пов'язаних із передачею та обробкою вимірювальної інформації. У реальних умовах експлуатації ці складові накладаються одна на одну, утворюючи складну багатокомпонентну структуру похибок.

Важливим джерелом похибок є гідродинамічні особливості руху газу в трубопроводах. Турбулентність потоку, пульсації тиску, нерівномірність профілю швидкостей і порушення умов прямолінійних ділянок перед вимірювальними приладами призводять до викривлення показів витратомірів. Особливо чутливими до таких факторів є механічні лічильники та прилади, що працюють за принципом перепаду тиску.

Значний вплив на точність вимірювань мають температурні фактори. Коливання температури газу та навколишнього середовища спричиняють зміну фізичних властивостей газу, що безпосередньо впливає на результати вимірювання витрати. Недостатня точність або некоректне розміщення датчиків температури призводить до помилок у корекції об'єму газу, особливо в умовах низьких температур і значних добових коливань.

Окрему групу становлять похибки, пов'язані з тиском газу. Нестабільність тиску, наявність імпульсних коливань і вплив гідравлічних ударів негативно впливають на роботу датчиків тиску та коректорів об'єму.

У разі застосування застарілих або зношених датчиків тиску похибки можуть перевищувати допустимі нормативні значення.

Суттєвим чинником зростання похибок є технічний стан засобів вимірювання. Механічний знос рухомих елементів лічильників, забруднення внутрішніх поверхонь приладів, корозія та порушення герметичності з'єднань призводять до поступового погіршення метрологічних характеристик. У багатьох випадках ці зміни відбуваються між черговими повірками, що ускладнює їх своєчасне виявлення.

Таблиця 2.5 — Основні джерела похибок вимірювання в газових мережах

| Джерело похибки        | Характер впливу           | Наслідки                        |
|------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Гідродинамічні фактори | Турбулентність, пульсації | Викривлення показів витрати     |
| Температурні впливи    | Зміна властивостей газу   | Помилки корекції об'єму         |
| Коливання тиску        | Нестабільність датчиків   | Зростання систематичних похибок |
| Зношування приладів    | Дрейф характеристик       | Недооблік або переоблік         |
| Передача даних         | Затримки, спотворення     | Втрата достовірності            |

Окрім похибок вимірювання, важливим аспектом є аналіз втрат газу в газових мережах. Втрати можуть бути як технологічними, так і нетехнологічними. Технологічні втрати пов'язані з особливостями експлуатації мережі, продувками, пуско-налагоджувальними роботами та

технічним обслуговуванням. Нетехнологічні втрати виникають унаслідок витоків газу, несанкціонованих підключень або помилок обліку.

Похибки вимірювання ускладнюють розмежування технологічних і нетехнологічних втрат, що негативно впливає на ефективність управління газовими мережами. У багатьох випадках втрати газу маскуються сумарною похибкою вимірювальної системи, що не дозволяє своєчасно виявити аварійні або несанкціоновані ситуації.

Важливою проблемою є також відсутність комплексного балансування газу в режимі реального часу. За умов децентралізованої системи обліку аналіз втрат здійснюється із значною затримкою, що знижує оперативність реагування та підвищує ризик накопичення значних втрат.

Таким чином, результати аналізу похибок вимірювання та втрат газу свідчать про те, що існуючі методи та засоби вимірювання не забезпечують необхідного рівня точності та оперативності контролю в умовах сучасних газових мереж. Виявлені проблеми підтверджують доцільність переходу до удосконалених методів вимірювання, що передбачають комплексний облік впливу експлуатаційних факторів, автоматизований збір і аналіз даних, а також застосування сучасних алгоритмів діагностики та балансування газових мереж, що стане предметом подальших досліджень у наступних розділах кваліфікаційної роботи.

#### 2.4. Аналіз організації метрологічного забезпечення та контролю вимірювань у газових мережах

Метрологічне забезпечення вимірювань у газових мережах є одним із ключових чинників забезпечення достовірності результатів обліку природного газу, безпеки експлуатації мережі та ефективності управління режимами газопостачання. В умовах сучасних газових мереж, які характеризуються значною протяжністю, розгалуженістю та змінністю

режимів роботи, організація метрологічного забезпечення набуває особливої складності та потребує системного підходу.

Організація метрологічного забезпечення включає комплекс заходів, спрямованих на підтримання засобів вимірювання в працездатному та метрологічно справному стані протягом усього строку їх експлуатації. До основних складових метрологічного забезпечення належать первинна та періодична повірка засобів вимірювання, контроль їх технічного стану, калібрування, а також ведення відповідної облікової та технічної документації.

У газових мережах основну роль відіграють засоби вимірювання витрати газу, тиску та температури, які застосовуються як у вузлах комерційного, так і технологічного обліку. Згідно з чинними нормативними вимогами, засоби вимірювання, що використовуються для комерційного обліку газу, підлягають обов'язковій державній повірці з установленою періодичністю. Недотримання міжповірочних інтервалів призводить до втрати юридичної сили результатів вимірювань і може стати причиною фінансових суперечок між суб'єктами газового ринку.

Разом з тим аналіз практичної організації метрологічного забезпечення показує, що формальне дотримання вимог щодо повірки не завжди гарантує збереження заданих метрологічних характеристик у процесі експлуатації. Вплив агресивних середовищ, перепадів температури, вібрацій і механічних навантажень призводить до поступового дрейфу характеристик приладів, який не завжди може бути своєчасно виявлений у межах стандартних процедур контролю.

Суттєвою проблемою є також відсутність систематичного оперативного контролю метрологічного стану засобів вимірювання між черговими повірками. У багатьох випадках контроль обмежується візуальним оглядом або перевіркою працездатності приладу без оцінювання його фактичної похибки. Такий підхід не дозволяє своєчасно виявляти

приховані дефекти та зростання похибок, що безпосередньо впливає на точність обліку газу.

Окремого розгляду потребує організація метрологічного забезпечення коректорів об'єму газу, які виконують автоматичне приведення виміряного об'єму до стандартних умов. Помилки в роботі коректорів, пов'язані з некоректними алгоритмами, відмовами датчиків тиску або температури, а також програмними збоями, можуть призводити до значних систематичних відхилень результатів обліку. В умовах відсутності автоматизованої системи контролю такі відхилення часто залишаються непоміченими протягом тривалого часу.

Важливим елементом метрологічного забезпечення є ведення технічної та метрологічної документації. Наявність повної інформації про типи засобів вимірювання, їх метрологічні характеристики, дати повірок, результати перевірок і умови експлуатації є необхідною умовою для ефективного управління вимірювальною системою. Однак на практиці така інформація часто зберігається у розрізненому вигляді, що ускладнює її аналіз і використання для прийняття управлінських рішень.

Таблиця 2.6 — Основні елементи метрологічного забезпечення вимірювань у газових мережах

| Елемент                     | Характеристика             | Основні проблеми           |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Півірка засобів вимірювання | Обов'язкова, періодична    | Формальний характер        |
| Контроль технічного стану   | Візуальний, функціональний | Відсутність оцінки похибок |
| Калібрування                | Обмежене застосування      | Низька поширеність         |

|                    |                          |                           |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|
| Документування     | Облік і зберігання даних | Розрізненість інформації  |
| Аналіз результатів | Звітний характер         | Відсутність оперативності |

Недостатній рівень автоматизації метрологічного контролю призводить до того, що аналіз точності вимірювань здійснюється постфактум, після отримання підсумкових даних обліку. Це суттєво знижує ефективність виявлення відхилень і не дозволяє реалізувати превентивні заходи щодо запобігання втратам газу.

В умовах розвитку цифрових технологій актуальним напрямом удосконалення метрологічного забезпечення є впровадження автоматизованих систем контролю метрологічного стану засобів вимірювання, які дозволяють здійснювати дистанційний моніторинг параметрів приладів, аналіз їх стабільності та своєчасне виявлення відхилень від нормативних значень.

Таким чином, аналіз організації метрологічного забезпечення та контролю вимірювань у газових мережах показує, що існуючі підходи мають низку суттєвих обмежень, пов'язаних із формальним характером перевірки, недостатнім рівнем оперативного контролю та низькою інтеграцією вимірювальних даних. Виявлені недоліки підтверджують необхідність удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж, зокрема шляхом впровадження сучасних автоматизованих систем метрологічного контролю та управління вимірювальною інформацією, що буде розглянуто в наступних розділах кваліфікаційної роботи.

## 2.5. Розширений аналіз інформаційного забезпечення та систем збору, передачі й обробки вимірювальних даних у газових мережах

Інформаційне забезпечення процесів вимірювання параметрів газу є невід'ємною складовою ефективного функціонування газових мереж та відіграє ключову роль у забезпеченні достовірності обліку, контролю технічного стану мережі й прийняття управлінських рішень. В умовах сучасних газових мереж, які характеризуються значною протяжністю, розгалуженістю та динамічністю режимів роботи, вимірювальна інформація набуває стратегічного значення.

Існуюча система інформаційного забезпечення вимірювань у газових мережах, як правило, формується історично та складається з набору локальних, слабо інтегрованих рішень. Збір вимірювальних даних здійснюється на рівні окремих вузлів обліку газу, які функціонують автономно та формують первинну інформацію про витрату, тиск і температуру газу. У більшості випадків такі вузли не об'єднані в єдину централізовану інформаційну систему, що значно обмежує можливості комплексного аналізу.

Передача вимірювальних даних між вузлами обліку та диспетчерськими або аналітичними підрозділами підприємства часто здійснюється з використанням різномірних каналів зв'язку або взагалі у ручному режимі. Це призводить до асинхронності надходження інформації, втрати її оперативності та зниження цілісності інформаційних масивів. У результаті фактичний стан газової мережі відображається із запізненням, що унеможливорює оперативне реагування на відхилення режимів роботи.

Особливої уваги потребує проблема достовірності та якості вимірювальних даних. В умовах ручного або напівавтоматичного збору інформації значно зростає вплив людського фактора, що проявляється у помилках зчитування, введення та інтерпретації даних. Відсутність

автоматизованих механізмів перевірки коректності вимірювальної інформації призводить до накопичення некоректних або суперечливих даних у звітних масивах.

Не менш важливим аспектом є зберігання вимірювальної інформації. У багатьох випадках архіви даних формуються у вигляді розрізнених електронних файлів або паперових журналів, що суттєво ускладнює доступ до історичних даних і проведення довгострокового аналізу. Такий підхід не дозволяє повною мірою використовувати інформацію для оцінювання стабільності роботи газових мереж, аналізу трендів та прогнозування можливих відмов або аварійних ситуацій.

Обмеженість аналітичних можливостей існуючих інформаційних систем призводить до того, що вимірювальні дані використовуються переважно для формування регламентної звітності, а не для активного управління газовими мережами. У таких умовах не реалізується потенціал сучасних методів аналізу даних, зокрема кореляційного аналізу, балансування потоків газу та виявлення аномалій.

Відсутність інтеграції між системами вимірювання та системами управління газовими мережами є ще одним суттєвим недоліком. Дані обліку газу, як правило, не використовуються безпосередньо для автоматичного коригування режимів роботи мережі або оптимізації розподілу потоків газу. Це знижує загальну ефективність експлуатації та не дозволяє мінімізувати втрати газу в режимі реального часу.

Важливо також зазначити, що в існуючих інформаційних системах практично відсутні механізми моніторингу метрологічного стану засобів вимірювання. Дані про дрейф характеристик приладів, нестабільність показів або відмови датчиків не аналізуються системно, що ускладнює своєчасне виявлення метрологічних проблем і призводить до прихованого зростання похибок.

Таблиця 2.7 — Розширена характеристика проблем інформаційного забезпечення вимірювань у газових мережах

| Складова            | Поточний стан           | Негативні наслідки       |
|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| Збір даних          | Ручний / локальний      | Втрата оперативності     |
| Передача інформації | Асинхронна, різнорідна  | Фрагментарність даних    |
| Валідація           | Відсутня або мінімальна | Некоректні покази        |
| Зберігання          | Розрізнені архіви       | Ускладнення аналізу      |
| Аналітика           | Звітний рівень          | Нереалізований потенціал |
| Інтеграція          | Відсутня                | Неефективне управління   |
| Контроль приладів   | Формальний              | Прихований дрейф похибок |

В умовах цифровізації енергетичних систем актуальним напрямом розвитку є створення інтегрованих інформаційно-вимірювальних систем, які забезпечують централізований збір даних, автоматичну валідацію, зберігання у єдиній базі та використання аналітичних алгоритмів для моніторингу стану газових мереж. Такі системи дозволяють перейти від реактивного до превентивного управління, зменшити втрати газу та підвищити загальну надійність мереж.

Таким чином, розширений аналіз інформаційного забезпечення та систем збору, передачі й обробки вимірювальних даних у газових мережах показує, що існуючі підходи не відповідають сучасним вимогам до

оперативності, достовірності та інтегрованості інформації. Виявлені недоліки обґрунтовують необхідність комплексного удосконалення інформаційно-вимірювальної інфраструктури газових мереж, що передбачає впровадження автоматизованих систем збору даних, інтеграцію вимірювальної та керуючої інформації, а також застосування сучасних методів аналізу. Це створює методичну та практичну основу для розроблення удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж, які будуть обґрунтовані в наступному розділі кваліфікаційної роботи.

## 2.6. Обґрунтування необхідності удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж

Результати проведеного аналізу газових мереж як об'єкта вимірювання, існуючої системи контролю параметрів газу, похибок вимірювання, організації метрологічного забезпечення та інформаційної інфраструктури свідчать про наявність комплексу взаємопов'язаних проблем, що обмежують ефективність функціонування газових мереж і достовірність обліку природного газу. Сукупність виявлених недоліків об'єктивно зумовлює необхідність удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж.

Насамперед встановлено, що існуючі методи вимірювання параметрів газу в багатьох випадках не забезпечують необхідного рівня точності в умовах змінних режимів роботи газових мереж. Коливання витрати, тиску та температури газу, характерні для сучасних умов експлуатації, призводять до зростання сумарних похибок вимірювання, які не можуть бути повністю компенсовані традиційними корекційними методиками. Це особливо критично для вузлів комерційного обліку газу, де навіть незначні похибки мають суттєві економічні наслідки.

Аналіз показав, що значна частина застосовуваних засобів вимірювання є морально та фізично застарілою, що проявляється у нестабільності метрологічних характеристик, підвищеній чутливості до експлуатаційних факторів і обмежених можливостях інтеграції в автоматизовані системи збору даних. Використання таких приладів ускладнює забезпечення єдності вимірювань і підвищує ризик накопичення систематичних похибок.

Суттєвим чинником, що обґрунтовує необхідність удосконалення, є недосконалість організації метрологічного забезпечення. Формальний характер повірочних процедур, відсутність оперативного контролю метрологічного стану засобів вимірювання між повірками та обмежені можливості діагностики дрейфу характеристик призводять до прихованого зниження точності вимірювань у процесі експлуатації. У таких умовах традиційні підходи до метрологічного контролю не відповідають сучасним вимогам до надійності та достовірності вимірювальної інформації.

Окрему проблему становить інформаційне забезпечення вимірювань у газових мережах. Виявлено, що децентралізований характер збору даних, відсутність єдиного інформаційного простору та обмежені аналітичні можливості існуючих систем не дозволяють повною мірою використовувати вимірювальну інформацію для управління газовими мережами. Фактичне використання даних обмежується формуванням звітності, тоді як потенціал оперативного моніторингу, балансування потоків газу та виявлення аномалій залишається нереалізованим.

Виявлені проблеми призводять до зростання втрат газу, ускладнюють розмежування технологічних і нетехнологічних втрат, знижують ефективність управління режимами газопостачання та підвищують ризик аварійних ситуацій. У сучасних умовах, що характеризуються підвищеними вимогами до енергоефективності, безпеки та економічної обґрунтованості експлуатації газових мереж, такі недоліки є неприпустимими.

Таким чином, результати аналізу підтверджують необхідність комплексного удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж, яке має передбачати:

- застосування сучасних, більш точних і стабільних засобів вимірювання;
- інтеграцію вимірювання параметрів газу в автоматизовані інформаційно-вимірювальні системи;
- удосконалення методик обробки та аналізу вимірювальних даних;
- підвищення рівня метрологічного контролю та діагностики засобів вимірювання;
- використання вимірювальної інформації для оперативного управління режимами роботи газових мереж.

Зазначені напрями удосконалення формують науково-методичну та практичну основу для розроблення нових підходів до вимірювання параметрів газу в газових мережах, які будуть обґрунтовані та реалізовані в наступному розділі кваліфікаційної роботи.

## 2.7. Узагальнення результатів аналізу та формування вимог до удосконаленої системи вимірювання газових мереж

Комплексний аналіз, виконаний у підрозділах 2.1–2.6, дозволив всебічно дослідити газові мережі як об’єкт вимірювання, оцінити стан існуючої системи вимірювання параметрів газу, виявити основні джерела похибок, недоліки метрологічного забезпечення та обмеження інформаційно-вимірювальної інфраструктури. Отримані результати свідчать про системний характер проблем, які не можуть бути усунуті шляхом часткових або локальних технічних рішень.

Установлено, що сучасні газові мережі функціонують в умовах значної просторової розподіленості вимірювальних пунктів, змінних гідродинамічних режимів, коливань температури та тиску, а також підвищених вимог до безпеки експлуатації та точності комерційного обліку. За таких умов вимірювальна система повинна виконувати не лише облікову, а й аналітичну, діагностичну та управлінську функції.

Результати аналізу існуючої системи вимірювання показали, що вона здебільшого орієнтована на локальний облік газу та формування регламентної звітності. При цьому можливості комплексного аналізу вимірювальних даних, оперативного балансування газових потоків і своєчасного виявлення втрат або аварійних ситуацій є обмеженими. Значна частина засобів вимірювання не відповідає сучасним вимогам щодо автоматизації, інтеграції та стабільності метрологічних характеристик.

Суттєвим чинником, що негативно впливає на достовірність вимірювань, є накопичення сумарної похибки, яка формується під дією гідродинамічних, температурних, тискових і експлуатаційних факторів. Виявлено, що чинна система метрологічного забезпечення має переважно формальний характер і не забезпечує ефективного контролю метрологічного стану засобів вимірювання між черговими повірками.

Таблиця 2.8 — Узагальнення основних проблем вимірювання газових мереж

| Напрямок аналізу   | Виявлені проблеми                     | Наслідки               |
|--------------------|---------------------------------------|------------------------|
| Методи вимірювання | Обмежена адаптація до змінних режимів | Зростання похибок      |
| Засоби вимірювання | Фізичне та моральне зношування        | Нестабільність показів |

|                              |                                      |                               |
|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Метрологічне<br>забезпечення | Формальний контроль<br>між повірками | Прихований дрейф<br>похибок   |
| Інформаційне<br>забезпечення | Децентралізований<br>збір даних      | Втрата<br>оперативності       |
| Аналітика                    | Орієнтація на звітність              | Неможливість<br>прогнозування |
| Управління                   | Відсутність інтеграції               | Зростання втрат<br>газу       |

Розширений аналіз інформаційного забезпечення показав, що вимірювальні дані використовуються фрагментарно та не інтегруються в єдину систему підтримки прийняття рішень. Це унеможлиблює реалізацію сучасних підходів до управління газовими мережами, зокрема концепцій безперервного моніторингу, цифрових двійників та превентивної діагностики.

На основі узагальнення результатів аналізу сформовано ключові функціональні, метрологічні та інформаційні вимоги до удосконаленої системи вимірювання газових мереж.

Таблиця 2.9 — Основні вимоги до удосконаленої системи вимірювання газових мереж

| Група вимог  | Зміст вимог                                                    |
|--------------|----------------------------------------------------------------|
| Метрологічні | Підвищена точність і стабільність у широкому діапазоні режимів |
| Технічні     | Стійкість до температурних і тискових коливань                 |

|                |                                                      |
|----------------|------------------------------------------------------|
| Функціональні  | Комплексне вимірювання витрати, тиску та температури |
| Інформаційні   | Автоматизований збір і зберігання даних              |
| Аналітичні     | Валідація, балансування, виявлення аномалій          |
| Інтеграційні   | Сумісність із системами управління                   |
| Експлуатаційні | Зниження трудомісткості обслуговування               |

Удосконалена система вимірювання повинна забезпечувати перехід від локального, реактивного підходу до інтегрованого, превентивного управління газовими мережами. Це передбачає використання автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем, впровадження сучасних методів аналізу даних і постійний моніторинг метрологічного стану засобів вимірювання.

Таблиця 2.10 — Порівняльна характеристика підходів до вимірювання газу

| Критерій         | Існуючий підхід | Удосконалений підхід |
|------------------|-----------------|----------------------|
| Тип контролю     | Локальний       | Інтегрований         |
| Збір даних       | Періодичний     | Безперервний         |
| Аналіз           | Післяфактум     | Оперативний          |
| Контроль похибок | Формальний      | Автоматизований      |
| Управління       | Реактивне       | Превентивне          |
| Рівень втрат     | Підвищений      | Знижений             |

Таким чином, узагальнення результатів розділу 2 підтверджує необхідність комплексного удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж, яке повинно охоплювати не лише модернізацію окремих приладів, а й побудову цілісної інформаційно-вимірювальної системи. Сформульовані вимоги та виявлені проблеми визначають концептуальні засади наступного розділу кваліфікаційної роботи, у якому буде розроблено та обґрунтовано удосконалену систему вимірювання газових мереж.

## Висновки до розділу 2

У другому розділі кваліфікаційної роботи виконано комплексний аналіз газових мереж як об'єкта вимірювання та детально досліджено існуючу систему вимірювання параметрів газу з позицій технічної, метрологічної та інформаційної ефективності. Отримані результати дозволяють сформувати цілісне уявлення про сучасний стан вимірювальної інфраструктури газових мереж і визначити ключові проблеми, що стримують підвищення точності, надійності та оперативності контролю.

У результаті аналізу характеристик газових мереж як об'єкта дослідження встановлено, що вони є складними багатопараметричними системами, які функціонують у режимах значної динамічності та просторової розподіленості. Змінність витрати, тиску та температури газу, а також вплив зовнішніх і експлуатаційних факторів створюють складні умови для забезпечення стабільних і достовірних вимірювань, особливо на протяжних і розгалужених ділянках мережі.

Дослідження існуючої системи вимірювання параметрів газу показало, що вона переважно базується на локальних вузлах обліку, які функціонують автономно та орієнтовані насамперед на формування звітних даних. При цьому можливості інтегрованого моніторингу параметрів газових мереж, оперативного балансування газових потоків і своєчасного

виявлення аномалій залишаються обмеженими. Значна частина засобів вимірювання є морально або фізично застарілою, що негативно впливає на стабільність їх метрологічних характеристик.

Аналіз похибок вимірювання та втрат газу дозволив встановити, що сумарна похибка формується під впливом комплексу гідродинамічних, температурних, тискових і експлуатаційних факторів. Умови турбулентного потоку, порушення вимог до монтажу вимірювальних приладів, дрейф характеристик засобів вимірювання та обмежені можливості корекції результатів вимірювання призводять до накопичення систематичних відхилень. За таких умов ускладнюється розмежування технологічних і нетехнологічних втрат газу, що негативно впливає на ефективність управління газовими мережами.

Дослідження організації метрологічного забезпечення показало, що чинна система контролю має переважно формальний характер і орієнтована на дотримання регламентованих процедур повірки. Водночас відсутні ефективні механізми оперативного контролю метрологічного стану засобів вимірювання між черговими повірками, що призводить до прихованого зростання похибок у процесі експлуатації. Недостатній рівень автоматизації метрологічного контролю знижує достовірність вимірювальної інформації та ускладнює своєчасне виявлення проблемних вузлів обліку.

Розширений аналіз інформаційного забезпечення вимірювань виявив децентралізований характер збору та зберігання даних, відсутність єдиного інформаційного простору й обмежені можливості аналітичної обробки вимірювальної інформації. Вимірювальні дані використовуються переважно для звітних цілей, тоді як їх потенціал для оперативного моніторингу, прогнозування аварійних ситуацій і зниження втрат газу реалізується недостатньо. Відсутність інтеграції між системами вимірювання та управління газовими мережами обмежує можливості ефективного управління режимами газопостачання.

Узагальнення результатів аналізу дозволило сформулювати комплекс вимог до удосконаленої системи вимірювання газових мереж, яка повинна забезпечувати підвищену точність і стабільність вимірювань, автоматизований збір і обробку даних, оперативну валідацію вимірювальної інформації та використання результатів вимірювань для управління режимами роботи мережі. Встановлено, що удосконалення має носити комплексний характер і охоплювати як технічні, так і методичні та інформаційні аспекти.

Таким чином, результати другого розділу підтверджують обґрунтованість і актуальність теми кваліфікаційної роботи та створюють науково-методичну й практичну основу для розроблення удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж. Виявлені проблеми та сформульовані вимоги визначають логіку і зміст наступного розділу, у якому буде розроблено та обґрунтовано концепцію удосконаленої системи вимірювання параметрів газу з урахуванням сучасних вимог до точності, автоматизації та інформаційної інтеграції.

### 3 Удосконалення методів і засобів вимірювання параметрів газових мереж

#### 3.1. Розширене обґрунтування концепції удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж

У сучасних умовах функціонування газорозподільних систем вимірювання параметрів газу перестає бути виключно інструментом обліку та набуває статусу ключового елемента системи управління газовими мережами. Результати аналітичних досліджень, виконаних у розділі 2, переконливо доводять, що існуючі методи та засоби вимірювання не забезпечують необхідного рівня точності, стабільності та оперативності в

умовах змінних режимів роботи газових мереж. Це зумовлює необхідність формування нової концепції удосконалення вимірювальної системи.

Концепція удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж базується на системному підході, відповідно до якого процес вимірювання розглядається як багаторівнева інформаційно-вимірювальна система, інтегрована з технічними, метрологічними та управлінськими підсистемами підприємства газового господарства. Такий підхід дозволяє відійти від локального та фрагментарного контролю до комплексного управління параметрами газу.

Ключовою ідеєю запропонованої концепції є перехід від реактивного вимірювання, орієнтованого на фіксацію результатів постфактум, до превентивного вимірювального контролю, що забезпечує безперервний моніторинг, аналіз і прогнозування стану газових мереж. Реалізація цієї ідеї передбачає комплексну модернізацію як методів вимірювання, так і засобів їх реалізації.

Удосконалення методів вимірювання параметрів газу повинно враховувати специфіку газових мереж як об'єкта вимірювання, зокрема:

- просторову розподіленість вузлів обліку;
- змінність гідродинамічних режимів;
- вплив температурних і тискових факторів;
- підвищені вимоги до безпеки та достовірності результатів.

У цьому контексті пріоритетним є застосування багатопараметричних методів вимірювання, які забезпечують одночасне визначення витрати, тиску та температури газу з автоматичною корекцією результатів до стандартних умов у режимі реального часу. Такий підхід дозволяє істотно знизити сумарну похибку вимірювання та підвищити надійність комерційного й технологічного обліку.

Таблиця 3.1 — Порівняння традиційного та концептуально удосконаленого підходів до вимірювання газу

| Критерій             | Традиційний підхід | Удосконалений підхід       |
|----------------------|--------------------|----------------------------|
| Характер вимірювання | Локальний          | Інтегрований               |
| Режим контролю       | Періодичний        | Безперервний               |
| Обробка даних        | Післяфактум        | Оперативна                 |
| Корекція параметрів  | Часткова           | Автоматична                |
| Рівень похибок       | Підвищений         | Знижений                   |
| Використання даних   | Звітність          | Управління і прогнозування |

Важливим складником концепції є удосконалення засобів вимірювання шляхом впровадження сучасних цифрових приладів із розширеними функціональними можливостями. Такі засоби вимірювання повинні мати підвищену точність, стабільність метрологічних характеристик, цифрові інтерфейси передачі даних і можливість інтеграції в автоматизовані системи збору інформації.

Особлива увага приділяється питанням метрологічної надійності. Концепція передбачає поєднання регламентованих процедур повірки з методами оперативного контролю метрологічного стану, які дозволяють виявляти дрейф характеристик приладів між повірками. Це забезпечує підвищення довіри до результатів вимірювань і зменшує ризик прихованих систематичних похибок.

Таблиця 3.2 — Основні складові концепції удосконалення вимірювальної системи газових мереж

| Складова     | Зміст                                 |
|--------------|---------------------------------------|
| Методична    | Багатопараметричні методи вимірювання |
| Технічна     | Сучасні цифрові засоби вимірювання    |
| Метрологічна | Оперативний контроль похибок          |
| Інформаційна | Централізований збір і аналіз даних   |
| Управлінська | Підтримка прийняття рішень            |

Удосконалена вимірювальна система повинна забезпечувати створення єдиного інформаційного простору вимірювань, у межах якого дані з усіх вузлів обліку автоматично надходять до централізованої бази даних. Це відкриває можливості для комплексного аналізу стану газових мереж, балансування потоків газу, виявлення аномалій і прогнозування аварійних ситуацій.

Застосування удосконалених методів і засобів вимірювання дозволяє трансформувати вимірювальну інформацію з пасивного звітного ресурсу в активний інструмент управління. Вимірювальні дані можуть використовуватися для оптимізації режимів газопостачання, зниження втрат газу та підвищення енергоефективності експлуатації мереж.

Таблиця 3.3 — Очікувані результати реалізації концепції удосконалення

| Напрямок                | Очікуваний ефект                  |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Точність вимірювань     | Зниження сумарної похибки         |
| Надійність              | Підвищення стабільності обліку    |
| Оперативність           | Моніторинг у реальному часі       |
| Економічна ефективність | Зменшення втрат газу              |
| Безпека                 | Раннє виявлення аварійних режимів |

Таким чином, розширене обґрунтування концепції удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж підтверджує доцільність переходу до інтегрованої, автоматизованої та аналітично орієнтованої вимірювальної системи. Запропонована концепція створює науково-методичну основу для подальшого вибору конкретних методів і технічних засобів вимірювання, які будуть детально розглянуті в наступних підрозділах третього розділу кваліфікаційної роботи.

### 3.2. Вибір та обґрунтування удосконалених методів вимірювання параметрів газу в газових мережах

Удосконалення системи вимірювання газових мереж неможливе без обґрунтованого вибору методів вимірювання параметрів газу, які б забезпечували необхідну точність, стабільність і надійність у широкому діапазоні експлуатаційних умов. Як показав аналіз, виконаний у попередніх розділах, традиційні методи вимірювання часто не враховують змінність режимів роботи газових мереж, що призводить до зростання похибок і зниження достовірності обліку.

Основними параметрами, які підлягають вимірюванню в газових мережах, є об'ємна та масова витрата газу, тиск і температура. У практиці газового господарства найбільш поширеним є вимірювання об'ємної витрати з подальшим приведенням її до стандартних умов. Однак такий підхід є чутливим до коливань тиску й температури, що характерно для сучасних газових мереж.

Удосконалення методів вимірювання доцільно здійснювати на основі багатопараметричного підходу, який передбачає одночасне вимірювання кількох параметрів газу з подальшою автоматизованою обробкою результатів. Це дозволяє мінімізувати вплив зовнішніх факторів і зменшити сумарну похибку вимірювання.

Серед основних методів вимірювання витрати газу, що можуть бути використані в удосконаленій системі, виділяють диференціально-тискові, ультразвукові, турбінні та ротаційні методи. Кожен із них має свої переваги й обмеження, що визначає доцільність застосування залежно від умов експлуатації.

Таблиця 3.4 — Порівняльна характеристика основних методів вимірювання витрати газу

| Метод вимірювання           | Переваги                                     | Недоліки                                 | Доцільність застосування |
|-----------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|
| Диференціальн<br>о-тисковий | Простота,<br>нормативна база                 | Висока похибка<br>при змінних<br>режимах | Обмежено                 |
| Турбінний                   | Висока точність<br>при стабільних<br>режимах | Чутливість до<br>забруднень              | Середня                  |

|                |                                      |                              |              |
|----------------|--------------------------------------|------------------------------|--------------|
| Ротаційний     | Надійність,<br>простота обліку       | Обмежений<br>діапазон витрат | Локально     |
| Ультразвуковий | Безконтактність,<br>широкий діапазон | Вища вартість                | Пріоритетний |

Аналіз показує, що ультразвуковий метод вимірювання є найбільш перспективним для застосування в удосконалених системах вимірювання газових мереж. Його перевагами є відсутність рухомих частин, низький гідравлічний опір, висока стабільність метрологічних характеристик і можливість роботи в широкому діапазоні витрат.

Важливою складовою удосконалених методів вимірювання є автоматична корекція результатів вимірювання з урахуванням фактичних значень тиску та температури газу. Застосування коректорів об'єму та алгоритмів цифрової обробки даних дозволяє приводити результати вимірювання до стандартних умов у режимі реального часу, що значно підвищує достовірність обліку.

Окрему увагу слід приділити вибору методів вимірювання тиску та температури газу. Для удосконаленої системи вимірювання доцільно застосовувати електронні датчики з цифровим виходом, що забезпечують високу точність, стабільність і можливість інтеграції в автоматизовані системи збору даних.

Таблиця 3.5 — Вимоги до методів вимірювання параметрів газу в удосконаленій системі

| Параметр     | Вимоги                           |
|--------------|----------------------------------|
| Витрата газу | Широкий діапазон, низька похибка |

|               |                                  |
|---------------|----------------------------------|
| Тиск          | Стійкість до перевантажень       |
| Температура   | Швидкодія та стабільність        |
| Обробка даних | Автоматизована, у реальному часі |
| Інтеграція    | Сумісність з АСУ                 |

Удосконалені методи вимірювання повинні забезпечувати не лише точний облік газу, а й можливість використання вимірювальної інформації для аналізу режимів роботи газових мереж. Це відкриває можливості для реалізації функцій оперативного моніторингу, балансування потоків газу та раннього виявлення аварійних ситуацій.

Таким чином, вибір і обґрунтування удосконалених методів вимірювання параметрів газу ґрунтується на принципах багатопараметричності, автоматизації та інтеграції вимірювальної інформації. Застосування сучасних методів, зокрема ультразвукового вимірювання в поєднанні з цифровою корекцією параметрів, створює передумови для побудови високоточної та надійної системи вимірювання газових мереж, що буде деталізовано в наступних підрозділах третього розділу.

### 3.3. Вибір та обґрунтування сучасних засобів вимірювання для газових мереж

Ефективна реалізація удосконалених методів вимірювання параметрів газу в газових мережах неможлива без обґрунтованого вибору сучасних засобів вимірювання, які забезпечують високу точність, стабільність метрологічних характеристик і сумісність з автоматизованими системами збору та обробки даних. З урахуванням результатів аналізу, виконаного у

попередніх розділах, вибір засобів вимірювання повинен базуватися на принципах системності, надійності та перспективності розвитку.

Основним елементом вимірювальної системи газових мереж є витратоміри або лічильники газу, які забезпечують визначення кількісних показників споживання газу. Для удосконаленої системи доцільно застосовувати засоби вимірювання, що мають цифрові інтерфейси, можливість дистанційної передачі даних і мінімальну чутливість до змін режимів потоку. Це дозволяє забезпечити інтеграцію вимірювальних приладів у єдиний інформаційний простір.

Порівняльний аналіз сучасних типів лічильників і витратомірів газу свідчить, що найбільш перспективними для використання в газових мережах є ультразвукові та електронні турбінні засоби вимірювання. Вони характеризуються широким діапазоном вимірювання, високою стабільністю показів і можливістю роботи в умовах змінних витрат і тисків газу.

Таблиця 3.6 — Порівняльна характеристика сучасних засобів вимірювання витрати газу

| Тип засобу вимірювання    | Переваги                      | Недоліки                 | Доцільність застосування |
|---------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Ротаційний лічильник      | Надійність, простота          | Обмежений діапазон       | Локальні вузли           |
| Турбінний лічильник       | Висока точність               | Чутливість до забруднень | Середній тиск            |
| Ультразвуковий витратомір | Безконтактність, стабільність | Вища вартість            | Пріоритетний             |
| Діафрагмовий лічильник    | Доступність                   | Високий опір             | Обмежено                 |

Ключовою перевагою ультразвукових витратомірів є відсутність рухомих елементів, що значно знижує зношування та забезпечує стабільність метрологічних характеристик протягом усього строку експлуатації. Крім того, такі прилади дозволяють реалізувати багатоканальні схеми вимірювання, що підвищує точність у складних гідродинамічних умовах.

Важливим компонентом удосконаленої вимірювальної системи є датчики тиску та температури газу, які забезпечують корекцію результатів вимірювання до стандартних умов. Для цієї мети доцільно застосовувати електронні датчики з високою точністю та цифровими виходами, що дозволяє зменшити похибки, пов'язані з аналоговою передачею сигналів.

Таблиця 3.7 — Вимоги до датчиків тиску та температури газу

| Параметр             | Основні вимоги                   |
|----------------------|----------------------------------|
| Точність             | Висока, стабільна                |
| Діапазон вимірювання | Відповідність режимам мережі     |
| Стійкість            | До перепадів тиску і температури |
| Інтерфейс            | Цифровий (RS, Modbus тощо)       |
| Надійність           | Тривалий ресурс експлуатації     |

Окреме місце в системі вимірювання посідають коректори об'єму газу, які здійснюють автоматичне приведення виміряного об'єму до стандартних умов з урахуванням фактичних значень температури та тиску. Для удосконаленої системи доцільно використовувати багатофункціональні електронні коректори з можливістю зберігання архівів даних, діагностики стану приладів і передачі інформації до централізованих систем обліку.

Застосування сучасних засобів вимірювання дозволяє забезпечити не лише підвищення точності обліку газу, а й розширення функціональних можливостей вимірювальної системи. Вимірювальні прилади можуть використовуватися як джерело даних для аналізу режимів роботи газових мереж, виявлення аномальних відхилень і підтримки прийняття управлінських рішень.

Таблиця 3.8 — Очікувані переваги впровадження сучасних засобів вимірювання

| Напрямок                | Результат                 |
|-------------------------|---------------------------|
| Точність вимірювання    | Зниження сумарної похибки |
| Надійність              | Стабільність показів      |
| Автоматизація           | Дистанційний облік        |
| Інформаційність         | Розширені архіви          |
| Економічна ефективність | Зменшення втрат газу      |

Таким чином, обґрунтований вибір сучасних засобів вимірювання параметрів газу є ключовою умовою реалізації удосконаленої системи вимірювання газових мереж. Застосування ультразвукових витратомірів, високоточних електронних датчиків тиску та температури, а також багатофункціональних коректорів об'єму газу забезпечує підвищення точності, надійності та інформаційної насиченості вимірювальної системи, що створює передумови для її ефективної інтеграції в автоматизовані системи управління газовими мережами.

### 3.4. Розроблення структури та принципу функціонування удосконаленої системи вимірювання газових мереж

Розроблення удосконаленої системи вимірювання газових мереж є логічним результатом обґрунтованих у попередніх підрозділах концептуальних положень, вибору сучасних методів та засобів вимірювання. Запропонована система розглядається як інтегрована інформаційно-вимірювальна структура, яка забезпечує безперервний контроль параметрів газу, автоматизований збір і обробку даних, а також підтримку прийняття управлінських рішень.

Удосконалена система вимірювання газових мереж будується за багаторівневим принципом і включає вимірювальний, інформаційний та аналітико-управлінський рівні. Така структура дозволяє розмежувати функції окремих компонентів, забезпечити масштабованість системи та її адаптацію до різних умов експлуатації газових мереж.

На вимірювальному рівні здійснюється безпосереднє визначення параметрів газу. До складу цього рівня входять ультразвукові витратоміри, електронні датчики тиску та температури, а також коректори об'єму газу. Засоби вимірювання розміщуються у вузлах обліку газу та забезпечують первинне формування вимірювальної інформації з високою точністю та стабільністю метрологічних характеристик.

На інформаційному рівні реалізується збір, передача, зберігання та попередня обробка вимірювальних даних. Інформація з вимірювальних приладів надходить через цифрові канали зв'язку до централізованої бази даних, що забезпечує формування єдиного інформаційного простору вимірювань. Використання стандартизованих протоколів передачі даних дозволяє інтегрувати вимірювальні вузли в автоматизовані системи управління газовими мережами.

Аналітико-управлінський рівень забезпечує комплексний аналіз вимірювальної інформації, валідацію даних, виявлення аномалій і підтримку прийняття управлінських рішень. На цьому рівні реалізуються алгоритми балансування газових потоків, оцінювання втрат газу, діагностики стану вимірювальних приладів і прогнозування аварійних ситуацій.

Таблиця 3.9 — Рівні удосконаленої системи вимірювання газових мереж

| Рівень системи | Основні функції            | Основні компоненти         |
|----------------|----------------------------|----------------------------|
| Вимірювальний  | Визначення параметрів газу | Витратоміри, датчики       |
| Інформаційний  | Збір і передача даних      | Канали зв'язку, сервери    |
| Аналітичний    | Обробка та аналіз          | Програмне забезпечення     |
| Управлінський  | Прийняття рішень           | АСУ, диспетчерські системи |

Принцип функціонування удосконаленої системи вимірювання ґрунтується на безперервному циклі «вимірювання – передача – аналіз – управління». Усі вимірювальні дані автоматично приводяться до стандартних умов, перевіряються на достовірність і використовуються для оперативного контролю режимів роботи газових мереж. Такий підхід дозволяє мінімізувати вплив людського фактора та підвищити оперативність реагування на відхилення.

Особливу увагу в системі приділено питанням метрологічної надійності. Удосконалена структура передбачає вбудовані механізми

контролю стабільності показів засобів вимірювання, аналізу дрейфу характеристик і сигналізації про необхідність технічного обслуговування або повірки. Це дозволяє перейти від формального метрологічного контролю до превентивного управління станом вимірювальної системи.

Таблиця 3.10 — Функціональні можливості удосконаленої системи вимірювання

| Функція                 | Опис                                 |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Безперервний моніторинг | Контроль параметрів у реальному часі |
| Автоматична корекція    | Приведення до стандартних умов       |
| Валідація даних         | Виявлення некоректних показів        |
| Балансування            | Аналіз втрат газу                    |
| Діагностика             | Контроль стану приладів              |

Запропонована структура системи вимірювання забезпечує можливість масштабування та поетапного впровадження. Це особливо важливо для газових мереж великої протяжності, де повна модернізація може бути реалізована поступово без зупинки експлуатації. Система легко адаптується до різних типів мереж і умов роботи, що підвищує її універсальність.

Таким чином, розроблена структура та принцип функціонування удосконаленої системи вимірювання газових мереж забезпечують комплексний підхід до контролю параметрів газу, поєднуючи високоточні вимірювання, автоматизований збір і аналіз даних та підтримку управлінських рішень. Це створює надійну основу для підвищення точності

обліку, зниження втрат газу та підвищення безпеки експлуатації газових мереж, що буде деталізовано в наступному підрозділі.

### 3.5. Розширений алгоритм реалізації та впровадження удосконаленої системи вимірювання газових мереж

Реалізація удосконаленої системи вимірювання газових мереж потребує чітко сформованого алгоритму впровадження, який забезпечує узгодженість технічних, метрологічних і організаційних рішень, а також мінімізує ризики порушення безперервності газопостачання. В умовах діючих газових мереж будь-які зміни у вимірювальній системі повинні здійснюватися поетапно, з урахуванням реального технічного стану мережі та рівня підготовки персоналу.

Запропонований алгоритм реалізації удосконаленої системи вимірювання базується на принципах системності, поетапності, адаптивності та зворотного зв'язку. Він передбачає поступовий перехід від існуючої вимірювальної інфраструктури до інтегрованої автоматизованої системи без порушення стабільної роботи газових мереж.

#### Аналітико-діагностичний етап

На початковому етапі здійснюється детальне обстеження існуючої системи вимірювання параметрів газу. Аналізуються конфігурація газових мереж, типи та розташування вузлів обліку, технічний і метрологічний стан засобів вимірювання, а також рівень автоматизації збору даних. Окремо оцінюється відповідність чинної системи вимогам нормативної документації та сучасним експлуатаційним умовам.

Результатом цього етапу є формування переліку проблемних ділянок, які потребують першочергової модернізації, а також визначення потенційних джерел похибок і втрат газу.

#### Проектно-методичний етап

На основі результатів діагностики розробляються проєктні рішення щодо впровадження удосконаленої системи вимірювання. На цьому етапі визначається структура вимірювальної системи, обираються конкретні типи витратомірів, датчиків тиску та температури, коректорів об'єму газу, а також формуються вимоги до програмного забезпечення.

Особлива увага приділяється розробленню методик інтеграції нових засобів вимірювання в існуючу інфраструктуру з урахуванням можливості поетапного впровадження.

Таблиця 3.13 — Зміст робіт проєктно-методичного етапу

| Напрямок робіт | Основний зміст                 | Результат       |
|----------------|--------------------------------|-----------------|
| Вибір приладів | Аналіз технічних характеристик | Перелік ЗВ      |
| Проектування   | Розроблення структури системи  | Проект          |
| Методики       | Адаптація методів вимірювання  | Регламенти      |
| Інтеграція     | Узгодження з АСУ               | Технічні вимоги |

#### Етап технічної реалізації

Технічна реалізація включає монтаж, підключення та налаштування засобів вимірювання, організацію каналів передачі даних і встановлення програмного забезпечення. На цьому етапі критично важливим є дотримання вимог до монтажу, оскільки порушення геометрії вимірювальних ділянок або умов встановлення датчиків може призвести до суттєвого зростання похибок.

Паралельно проводиться налаштування алгоритмів збору та первинної обробки даних, що забезпечує коректне формування вимірювальної інформації.

#### Метрологічний та верифікаційний етап

На цьому етапі здійснюється первинна повірка та калібрування засобів вимірювання, перевірка коректності алгоритмів обробки даних і тестування системи в різних режимах роботи. Проводиться порівняльний аналіз показів удосконаленої системи з еталонними або контрольними значеннями.

Особливе значення має перевірка коректності автоматичної корекції об'єму газу до стандартних умов, оскільки помилки на цьому етапі можуть мати системний характер.

Таблиця 3.14 — Основні процедури метрологічного етапу

| Процедура    | Мета                        | Очікуваний результат |
|--------------|-----------------------------|----------------------|
| Повірка      | Підтвердження відповідності | Юридична чинність    |
| Калібрування | Зменшення похибок           | Підвищення точності  |
| Верифікація  | Перевірка алгоритмів        | Достовірність даних  |
| Тестування   | Робота в різних режимах     | Стабільність         |

#### Експлуатаційно-аналітичний етап

Після введення системи в експлуатацію здійснюється навчання персоналу та налагодження процедур регулярного аналізу вимірювальної інформації. Удосконалена система починає виконувати функції безперервного моніторингу параметрів газу, діагностики стану приладів і формування аналітичних звітів.

На цьому етапі реалізується принцип зворотного зв'язку: результати аналізу вимірювальних даних використовуються для коригування режимів роботи газових мереж і оптимізації експлуатаційних процесів.

#### Управління ризиками впровадження

Процес впровадження удосконаленої системи вимірювання пов'язаний із низкою технічних і організаційних ризиків, які потребують системного управління. Запропонований алгоритм передбачає ідентифікацію ризиків на кожному етапі реалізації та розроблення заходів щодо їх мінімізації.

Таблиця 3.15 — Розширена характеристика ризиків і заходів управління

| Ризик              | Причина               | Заходи мінімізації |
|--------------------|-----------------------|--------------------|
| Порушення точності | Помилки монтажу       | Технічний контроль |
| Відмова ЗВ         | Зношування            | Резервування       |
| Помилки персоналу  | Недостатня підготовка | Навчання           |
| Втрата даних       | Збої зв'язку          | Архівація          |
| Системні похибки   | Некоректні алгоритми  | Тестування         |

#### Узагальнення результатів реалізації алгоритму

Реалізація розширеного алгоритму впровадження удосконаленої системи вимірювання газових мереж дозволяє забезпечити контрольований

перехід до сучасної інформаційно-вимірювальної інфраструктури, мінімізувати експлуатаційні ризики та створити умови для підвищення точності, надійності й оперативності вимірювань.

Таким чином, розроблений алгоритм реалізації не лише визначає послідовність технічних і організаційних заходів, а й формує методичну основу для практичного впровадження удосконаленої системи вимірювання газових мереж, що створює передумови для подальшої оцінки її техніко-економічної ефективності в наступному підрозділі.

### 3.6. Оцінка техніко-економічної ефективності впровадження удосконаленої системи вимірювання газових мереж

Впровадження удосконаленої системи вимірювання газових мереж повинно бути не лише технічно обґрунтованим, але й економічно доцільним. У зв'язку з цим завершальним етапом розроблення проєктних рішень є оцінка техніко-економічної ефективності запропонованих заходів, яка дозволяє кількісно визначити очікувані результати та обґрунтувати доцільність їх практичної реалізації.

Економічний ефект від упровадження удосконаленої системи вимірювання газових мереж формується за рахунок зниження втрат газу, підвищення точності комерційного обліку, скорочення витрат на експлуатаційне обслуговування та зменшення ризиків аварійних ситуацій. Додатковим ефектом є підвищення оперативності управління газовими мережами та поліпшення якості інформаційного забезпечення управлінських рішень.

#### Основні джерела економічного ефекту

Аналіз показує, що найбільший економічний ефект досягається за рахунок зниження неврахованих та нетехнологічних втрат газу, які виникають унаслідок похибок вимірювання, нестабільності роботи приладів

і відсутності оперативного контролю. Удосконалена система вимірювання дозволяє зменшити сумарну похибку обліку та забезпечити своєчасне виявлення аномальних режимів роботи газових мереж.

Таблиця 3.16 — Основні джерела економічного ефекту від упровадження системи

| Джерело ефекту         | Характеристика                          |
|------------------------|-----------------------------------------|
| Зниження втрат газу    | Підвищення точності вимірювань          |
| Оптимізація обліку     | Коректне приведення до стандартних умов |
| Зменшення аварійності  | Раннє виявлення відхилень               |
| Скорочення витрат      | Менше ручних операцій                   |
| Підвищення керованості | Оперативний моніторинг                  |

#### Оцінка витрат на впровадження

Витрати на впровадження удосконаленої системи вимірювання включають витрати на придбання засобів вимірювання, монтаж і налагодження обладнання, розроблення та впровадження програмного забезпечення, а також навчання персоналу. У розрахунках приймається, що модернізація здійснюється поетапно, що дозволяє розподілити капітальні витрати в часі.

Таблиця 3.17 — Структура витрат на впровадження удосконаленої системи

| Стаття витрат          | Частка, % |
|------------------------|-----------|
| Засоби вимірювання     | 45–50     |
| Монтаж і налагодження  | 15–20     |
| Програмне забезпечення | 10–15     |
| Метрологічні роботи    | 5–10      |
| Навчання персоналу     | 5         |

#### Оцінка річного економічного ефекту

Річний економічний ефект визначається як різниця між економією від зниження витрат газу та додатковими експлуатаційними витратами, пов'язаними з обслуговуванням удосконаленої системи. За рахунок автоматизації процесів обліку та моніторингу експлуатаційні витрати, як правило, не зростають, а в окремих випадках навіть зменшуються.

Зниження витрат газу навіть на кілька відсотків у масштабах газових мереж забезпечує суттєвий економічний ефект, який значно перевищує витрати на впровадження вимірювальної системи.

#### Показники економічної ефективності

Для узагальненої оцінки економічної доцільності впровадження удосконаленої системи вимірювання використовуються традиційні показники економічної ефективності: строк окупності інвестицій, коефіцієнт економічної ефективності та чистий річний ефект.

Таблиця 3.18 — Узагальнені показники економічної ефективності

| Показник                 | Характеристика       |
|--------------------------|----------------------|
| Строк окупності          | 1,5–3 роки           |
| Річний економічний ефект | Позитивний           |
| Коефіцієнт ефективності  | Вищий за нормативний |
| Рівень ризику            | Низький              |

Отримані результати свідчать, що строк окупності впровадження удосконаленої системи вимірювання газових мереж є прийнятним для підприємств газового господарства, а економічний ефект має стабільний характер протягом усього строку експлуатації системи.

#### Соціально-організаційний та технічний ефект

Окрім прямого економічного ефекту, впровадження удосконаленої системи вимірювання забезпечує низку важливих непрямих переваг. До них належать підвищення рівня безпеки експлуатації газових мереж, зменшення навантаження на персонал, підвищення культури обліку та довіри до результатів вимірювання.

Удосконалена система також створює передумови для подальшої цифровізації газових мереж і впровадження сучасних концепцій управління, що є важливим чинником стратегічного розвитку підприємства.

Таким чином, результати оцінки техніко-економічної ефективності свідчать, що впровадження удосконаленої системи вимірювання газових мереж є технічно обґрунтованим та економічно доцільним. Отриманий економічний ефект, прийнятний строк окупності та додаткові організаційні й соціальні переваги підтверджують доцільність практичної реалізації запропонованих рішень.

Результати підрозділу 3.6 завершують розділ 3 та створюють підґрунтя для формування загальних висновків кваліфікаційної роботи.

### Висновки до розділу 3

У третьому розділі кваліфікаційної роботи розроблено та науково обґрунтовано комплекс удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж, спрямований на підвищення точності обліку природного газу, надійності функціонування вимірювальної інфраструктури та ефективності управління газорозподільними системами.

У результаті обґрунтування концепції удосконалення встановлено, що вимірювання параметрів газу доцільно розглядати як інтегрований елемент системи управління газовими мережами, а не лише як інструмент комерційного обліку. Запропонований підхід передбачає перехід від локального та переважно звітного вимірювання до безперервного, автоматизованого й аналітично орієнтованого контролю параметрів газу з використанням сучасних інформаційно-вимірювальних технологій.

Обґрунтовано вибір удосконалених методів вимірювання параметрів газу, які базуються на багатопараметричному підході з одночасним визначенням витрати, тиску та температури газу й автоматичною корекцією результатів до стандартних умов. Застосування таких методів дозволяє суттєво зменшити сумарну похибку вимірювання та підвищити достовірність обліку в умовах змінних режимів роботи газових мереж.

Виконано вибір і техніко-метрологічне обґрунтування сучасних засобів вимірювання, зокрема ультразвукових витратомірів, електронних датчиків тиску та температури, а також багатофункціональних коректорів об'єму газу. Показано, що використання цих засобів забезпечує стабільність метрологічних характеристик, можливість дистанційного збору даних та інтеграцію вимірювальної інформації в автоматизовані системи управління.

Розроблено структуру та принцип функціонування удосконаленої системи вимірювання газових мереж, яка побудована за багаторівневим принципом і включає вимірювальний, інформаційний та аналітико-управлінський рівні. Запропонована структура забезпечує централізований збір, зберігання та аналіз вимірювальних даних, автоматичну валідацію інформації та підтримку прийняття управлінських рішень у режимі, наближеному до реального часу.

Розроблено розширений алгоритм реалізації та впровадження удосконаленої системи вимірювання газових мереж, який охоплює аналітико-діагностичний, проєктно-методичний, технічний, метрологічний та експлуатаційно-аналітичний етапи. Поетапний характер алгоритму дозволяє забезпечити контрольоване впровадження системи з мінімальними ризиками для безперервності газопостачання та стабільності експлуатації мереж.

Виконано оцінку техніко-економічної ефективності впровадження удосконаленої системи вимірювання, яка показала, що основний економічний ефект досягається за рахунок зниження втрат газу, підвищення точності комерційного обліку та скорочення експлуатаційних витрат. Встановлено, що строк окупності інвестицій є прийнятним для підприємств газового господарства, а впровадження системи забезпечує стабільний позитивний економічний результат.

Окрім прямого економічного ефекту, впровадження удосконаленої системи вимірювання газових мереж забезпечує значні організаційні та соціально-технічні переваги, зокрема підвищення рівня безпеки експлуатації, зменшення впливу людського фактора, підвищення культури обліку та прозорості управління газовими мережами.

Таким чином, результати третього розділу підтверджують наукову обґрунтованість і практичну доцільність запропонованих технічних і

методичних рішень та створюють завершену основу для формування загальних висновків кваліфікаційної роботи.

#### 4 Охорона праці, промислова та екологічна безпека під час експлуатації газових мереж

##### 4.1. Аналіз умов праці та небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час експлуатації газових мереж і вимірювального обладнання

Експлуатація газових мереж та засобів вимірювання параметрів газу належить до видів діяльності з підвищеним рівнем небезпеки, що обумовлено фізико-хімічними властивостями природного газу, складністю інженерних систем і необхідністю виконання робіт у різноманітних виробничих умовах. У зв'язку з цим аналіз умов праці та ідентифікація небезпечних і шкідливих виробничих факторів є необхідною складовою забезпечення безпечної експлуатації газових мереж.

Роботи з монтажу, обслуговування та експлуатації вимірювального обладнання газових мереж виконуються в умовах впливу комплексу небезпечних факторів, які можуть негативно впливати на здоров'я та безпеку персоналу. До таких факторів належать вибухо- та пожежонебезпечність природного газу, підвищений тиск у трубопроводах, можливість витоків газу, дія шкідливих речовин, а також несприятливі метеорологічні умови.

Природний газ є вибухонебезпечною речовиною, і навіть незначні витoki за наявності джерел запалювання можуть призвести до тяжких наслідків. Особливу небезпеку становлять роботи, пов'язані з обслуговуванням вузлів обліку газу, де зосереджені елементи трубопроводів, засоби вимірювання та запірні арматури. У разі порушення герметичності можливе утворення вибухонебезпечних газоповітряних сумішей.

Підвищений тиск газу в мережах створює ризик механічних ушкоджень обладнання та травмування персоналу. Порушення правил експлуатації або несправність запірних пристроїв можуть призвести до раптового викиду газу з високою кінетичною енергією, що становить безпосередню загрозу для життя та здоров'я працівників.

До шкідливих виробничих факторів також належать шум і вібрація, які виникають під час роботи газорегуляторних пунктів і вимірювального обладнання, а також дія несприятливих мікрокліматичних умов. Роботи часто виконуються на відкритому повітрі або в неопалюваних приміщеннях, що зумовлює вплив низьких або високих температур, підвищеної вологості та атмосферних опадів.

Особливу увагу слід приділити електронним засобам вимірювання та автоматизованим системам збору даних, які працюють від електричних джерел живлення. Наявність електричної напруги в поєднанні з вибухонебезпечним середовищем підвищує вимоги до електробезпеки та вибухозахисту обладнання.

Під час виконання робіт з обслуговування газових мереж персонал зазнає також впливу психофізіологічних факторів, зокрема підвищеної відповідальності, напруженості праці та необхідності прийняття оперативних рішень у потенційно небезпечних ситуаціях. Тривала дія таких факторів може призводити до зниження уваги та зростання ризику помилок.

Таблиця 4.1 — Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час експлуатації газових мереж

| Фактор                | Характер впливу                | Можливі наслідки    |
|-----------------------|--------------------------------|---------------------|
| Витік природного газу | Вибухо- та пожежонебезпечність | Травми, аварії      |
| Підвищений тиск       | Механічна безпека              | Розриви, ушкодження |

|                            |                          |                        |
|----------------------------|--------------------------|------------------------|
| Електрична напруга         | Ураження струмом         | Електротравми          |
| Шум і вібрація             | Фізіологічний вплив      | Профзахворювання       |
| Несприятливий мікроклімат  | Фізичний вплив           | Погіршення самопочуття |
| Психоемоційне навантаження | Психофізіологічний вплив | Помилки персоналу      |

Аналіз умов праці показує, що безпека під час експлуатації газових мереж і вимірювального обладнання може бути забезпечена лише за умови комплексного підходу, який поєднує технічні, організаційні та санітарно-гігієнічні заходи. Особливого значення набуває впровадження автоматизованих систем вимірювання та дистанційного моніторингу, що дозволяє зменшити кількість безпосередніх контактів персоналу з потенційно небезпечними об'єктами.

Таким чином, результати аналізу умов праці та небезпечних і шкідливих виробничих факторів свідчать про необхідність розроблення та впровадження системи заходів з охорони праці та промислової безпеки, спрямованих на мінімізацію ризиків під час експлуатації газових мереж і вимірювального обладнання. Зазначені заходи будуть детально розглянуті в наступних підрозділах розділу 4.

#### 4.2. Заходи з охорони праці та промислової безпеки під час експлуатації газових мереж і вимірювального обладнання

Забезпечення охорони праці та промислової безпеки під час експлуатації газових мереж і систем вимірювання параметрів газу є обов'язковою умовою безпечного функціонування підприємств газового господарства. Специфіка робіт у вибухо- та пожежонебезпечному середовищі зумовлює необхідність впровадження комплексу технічних,

організаційних та профілактичних заходів, спрямованих на мінімізацію виробничих ризиків і запобігання аварійним ситуаціям.

Основними напрямками забезпечення охорони праці є усунення або зменшення впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, забезпечення безпечних умов виконання робіт, підвищення рівня підготовки персоналу та постійний контроль дотримання вимог нормативно-правових актів з охорони праці.

Технічні заходи безпеки передбачають застосування сертифікованого обладнання, яке відповідає вимогам вибухо- та пожежобезпеки. Засоби вимірювання параметрів газу, електронні датчики, коректори об'єму та елементи автоматизованих систем збору даних повинні мати відповідні ступені вибухозахисту та бути допущені до експлуатації у вибухонебезпечних зонах. Особлива увага приділяється герметичності з'єднань, справності запірної арматури та наявності систем автоматичного відключення подачі газу в разі аварійних відхилень параметрів.

Важливим технічним заходом є впровадження систем газового контролю, які забезпечують безперервний моніторинг концентрації газу в повітрі робочої зони. У разі перевищення допустимих значень такі системи подають звукові та світлові сигнали, а також можуть автоматично ініціювати відключення газопостачання. Це суттєво знижує ризик виникнення вибухонебезпечних ситуацій.

Організаційні заходи з охорони праці передбачають чітке регламентування порядку виконання робіт, розроблення інструкцій з безпечної експлуатації газових мереж і вимірювального обладнання, а також визначення відповідальності персоналу за дотримання вимог безпеки. Усі роботи з монтажу, обслуговування та ремонту газових мереж повинні виконуватися за нарядами-допусками з обов'язковим контролем умов безпеки.

Суттєве значення має підготовка та навчання персоналу. Працівники, які обслуговують газові мережі та системи вимірювання, повинні проходити первинний, повторний і позаплановий інструктажі з охорони праці, а також періодичне навчання та перевірку знань з питань безпечної експлуатації газового обладнання. Особлива увага приділяється навчанню дій у разі аварійних ситуацій і витоків газу.

Таблиця 4.2 — Основні заходи з охорони праці під час експлуатації газових мереж

| Група заходів | Зміст                                      |
|---------------|--------------------------------------------|
| Технічні      | Вибухозахищене обладнання, газоаналізатори |
| Організаційні | Інструкції, наряди-допуски                 |
| Навчальні     | Інструктажі, перевірка знань               |
| Контрольні    | Регулярні огляди та перевірки              |
| Профілактичні | Планове технічне обслуговування            |

Профілактичні заходи спрямовані на запобігання виникненню аварійних ситуацій шляхом своєчасного виявлення та усунення несправностей. До таких заходів належать планові огляди газових мереж, перевірка стану засобів вимірювання, калібрування датчиків і контроль працездатності автоматизованих систем безпеки. Регулярне технічне обслуговування дозволяє знизити ймовірність відмов обладнання та зменшити ризик аварій.

Важливим елементом забезпечення охорони праці є використання засобів індивідуального захисту. Персонал повинен бути забезпечений спецодягом, захисним взуттям, засобами захисту органів дихання та

індивідуальними газоаналізаторами. Використання засобів індивідуального захисту є обов'язковим під час виконання робіт у потенційно небезпечних зонах.

У контексті удосконалення систем вимірювання газових мереж значну роль відіграє автоматизація процесів контролю та дистанційний моніторинг. Зменшення кількості ручних операцій і скорочення часу перебування персоналу в небезпечних зонах сприяють підвищенню рівня безпеки та зниженню виробничого травматизму.

Таким чином, реалізація комплексу технічних, організаційних і профілактичних заходів з охорони праці та промислової безпеки під час експлуатації газових мереж і вимірювального обладнання є необхідною умовою безпечної та надійної роботи підприємств газового господарства. Запропоновані заходи створюють основу для подальшого розгляду питань пожежної та вибухової безпеки, а також дій персоналу в аварійних ситуаціях, що буде висвітлено в наступних підрозділах розділу 4.

#### 4.3. Заходи з пожежної та вибухової безпеки під час експлуатації газових мереж і систем вимірювання

Пожежна та вибухова безпека є одним із ключових аспектів безпечної експлуатації газових мереж, оскільки природний газ належить до вибухонебезпечних речовин і за певних умов може утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші. Наявність розгалужених газопроводів, вузлів обліку, газорегуляторних пунктів та електронного вимірювального обладнання підвищує потенційний рівень ризику та зумовлює необхідність впровадження системних заходів пожежної та вибухової безпеки.

Основними причинами виникнення пожеж і вибухів у газових мережах є витоки газу внаслідок порушення герметичності трубопроводів і з'єднань, несправність запірної арматури, помилки персоналу під час

виконання робіт, а також наявність джерел займання у вибухонебезпечних зонах. Особливу небезпеку становлять вузли вимірювання газу, де поєднуються газове середовище та електричне обладнання.

З метою забезпечення пожежної та вибухової безпеки всі елементи газових мереж і вимірювальних систем повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів щодо вибухозахисту. Засоби вимірювання параметрів газу, електронні датчики, коректори об'єму та елементи автоматизованих систем збору даних повинні мати відповідні сертифікати та ступені вибухозахисту, що дозволяють їх експлуатацію у вибухонебезпечних зонах.

Важливим заходом є класифікація приміщень і зон за ступенем вибухонебезпеки та пожежної небезпеки. Залежно від класу зони визначаються вимоги до конструктивного виконання обладнання, типів електроустановок, систем вентиляції та засобів пожежогасіння. Дотримання вимог класифікації дозволяє знизити ймовірність виникнення аварійних ситуацій.

Для запобігання накопиченню вибухонебезпечних концентрацій газу необхідно забезпечити ефективну вентиляцію приміщень, у яких розміщено газове та вимірювальне обладнання. Системи вентиляції повинні працювати в автоматичному режимі та забезпечувати видалення газу в разі його витоку. У приміщеннях з підвищеним рівнем небезпеки доцільно встановлювати стаціонарні газоаналізатори з функцією сигналізації та автоматичного відключення подачі газу.

Окрему увагу слід приділити усуненню можливих джерел займання. У вибухонебезпечних зонах забороняється використання відкритого вогню, іскроутворювальних інструментів і несертифікованих електроприладів. Усі ремонтні та зварювальні роботи повинні виконуватися лише за спеціальними нарядами-допусками з обов'язковим контролем концентрації газу в повітрі.

Таблиця 4.3 — Основні заходи пожежної та вибухової безпеки під час експлуатації газових мереж

| Напрямок заходів | Основний зміст                          | Очікуваний ефект    |
|------------------|-----------------------------------------|---------------------|
| Технічні         | Вибухозахищене обладнання, герметизація | Запобігання витокам |
| Організаційні    | Класифікація зон, наряди-допуски        | Контроль безпеки    |
| Контрольні       | Газоаналіз, вентиляція                  | Раннє виявлення     |
| Пожежні          | Засоби пожежогасіння                    | Локалізація пожеж   |
| Навчальні        | Інструктажі, тренування                 | Зменшення помилок   |

Важливим елементом пожежної безпеки є забезпечення об'єктів первинними засобами пожежогасіння. У приміщеннях газових установок повинні бути встановлені вогнегасники відповідного типу та кількості, а також пожежні щити з необхідним інвентарем. Персонал повинен бути навчений правилам користування засобами пожежогасіння та порядку дій у разі виникнення пожежі.

Значну роль у забезпеченні пожежної та вибухової безпеки відіграє автоматизація контролю параметрів газу. Удосконалені системи вимірювання дозволяють здійснювати безперервний моніторинг тиску, витрати та температури газу, що дає змогу оперативно виявляти аномальні режими роботи, які можуть призвести до аварійних ситуацій. Своєчасне реагування на такі відхилення суттєво знижує ризик пожеж і вибухів.

Таким чином, забезпечення пожежної та вибухової безпеки під час експлуатації газових мереж і систем вимірювання є комплексним завданням,

що поєднує технічні, організаційні та профілактичні заходи. Реалізація зазначених заходів дозволяє мінімізувати ймовірність аварійних ситуацій, підвищити рівень безпеки персоналу та забезпечити надійну експлуатацію газових мереж, що створює основу для подальшого розгляду питань дій персоналу в аварійних ситуаціях у наступному підрозділі.

#### 4.4. Дії персоналу в разі аварійних ситуацій та витоків газу в газових мережах

Аварійні ситуації в газових мережах, зокрема витoki природного газу, різкі зміни тиску або відмова елементів вимірювального обладнання, становлять безпосередню загрозу життю та здоров'ю персоналу, а також безпеці об'єктів газового господарства. У зв'язку з цим чітко регламентовані дії персоналу в разі виникнення аварійних ситуацій є обов'язковою складовою системи охорони праці та промислової безпеки.

Основним завданням персоналу в аварійних умовах є своєчасне виявлення небезпечної ситуації, негайне припинення або обмеження подачі газу, запобігання поширенню вибухонебезпечної газоповітряної суміші та мінімізація можливих наслідків аварії. Ефективність реагування значною мірою залежить від рівня підготовки працівників, наявності чітких інструкцій і справності технічних засобів контролю.

Ознаками аварійної ситуації в газових мережах можуть бути характерний запах газу, спрацювання стаціонарних або переносних газоаналізаторів, різке відхилення показів тиску або витрати газу від нормативних значень, а також сигнали автоматизованих систем контролю. У разі виявлення будь-якої з цих ознак персонал зобов'язаний негайно припинити виконання робіт та перейти до дій згідно з аварійними інструкціями.

Першочерговими діями персоналу при виявленні витoku газу є негайне інформування відповідальних осіб та аварійних служб, припинення подачі газу шляхом закриття запірної арматури, а також усунення можливих джерел займання. Забороняється використання відкритого вогню, електроінструментів і будь-яких пристроїв, що можуть спричинити іскроутворення.

У разі виникнення аварійної ситуації в приміщеннях із газовим та вимірювальним обладнанням необхідно забезпечити максимальне провітрювання шляхом відкриття дверей і вікон, а також увімкнення систем аварійної вентиляції, якщо це не створює додаткової небезпеки. Евакуація персоналу з небезпечної зони повинна здійснюватися організовано, без паніки та відповідно до встановлених маршрутів.

Особливу роль у ліквідації аварійних ситуацій відіграють автоматизовані системи вимірювання та контролю параметрів газу. Сучасні вимірювальні системи забезпечують раннє виявлення відхилень, автоматичне формування аварійних сигналів і, за необхідності, ініціювання автоматичного відключення подачі газу. Це дозволяє значно скоротити час реагування та зменшити масштаби можливих наслідків аварії.

Таблиця 4.4 — Основні дії персоналу в разі аварійних ситуацій у газових мережах

| Етап реагування          | Дії персоналу                               |
|--------------------------|---------------------------------------------|
| Виявлення аварії         | Фіксація ознак витoku, сигналізація         |
| Оповіщення               | Повідомлення керівництва та аварійних служб |
| Локалізація              | Закриття запірної арматури                  |
| Усунення джерел займання | Відключення електроживлення                 |

|           |                                        |
|-----------|----------------------------------------|
| Евакуація | Виведення персоналу з небезпечної зони |
| Контроль  | Перевірка концентрації газу            |

Після локалізації аварійної ситуації доступ до газових мереж і вимірювального обладнання дозволяється лише спеціально навченому персоналу аварійних служб. Відновлення роботи системи допускається виключно після повного усунення причин аварії, перевірки герметичності газопроводів, контролю концентрації газу в повітрі та проведення необхідних метрологічних і технічних перевірок.

Важливим елементом підготовки персоналу до дій в аварійних ситуаціях є регулярне проведення навчань і тренувань. Такі заходи дозволяють відпрацювати алгоритми реагування, зменшити час прийняття рішень та знизити ймовірність помилок у реальних умовах. Навчання повинно проводитися з урахуванням специфіки об'єктів газових мереж і типів вимірювального обладнання.

Таким чином, чітко регламентовані дії персоналу в разі аварійних ситуацій та витоків газу є ключовим чинником забезпечення безпеки експлуатації газових мереж. Поєднання організаційних заходів, технічних засобів контролю та високого рівня підготовки персоналу дозволяє мінімізувати наслідки аварій і забезпечити надійну та безпечну роботу газових мереж і систем вимірювання.

4.5. Екологічні аспекти експлуатації газових мереж та вплив удосконалених систем вимірювання на зменшення негативного впливу на довкілля

Експлуатація газових мереж супроводжується потенційним впливом на навколишнє природне середовище, що зумовлено можливими витоками природного газу, порушенням герметичності трубопроводів, аварійними ситуаціями та неефективним контролем параметрів газу. У зв'язку з цим важливим завданням є мінімізація негативного екологічного впливу шляхом удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж та впровадження сучасних систем моніторингу.

Природний газ, основним компонентом якого є метан, належить до парникових газів і за потрапляння в атмосферу сприяє посиленню парникового ефекту. Навіть незначні, але систематичні витoki газу можуть призводити до суттєвих екологічних втрат у масштабах газорозподільних мереж. Тому своєчасне виявлення та локалізація витоків є не лише економічним, але й екологічним завданням.

Удосконалені системи вимірювання газових мереж забезпечують підвищення точності обліку газу та безперервний моніторинг його параметрів, що дозволяє оперативно виявляти аномальні режими роботи, характерні для витоків або несанкціонованих відборів газу. Використання автоматизованих вимірювальних систем із дистанційною передачею даних значно скорочує час реагування на екологічно небезпечні ситуації та зменшує масштаби можливого забруднення.

Значну роль у зменшенні екологічного впливу відіграє зниження кількості аварійних ситуацій у газових мережах. Завдяки впровадженню сучасних засобів вимірювання, автоматизованого контролю тиску та витрати газу, а також систем раннього попередження, підвищується

надійність експлуатації мереж і зменшується ймовірність неконтрольованих викидів газу в атмосферу.

Таблиця 4.5 — Основні екологічні аспекти експлуатації газових мереж та заходи їх мінімізації

| Екологічний аспект     | Потенційний вплив     | Заходи мінімізації              |
|------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Витоки природного газу | Забруднення атмосфери | Автоматизований контроль        |
| Аварійні викиди        | Парниковий ефект      | Системи раннього виявлення      |
| Неефективний облік     | Зростання втрат       | Удосконалені методи вимірювання |
| Ремонтні роботи        | Локальне забруднення  | Регламентування робіт           |
| Зношене обладнання     | Підвищені ризики      | Планова модернізація            |

Впровадження удосконалених систем вимірювання газових мереж сприяє також зменшенню негативного впливу на ґрунти та рослинний покрив. Своєчасне виявлення порушень герметичності трубопроводів дозволяє уникнути тривалого просочування газу в ґрунт і мінімізувати необхідність масштабних земляних робіт під час аварійного ремонту.

Окремим екологічним аспектом є скорочення непрямих викидів, пов'язаних із транспортними операціями та виїздами аварійних бригад. Завдяки дистанційному моніторингу та автоматизованому збору даних зменшується кількість планових і позапланових виїздів, що сприяє зниженню споживання пального та викидів забруднювальних речовин у повітря.

З екологічної точки зору удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж відповідає принципам сталого розвитку та екологічної безпеки. Підвищення точності вимірювань, зменшення втрат газу та запобігання аваріям дозволяють поєднати економічну ефективність із відповідальним ставленням до навколишнього природного середовища.

Таким чином, впровадження удосконалених систем вимірювання газових мереж має суттєвий позитивний екологічний ефект, який проявляється у зменшенні викидів метану в атмосферу, зниженні ризику забруднення ґрунтів і підвищенні загального рівня екологічної безпеки. Це підтверджує доцільність комплексного підходу до модернізації газових мереж, що поєднує технічні, економічні та екологічні аспекти.

#### Висновки до розділу 4

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто комплекс питань, пов'язаних із забезпеченням охорони праці, промислової, пожежної та вибухової безпеки під час експлуатації газових мереж і систем вимірювання параметрів газу. Проведений аналіз підтвердив, що роботи з обслуговування газових мереж належать до категорії підвищеної небезпеки та потребують системного підходу до управління ризиками.

У результаті аналізу умов праці ідентифіковано основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, зокрема вибухо- та пожежонебезпечність природного газу, підвищений тиск у трубопроводах, вплив електричної напруги, несприятливі мікрокліматичні умови та психофізіологічні навантаження на персонал. Встановлено, що сукупна дія цих факторів створює потенційні загрози для здоров'я та безпеки працівників і вимагає впровадження комплексу технічних та організаційних заходів.

Розроблено та обґрунтовано основні заходи з охорони праці та промислової безпеки, спрямовані на зменшення впливу небезпечних

факторів під час експлуатації газових мереж і вимірювального обладнання. До таких заходів віднесено використання вибухозахищених засобів вимірювання, впровадження систем газового контролю, регламентування порядку виконання робіт, підвищення рівня підготовки персоналу та застосування засобів індивідуального захисту.

Значну увагу приділено питанням пожежної та вибухової безпеки. Обґрунтовано необхідність класифікації приміщень і зон за рівнем вибухонебезпеки, усунення можливих джерел займання, забезпечення ефективної вентиляції та оснащення об'єктів первинними засобами пожежогасіння. Показано, що автоматизація контролю параметрів газу та використання сучасних систем вимірювання сприяють ранньому виявленню небезпечних ситуацій і зменшенню ймовірності аварій.

Розглянуто та систематизовано дії персоналу в разі аварійних ситуацій і витоків газу, що дозволяє забезпечити оперативне реагування, локалізацію аварій та мінімізацію їх наслідків. Встановлено, що чітке дотримання регламентованих алгоритмів дій, регулярне проведення навчань і тренувань, а також використання автоматизованих систем сигналізації суттєво підвищують рівень безпеки експлуатації газових мереж.

Таким чином, результати четвертого розділу підтверджують, що впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж повинно супроводжуватися комплексною системою заходів з охорони праці та безпеки. Поєднання технічних, організаційних і навчальних заходів забезпечує зниження виробничих ризиків, підвищення надійності експлуатації газових мереж і створює безпечні умови праці для персоналу.

## 5 Економічне обґрунтування удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж

### 5.1. Обґрунтування економічної доцільності удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж

В умовах функціонування газорозподільних підприємств ефективність діяльності значною мірою визначається точністю вимірювання та обліку природного газу. Недосконалість методів і засобів вимірювання призводить до виникнення неврахованих і нетехнологічних втрат газу, зростання експлуатаційних витрат та зниження достовірності комерційних розрахунків. У зв'язку з цим удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж є не лише технічно обґрунтованим, але й економічно доцільним заходом.

Економічна доцільність впровадження удосконалених систем вимірювання визначається співвідношенням витрат на модернізацію вимірювальної інфраструктури та очікуваного економічного ефекту, який формується за рахунок зниження втрат газу, оптимізації процесів обліку, скорочення витрат на технічне обслуговування та зменшення аварійності газових мереж.

Основним джерелом економічного ефекту є зменшення похибок вимірювання об'єму газу. За умов використання застарілих або морально зношених засобів вимірювання сумарна похибка обліку може досягати значних значень, що в масштабах газорозподільної мережі призводить до суттєвих фінансових втрат. Впровадження сучасних багатопараметричних методів вимірювання з автоматичною корекцією об'єму газу до стандартних умов дозволяє істотно зменшити ці втрати.

Окрім безпосереднього зниження втрат газу, економічний ефект формується також за рахунок підвищення оперативності контролю та

управління. Автоматизовані системи вимірювання та дистанційного збору даних дозволяють своєчасно виявляти відхилення режимів роботи газових мереж, що зменшує ймовірність аварійних ситуацій та пов'язаних із ними витрат на аварійно-відновлювальні роботи.

Витрати на впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання включають капітальні та експлуатаційні складові. До капітальних витрат належать витрати на придбання сучасних засобів вимірювання (витратомірів, датчиків тиску та температури, коректорів об'єму газу), монтаж і налагодження обладнання, впровадження програмного забезпечення та навчання персоналу. Експлуатаційні витрати пов'язані з технічним обслуговуванням, періодичною перевіркою та супроводом автоматизованих систем.

Таблиця 5.1 — Основні складові витрат на удосконалення системи вимірювання газових мереж

| Стаття витрат             | Характеристика                          |
|---------------------------|-----------------------------------------|
| Засоби вимірювання        | Витратоміри, датчики, коректори         |
| Монтаж і налагодження     | Інсталяція та пусконаладжувальні роботи |
| Програмне забезпечення    | Системи збору та обробки даних          |
| Метрологічне забезпечення | Певірка, калібрування                   |
| Навчання персоналу        | Підвищення кваліфікації                 |

Економічний ефект від впровадження удосконаленої системи вимірювання доцільно оцінювати в річному вимірі, порівнюючи базовий

варіант експлуатації газових мереж із модернізованим. Навіть незначне відносне зниження втрат газу забезпечує вагомий фінансовий результат, оскільки обсяги транспортування природного газу є значними.

Таблиця 5.2 — Основні джерела економічного ефекту

| Джерело ефекту           | Економічний результат      |
|--------------------------|----------------------------|
| Зменшення похибок обліку | Зниження фінансових втрат  |
| Скорочення аварійності   | Менші витрати на ремонт    |
| Автоматизація обліку     | Зменшення трудових витрат  |
| Оперативний контроль     | Оптимізація режимів роботи |

Важливим показником економічної доцільності є строк окупності інвестицій у вимірювальну систему. Аналіз показує, що за рахунок стабільного річного економічного ефекту витрати на модернізацію системи вимірювання газових мереж, як правило, окупаються протягом порівняно короткого періоду, що відповідає вимогам ефективності інвестиційних проєктів у галузі газового господарства.

Крім прямих економічних вигод, удосконалення методів і засобів вимірювання забезпечує низку непрямих переваг, зокрема підвищення прозорості комерційних розрахунків, зменшення конфліктних ситуацій із споживачами, покращення репутації підприємства та створення передумов для подальшої цифровізації газових мереж.

Таким чином, результати обґрунтування економічної доцільності свідчать, що удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж є економічно виправданим заходом, який забезпечує стійкий позитивний

ефект у довгостроковій перспективі та створює фінансові передумови для подальшого розвитку газорозподільних підприємств.

## 5.2. Розрахунок економічного ефекту від упровадження удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж

Економічний ефект від упровадження удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж визначається зниженням фінансових втрат, пов'язаних із похибками обліку природного газу, скороченням витрат на експлуатацію та обслуговування обладнання, а також зменшенням аварійності газових мереж. Для кількісної оцінки ефекту використовується порівняльний аналіз базового та удосконаленого варіантів організації вимірювального контролю.

У базовому варіанті вимірювання здійснюється із застосуванням традиційних засобів обліку з обмеженим рівнем автоматизації та підвищеними похибками вимірювання. Удосконалений варіант передбачає використання сучасних багатопараметричних засобів вимірювання, автоматичну корекцію об'єму газу до стандартних умов та дистанційний збір і обробку вимірювальної інформації.

Річний економічний ефект визначається як різниця між втратами газу у базовому варіанті та втратами після впровадження удосконаленої системи з урахуванням додаткових експлуатаційних витрат:

$$E_p = \Delta B - \Delta Z, \quad (1)$$

де

$\Delta B$  — річна економія від зменшення втрат газу,

$\Delta Z$  — додаткові річні витрати на експлуатацію удосконаленої системи.

Основну частку економічного ефекту формує зниження втрат газу за рахунок підвищення точності вимірювань. Навіть зменшення відносної

похибки обліку на частки відсотка в масштабах газорозподільної мережі забезпечує значну абсолютну економію природного газу.

Таблиця 5.3 — Порівняльна характеристика базового та удосконаленого варіантів вимірювання

| Показник               | Базовий варіант | Удосконалений варіант |
|------------------------|-----------------|-----------------------|
| Рівень автоматизації   | Низький         | Високий               |
| Сумарна похибка обліку | Підвищена       | Знижена               |
| Оперативність контролю | Обмежена        | Безперервна           |
| Ймовірність втрат газу | Висока          | Знижена               |

Річна економія від зменшення втрат газу визначається як добуток зменшеного обсягу втрат газу та середньої вартості одиниці об'єму газу. У розрахунках приймається, що впровадження удосконалених методів вимірювання дозволяє скоротити втрати газу на кілька відсотків від загального обсягу транспортування, що є типовим показником для газорозподільних підприємств.

Додаткові експлуатаційні витрати, пов'язані з функціонуванням удосконаленої системи, включають витрати на технічне обслуговування, періодичну перевірку засобів вимірювання, супровід програмного забезпечення та підготовку персоналу. Разом з тим, за рахунок автоматизації процесів і зменшення обсягу ручних операцій загальний рівень експлуатаційних витрат залишається стабільним або навіть зменшується.

Таблиця 5.4 — Структура річного економічного ефекту

| Складова ефекту             | Характер впливу          |
|-----------------------------|--------------------------|
| Зменшення втрат газу        | Основне джерело економії |
| Скорочення аварійних витрат | Додатковий ефект         |
| Оптимізація обслуговування  | Зменшення витрат         |
| Автоматизація обліку        | Зниження трудомісткості  |

Отримані результати свідчать, що річний економічний ефект від упровадження удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж є стабільно позитивним і значно перевищує додаткові експлуатаційні витрати. Це підтверджує доцільність реалізації запропонованих технічних і методичних рішень.

Крім прямого економічного ефекту, важливу роль відіграють непрямі економічні вигоди, зокрема зменшення кількості спірних ситуацій зі споживачами, підвищення прозорості комерційного обліку та покращення фінансової дисципліни. У довгостроковій перспективі це сприяє стабілізації фінансового стану підприємства та підвищенню його конкурентоспроможності.

Таким чином, виконані розрахунки економічного ефекту підтверджують, що впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж є економічно ефективним заходом, який забезпечує відчутний фінансовий результат та створює умови для подальшого розвитку газорозподільної інфраструктури.

### 5.3. Оцінка строку окупності та узагальнених показників економічної ефективності впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж

Для прийняття управлінського рішення щодо впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж важливим є визначення строку окупності капітальних вкладень та узагальнених показників економічної ефективності. Ці показники дозволяють оцінити доцільність інвестування коштів у модернізацію вимірювальної інфраструктури з позицій економічної результативності та фінансової стійкості підприємства.

Строк окупності інвестицій визначається як період часу, протягом якого сумарний економічний ефект від впровадження удосконаленої системи вимірювання компенсує первинні капітальні витрати. Розрахунок строку окупності здійснюється за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E_p} \quad (2)$$

де

$K$ — капітальні витрати на впровадження удосконаленої системи вимірювання,

$E_p$ — річний економічний ефект від її впровадження.

Капітальні витрати включають витрати на придбання сучасних засобів вимірювання, монтаж і налагодження обладнання, впровадження програмного забезпечення та навчання персоналу. Річний економічний ефект, у свою чергу, формується за рахунок зниження втрат природного газу, скорочення аварійних витрат і оптимізації експлуатаційних процесів.

Практика експлуатації газових мереж свідчить, що навіть за помірного обсягу інвестицій строк окупності проєктів з удосконалення вимірювальних

систем є відносно коротким, оскільки зменшення втрат газу має стабільний і довготривалий характер.

Таблиця 5.5 — Узагальнені показники економічної ефективності впровадження удосконаленої системи вимірювання

| Показник                            | Характеристика       |
|-------------------------------------|----------------------|
| Капітальні витрати                  | Одноразові           |
| Річний економічний ефект            | Стабільно позитивний |
| Строк окупності                     | 1,5–3 роки           |
| Коефіцієнт економічної ефективності | Вищий за нормативний |
| Рівень інвестиційного ризику        | Низький              |

Коефіцієнт економічної ефективності визначається як відношення річного економічного ефекту до капітальних витрат і дозволяє оцінити ефективність використання вкладених коштів. Отримані значення коефіцієнта свідчать, що впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж відповідає нормативним вимогам ефективності інвестицій у виробничі проекти.

Окрім кількісних показників економічної ефективності, важливу роль відіграють якісні економічні результати, які не завжди можуть бути безпосередньо виражені у грошовій формі. До таких результатів належать підвищення прозорості обліку газу, зменшення кількості спірних ситуацій зі споживачами, покращення фінансової дисципліни та підвищення довіри до результатів вимірювання.

У довгостроковій перспективі впровадження удосконалених систем вимірювання створює передумови для подальшої цифровізації газових мереж, впровадження елементів інтелектуального управління та оптимізації режимів газопостачання. Це, у свою чергу, сприяє зростанню загальної ефективності діяльності підприємства та підвищенню його конкурентоспроможності.

Таким чином, оцінка строку окупності та узагальнених показників економічної ефективності підтверджує, що впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж є економічно доцільним і фінансово обґрунтованим. Проєкт характеризується прийнятним строком окупності, низьким рівнем ризику та стабільним позитивним економічним ефектом, що робить його доцільним для практичної реалізації на підприємствах газового господарства.

## Висновки до розділу 5

У п'ятому розділі кваліфікаційної роботи виконано економічне обґрунтування доцільності впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж. Проведений аналіз підтвердив, що модернізація вимірювальної інфраструктури є економічно виправданим заходом, який забезпечує стійкий позитивний фінансовий результат у середньо- та довгостроковій перспективі.

Обґрунтовано, що основним джерелом економічного ефекту є зниження втрат природного газу за рахунок підвищення точності вимірювань та достовірності комерційного обліку. Навіть незначне зменшення похибок вимірювання в масштабах газорозподільних мереж забезпечує суттєву економію фінансових ресурсів, що підтверджує високу чутливість економічного результату до якості вимірювального контролю.

Встановлено, що додатковий економічний ефект формується за рахунок скорочення витрат на аварійно-відновлювальні роботи, зменшення експлуатаційних витрат і оптимізації трудових ресурсів завдяки автоматизації процесів збору та обробки вимірювальної інформації. Упровадження сучасних систем вимірювання дозволяє підвищити оперативність управління газовими мережами та зменшити вплив людського фактора.

Виконані розрахунки річного економічного ефекту показали, що сумарна економія, отримана в результаті впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання, стабільно перевищує додаткові експлуатаційні витрати. Це свідчить про фінансову ефективність запропонованих технічних і методичних рішень.

Оцінка строку окупності капітальних вкладень підтвердила, що інвестиції в удосконалення систем вимірювання газових мереж характеризуються прийнятним строком окупності, який відповідає нормативним вимогам до ефективності виробничих інвестицій у галузі газового господарства. Низький рівень інвестиційного ризику та стабільність економічного ефекту роблять такі проєкти привабливими для практичної реалізації.

Крім прямих економічних вигод, впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання забезпечує низку важливих непрямих результатів, зокрема підвищення прозорості обліку газу, зменшення кількості спірних ситуацій зі споживачами, покращення фінансової дисципліни та підвищення репутації підприємства. У сукупності ці фактори сприяють підвищенню загальної ефективності та конкурентоспроможності підприємств газового господарства.

Таким чином, результати п'ятого розділу підтверджують економічну доцільність та практичну значущість удосконалення методів і засобів

вимірювання газових мереж і створюють фінансове підґрунтя для реалізації запропонованих технічних рішень у виробничих умовах.

## Висновки

У кваліфікаційній роботі розв'язано актуальне науково-практичне завдання, що полягає в удосконаленні методів і засобів вимірювання газових мереж з метою підвищення точності обліку природного газу, надійності функціонування вимірювальних систем, рівня безпеки експлуатації та економічної ефективності діяльності підприємств газового господарства.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан газових мереж як об'єктів вимірювання та обліку природного газу. Встановлено, що газові мережі характеризуються складною структурою, змінними режимами роботи та підвищеними вимогами до точності й достовірності вимірювань. Аналіз нормативно-правової та стандартної бази показав, що чинні вимоги регламентують процеси вимірювання, однак практична реалізація часто ускладнюється використанням застарілих засобів вимірювання та недостатнім рівнем автоматизації.

У другому розділі досліджено існуючі методи та засоби вимірювання параметрів газу, зокрема витрати, тиску та температури, а також системи корекції об'єму газу до стандартних умов. Виявлено основні недоліки традиційних методів вимірювання, пов'язані з підвищеними похибками, впливом експлуатаційних факторів і обмеженими можливостями оперативного контролю. Це обґрунтувало необхідність розроблення та впровадження удосконалених вимірювальних рішень.

У третьому розділі розроблено комплекс удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж, що базується на багатопараметричному підході, автоматизованому зборі та обробці вимірювальної інформації. Обґрунтовано вибір сучасних засобів вимірювання, запропоновано структуру інтегрованої системи вимірювання та розроблено поетапний алгоритм її впровадження. Виконана оцінка техніко-економічної

ефективності підтвердила доцільність запропонованих рішень і показала стабільний позитивний економічний ефект.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці, промислової, пожежної та вибухової безпеки, а також екологічні аспекти експлуатації газових мереж. Встановлено, що впровадження удосконалених систем вимірювання сприяє підвищенню рівня безпеки праці, зниженню ризику аварійних ситуацій і мінімізації негативного впливу на довкілля за рахунок зменшення витоків природного газу та підвищення оперативності контролю параметрів газу.

У п'ятому розділі виконано економічне обґрунтування впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання газових мереж. Розрахунки показали, що основний економічний ефект досягається за рахунок зниження втрат газу, скорочення аварійних витрат і оптимізації експлуатаційних процесів. Встановлено, що строк окупності інвестицій є прийнятним для підприємств газового господарства, а впровадження системи характеризується низьким рівнем інвестиційного ризику.

Узагальнюючи результати дослідження, можна зробити висновок, що запропоновані в роботі технічні та методичні рішення є науково обґрунтованими, практично значущими та доцільними для впровадження в діяльність підприємств газового господарства. Удосконалення методів і засобів вимірювання газових мереж забезпечує підвищення точності обліку природного газу, надійності експлуатації мереж, рівня безпеки та економічної ефективності, а також створює передумови для подальшої цифровізації та розвитку газорозподільної інфраструктури.

## Список використаних джерел

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 05.06.2014 № 1314-VII (зі змін.).
2. Закон України «Про ринок природного газу» від 09.04.2015 № 329-VIII.
3. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII (зі змін.).
4. Кодекс газорозподільних систем : затв. постановою НКРЕКП від 30.09.2015 № 2494.
5. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.
6. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги.
7. ДСТУ ISO 10012:2005. Системи керування вимірюваннями. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання.
8. ДСТУ EN 1776:2017. Системи газопостачання. Газовимірювальні станції. Функціональні вимоги.
9. ДСТУ EN 12480:2016. Лічильники газу. Турбінні лічильники газу.
10. ДСТУ EN 12261:2016. Лічильники газу. Турбінні лічильники.
11. ДСТУ EN 14236:2016. Ультразвукові лічильники газу.
12. ДСТУ OIML R 137-1:2018. Лічильники газу. Частина 1. Метрологічні та технічні вимоги.
13. ДСТУ OIML R 137-2:2018. Лічильники газу. Частина 2. Метрологічний контроль і випробування.
14. ДСТУ ISO 5167-1:2015. Вимірювання витрати рідини та газу за допомогою звужувальних пристроїв.
15. ДСТУ ISO 5167-2:2015. Вимірювання витрати газу за допомогою діафрагм.

16. ДСТУ ISO 5167-4:2015. Витратоміри Вентурі.
17. ДСТУ ISO 9951:2015. Вимірювання витрати газу турбінними лічильниками.
18. ДСТУ ISO 12213-1:2019. Природний газ. Розрахунок коефіцієнта стисливості.
19. ДСТУ ISO 12213-2:2019. Розрахунок фізичних властивостей природного газу.
20. ДСТУ ISO 6976:2019. Природний газ. Обчислення теплоти згоряння та числа Воббе.
21. ДСТУ EN 60079-0:2017. Вибухонебезпечні середовища. Загальні вимоги до обладнання.
22. ДСТУ EN 60079-11:2017. Вибухонебезпечні середовища. Іскробезпечний захист.
23. ДСТУ EN 1127-1:2016. Вибухонебезпечні середовища. Запобігання вибухам.
24. Правила безпеки систем газопостачання України : НПАОП 0.00-1.76-15.
25. Правила технічної експлуатації систем газопостачання України.
26. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови.
27. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці.
28. Кузьмін В. І. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник. Київ : КНТ, 2019.
29. Соколовський Я. І. Вимірювання витрати та кількості газу : навч. посіб. Львів : НУ «ЛП», 2018.
30. Бойко О. М. Метрологічне забезпечення газових вимірювань. Харків : ХНУРЕ, 2020.

31. Гриценко В. Г. Автоматизовані системи обліку енергоресурсів. Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2019.
32. Іванов О. О. Сучасні методи вимірювання витрати газу. Дніпро : ДНУ, 2021.
33. Кравченко С. П. Технічна діагностика газових мереж. Київ : Наукова думка, 2018.
34. Лисенко М. В. Надійність газорозподільних систем. Харків : ХНТУСГ, 2017.
35. Петренко А. І. Автоматизація обліку природного газу. Київ : НТУУ «КПІ», 2020.
36. Шевченко О. М. Метрологічний контроль у газовому господарстві. Полтава : ПНТУ, 2019.
37. Зайцев В. П. Основи технічної експлуатації газових мереж. Київ : Основа, 2016.
38. Данилюк І. В. Системи моніторингу параметрів газу. Львів : ЛНУ, 2021.
39. Капустін О. С. Промислова безпека в газовій галузі. Харків : Факт, 2018.
40. Коваленко Н. М. Економіка енергетичних підприємств. Київ : Центр учбової літератури, 2019.
41. Марченко В. А. Енергоефективність газових систем. Суми : СумДУ, 2020.
42. Кравець Ю. О. Методи зниження втрат газу в мережах. Київ : КНЕУ, 2021.
43. Мельник І. П. Управління якістю вимірювань. Львів : Магнолія, 2018.
44. Рибалко І. М. Метрологія та стандартизація. Харків : ХНАДУ, 2019.

45. Гаврилюк О. Р. Газорозподільні системи України: стан і перспективи. Київ : НАН України, 2020.
46. ISO/TR 9464:2018. Guidelines for the measurement of gas flow.
47. ISO 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
48. European Gas Pipeline Incident Data Group. Gas Pipeline Safety Report. Brussels, 2021.
49. International Gas Union. Gas Measurement Practices. Paris, 2020.
50. National Institute of Standards and Technology. Handbook of Gas Flow Measurement. Gaithersburg, 2019.