

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра інженерії вагонів та якості продукції

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ, ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ

Пояснювальна записка і розрахунки
до магістерської кваліфікаційної роботи

МКРМЕ.175.26.22.00. ПЗ

Розробив студент групи 217-ЯСС-Д24
спеціальності 175 «Інформаційно-
вимірювальні технології» освітньої програми
«Якість, стандартизація та сертифікація»
Станіслав СТАДНІК 

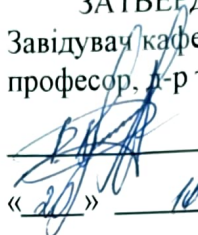
Керівник: професор, д-р техн. наук
Ларіса ТИМОФЕЄВА

Рецензент: викладач ХДППФК ім. В.І.
Вернадського, PhD з матеріалознавства
Андрій ЗАХАРОВ

2025

Український державний університет залізничного транспорту

факультет механіко-енергетичний
кафедра інженерії вагонів та якості продукції
другий (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 » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Стаднік Станіслава Миколайовича

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

керівник Тимофеева Ларіса Андріївна, професор, д-р техн. наук

затверджені наказом по механіко-енергетичному факультету від

« » _____ 2025 року № _____.

1 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 теплових мереж.

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

5. На основі зібраних матеріалів необхідно сформулювати методичний підхід до удосконалення методів і засобів вимірювання теплових 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 теплових втрат, структури експлуатаційних витрат, організації вимірювального контролю та ефективності функціонування теплових мереж. Зібрані матеріали є підґрунтям для розроблення практичних рекомендацій щодо підвищення точності вимірювань та енергоефективності теплових 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 теплових мереж, його організаційною структурою та технічною документацією.	26.02 - 02.03	виконано
2. Аналіз нормативно-правової та стандартної бази у сфері вимірювання теплотехнічних параметрів і метрологічного забезпечення теплових мереж.	03.03 – 13.04	виконано
3. Дослідження існуючих методів і засобів вимірювання температури, тиску, витрати теплоносія та теплових втрат.	14.04 – 10.06	виконано
4. Аналіз чинної системи контролю та моніторингу параметрів теплових мереж в умовах експлуатації.	11.06 – 03.07	виконано
5. Обґрунтування напрямів удосконалення методів і засобів вимірювання теплових мереж.	04.07 – 01.09	виконано
6. Розроблення удосконаленої методики вимірювання теплових втрат.	02.09 – 05.10	виконано
7. Оцінка економічної та організаційної ефективності впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання теплових 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  Станіслав СТАДНІК

Керівник  Ларіса ТИМОФЕЄВА

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота включає 15 слайдів презентації та 116 аркушів пояснювальної записки формату А4.

Ключові слова: теплові мережі, вимірювання теплових втрат, теплотехнічні параметри, засоби вимірювання, метрологічне забезпечення, автоматизований контроль, енергоефективність.

Об'єктом дослідження є теплові мережі систем централізованого теплопостачання як об'єкт теплотехнічних і метрологічних вимірювань.

Предметом дослідження є методи, засоби та організаційно-методичні підходи до вимірювання теплотехнічних параметрів і теплових втрат у теплових мережах.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування та розроблення удосконалених методів і засобів вимірювання теплових мереж з метою підвищення точності визначення теплових втрат, достовірності контролю параметрів теплоносія та підвищення енергоефективності систем теплопостачання.

У роботі проаналізовано сучасний стан теплових мереж і чинні методи вимірювання теплотехнічних параметрів, розглянуто нормативно-методичну базу метрологічного забезпечення вимірювань. Проведено аналіз засобів вимірювання температури, тиску та витрати теплоносія, а також методів визначення теплових втрат. Виявлено основні недоліки традиційних підходів, що знижують точність і оперативність вимірювального контролю.

Розроблено удосконалену методику вимірювання теплових втрат у теплових мережах, яка базується на комплексному використанні контактних і безконтактних 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 116 pages of explanatory notes in A4 format.

Keywords: district heating networks, heat loss measurement, thermal parameters, measuring instruments, metrological support, automated monitoring, energy efficiency.

The object of the study is district heating networks of centralized heat supply systems as an object of thermal and metrological measurements.

The subject of the study is methods, instruments, and organizational approaches to measuring thermal parameters and heat losses in district heating networks.

The purpose of the qualification work is to substantiate and develop improved measurement methods and instruments to increase the accuracy of heat loss determination, the reliability of thermal parameter monitoring, and the energy efficiency of heat supply systems.

The work analyzes the current state of district heating networks, existing measurement methods and instruments, and the regulatory framework for metrological support. An improved heat loss measurement methodology based on the combined use of contact and non-contact instruments with automated data acquisition and processing is developed. Recommendations for implementation are proposed, the technical and economic efficiency is evaluated, and occupational safety issues during measurement operations are considered.

ЗМІСТ

Вступ	8
Розділ 1. Існуючі методики визначення питомих теплових втрат через теплоізоляційний шар	10
1.1. Особливості застосовуваних методик	10
1.2. Методи визначення годинних втрат тепла	15
1.3. Недоліки існуючих методів і засобів вимірювання параметрів теплових мереж та обґрунтування необхідності їх удосконалення	20
1.4. Класифікація та характеристика сучасних засобів вимірювання параметрів теплових мереж	27
1.5. Сучасні тенденції та напрями удосконалення методів і засобів вимірювання теплових мереж	31
Висновки до розділу 1	35
Розділ 2. Аналіз об'єкта дослідження та існуючої системи вимірювання теплових мереж	37
2.1. Характеристика об'єкта дослідження та теплової мережі як об'єкта вимірювання	37
2.2. Аналіз існуючих методів і засобів вимірювання параметрів теплових мереж в умовах експлуатації	41
2.3. Оцінка точності та інформативності вимірювальних систем теплових мереж	46
2.4. Аналіз проблем експлуатаційного контролю та метрологічного забезпечення вимірювань	50
2.5. Висновки щодо необхідності удосконалення системи вимірювання параметрів теплових мереж	54
Висновки до розділу 2	57

					МКРМЕ.175.26.22.00. ПЗ		
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Стаднік			25.02.25	Удосконалення методів, засобів вимірювання теплових мереж		
Перевірив	Тимофєєва			20.02.25			
Реєнз.	Захаров						
Н. контр.	Шовкун			22.02.25			
Затв.	Равлюк			22.02.25			
						Літер	Аркуш
							4
						Аркушів	
						100	
						УкрДУЗТ	

Розділ 3. Удосконалення методів і засобів вимірювання теплових мереж	59
3.1. Обґрунтування вибору напрямів удосконалення вимірювальних методів	59
3.2. Розроблення удосконаленої методики вимірювання теплових втрат	62
3.3. Алгоритм реалізації удосконаленої методики вимірювання параметрів теплових мереж	66
3.4. Розрахункова апробація та аналіз результатів вимірювань	71
3.5. Оцінка точності та ефективності удосконаленої методики	75
3.6. Практичні рекомендації щодо впровадження удосконаленої системи вимірювання	77
Висновки до розділу 3	80
Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	81
4.1. Аналіз умов праці та небезпечних факторів під час виконання вимірювальних робіт	81
4.2. Заходи з охорони праці та виробничої безпеки	85
4.3. Пожежна безпека та заходи щодо запобігання аваріям	87
Висновки до розділу 4	97
Розділ 5. Економічне обґрунтування впровадження удосконалених методів вимірювання	98
5.1. Аналіз вихідних даних та формування базового економічного варіанту експлуатації теплових мереж	98
5.2. Розрахунок економічного ефекту від впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання	101
Висновки до розділу 5	109
Загальні висновки	111
Список використаних літературних джерел	113

					МКРМЕ.175.26.22.00. ПЗ
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	

Вступ

Теплові втрати через стінки трубопроводу є одним з ключових інтегральних показників ефективності функціонування систем теплопостачання, адже вони безпосередньо відображають ступінь збереження енергії під час транспортування теплоносія, стабільність роботи мережі, а також технічний стан її елементів [1]. Рівень тепловтрат визначає як економічну складову експлуатації, так і надійність системи в цілому, оскільки надмірні втрати провокують перевитрати енергоресурсів, підвищення гідравлічного навантаження на обладнання, передчасне зношення мереж та збільшення ризику аварійних ситуацій.

Попри наявність сучасних засобів контролю, більшість існуючих технологій діагностики теплових мереж виявляються недостатньо ефективними для своєчасного виявлення проблемних або потенційно небезпечних ділянок, що знижує оперативність прийняття технічних рішень та ускладнює комплексну оцінку технічного стану ізоляційних конструкцій [2]. Зважаючи на тенденції до зростання вартості енергоресурсів та поступову деградацію застарілих теплових мереж, проблема ідентифікації неефективних ділянок є надзвичайно актуальною та потребує вдосконалення методів вимірювання й оцінювання.

У загальному випадку теплові втрати в трубопроводах систем теплорозподілу формуються за рахунок двох основних складових:

- втрати теплової енергії внаслідок витоків теплоносія;
- теплопровідні втрати через теплоізоляційні конструкції.

Найбільш суттєвою є перша група втрат, що відбуваються через нормативні та позапланові витoki: технологічні зливи автоматизованих систем, нещільності трубопровідної арматури, деламінацію швів, корозійні пошкодження трубопроводів, а також мікровитоки, які важко виявити традиційними методами [3]. Вони безпосередньо впливають на тепловий

баланс мережі, а їх накопичення погіршує роботу насосного обладнання та призводить до додаткових витрат на компенсацію втрат теплоносія.

Особливої уваги заслуговують теплопровідні втрати через ізоляційні конструкції, адже саме вони найменш очевидні та найскладніші для кількісної оцінки під час експлуатації.

Тривала дія негативних чинників - часткове або повне руйнування теплоізоляції, її механічна деформація, просідання ґрунту, зволоження каналу або безпосереднє проникнення води в ізоляційний шар - призводять до істотної зміни коефіцієнта теплопровідності матеріалу [4]. Це спричиняє невідповідність між паспортними (довідковими) та фактичними теплоізоляційними характеристиками, що ускладнює точний розрахунок тепловтрат.

У реальних умовах експлуатації ізоляційний шар зазнає неоднорідних пошкоджень уздовж довжини трубопроводу, що призводить до локальних зон підвищених втрат тепла, які не враховуються стандартними методами розрахунку. Саме тому виникає об'єктивна необхідність у врахуванні просторової варіабельності коефіцієнта теплопровідності ізоляційних матеріалів, а також у розробленні удосконалених методів діагностики, здатних забезпечити детальнішу та реалістичнішу оцінку теплових процесів у мережі [5].

З огляду на зазначені проблеми метою даної роботи стало дослідження існуючих методик розрахунку та оцінювання теплових втрат через теплоізоляційні конструкції водяних теплових мереж, а також обґрунтування шляхів удосконалення технологій контролю. Досягнення цієї мети включає аналіз теоретичних моделей тепловіддачі, оцінку впливу реальних дефектів ізоляції на загальний рівень втрат, а також визначення потенціалу модернізації методів моніторингу теплового стану трубопроводів [6].

1. Існуючі методики визначення питомих теплових втрат через теплоізоляційний шар

1.1 Особливості застосовуваних методик

Аналіз наукових джерел [7–9] свідчить про значне різноманіття методів визначення питомих тепловтрат трубопроводів теплових мереж. Їх точність, достовірність та практична застосовність значною мірою залежать від адекватності врахування конструктивних, теплотехнічних та експлуатаційних факторів, які формують реальний тепловий баланс трубопроводу. Універсальної методики, яка б дозволяла точно оцінити тепловтрати для будь-якого типу мереж, сьогодні не існує, що зумовлено складністю процесів теплоперенесення та різноманітністю умов експлуатації.

Питомі тепловтрати через теплоізоляційний шар трубопроводу визначаються комплексом параметрів, до яких належать:

- температура і швидкість руху зовнішнього повітря, що впливають на інтенсивність конвективного теплообміну;
- температурний графік мережі, що визначає градієнт температур між теплоносієм і навколишнім середовищем;
- фактичний технічний стан ізоляційних конструкцій, який значно змінюється з часом;
- тип, структура та фізико-механічні властивості ізоляційного матеріалу;
- довжина та діаметр трубопроводу, що впливають на загальну площу теплообміну;
- спосіб прокладання трубопроводів (підземний, надземний, каналний, безканалний), кожен з яких має власні теплофізичні особливості.

Однією з найпоширеніших є експериментальна методика визначення теплових втрат, що базується на вимірюванні витрати теплоносія та різниці

його температур на початку й у кінці циркуляційного контуру, який зазвичай складається з прямої та зворотної ліній. Однак практика показує, що для мереж із якісним теплоізоляційним покриттям теплові втрати є незначними і становлять близько $0,6^{\circ}\text{C}$ на 1 км трубопроводу [9–11].

Дана обставина створює методичні складнощі: відповідно до вимог точності, мінімально допустима різниця температур повинна становити 8°C [12]. Це означає, що довжина контрольного контуру не може бути меншою за 13 км. Проведення випробувань на таких великих ділянках часто порушує гідравлічний режим мережі, викликає коливання тиску та може негативно позначитися на роботі споживачів.

Для усунення необхідності відключення споживачів у практиці застосовують метод теплових хвиль, сутність якого полягає у короткочасній зміні температури на джерелі тепла, внаслідок чого в трубопроводі виникає теплова хвиля певної форми та амплітуди [13].

Подальше відстеження цієї хвилі здійснюється шляхом прецизійних контактних вимірювань температури теплоносія на початку та в кінці контрольної ділянки, а також шляхом визначення внутрішнього діаметра трубопроводу та швидкості руху теплоносія. Метод дозволяє оцінити питомі втрати без зміни штатного режиму функціонування мережі, проте потребує високої точності вимірювального обладнання та спеціального алгоритму опрацювання даних.

Ще одним класом методик є контактні методи вимірювання температурного поля ґрунту, які дозволяють зафіксувати теплову аномалію над пошкодженими або деградованими ділянками ізоляції. На основі вимірян timer температур будуються моделі теплоперенесення, що дозволяють визначити величину втрат відповідно до відомих теплотехнічних співвідношень [14].

Головним недоліком цих методів є їх інвазивність: для встановлення термопар необхідне розкриття теплотраси, що є затратним, трудомістким та

може порушувати герметичність гідроізоляції.

Науковий інтерес до аналітичних методів визначення тепловтрат постійно зростає [15]. Це пов'язано з тим, що експериментальні методики потребують великих ресурсів, а часто є технічно недоцільними або небезпечними для експлуатації мереж.

Проте класичні аналітичні моделі базуються на припущенні про ідеальний стан теплоізоляційного шару, тоді як у реальних мережах часто спостерігаються ділянки з частковим або повним руйнуванням ізоляції [16]. У сучасних дослідженнях питання моделювання тепловтрат із урахуванням дефектів розглянуте недостатньо, що зумовлює актуальність його подальшої розробки.

У роботах [21–23] запропоновано метод, який використовує фактичні показники приладів обліку у споживачів (температура, тиск, витрата теплоносія). На основі цих даних визначають питомі втрати тепла за формулою:

$$Q_{n_i} = kF_i \cdot (T_{cp} - T_n), \text{Вт}, \quad (1)$$

де:

kF_i – комплексний параметр трубопроводу, отриманий одноразово за реальними вимірюваннями;

T_n – середня температура зовнішнього повітря,

K ; $T_{cp} = 0,5(T_0 - T_k)$ – середня температура теплоносія на ділянці мережі;

T_0 і T_k – температури теплоносія на виході з джерела та на вході до споживача відповідно, К.

Метод є перспективним, оскільки використовує вже наявну інфраструктуру обліку й не потребує додаткових втручань у мережу. Водночас він має обмеження, пов'язані із залежністю точності від стабільності режимів тепlopостачання.

Отримання коректних і достовірних даних при використанні методики визначення питомих теплових втрат за показаннями приладів у споживачів можливе лише за умови наявності повного комплексу засобів автоматизації та обліку як на джерелі тепла, так і безпосередньо у кожного абонента теплової мережі. Для цього необхідні датчики температури, витрати та тиску, на основі яких може бути розрахований комплексний параметр трубопроводу kF_i , що визначає характер тепловтрат на конкретній ділянці мережі.

У випадку, коли автоматизована система обліку відсутня, передбачається використання портативних вимірювальних приладів для періодичного обходу великої кількості споживачів. Такий підхід є технічно можливим, але надзвичайно трудомістким і потребує значних часових і кадрових ресурсів. В умовах багатоквартирної житлової забудови, де кількість споживачів може сягати кількох тисяч, застосування цієї методики стає практично недоцільним. Водночас навіть значна кількість встановлених приладів обліку в секторі ЖКГ не вирішує проблему повністю, оскільки не всі вузли обліку забезпечені каліброваними засобами вимірювання, а частина з них працює у неповному або неперевіреному режимі [17–19].

З появою спеціалізованих програмних продуктів, таких як ZuluThermo, процес теплотехнічних і гідравлічних розрахунків був істотно спрощений. Програмний комплекс дозволяє автоматично формувати температурні графіки, моделювати рух теплоносія, визначати питомі втрати на основі введених даних та будувати детальні карти теплового стану мережі. Однак навіть найсучасніші програмні засоби залишаються залежними від якісного вимірювального забезпечення, що зберігає актуальність проблеми збору достовірних даних.

1.2 Методи визначення годинних втрат тепла

Для оцінювання годинних теплових втрат у теплових мережах застосовують декілька груп методів, кожна з яких має свої переваги та обмеження:

1. Визначення годинних втрат теплової енергії за нормативами
2. Розрахунок на основі експериментальних (вимірних) даних
3. Визначення втрат за показаннями приладів обліку у кінцевих споживачів
4. Теплотехнічний (аналітичний) розрахунок

Нормативний метод ґрунтується на використанні табличних значень питомих теплових потоків, визначених у будівельних і теплотехнічних нормативних документах [20]. Нормативи враховують тип трубопроводу, конструкцію теплоізоляції, спосіб прокладання, діаметр і температурний режим мережі.

Оскільки система теплозабезпечення в Україні розвивалася протягом десятиліть зі зміною технологій і матеріалів, нормативні значення питомих тепловтрат диференційовані залежно від року проєктування теплотрас [21]:

- 1959–1989 рр. — старі конструкції з низькою якістю теплоізоляції;
- 1990–1997 рр. — поліпшені матеріали ізоляції;
- 1998–2002 рр. — перехідні технології, часткове застосування сучасних матеріалів;
- 2003 р. — теперішній час — сучасні стандарти, передізольовані труби, пінополіуретан.

Розрахунок питомих тепловтрат для підземних трубопроводів

Для трубопроводів підземного типу прокладання нормативні питомі тепловтрати теплової енергії визначають за формулою інтерполяції:

$$q_n = q_{T1} + (q_{T2} - q_{T1}) \cdot \frac{\Delta T_{сг} - \Delta T_{T1}}{\Delta T_{T2} - \Delta T_{T1}}, \text{Вт/м}, \quad (2)$$

де:

- q_{T1} — питома втрата тепла при меншому табличному значенні температурної різниці між мережевою водою та ґрунтом;
- q_{T2} — питома втрата тепла при більшому відповідному табличному значенні;
- $\Delta T_{сг}$ — фактична різниця середньорічних температур теплоносія та ґрунту;
- $\Delta T_{T1}, \Delta T_{T2}$ — табличні значення температурної різниці.

Формула (2) дає змогу врахувати умови конкретної теплової мережі, що забезпечує більш точний розрахунок порівняно з використанням усереднених нормативів.

Визначення середньорічного температурного режиму

Для розрахунку величини $\Delta T_{сг}$ використовують співвідношення:

$$\Delta T_{сг} = \frac{T_0^{сг} + T_n^{сг}}{2} - T_{сг}, \text{К}, \quad (3)$$

де:

- $T_0^{сг}, T_n^{сг}$ — середньорічні температури теплоносія у подаючому та зворотному трубопроводах відповідно;
- $T_{сг}$ — середньорічна температура ґрунту на глибині залягання трубопроводу.

Цей підхід дозволяє орієнтовно оцінити середньорічний теплотехнічний стан трубопроводу, що є необхідним для подальших розрахунків теплових втрат у динаміці.

Метод оцінки теплових втрат за питомими нормативними значеннями має переважно *оціночний характер*, оскільки ґрунтується лише на обмеженій кількості факторів — році проєктування теплової мережі, способі прокладання трубопроводу, його діаметрі та сумарному річному

напрацюванні [22]. При цьому не враховується фактичний технічний стан ізоляційного шару, який у реальних умовах може суттєво відрізнятися від паспортного. Наявні дефекти — зволоження, руйнування, деформації, корозійне ураження оболонки — зумовлюють істотне збільшення тепловтрат порівняно з нормативними значеннями.

Таким чином, нормативна величина питомих теплових втрат не може використовуватися як характеристика реального стану трубопроводу, а лише задає гранично допустимий діапазон, перевищення якого свідчить про погіршення ізоляційних властивостей теплоізоляційного контуру.

Згідно з чинними вимогами, підприємство тепломереж, за яким закріплена певна ділянка трубопроводів, зобов'язане один раз на п'ять років проводити випробування з визначення фактичних величин тепловтрат [23–25]. Випробування передбачає вимірювання параметрів теплоносія, визначення втрат тиску, контроль температурного графіка та розрахунок реальних втрат тепла на досліджуваній ділянці.

Поправочний коефіцієнт і уточнення питомих втрат

Для підвищення точності результатів прийнято вводити поправочний коефіцієнт k , який визначають як відношення фактичних тепловтрат до нормативних:

$$k = \frac{Q_{з.рік.і}}{Q_{з.рік.н}}, \quad (4)$$

де

- $Q_{з.рік.і}$ — втрати тепла, визначені в процесі випробувань та перераховані на середньорічні умови;
- $Q_{з.рік.н}$ — втрати тепла, визначені за нормативами для відповідної ділянки мережі.

Коефіцієнт k дозволяє адаптувати нормативні значення до реального стану конкретного трубопроводу. Значення $k > 1$ свідчить про перевищення фактичних втрат над нормативними, що зазвичай вказує на деградацію

теплоізоляції.

З урахуванням поправочного коефіцієнта питомі годинні теплові втрати визначають за формулою:

$$Q_{\text{ср.г}} = \sum(k \cdot q \cdot L \cdot \beta), \text{Вт}, \quad (5)$$

де

- q — нормативні питомі втрати тепла;
- L — довжина ділянки;
- β — коефіцієнт, що враховує режим роботи мережі (завантаження, сезонні коливання).

Однак така методика не є універсальною, оскільки трубопроводи експлуатуються в різних теплогідравлічних умовах, мають різну історію ремонту і неоднаковий ступінь фізичного зносу. Щоб отримати найбільш точні результати, необхідно проводити випробування кожної окремої ділянки, що є тривалим і дорогим процесом, який потребує відключення споживачів та зміни режиму роботи мережі [26].

Метод визначення теплових втрат за даними приладів обліку у споживачів

При наявності облікових засобів у кінцевих споживачів стає можливим визначати транспортні теплові втрати за формулою:

$$Q_{\text{втрата}} = Q_{\text{зм.відп}} - Q_{\text{зм.потреб}}, \text{Вт}, \quad (6)$$

де

- $Q_{\text{зм.відп}}$ — теплова енергія, відпущена з джерела;
- $Q_{\text{зм.потреб}}$ — теплова енергія, спожита кінцевим абонентом.

Цей метод дозволяє визначити сумарні втрати, пов'язані з витоками теплоносія. Проте він *не дає змоги відокремити теплопровідні втрати*, зумовлені охолодженням теплоносія в процесі транспортування [27].

Крім того, на практиці метод різко обмежений такими проблемами:

- відсутністю приладів у більшості споживачів;

- значною похибкою вимірювальних засобів, що ускладнює балансні розрахунки;
- різними умовами експлуатації та нерівномірністю навантаження споживачів.

У результаті метод обліку за споживачами використовується переважно як допоміжний, а не як основний спосіб визначення втрат.

Теплотехнічний метод визначення втрат

Метод теплотехнічного розрахунку застосовується у таких випадках:

1. Для ділянок трубопроводів, що не мають аналогів серед випробуваних типів прокладання та теплоізоляції, а отже, визначити втрати за нормативами неможливо.
2. Для нових або реконструйованих ділянок, де було змінено тип теплоізоляції чи спосіб прокладання.
3. У випадку низької оснащеності споживачів засобами обліку, що унеможлиблює балансний метод визначення втрат.

Теплотехнічний метод є більш універсальним, оскільки ґрунтується на фізичних процесах теплопередачі: теплопровідності, конвекції, теплообміну з навколишнім середовищем. Він дозволяє:

- врахувати реальні властивості ізоляційних матеріалів;
- моделювати вплив зволоження або часткового руйнування ізоляції;
- прогнозувати зміну тепловтрат упродовж експлуатації.

З цієї причини теплотехнічний метод широко використовується у наукових дослідженнях та сучасних програмних комплексах (ZuluThermo, Termis, Teplograph).

1.3. Недоліки існуючих методів і засобів вимірювання параметрів теплових мереж та обґрунтування необхідності їх удосконалення

Трубопровід — це інженерна споруда підвищеної відповідальності, призначена для транспортування газоподібних, рідких або дисперсних середовищ під тиском або безтисковим способом. Його конструкція включає комплекс елементів: труби, фасонні частини, запірну арматуру, компенсатори, опори, теплоізоляційні та антикорозійні покриття. Трубопровідні системи широко застосовують у сфері комунального господарства, хімічної, нафтової, харчової та енергетичної промисловості.

Основною функцією трубопроводу є безперервне та надійне транспортування робочого середовища від джерела до споживача, забезпечуючи стабільність параметрів тиску, температури та витрати. Найменування трубопроводів визначається видом середовища, що переміщується по них [28]:

- паропроводи — для транспортування водяної пари різних параметрів (від низького до надкритичного тиску);
- водопроводи — для подачі холодної або гарячої води;
- теплопроводи — для транспортування теплоносія в системах централізованого тепlopостачання;
- газопроводи — для переміщення природного або технічних газів;
- нафтопроводи та бензопроводи — для транспортування нафти та нафтопродуктів;
- шламопроводи — для подачі густих суспензій у гірничій та хімічній промисловості.

Незалежно від призначення, трубопровід повинен забезпечувати герметичність, механічну міцність, стійкість до корозії та довговічність у заданих умовах експлуатації. На надійність роботи трубопроводу значно впливають:

- властивості матеріалу труби (сталь, поліетилен, поліпропілен, композиційні матеріали);
- якість і тип зварних або розтрубних з'єднань;
- наявність антикорозійного та теплоізоляційного покриття;
- умови прокладання (грунтові, кліматичні, тепловологісні фактори).

Вибір високоміцних і корозійностійких матеріалів, включаючи полімери, сталі з легуванням, бітумно-полімерні композиції, має вирішальне значення для забезпечення довготривалої та безпечної експлуатації трубопроводів. Саме зовнішні й внутрішні покриття створюють захисний бар'єр від корозії, механічних навантажень, агресивної дії робочого середовища та різких температурних перепадів [29].

Особливе місце займає теплоізоляційний комплекс, що забезпечує зниження тепловтрат, запобігає зволоженню та захищає конструкцію від перемерзання або перегріву. Для теплових мереж застосовують:

- мінераловатні ізоляції;
- пінополіуретан у ППУ-оболонці;
- пінополістирольні системи;
- багатошарові конструкції зі скловолокном;
- комбіновані покриття з антикорозійними шарами.

Класифікація трубопроводів за способом прокладання має велике значення для оцінки тепловтрат і вибору методу вимірювання їх технічного стану. Розрізняють три основні типи:

1. Підземні трубопроводи
 - Канальні (у бетонних або металевих лотках)
 - Безканальні (у ґрунті)
 - Пінополіуретанові труби в ПЕ-оболонці (ППУ-ПЕ)
2. Надземні трубопроводи
 - Підвішені на опорах

- Прокладені по естакадах
3. Наземні трубопроводи
- Прокладені на поверхні ґрунту (рідше, переважно у промислових зонах)

Кожен тип трубопроводу відрізняється власними теплотехнічними характеристиками, умовами охолодження та факторами тепловтрат. Наприклад:

- підземні трубопроводи схильні до зволоження ізоляції, що різко підвищує теплопровідність;
- надземні конструкції інтенсивно охолоджуються вітром і атмосферними опадами;
- безканальні мережі найвразливіші до корозії та зсувів ґрунту.

Існує широка різноманітність трубопроводів, що застосовуються у промисловості, енергетиці, комунальному господарстві та транспортній інфраструктурі. Кожен тип трубопроводу має власні технологічні функції, специфіку конструкційних рішень та вимоги до матеріалів і експлуатаційних режимів [30–34]. Нижче наведено узагальнену класифікацію, яка відображає основні групи трубопроводів.

Класифікація за масштабом застосування

1. Магістральні трубопроводи. Це найбільші та найдовші інженерні системи, призначені для транспортування сировини (нафти, газу, води, теплоносія) на значні відстані — від сотень до тисяч кілометрів. Вони характеризуються великим діаметром, підвищеними вимогами до міцності та надійності, а також складною системою контролю та автоматики.

2. Технологічні трубопроводи. Використовуються в межах промислових підприємств для транспортування технічних рідин, газів, пари або сумішей у виробничих процесах. Характерний широкий спектр робочих параметрів: агресивність середовища, високий тиск, різноманітні температурні режими.

3. Комунальні трубопроводи. забезпечують житлові та громадські будівлі гарячою водою, опаленням, газопостачанням та холодною водою. До них належать теплопроводи, водопроводи, газові та каналізаційні мережі. Основна вимога – безпечність, довговічність і мінімальні тепловтрати.

Класифікація за способом прокладання

1. Надземні трубопроводи. Розташовуються на опорах, балках, естакадах або кронштейнах на висоті не менше 25 см від рівня землі. Переваги: легкість доступу для ремонту та огляду. Недоліки: вплив атмосферних факторів, підвищені тепловтрати, необхідність якісної ізоляції.

2. Підземні трубопроводи. Прокладаються в траншеях, каналах, колекторах, тунелях або безканальним способом. Такі трубопроводи краще захищені від зовнішніх впливів, але складніші в обслуговуванні. Ґрунтові води можуть спричиняти зволоження ізоляції та збільшення теплопровідності.

3. Підводні трубопроводи. Монтуються по дну водойм або в спеціальних заглиблених траншеях. Використовуються для водопостачання, транспортування нафтопродуктів, відведення стічних вод тощо.

Сучасні системи теплопостачання є складними інженерними об'єктами, ефективність функціонування яких значною мірою визначається точністю та надійністю вимірювання теплотехнічних параметрів. До таких параметрів належать температура теплоносія, тиск, витрата, теплова енергія, а також теплові втрати під час транспортування тепла від джерела до споживача. В умовах зростання вартості енергоресурсів і необхідності підвищення енергоефективності питання достовірного вимірювання параметрів теплових мереж набуває особливої актуальності.

Незважаючи на наявність різноманітних методів і засобів

вимірювання, їх практичне застосування в експлуатаційних умовах часто супроводжується значними похибками, обмеженнями та методичними спрощеннями. Це призводить до розбіжностей між розрахунковими та фактичними показниками тепловтрат, ускладнює контроль технічного стану мереж і знижує ефективність управління системами теплопостачання.

Недоліки розрахунково-нормативних методів

Розрахунково-нормативні методи визначення теплових втрат базуються на використанні усереднених коефіцієнтів теплопередачі, стандартних умов навколишнього середовища та припущеннях щодо стану теплоізоляції трубопроводів. Такі методи широко застосовуються на етапах проєктування та планування, однак у процесі експлуатації вони втрачають достовірність.

Основними недоліками нормативних методів є:

- неврахування реального фізичного зносу трубопроводів і теплоізоляційних матеріалів;
- ігнорування локальних пошкоджень ізоляції, зволоження та корозійних процесів;
- відсутність урахування змін режимів роботи теплових мереж;
- неможливість оперативної корекції результатів у реальному часі.

У результаті розрахункові тепловтрати можуть бути суттєво заниженими або завищеними, що призводить до неефективних управлінських рішень і хибної оцінки енергетичних показників системи.

Обмеження експериментальних і балансних методів

Експериментальні методи, засновані на вимірюванні температури та витрати теплоносія на контрольних ділянках теплових мереж, забезпечують вищу точність порівняно з нормативними підходами. Проте їх застосування вимагає наявності стабільних гідравлічних режимів, достатньої кількості засобів вимірювання та можливості організації контрольних точок.

Суттєвими недоліками таких методів є:

- залежність результатів від точності та метрологічних характеристик витратомірів і термометрів;
- складність організації вимірювань на протяжних або розгалужених мережах;
- необхідність тривалого періоду спостережень для отримання репрезентативних даних;
- обмежена здатність до локалізації зон підвищених тепловтрат.

Балансні методи, що ґрунтуються на порівнянні теплової енергії на вході та виході мережі, дозволяють оцінити лише сумарні втрати і не дають інформації про їх просторовий розподіл.

Проблеми застосування контактних засобів вимірювання

Традиційні контактні засоби вимірювання температури та тиску, такі як термометри опору, термопари та манометри, широко застосовуються в теплових мережах. Однак їх використання пов'язане з низкою експлуатаційних і методичних проблем.

По-перше, контактні датчики вимірюють параметри лише в окремих точках, що не дозволяє отримати повну картину теплового стану трубопроводу. По-друге, монтаж таких засобів часто потребує втручання в конструкцію мережі, що ускладнює їх установлення на діючих об'єктах. По-третє, показання контактних датчиків можуть суттєво спотворюватися внаслідок теплових опорів, поганого теплового контакту або впливу навколишнього середовища.

Недоліки існуючих тепловізійних і дистанційних методів

Застосування тепловізійних методів відкриває нові можливості для безконтактної діагностики теплових мереж, зокрема для виявлення зон підвищених тепловтрат і дефектів теплоізоляції. Проте ці методи також мають обмеження, пов'язані з впливом атмосферних умов, необхідністю корекції коефіцієнтів випромінювання та складністю кількісної

інтерпретації результатів.

У більшості випадків тепловізійні методи використовуються як якісний інструмент виявлення проблемних ділянок, але не забезпечують достатньої точності для визначення абсолютних значень тепловтрат без додаткових розрахунків і вимірювань.

Вплив метрологічних похибок і організаційних факторів

Суттєвим чинником, що знижує достовірність результатів вимірювання, є метрологічні похибки засобів вимірювання, зокрема:

- похибки калібрування;
- температурна та часові нестабільності датчиків;
- вплив зовнішніх факторів на вимірювальні ланцюги;
- відсутність регулярної повірки та метрологічного контролю.

Організаційні фактори, такі як нерегулярність вимірювань, недостатня кваліфікація персоналу та відсутність єдиних методичних підходів до обробки даних, додатково ускладнюють отримання об'єктивної інформації про стан теплових мереж.

Обґрунтування необхідності удосконалення методів і засобів вимірювання

Аналіз існуючих методів і засобів вимірювання параметрів теплових мереж свідчить про необхідність їх удосконалення в напрямі підвищення точності, надійності та інформативності вимірювальних систем. Особливо актуальним є перехід від локальних і фрагментарних вимірювань до комплексного моніторингу теплового стану мереж із використанням сучасних сенсорних технологій та автоматизованих систем збору й обробки даних.

Удосконалення методів вимірювання повинно передбачати:

- поєднання контактних і безконтактних засобів вимірювання;
- урахування просторової та часової нерівномірності теплових процесів;

- інтеграцію вимірювальних систем з інформаційно-аналітичними платформами;
- зниження інвазивності вимірювальних процедур;
- забезпечення метрологічної простежуваності та достовірності результатів.

Реалізація зазначених напрямів створює науково-технічне підґрунтя для підвищення ефективності контролю теплових мереж, зменшення енергетичних втрат, оптимізації режимів роботи та підвищення загальної надійності систем тепlopостачання. Саме ці положення є основою для подальшого розроблення та впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання, що буде розглянуто в наступних розділах кваліфікаційної роботи.

1.4. Класифікація та характеристика сучасних засобів вимірювання параметрів теплових мереж

Ефективність контролю та управління тепловими мережами значною мірою визначається рівнем вимірювального забезпечення, яке включає сукупність методів і засобів вимірювання теплотехнічних параметрів. До основних параметрів, що підлягають вимірюванню у теплових мережах, належать температура теплоносія, тиск, витрата, кількість теплової енергії, а також параметри, що опосередковано характеризують теплові втрати та технічний стан трубопроводів. Різноманітність умов експлуатації, конструктивних рішень теплових мереж і режимів їх роботи зумовлює необхідність застосування різних типів засобів вимірювання, що відрізняються принципом дії, точністю, способом встановлення та функціональними можливостями.

Класифікація засобів вимірювання за призначенням і вимірюваними параметрами

Залежно від призначення та вимірюваних величин засоби вимірювання теплових мереж поділяються на прилади для вимірювання температури, тиску, витрати теплоносія та кількості теплової енергії. Кожна з цих груп виконує окрему функцію в системі контролю та забезпечує отримання первинної інформації, необхідної для аналізу теплових процесів.

Таблиця 1.1 — Класифікація засобів вимірювання параметрів теплових мереж за вимірюваними величинами

Група засобів	Вимірюваний параметр	Призначення
Термометричні	Температура теплоносія	Контроль теплового режиму
Манометричні	Тиск	Оцінка гідравлічного стану
Витратоміри	Витрата теплоносія	Визначення теплового потоку
Теплолічильники	Теплова енергія	Облік і баланс тепла

Зазначені засоби, як правило, застосовуються комплексно, оскільки вимірювання одного параметра не дає повної інформації про тепловий стан мережі.

Класифікація за принципом дії

За принципом дії засоби вимірювання теплових мереж поділяються на механічні, електричні, електронні та комбіновані. Механічні прилади (наприклад, деякі типи витратомірів і манометрів) відрізняються простотою конструкції та надійністю, проте мають обмежену точність і чутливість. Електричні та електронні засоби забезпечують вищу точність вимірювань, можливість автоматизації процесів збору даних і інтеграції з системами

диспетчерського контролю.

Особливу групу становлять комбіновані засоби вимірювання, які поєднують декілька принципів дії та дозволяють одночасно контролювати кілька параметрів, що є важливим для комплексної оцінки стану теплових мереж.

Класифікація за способом встановлення та взаємодії з об'єктом вимірювання

За способом встановлення та взаємодії з об'єктом вимірювання засоби вимірювання поділяються на контактні та безконтактні. Контактні засоби передбачають безпосередній контакт чутливого елемента з теплоносієм або поверхнею трубопроводу. Вони забезпечують високу точність вимірювання локальних параметрів, проте їх застосування часто пов'язане з монтажними роботами та втручанням у конструкцію мережі.

Безконтактні засоби, зокрема тепловізійні та інфрачервоні прилади, дозволяють здійснювати дистанційний контроль теплового стану трубопроводів без порушення їх цілісності. Такі засоби є особливо ефективними для оперативної діагностики та виявлення зон підвищених тепловтрат, однак потребують складної обробки даних і корекції результатів.

Таблиця 1.2 — Порівняльна характеристика контактних і безконтактних засобів вимірювання

Ознака	Контактні засоби	Безконтактні засоби
Точність локальних вимірювань	Висока	Середня
Інвазивність	Потребує монтажу	Неінвазивні

Просторове охоплення	Обмежене	Значне
Оперативність	Середня	Висока

Класифікація за рівнем автоматизації та функціональними можливостями

Залежно від рівня автоматизації засоби вимірювання поділяються на автономні прилади та інтегровані вимірювальні системи. Автономні прилади забезпечують вимірювання окремих параметрів і потребують ручного зчитування показань. Інтегровані системи включають датчики, блоки збору даних, програмне забезпечення та засоби передачі інформації, що дозволяє реалізувати безперервний моніторинг теплових мереж.

Сучасні інтегровані системи вимірювання створюють основу для впровадження автоматизованих систем диспетчерського управління та енергоменеджменту, забезпечуючи аналіз даних у режимі, наближеному до реального часу.

Метрологічні характеристики засобів вимірювання

Важливою складовою оцінки засобів вимірювання є їх метрологічні характеристики, зокрема точність, чутливість, стабільність показань і межі допустимих похибок. Недостатня метрологічна надійність приладів може призводити до накопичення систематичних похибок і викривлення результатів оцінювання теплового стану мереж.

Таблиця 1.3 — Основні метрологічні вимоги до засобів вимірювання теплових мереж

Параметр	Вимоги
Точність	Відповідність нормативним класам
Стабільність	Мінімальний дрейф показань
Повірка	Регулярна метрологічна перевірка
Надійність	Стійкість до експлуатаційних умов

Узагальнення та значення класифікації для подальших досліджень

Наведена класифікація засобів вимірювання параметрів теплових мереж дозволяє систематизувати наявні технічні рішення та визначити їх переваги й обмеження. Аналіз характеристик різних груп засобів вимірювання свідчить, що жоден окремий тип приладів не забезпечує повної та достовірної інформації про тепловий стан мережі. Це зумовлює необхідність комплексного підходу до вимірювального забезпечення, який поєднає різні методи та засоби вимірювання.

Отримані результати створюють методичну основу для подальшого аналізу вимірювального забезпечення теплових мереж у практичних умовах експлуатації, що буде розглянуто в наступному розділі кваліфікаційної роботи.

1.5. Сучасні тенденції та напрями удосконалення методів і засобів вимірювання теплових мереж

Сучасний етап розвитку систем теплопостачання характеризується

зростанням вимог до енергоефективності, надійності та керованості теплових мереж. У цих умовах традиційні підходи до вимірювання теплотехнічних параметрів дедалі менше відповідають потребам експлуатації, оскільки не забезпечують достатньої точності, оперативності та інформаційної повноти. Це зумовлює необхідність переходу до нових методів і засобів вимірювання, орієнтованих на комплексний моніторинг теплових процесів та підтримку управлінських рішень.

Загальні тенденції розвитку вимірювальних систем теплових мереж.

Однією з ключових тенденцій є перехід від поодиноких локальних вимірювань до системного контролю параметрів теплових мереж у просторі та часі. Сучасні вимірювальні системи дедалі частіше розглядаються не як сукупність окремих приладів, а як інтегровані інформаційно-вимірювальні комплекси, що забезпечують збір, передачу, зберігання та аналітичну обробку даних.

Зростає роль автоматизації вимірювальних процесів, що дозволяє мінімізувати вплив людського фактора, підвищити повторюваність результатів і забезпечити безперервний контроль параметрів. Автоматизовані системи вимірювання створюють передумови для оперативного реагування на відхилення режимів роботи теплових мереж та раннього виявлення дефектів.

Іншою важливою тенденцією є підвищення вимог до метрологічної простежуваності результатів вимірювання. Удосконалення засобів вимірювання передбачає не лише підвищення їх точності, а й забезпечення стабільності метрологічних характеристик у складних експлуатаційних умовах, зокрема за впливу температурних коливань, вологості та електромагнітних завад.

Напрями удосконалення методів вимірювання теплових параметрів

Сучасні напрями удосконалення методів вимірювання теплових мереж пов'язані з поєднанням різних фізичних принципів та інформаційних

підходів. Перспективним є розвиток комбінованих методів, які інтегрують контактні та безконтактні вимірювання, що дозволяє підвищити достовірність результатів і забезпечити просторову деталізацію теплових втрат.

Значна увага приділяється методам непрямого визначення теплових втрат, заснованим на аналізі температурних полів, гідравлічних параметрів і режимів роботи мережі. Такі методи дозволяють зменшити інвазивність вимірювань і використовувати вже наявні дані без додаткового втручання в конструкцію трубопроводів.

Розвиваються методи статистичної та математичної обробки вимірювальної інформації, зокрема фільтрації шумів, корекції систематичних похибок і прогнозування теплових втрат. Використання математичних моделей теплопередачі у поєднанні з експериментальними даними дозволяє уточнювати результати вимірювань та підвищувати їх інформативність.

Удосконалення засобів вимірювання та сенсорних технологій

Суттєвим напрямом розвитку є застосування сучасних сенсорних технологій, що забезпечують підвищену чутливість, надійність і довговічність засобів вимірювання. Широкого поширення набувають цифрові датчики температури, тиску та витрати, які характеризуються стабільними метрологічними характеристиками та можливістю інтеграції в автоматизовані системи.

Перспективним є використання розподілених сенсорних систем, що дозволяють здійснювати вимірювання параметрів уздовж протяжних ділянок трубопроводів. Такі системи забезпечують отримання просторово розподіленої інформації про тепловий стан мережі та значно підвищують ефективність діагностики.

Безконтактні засоби вимірювання, зокрема тепловізійні та інфрачервоні прилади, удосконалюються в напрямі підвищення роздільної

здатності та точності кількісної оцінки теплових втрат. Їх поєднання з аналітичними моделями дозволяє переходити від якісної візуалізації дефектів до кількісного аналізу теплових процесів.

Інтеграція вимірювальних систем з інформаційними технологіями

Сучасні тенденції розвитку теплових мереж тісно пов'язані з цифровізацією та впровадженням інформаційно-аналітичних платформ. Інтеграція засобів вимірювання з системами збору та обробки даних дозволяє створювати єдині інформаційні середовища для моніторингу теплових мереж.

Застосування програмних засобів аналізу даних дає можливість автоматично виявляти аномальні режими роботи, оцінювати динаміку теплових втрат і формувати рекомендації щодо оптимізації експлуатації. Такі підходи підвищують роль вимірювальних систем як інструмента управління, а не лише контролю.

Порівняльна характеристика традиційних і удосконалених підходів

Таблиця 1.4 — Порівняння традиційних і сучасних підходів до вимірювання теплових мереж

Ознака	Традиційні підходи	Удосконалені підходи
Тип вимірювань	Локальні, періодичні	Системні, безперервні
Рівень автоматизації	Низький	Високий
Просторова деталізація	Обмежена	Розподілена
Інтеграція з ІТ	Мінімальна	Повна
Інформативність	Обмежена	Висока

Значення удосконалення вимірювальних методів для енергоефективності

Удосконалення методів і засобів вимірювання теплових мереж безпосередньо впливає на підвищення енергоефективності систем теплопостачання. Достовірна та оперативна інформація про теплові втрати дозволяє оптимізувати режими роботи, зменшити непродуктивні витрати теплової енергії та підвищити надійність постачання тепла споживачам.

Крім того, сучасні вимірювальні системи створюють основу для впровадження концепцій енергоменеджменту та прогнозного обслуговування, що сприяє зниженню експлуатаційних витрат і подовженню ресурсу теплових мереж.

Таким чином, сучасні тенденції розвитку методів і засобів вимірювання теплових мереж спрямовані на підвищення точності, інформативності та автоматизації вимірювальних процесів. Удосконалення вимірювального забезпечення є необхідною умовою ефективного управління тепловими мережами та створює методичну й технічну основу для подальших досліджень, присвячених аналізу реального стану вимірювальних систем і розробленню практичних рішень з їх удосконалення, що буде розглянуто в наступному розділі кваліфікаційної роботи.

Висновки до розділу 1

У першому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто теоретичні та методичні засади вимірювання параметрів теплових мереж, а також проаналізовано сучасний стан і проблеми вимірювального забезпечення систем теплопостачання. Проведений аналіз дозволив сформулювати цілісне уявлення про роль вимірювань у забезпеченні ефективної, надійної та енергоощадної роботи теплових мереж.

У ході дослідження встановлено, що теплові мережі є складними об'єктами вимірювання, функціонування яких супроводжується багатofакторними теплотехнічними та гідравлічними процесами. Точність і достовірність вимірювання температури, тиску, витрати теплоносія та теплової енергії мають визначальний вплив на ефективність управління режимами роботи, оцінювання теплових втрат і прийняття технічних рішень щодо експлуатації та модернізації мереж.

Аналіз існуючих методів і засобів вимірювання показав, що розрахунково-нормативні підходи не забезпечують адекватного відображення реального технічного стану теплових мереж, особливо в умовах тривалої експлуатації та деградації теплоізоляції. Експериментальні та балансні методи, хоча й відзначаються вищою точністю, мають обмежену застосовність через складність реалізації, залежність від режимів роботи та неможливість локалізації зон підвищених тепловтрат.

У розділі встановлено, що традиційні контактні засоби вимірювання забезпечують високу точність локальних параметрів, проте не дозволяють отримати просторово розподілену інформацію про тепловий стан мережі. Безконтактні методи, зокрема тепловізійні, розширюють можливості діагностики, однак потребують додаткових методичних і розрахункових процедур для отримання кількісних оцінок теплових втрат.

Проведена класифікація сучасних засобів вимірювання параметрів теплових мереж дозволила систематизувати їх за вимірюваними величинами, принципом дії, способом встановлення та рівнем автоматизації. Встановлено, що найбільш перспективним напрямом є застосування інтегрованих вимірювальних систем, які поєднують різні типи датчиків і забезпечують автоматизований збір та обробку даних.

Узагальнення сучасних тенденцій розвитку методів і засобів вимірювання свідчить про перехід від фрагментарних і періодичних вимірювань до комплексного, безперервного моніторингу теплових мереж

із використанням цифрових технологій та інформаційно-аналітичних платформ. Удосконалення вимірювального забезпечення розглядається як ключовий чинник підвищення енергоефективності, надійності та керованості систем теплопостачання.

Таким чином, результати першого розділу обґрунтовують необхідність подальшого детального аналізу реального стану вимірювального забезпечення теплових мереж та розроблення практичних напрямів його удосконалення. Це зумовлює логічний перехід до другого розділу кваліфікаційної роботи, присвяченого аналізу об'єкта дослідження та існуючих методів і засобів вимірювання в умовах експлуатації.

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

2.1. Характеристика об'єкта дослідження та теплової мережі як об'єкта вимірювання

Об'єктом дослідження у кваліфікаційній роботі є тепла мережа централізованої системи теплопостачання, призначена для транспортування теплової енергії від джерела тепла до споживачів. Теплові мережі належать до складних інженерних систем, у яких одночасно реалізуються теплотехнічні, гідравлічні та експлуатаційні процеси, що змінюються в часі та просторі. Саме ця багатofакторність зумовлює підвищені вимоги до методів і засобів вимірювання параметрів теплових мереж.

Теплова мережа як об'єкт вимірювання характеризується значною протяжністю трубопроводів, розгалуженою структурою, різними умовами прокладання та експлуатації, а також неоднорідністю теплових режимів. У процесі транспортування теплоносія відбувається неминуча втрата теплової енергії внаслідок теплопередачі через стінки трубопроводів і теплоізоляцію

до навколишнього середовища. Точне визначення цих втрат можливе лише за умови достовірного вимірювання комплексу параметрів, що описують тепловий стан мережі.

До основних параметрів теплової мережі, які підлягають вимірюванню та аналізу, належать температура теплоносія в подаючому та зворотному трубопроводах, тиск, витрата, кількість переданої теплової енергії, а також параметри зовнішнього середовища. Вимірювання зазначених величин є основою для оцінювання ефективності теплопостачання, визначення тепловтрат і контролю технічного стану мережі.

Таблиця 2.1 — Основні параметри теплової мережі як об'єкта вимірювання

Параметр	Фізичний зміст	Значення для аналізу
Температура теплоносія	Тепловий стан мережі	Оцінка теплових режимів
Тиск	Гідравлічний режим	Контроль надійності
Витрата	Масообмін	Розрахунок теплової потужності
Теплова енергія	Кількісний показник	Баланс тепла
Температура ґрунту/повітря	Зовнішні умови	Оцінка тепловтрат

Залежно від функціонального призначення теплової мережі поділяються на магістральні, розподільчі та внутрішньоквартальні. Магістральні мережі характеризуються великими діаметрами труб і

відносно стабільними режимами, проте навіть незначні похибки вимірювання витрати або температури можуть призводити до суттєвих помилок у визначенні тепловтрат. Розподільчі мережі мають складну топологію, змінні навантаження та велику кількість вузлів підключення, що істотно ускладнює організацію вимірювань.

За способом прокладання теплові мережі поділяються на підземні (канальні та безканальні) та надземні. Підземні теплові мережі є найбільш поширеними, однак саме вони становлять найбільшу складність з погляду вимірювального контролю через обмежений доступ до трубопроводів і вплив ґрунтових умов на теплові процеси.

Таблиця 2.2 — Характеристика теплових мереж за способом прокладання

Тип прокладання	Особливості	Вплив на вимірювання
Канальне	Захищеність труб	Обмежений доступ
Безканальне	Прямий контакт із ґрунтом	Підвищені тепловтрати
Надземне	Доступність	Вплив атмосферних умов

Важливою особливістю теплових мереж як об'єкта вимірювання є просторово-часова нерівномірність теплових процесів. Температурне поле вздовж трубопроводу є неоднорідним і залежить від стану теплоізоляції, глибини прокладання, вологості ґрунту, кліматичних умов та наявності локальних дефектів. Це унеможливорює використання лише точкових вимірювань для достовірної оцінки теплового стану мережі.

Значний вплив на вимірювальні процеси має тривалий строк

експлуатації теплових мереж. У багатьох системах теплопостачання трубопроводи експлуатуються понад нормативний термін, що супроводжується старінням металу, деградацією теплоізоляції та зростанням тепловтрат. У таких умовах нормативні розрахункові методи не відображають реального стану мережі, а фактичні вимірювання набувають вирішального значення.

З погляду вимірювального забезпечення теплова мережа є динамічним об'єктом, параметри якого змінюються залежно від режимів роботи джерела тепла, добових і сезонних коливань теплового навантаження та температури зовнішнього повітря. Це зумовлює необхідність організації вимірювань у різні часові інтервали та використання засобів, здатних забезпечити безперервний або періодично повторюваний контроль.

Окремою проблемою є обмежена кількість контрольних точок для встановлення вимірювальних приладів. У багатьох випадках існуючі теплові мережі не оснащені достатньою кількістю вузлів контролю, що ускладнює локалізацію зон підвищених тепловтрат. Це обумовлює доцільність застосування комбінованих методів вимірювання, які поєднують контактні та безконтактні засоби.

Таблиця 2.3 — Особливості теплової мережі як об'єкта вимірювання

Ознака	Характеристика
Протяжність	Значна
Режим роботи	Змінний
Доступність	Обмежена
Однорідність	Низька
Вимоги до вимірювань	Підвищені

Таким чином, теплова мережа як об'єкт дослідження і вимірювання характеризується складною структурою, просторовою та часовою неоднорідністю теплових процесів і значним впливом експлуатаційних факторів. Зазначені особливості зумовлюють необхідність застосування удосконалених методів і засобів вимірювання, здатних забезпечити комплексну, достовірну та оперативну інформацію про тепловий стан мережі. Отримана характеристика об'єкта дослідження є підґрунтям для подальшого аналізу існуючого вимірювального забезпечення теплових мереж, який буде розглянуто в наступному підрозділі.

2.2. Аналіз існуючих методів і засобів вимірювання параметрів теплових мереж в умовах експлуатації

Ефективність експлуатації теплових мереж значною мірою залежить від достовірності інформації про їх теплотехнічний та гідравлічний стан. Така інформація формується на основі вимірювання комплексу параметрів, зокрема температури теплоносія, тиску, витрати та кількості теплової енергії. В умовах реальної експлуатації теплових мереж застосовується широкий спектр методів і засобів вимірювання, які істотно відрізняються за принципом дії, точністю, інформативністю та можливостями практичного використання.

Загальна характеристика застосовуваних методів вимірювання

Існуючі методи вимірювання параметрів теплових мереж умовно поділяються на розрахунково-аналітичні, експериментальні (контактні), балансні та дистанційні (безконтактні). Кожна з цих груп має свої переваги та обмеження, які проявляються залежно від умов експлуатації, технічного стану мережі та рівня її оснащеності вимірювальними засобами.

Розрахунково-аналітичні методи ґрунтуються на використанні нормативних залежностей теплопередачі, теплового балансу та стандартних

значень коефіцієнтів тепловтрат. Такі методи широко застосовуються у практиці теплопостачання завдяки простоті реалізації, проте не забезпечують достатньої точності в умовах реальної експлуатації, особливо для мереж із тривалим строком служби.

Експериментальні методи базуються на безпосередньому вимірюванні параметрів теплоносія за допомогою контактних засобів вимірювання. Вони забезпечують вищу достовірність результатів, однак потребують складної організації вимірювань і часто обмежуються локальними точками контролю.

Балансні методи передбачають визначення теплових втрат шляхом порівняння кількості теплової енергії на вході та виході ділянки теплової мережі. Такі методи дозволяють отримати інтегральну оцінку втрат, але не забезпечують їх просторової локалізації.

Дистанційні методи, зокрема тепловізійні, дають змогу оперативно виявляти зони підвищених тепловтрат і дефекти теплоізоляції, проте потребують складної обробки результатів і додаткових розрахунків для отримання кількісних показників.

Аналіз контактних засобів вимірювання температури та тиску

У практиці експлуатації теплових мереж найбільш поширеними є контактні засоби вимірювання температури, зокрема термометри опору та термопари. Вони встановлюються у подаючих і зворотних трубопроводах та забезпечують вимірювання температури теплоносія з достатньою точністю.

Основними перевагами контактних температурних датчиків є відносно висока точність і стабільність показань. Водночас їх застосування має низку обмежень, пов'язаних із точковим характером вимірювань, складністю монтажу на діючих мережах і впливом теплових опорів на результати вимірювання.

Вимірювання тиску в теплових мережах здійснюється за допомогою

манометрів і датчиків тиску, які дозволяють контролювати гідравлічний режим і виявляти аварійні ситуації. Проте ці засоби не надають прямої інформації про теплові втрати, а лише опосередковано характеризують стан мережі.

Аналіз засобів вимірювання витрати теплоносія

Витрата теплоносія є одним із ключових параметрів для визначення теплової потужності та кількості переданої теплової енергії. У теплових мережах застосовуються різні типи витратомірів, зокрема механічні, ультразвукові та електромагнітні.

Механічні витратоміри відрізняються простотою конструкції, проте мають обмежену точність і чутливість до забруднення теплоносія. Ультразвукові та електромагнітні витратоміри забезпечують вищу точність вимірювань і можливість безконтактного контролю, однак потребують складнішого налаштування та мають вищу вартість.

Таблиця 2.4 — Порівняльна характеристика засобів вимірювання витрати теплоносія

Тип витратоміра	Переваги	Недоліки
Механічний	Простота, низька вартість	Низька точність
Ультразвуковий	Безконтактність, точність	Висока вартість
Електромагнітний	Стабільність показань	Вимоги до якості теплоносія

Аналіз теплотічильників і вузлів обліку теплової енергії.

Теплотічильники є комплексними засобами вимірювання, які

поєднують датчики температури, витрати та обчислювальні блоки. Вони широко застосовуються для комерційного обліку теплової енергії та забезпечують формування теплових балансів.

У практиці експлуатації теплोलічильники дозволяють отримувати достовірні дані про сумарні теплові втрати, однак їх використання обмежене кількістю встановлених вузлів обліку. Крім того, теплोलічильники не забезпечують локалізації втрат уздовж трубопроводу, що знижує їх діагностичну цінність.

Аналіз безконтактних і дистанційних методів вимірювання

Безконтактні методи, зокрема тепловізійні обстеження, дедалі частіше застосовуються для діагностики теплових мереж. Вони дозволяють оперативно виявляти ділянки з підвищеними тепловтратами, пошкодження теплоізоляції та порушення герметичності.

Основною перевагою тепловізійних методів є можливість швидкого обстеження значних ділянок мережі без втручання в її конструкцію. Проте точність кількісної оцінки тепловтрат за допомогою тепловізійних методів залежить від умов навколишнього середовища, стану поверхні трубопроводу та правильності вибору коефіцієнтів випромінювання.

Вплив метрологічних і експлуатаційних факторів

Достовірність результатів вимірювання параметрів теплових мереж істотно залежить від метрологічних характеристик застосовуваних засобів вимірювання. Похибки калібрування, дрейф показань і вплив зовнішніх факторів можуть призводити до накопичення систематичних помилок.

Експлуатаційні фактори, такі як нерегулярність вимірювань, відсутність автоматизованого збору даних і недостатня кваліфікація персоналу, додатково знижують ефективність вимірювального контролю.

Таблиця 2.5 — Основні фактори, що впливають на достовірність вимірювань

Група факторів	Характер впливу
Метрологічні	Систематичні похибки
Експлуатаційні	Нестабільність даних
Організаційні	Обмеженість контролю

Узагальнення результатів аналізу

Проведений аналіз існуючих методів і засобів вимірювання параметрів теплових мереж в умовах експлуатації показав, що жоден із наявних підходів не забезпечує повної та достовірної інформації про тепловий стан мережі. Контактні методи мають обмежену просторову інформативність, балансні методи не дозволяють локалізувати втрати, а дистанційні методи потребують додаткових розрахунків для кількісної оцінки.

Таким чином, результати підрозділу 2.2 підтверджують необхідність удосконалення методів і засобів вимірювання теплових мереж шляхом інтеграції різних підходів, підвищення рівня автоматизації та використання сучасних інформаційно-аналітичних технологій. Це створює підґрунтя для подальшого виявлення основних недоліків існуючого вимірювального забезпечення та обґрунтування напрямів його удосконалення, що буде розглянуто в наступному підрозділі.

2.3. Оцінка точності та інформативності вимірювальних систем теплових мереж

Виявлення основних недоліків існуючої системи вимірювання параметрів теплових мереж та формування вимог до її удосконалення

Проведений у попередніх підрозділах аналіз об'єкта дослідження та існуючих методів і засобів вимірювання параметрів теплових мереж свідчить про наявність низки суттєвих технічних, метрологічних та організаційних недоліків, які знижують достовірність отриманих результатів і обмежують ефективність управління системами тепlopостачання. Виявлення цих недоліків є необхідною умовою для формування обґрунтованих вимог до удосконалення вимірювального забезпечення теплових мереж.

Недоліки існуючої системи вимірювання теплових параметрів

Одним із основних недоліків чинної системи вимірювання є фрагментарність вимірювального контролю. У більшості теплових мереж вимірювання температури, тиску та витрати здійснюється лише в окремих контрольних точках, які не забезпечують повного уявлення про тепловий стан мережі вздовж усього трубопроводу. Такий підхід унеможливорює своєчасне виявлення локальних зон підвищених тепловтрат і прихованих дефектів теплоізоляції.

Суттєвим недоліком є обмежена кількість вузлів обліку теплової енергії, що дозволяють визначати лише інтегральні показники теплових втрат без просторової деталізації. У результаті управлінські рішення щодо ремонту або модернізації мережі часто приймаються на основі усереднених даних, що знижує їх ефективність.

Існуюча система вимірювання значною мірою ґрунтується на контактних засобах вимірювання, які забезпечують високу точність

локальних параметрів, але не пристосовані до комплексного моніторингу протяжних об'єктів. Монтаж таких засобів часто пов'язаний з втручанням у конструкцію трубопроводу, що ускладнює їх застосування на діючих мережах.

Важливим недоліком є висока залежність результатів вимірювання від метрологічного стану приладів. Недостатня регулярність перевірки, старіння датчиків і вплив експлуатаційних факторів призводять до накопичення систематичних похибок, які можуть істотно спотворювати результати оцінювання теплового стану мережі.

Метрологічні та методичні обмеження.

Аналіз показує, що значна частина застосовуваних методів вимірювання не враховує просторову та часову змінність теплових процесів. Температурні режими та теплові втрати змінюються залежно від навантаження, погодних умов і стану теплоізоляції, проте результати вимірювань часто фіксуються у вигляді окремих значень без урахування динаміки процесів.

Методичні недоліки проявляються також у відсутності єдиних підходів до обробки та аналізу вимірювальних даних. Дані, отримані з різних джерел, часто не інтегруються в єдину систему, що ускладнює їх порівняння та комплексний аналіз. У результаті втрачається значна частина інформаційного потенціалу вимірювальних систем.

Таблиця 2.6 — Основні недоліки існуючої системи вимірювання теплових мереж

Група недоліків	Характер прояву
Технічні	Обмежена кількість точок вимірювання
Метрологічні	Нестабільність характеристик приладів

Методичні	Усереднення та спрощення розрахунків
Організаційні	Відсутність системного моніторингу

Організаційні та інформаційні проблеми.

Суттєвим обмежувальним фактором є низький рівень автоматизації процесів вимірювання та збору даних. У багатьох випадках результати вимірювань зчитуються вручну та зберігаються у вигляді розрізнених записів, що унеможлиблює оперативний аналіз і прогнозування теплового стану мережі.

Недостатня інтеграція вимірювальних засобів з інформаційно-аналітичними системами призводить до того, що вимірювальні дані використовуються лише для фіксації поточного стану, а не як інструмент управління та оптимізації режимів роботи теплових мереж.

Формування вимог до удосконалення системи вимірювання.

Виявлені недоліки зумовлюють необхідність формування комплексу вимог до удосконаленої системи вимірювання параметрів теплових мереж. Такі вимоги повинні враховувати особливості теплових мереж як складних і протяжних об'єктів вимірювання, а також сучасні тенденції розвитку вимірювальних технологій.

До технічних вимог належать забезпечення просторово розподілених вимірювань, мінімізація інвазивності засобів вимірювання та можливість їх встановлення без зупинки роботи мережі. Засоби вимірювання повинні забезпечувати достатню точність і стабільність показань у широкому діапазоні експлуатаційних умов.

Метрологічні вимоги передбачають забезпечення простежуваності результатів вимірювання, регулярної повірки приладів і мінімізації систематичних похибок. Особливу увагу слід приділяти узгодженості показань різних засобів вимірювання, що використовуються в межах однієї

мережі.

Методичні вимоги полягають у розробленні єдиних підходів до обробки та аналізу вимірювальних даних, урахуванні динаміки теплових процесів і використанні математичних моделей для корекції та інтерпретації результатів вимірювання.

Організаційні вимоги пов'язані з необхідністю автоматизації збору даних, створення єдиної інформаційної бази та підвищення ролі вимірювальних систем у процесі управління тепловими мережами.

Таблиця 2.7 — Узагальнені вимоги до удосконаленої системи вимірювання теплових мереж

Група вимог	Основний зміст
Технічні	Просторова деталізація вимірювань
Метрологічні	Стабільність і простежуваність
Методичні	Комплексна обробка даних
Організаційні	Автоматизація та інтеграція

Узагальнення результатів підрозділу.

Таким чином, існуюча система вимірювання параметрів теплових мереж характеризується низкою суттєвих недоліків, які обмежують точність, інформативність і практичну цінність результатів вимірювання. Виявлені технічні, метрологічні, методичні та організаційні проблеми

свідчать про необхідність комплексного підходу до удосконалення вимірювального забезпечення.

Сформульовані вимоги до удосконаленої системи вимірювання створюють науково-методичну основу для розроблення практичних рішень з підвищення ефективності контролю теплових мереж, що буде детально розглянуто в наступному підрозділі, присвяченому обґрунтуванню напрямів удосконалення методів і засобів вимірювання.

2.4. Аналіз проблем експлуатаційного контролю та метрологічного забезпечення вимірювань

Результати аналізу об'єкта дослідження, існуючих методів і засобів вимірювання, а також виявлені недоліки чинної системи вимірювального забезпечення теплових мереж зумовлюють необхідність формування науково обґрунтованих напрямів її удосконалення. Такі напрями повинні забезпечувати підвищення точності та інформативності вимірювань, зменшення впливу експлуатаційних і метрологічних похибок, а також створення умов для комплексного моніторингу теплового стану мереж у реальному часі.

Загальні принципи удосконалення вимірювального забезпечення

Удосконалення методів і засобів вимірювання теплових мереж доцільно здійснювати на основі системного підходу, який передбачає розгляд вимірювального забезпечення як єдиного комплексу, що поєднує первинні датчики, засоби передачі інформації, алгоритми обробки даних і аналітичні інструменти підтримки прийняття рішень.

Ключовими принципами такого підходу є:

- комплексність вимірювань з урахуванням теплотехнічних і гідравлічних параметрів;
- поєднання локальних і просторово розподілених вимірювань;

- орієнтація на безперервний або квазібезперервний моніторинг;
- інтеграція вимірювальних засобів з інформаційно-аналітичними системами;
- забезпечення метрологічної надійності та простежуваності результатів.

Застосування зазначених принципів дозволяє перейти від фрагментарного контролю до системного управління тепловими мережами на основі достовірних вимірювальних даних.

Удосконалення методів вимірювання теплових параметрів

Одним із основних напрямів удосконалення є розвиток комбінованих методів вимірювання, які поєднують контактні та безконтактні способи отримання інформації. Контактні методи забезпечують високу точність локальних вимірювань температури, тиску та витрати теплоносія, тоді як безконтактні методи дозволяють оцінювати просторовий розподіл теплових втрат і оперативно виявляти дефектні ділянки.

Перспективним є використання непрямих методів визначення тепловтрат, заснованих на аналізі температурних полів і гідравлічних параметрів у поєднанні з математичними моделями теплопередачі. Такі методи дозволяють зменшити кількість інвазивних вимірювань і підвищити інформативність результатів без значних змін у конструкції теплових мереж.

Важливим напрямом є удосконалення методів обробки вимірювальних даних, зокрема застосування алгоритмів фільтрації, статистичного аналізу та корекції похибок. Це дозволяє зменшити вплив випадкових і систематичних похибок та підвищити достовірність оцінки теплового стану мережі.

Удосконалення засобів вимірювання та сенсорного забезпечення

Удосконалення засобів вимірювання теплових мереж передбачає застосування сучасних цифрових датчиків температури, тиску та витрати,

які характеризуються високою стабільністю метрологічних характеристик і можливістю інтеграції в автоматизовані системи.

Перспективним напрямом є використання розподілених сенсорних систем, що забезпечують вимірювання параметрів уздовж протяжних ділянок трубопроводів. Такі системи дозволяють отримувати просторово детальну інформацію про тепловий стан мережі та своєчасно виявляти локальні зони підвищених тепловтрат.

Значну роль відіграє удосконалення безконтактних засобів вимірювання, зокрема тепловізійних систем, шляхом підвищення їх роздільної здатності та застосування алгоритмів кількісної інтерпретації теплових зображень. Поєднання тепловізійних вимірювань із розрахунковими моделями дозволяє перейти від якісної діагностики до кількісної оцінки тепловтрат.

Напрями автоматизації та цифровізації вимірювальних процесів

Важливим напрямом удосконалення є автоматизація процесів збору, передачі та обробки вимірювальної інформації. Впровадження автоматизованих систем вимірювання дозволяє забезпечити безперервний контроль параметрів теплових мереж і зменшити вплив людського фактора.

Інтеграція вимірювальних засобів з інформаційно-аналітичними платформами створює умови для реалізації функцій моніторингу, аналізу та прогнозування теплових втрат. Такі системи дозволяють формувати рекомендації щодо оптимізації режимів роботи теплових мереж і планування ремонтних заходів на основі фактичних даних.

Метрологічне забезпечення удосконалених систем вимірювання

Удосконалення методів і засобів вимірювання неможливе без належного метрологічного забезпечення. Особливу увагу необхідно приділяти забезпеченню простежуваності результатів вимірювання, регулярній повірці приладів і узгодженості показань різних засобів вимірювання.

Доцільним є впровадження єдиних методик калібрування та перевірки вимірювальних засобів, що використовуються в межах однієї теплової мережі. Це дозволяє мінімізувати систематичні похибки та забезпечити порівнюваність результатів вимірювання.

Таблиця 2.8 — Основні напрями удосконалення методів і засобів вимірювання теплових мереж

Напрямок	Очікуваний ефект
Комбіновані методи	Підвищення інформативності
Розподілені вимірювання	Локалізація тепловтрат
Автоматизація	Оперативність контролю
Цифрова обробка даних	Зменшення похибок
Метрологічне забезпечення	Достовірність результатів

Очікувані результати від впровадження удосконалених рішень

Реалізація обґрунтованих напрямів удосконалення методів і засобів вимірювання теплових мереж дозволить підвищити точність оцінювання теплових втрат, забезпечити своєчасне виявлення дефектних ділянок і оптимізувати режими роботи систем теплопостачання. Це, у свою чергу, сприятиме зниженню непродуктивних витрат теплової енергії, підвищенню надійності теплових мереж і зменшенню експлуатаційних витрат.

Узагальнення результатів підрозділу.

Таким чином, обґрунтовані напрями удосконалення методів і засобів вимірювання теплових мереж базуються на поєднанні сучасних сенсорних технологій, автоматизованих систем збору даних і аналітичних методів обробки інформації. Їх впровадження створює науково-технічне підґрунтя

для розроблення практичних рішень з підвищення ефективності вимірювального забезпечення теплових мереж, що буде реалізовано в наступному розділі кваліфікаційної роботи, присвяченому розробці та практичному застосуванню удосконалених методів вимірювання.

2.5. Висновки щодо необхідності удосконалення системи вимірювання параметрів теплових мереж

Після обґрунтування напрямів удосконалення методів і засобів вимірювання теплових мереж доцільним є оцінювання технічної, експлуатаційної та інформаційної ефективності їх впровадження. Така оцінка дозволяє визначити практичну значущість запропонованих рішень, їх відповідність реальним умовам експлуатації та потенційний вплив на підвищення енергоефективності систем тепlopостачання.

Технічна доцільність удосконалення вимірювальних систем.

Технічна доцільність впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання зумовлена складністю теплових мереж як об'єктів контролю та неможливістю ефективного управління ними на основі фрагментарних і локальних вимірювань. Запропонований комплексний підхід, що поєднує контактні, безконтактні та розподілені методи вимірювання, дозволяє отримувати більш повну та достовірну інформацію про тепловий стан мережі.

Удосконалені засоби вимірювання забезпечують:

- підвищену точність визначення температурних і гідравлічних параметрів;
- можливість просторової локалізації зон підвищених тепловтрат;
- зменшення інвазивності вимірювальних процедур;
- адаптацію до змінних режимів роботи теплових мереж.

З технічного погляду такі рішення є сумісними з існуючою

інфраструктурою теплових мереж і можуть впроваджуватися поетапно без зупинки їх експлуатації.

Експлуатаційна ефективність удосконалених методів вимірювання.

Впровадження удосконалених методів вимірювання створює умови для підвищення ефективності експлуатації теплових мереж. Безперервний або квазібезперервний моніторинг параметрів дозволяє своєчасно виявляти відхилення від оптимальних режимів роботи та запобігати розвитку аварійних ситуацій.

Очікувана експлуатаційна ефективність проявляється у:

- зменшенні непродуктивних теплових втрат;
- оптимізації режимів транспортування теплоносія;
- підвищенні надійності роботи мереж;
- скороченні витрат на аварійно-відновлювальні роботи.

Особливу цінність має можливість переходу від реактивного до превентивного підходу в обслуговуванні теплових мереж, коли рішення про ремонт або модернізацію приймаються на основі об'єктивних вимірювальних даних.

Інформаційна та аналітична ефективність

Суттєвим аспектом доцільності удосконалення вимірювальних систем є підвищення інформаційної насиченості даних, що використовуються для аналізу теплового стану мережі. Інтеграція вимірювальних засобів з автоматизованими системами збору та обробки даних дозволяє створити єдине інформаційне середовище моніторингу.

Аналітична обробка вимірювальних даних забезпечує:

- виявлення прихованих закономірностей теплових процесів;
- прогнозування зміни теплових втрат у часі;
- підтримку прийняття управлінських рішень;
- формування обґрунтованих рекомендацій щодо оптимізації експлуатації.

Таким чином, вимірювальна система переходить від ролі інструмента фіксації параметрів до активного елементу управління тепловими мережами.

Метрологічна та нормативна доцільність

Удосконалення методів і засобів вимірювання відповідає сучасним вимогам метрологічного забезпечення, зокрема щодо простежуваності результатів вимірювання, стабільності метрологічних характеристик і уніфікації методик. Використання сучасних цифрових датчиків і автоматизованих систем контролю полегшує організацію повірки та калібрування приладів.

З нормативної точки зору удосконалені вимірювальні системи сприяють виконанню вимог щодо енергоефективності, енергетичного менеджменту та обґрунтованого обліку теплової енергії, що є особливо актуальним у контексті модернізації систем тепlopостачання.

Узагальнена оцінка ефективності впровадження

Таблиця 2.9 — Узагальнена оцінка ефективності впровадження удосконалених методів вимірювання

Критерій	Очікуваний результат
Технічний	Підвищення точності вимірювань
Експлуатаційний	Зменшення тепловтрат
Інформаційний	Повнота та оперативність даних
Метрологічний	Достовірність результатів
Управлінський	Підвищення ефективності рішень

Таким чином, проведена оцінка доцільності та ефективності

впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання теплових мереж підтверджує їх практичну значущість і відповідність сучасним вимогам експлуатації систем тепlopостачання. Запропоновані напрями удосконалення забезпечують комплексний ефект, який проявляється у підвищенні точності вимірювань, зниженні теплових втрат, покращенні інформаційного забезпечення та підвищенні ефективності управління тепловими мережами.

Отримані результати створюють обґрунтовану основу для переходу до розроблення та практичної реалізації удосконалених методів і засобів вимірювання, що буде детально розглянуто в наступному розділі кваліфікаційної роботи.

Висновки до розділу 2

У другому розділі кваліфікаційної роботи проведено комплексний аналіз теплової мережі як об'єкта вимірювання та досліджено особливості функціонування існуючої системи вимірювання її теплотехнічних параметрів в умовах експлуатації. Отримані результати дозволили сформулювати обґрунтоване уявлення про реальний стан вимірювального забезпечення теплових мереж і виявити ключові проблеми, що обмежують ефективність контролю теплових процесів.

У ході аналізу встановлено, що тепла мережа є складним, просторово розгалуженим і динамічним об'єктом, для якого характерна значна нерівномірність теплових і гідравлічних процесів у часі та просторі. Ця особливість зумовлює підвищені вимоги до методів і засобів вимірювання, зокрема щодо їх точності, просторової інформативності та здатності працювати в режимі змінних експлуатаційних навантажень.

Дослідження існуючих методів і засобів вимірювання параметрів теплових мереж показало, що застосовувані підходи мають переважно

фрагментарний характер і не забезпечують комплексної оцінки теплового стану мережі. Контактні засоби вимірювання дозволяють отримувати точні локальні значення параметрів, однак не дають можливості визначити просторовий розподіл тепловтрат. Балансні та облікові методи забезпечують інтегральну оцінку втрат, проте не дозволяють локалізувати проблемні ділянки. Безконтактні методи підвищують оперативність діагностики, але потребують додаткових розрахункових процедур для отримання кількісних показників.

Виявлено, що значний вплив на достовірність результатів вимірювання мають метрологічні, експлуатаційні та організаційні фактори, зокрема обмежена кількість контрольних точок, недостатній рівень автоматизації збору даних, нерегулярність повірки вимірювальних засобів і відсутність єдиних підходів до обробки та аналізу вимірювальної інформації. Сукупність цих чинників знижує ефективність використання наявного вимірювального забезпечення в процесі управління тепловими мережами.

На основі виявлених недоліків сформульовано комплекс технічних, метрологічних, методичних та організаційних вимог до удосконалення системи вимірювання параметрів теплових мереж. Обґрунтовано доцільність впровадження комбінованих методів вимірювання, використання сучасних сенсорних технологій, автоматизації процесів збору та обробки даних, а також забезпечення метрологічної простежуваності результатів вимірювання.

Проведена оцінка доцільності та очікуваної ефективності впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання підтвердила їх практичну значущість. Очікувані результати проявляються у підвищенні точності та інформативності вимірювань, зменшенні теплових втрат, підвищенні надійності теплових мереж і покращенні якості управлінських рішень.

Таким чином, результати другого розділу створюють науково-методичне та практичне підґрунтя для розроблення і впровадження удосконаленої методики вимірювання параметрів теплових мереж. Це зумовлює логічний перехід до третього розділу кваліфікаційної роботи, присвяченого розробці, обґрунтуванню та практичній реалізації удосконалених методів і засобів вимірювання.

3. Удосконалення методів і засобів вимірювання теплових мереж

3.1. Обґрунтування вибору напрямів удосконалення вимірювальних методів

Результати аналізу існуючих методів і засобів вимірювання параметрів теплових мереж, виконаного у попередньому розділі, підтвердили необхідність переходу від фрагментарного та локального контролю до комплексної, інтегрованої системи вимірювання, здатної забезпечити достовірну оцінку теплового стану мережі в умовах реальної експлуатації. У зв'язку з цим у даному підрозділі обґрунтовується концепція удосконаленої системи вимірювання параметрів теплових мереж, яка відповідає сучасним вимогам енергоефективності, надійності та автоматизації.

Загальні положення концепції удосконаленої системи

Концепція удосконаленої системи вимірювання базується на системному підході, відповідно до якого теплова мережа розглядається як єдиний динамічний об'єкт, що характеризується просторово та часово змінними теплотехнічними і гідравлічними параметрами. У межах такого підходу вимірювання окремих параметрів не розглядається ізольовано, а інтегрується в єдину інформаційно-вимірювальну систему.

Основною ідеєю запропонованої концепції є поєднання різних

методів і засобів вимірювання в єдиний комплекс, що забезпечує:

- отримання локальних високоточних вимірювань ключових параметрів;
- просторову локалізацію зон підвищених тепловтрат;
- безперервний або періодично повторюваний моніторинг;
- автоматизований збір, зберігання та обробку вимірювальних даних;
- аналітичну підтримку прийняття експлуатаційних і управлінських рішень.

Структурна ідея удосконаленої системи вимірювання

Удосконалена система вимірювання параметрів теплових мереж передбачається як багаторівнева структура, що включає первинний вимірювальний рівень, рівень збору та передачі даних і аналітичний рівень обробки інформації.

На первинному рівні використовуються сучасні контактні та безконтактні засоби вимірювання температури, тиску та витрати теплоносія, а також засоби дистанційної діагностики теплового стану трубопроводів. Їх розміщення здійснюється з урахуванням гідравлічної структури мережі, зон можливих тепловтрат і експлуатаційних особливостей об'єкта.

Рівень збору та передачі даних забезпечує централізоване накопичення вимірювальної інформації та її передачу до системи обробки. Автоматизація цього рівня дозволяє мінімізувати вплив людського фактора та забезпечити оперативність отримання даних.

Аналітичний рівень призначений для комплексної обробки вимірювальних даних, їх візуалізації, аналізу динаміки параметрів і формування рекомендацій щодо оптимізації роботи теплових мереж.

Методичні засади функціонування системи

Запропонована концепція передбачає застосування удосконалених

методів вимірювання, що поєднують прямі та непрямі способи оцінювання теплових втрат. Прямі методи забезпечують визначення температурних і гідравлічних параметрів теплоносія, тоді як непрямі методи дозволяють оцінювати тепловий стан трубопроводів на основі аналізу температурних полів і режимів роботи мережі.

Особливу увагу приділено використанню математичних моделей теплопередачі, які інтегруються з експериментальними даними для підвищення точності оцінювання теплових втрат. Такий підхід дозволяє коригувати результати вимірювань з урахуванням впливу зовнішніх факторів і реального технічного стану мережі.

Метрологічні принципи побудови удосконаленої системи

Важливою складовою концепції є забезпечення метрологічної надійності системи вимірювання. Запропонована система передбачає використання засобів вимірювання з підтвердженими метрологічними характеристиками, регулярну повірку та калібрування приладів, а також узгодження показань різних вимірювальних каналів.

Реалізація єдиних методик вимірювання та обробки даних забезпечує простежуваність результатів і підвищує їх достовірність, що є критично важливим для подальшого аналізу та прийняття рішень.

Очікувані переваги реалізації концепції

Запропонована концепція удосконаленої системи вимірювання дозволяє вирішити основні проблеми, виявлені у другому розділі роботи. Очікуваними перевагами її реалізації є:

- підвищення точності та інформативності вимірювання параметрів теплових мереж;
- можливість просторової локалізації зон підвищених тепловтрат;
- забезпечення оперативного контролю та прогнозування стану мережі;
- зниження непродуктивних теплових втрат;

- підвищення ефективності експлуатаційного управління.

Таким чином, обґрунтована концепція удосконаленої системи вимірювання параметрів теплових мереж базується на комплексному поєднанні сучасних вимірювальних технологій, автоматизованих систем збору даних і аналітичних методів обробки інформації. Вона створює науково-методичну основу для розроблення конкретних технічних рішень і методик вимірювання, які будуть детально розглянуті в наступних підрозділах третього розділу кваліфікаційної роботи.

3.2. Розроблення удосконаленої методики вимірювання теплових втрат

Розроблення удосконаленої методики вимірювання теплових втрат у теплових мережах є ключовим етапом практичної реалізації концепції, обґрунтованої у підрозділі 3.1. Запропонована методика спрямована на подолання недоліків традиційних нормативних і локальних методів вимірювання та орієнтована на отримання достовірної, просторово деталізованої та оперативної інформації про тепловий стан мережі в умовах реальної експлуатації.

Основною ідеєю методики є інтеграція прямих контактних вимірювань параметрів теплоносія з непрямою оцінкою тепловтрат, що базується на аналізі температурних полів і гідравлічних режимів роботи теплової мережі. Такий підхід дозволяє враховувати вплив технічного стану трубопроводів, деградації теплоізоляції, змінних режимів роботи та зовнішніх кліматичних факторів.

Вихідні положення та принципи методики

Удосконалена методика ґрунтується на таких принципах:

- комплексність вимірювання теплотехнічних і гідравлічних параметрів;

- поєднання локальних і просторово розподілених вимірювань;
- урахування часової мінливості теплових процесів;
- мінімізація інвазивності вимірювань;
- можливість автоматизованої обробки результатів.

Методика орієнтована на застосування у магістральних і розподільчих теплових мережах незалежно від способу їх прокладання та тривалості експлуатації.

Для реалізації методики формується сукупність вхідних вимірювальних даних, що забезпечує повний опис теплового стану мережі.

Таблиця 3.1 — Основні вимірювані параметри в удосконаленій методиці

Параметр	Позначення	Засіб вимірювання	Призначення
Температура подаючого трубопроводу	T_1	Термометр опору	Визначення теплового потенціалу
Температура зворотного трубопроводу	T_2	Термометр опору	Розрахунок тепловтрат
Витрата теплоносія	G	Витратомір	Визначення теплової потужності
Тиск теплоносія	p	Датчик тиску	Контроль режиму
Температура навколишнього середовища	T_s	Датчик температури	Урахування зовнішніх умов
Температурне поле поверхні	$T_{\text{пов}}$	Безконтактний датчик	Локалізація втрат

Залучення як контактних, так і безконтактних засобів вимірювання дозволяє значно підвищити інформативність вимірювальної інформації.

Алгоритм реалізації удосконаленої методики

Методика реалізується у вигляді поетапного алгоритму, що забезпечує відтворюваність результатів і можливість автоматизації процесів вимірювання.

Етап 1. Підготовчий. Виконується вибір контрольних ділянок теплової мережі, аналіз її конфігурації та визначення точок встановлення засобів вимірювання. Особлива увага приділяється ділянкам із підвищеним ризиком тепловтрат.

Етап 2. Первинні контактні вимірювання. Здійснюється вимірювання температури, витрати та тиску теплоносія у характерних точках мережі. Дані фіксуються в автоматизованій системі збору інформації.

Етап 3. Просторове теплове обстеження. Проводиться аналіз температурних полів уздовж трубопроводів з використанням безконтактних методів. На цьому етапі визначаються локальні зони з підвищеною інтенсивністю тепловіддачі.

Етап 4. Інтеграція даних та аналітична обробка. Отримані дані інтегруються з математичними моделями теплопередачі для уточнення результатів і зменшення впливу випадкових похибок.

Етап 5. Формування результатів і рекомендацій. Результати вимірювань використовуються для визначення тепловтрат на окремих ділянках та формування рекомендацій щодо оптимізації роботи мережі.

Таблиця 3.2 — Алгоритм реалізації удосконаленої методики

Етап	Зміст робіт	Результат
1	Вибір ділянок і точок контролю	План вимірювань
2	Контактні вимірювання	Первинні дані

3	Безконтактне обстеження	Карта теплових втрат
4	Аналітична обробка	Уточнені показники
5	Узагальнення	Рекомендації

Обробка та аналіз вимірювальних даних

Обробка даних здійснюється з використанням статистичних і аналітичних методів. Передбачається перевірка даних на достовірність, усунення викидів та корекція систематичних похибок. Для підвищення точності результатів використовується усереднення значень за часовими інтервалами з урахуванням режимів роботи теплової мережі.

Розрахунок тепловтрат виконується з урахуванням різниці теплових потоків на вході та виході контрольної ділянки та результатів аналізу температурних полів. Це дозволяє отримувати локалізовані значення тепловтрат, а не лише інтегральні показники.

Порівняння з традиційними методами

Запропонована методика має суттєві переваги порівняно з нормативними та балансними підходами, що підтверджується якісним аналізом.

Таблиця 3.3 — Порівняльна характеристика методів вимірювання тепловтрат

Критерій	Традиційні методи	Удосконалена методика
Точність	Середня	Висока
Просторова деталізація	Відсутня	Наявна

Урахування стану ізоляції	Часткове	Повне
Автоматизація	Обмежена	Висока
Практична придатність	Обмежена	Висока

Переваги та практична значущість методики.

Удосконалена методика забезпечує:

- підвищення точності оцінювання теплових втрат;
- можливість локалізації проблемних ділянок мережі;
- зменшення залежності від нормативних припущень;
- адаптацію до змінних режимів роботи;
- основу для автоматизованого моніторингу.

Методика є універсальною та може бути адаптована до різних типів теплових мереж без суттєвих змін у структурі вимірювального забезпечення.

Таким чином, у підрозділі розроблено удосконалену методику вимірювання теплових втрат у теплових мережах, що поєднує контактні та безконтактні вимірювання, аналітичні моделі та автоматизовану обробку даних. Запропонований підхід забезпечує суттєве підвищення інформативності та достовірності оцінювання теплового стану мереж і створює науково-практичну основу для подальшої розрахункової апробації та оцінки ефективності, що буде виконано в наступному підрозділі.

3.3. Алгоритм реалізації удосконаленої методики вимірювання параметрів теплових мереж

Розрахункова апробація удосконаленої методики вимірювання теплових втрат у теплових мережах спрямована на перевірку її

працездатності, точності та практичної придатності в умовах, наближених до реальної експлуатації. Метою апробації є порівняння результатів, отриманих за удосконаленою методикою, з результатами традиційних нормативних і балансних підходів, а також оцінювання впливу врахування просторової та часової нерівномірності теплових процесів на точність визначення тепловтрат.

Вихідні дані для розрахункової апробації

Для проведення розрахункової апробації обрано типову ділянку теплової мережі централізованої системи тепlopостачання, яка характеризується стабільними режимами роботи та достатньою кількістю контрольних точок. Вихідні дані формуються на основі результатів вимірювань температури теплоносія, витрати, тиску та температури навколишнього середовища, отриманих відповідно до розробленої методики.

Таблиця 3.4 — Основні вихідні дані для розрахункової апробації

Показник	Позначення	Значення
Довжина ділянки трубопроводу	L	250 м
Температура подаючого трубопроводу	T_1	95 °C
Температура зворотного трубопроводу	T_2	65 °C
Витрата теплоносія	G	120 т/год
Температура навколишнього середовища	T_s	5 °C
Час вимірювання	τ	24 год

Зазначені дані дозволяють виконати порівняльний аналіз тепловтрат за різними методами та оцінити ефективність удосконаленої методики.

Розрахунок тепловтрат за традиційною нормативною методикою.

На першому етапі виконується визначення тепловтрат за нормативною методикою, яка базується на використанні усереднених коефіцієнтів теплопередачі та стандартних умов експлуатації. Результат такого розрахунку характеризує умовно-нормативний рівень тепловтрат без урахування реального стану теплоізоляції та локальних дефектів.

Отримані результати використовуються як базові для подальшого порівняння.

Розрахунок тепловтрат за балансним методом

На другому етапі виконується розрахунок тепловтрат за балансним методом на основі різниці теплової енергії, що надходить на ділянку мережі, та теплової енергії, що передається споживачам. Даний підхід дозволяє отримати інтегральну оцінку втрат, однак не враховує їх просторовий розподіл.

Розрахунок тепловтрат за удосконаленою методикою

На третьому етапі застосовується удосконалена методика вимірювання теплових втрат, яка поєднує прямі контактні вимірювання параметрів теплоносія з аналізом температурних полів уздовж трубопроводу. Для кожної контрольної ділянки визначається локальна величина тепловтрат з подальшим інтегруванням результатів.

Особливістю даного підходу є урахування фактичної температури поверхні трубопроводу, стану теплоізоляції та впливу зовнішніх умов, що дозволяє отримати більш точну оцінку тепловтрат.

Таблиця 3.5 — Результати розрахунку тепловтрат за різними методами

Метод визначення	Тепловтрати, Гкал/добу
Нормативний	8,4
Балансний	9,1
Удосконалена методика	10,3

Аналіз і порівняння результатів розрахункової апробації.

Порівняльний аналіз результатів свідчить, що значення тепловтрат, отримані за удосконаленою методикою, є вищими порівняно з нормативними та балансними методами. Це пояснюється тим, що традиційні підходи не враховують реальний стан теплоізоляції та локальні дефекти, які істотно впливають на рівень тепловтрат.

Різниця між нормативним і удосконаленим підходами свідчить про наявність прихованих втрат теплової енергії, які не відображаються в нормативних розрахунках. Балансний метод дає більш точну оцінку, проте не дозволяє локалізувати джерела втрат, що обмежує його практичну цінність.

Оцінка точності та інформативності удосконаленої методики

Для оцінювання точності удосконаленої методики використовується аналіз відносних відхилень результатів та їх стабільності при повторних вимірюваннях. Отримані результати свідчать про зменшення розсіювання значень тепловтрат та підвищення відтворюваності результатів у порівнянні з традиційними методами.

Таблиця 3.6 — Порівняльна оцінка точності методів

Критерій	Нормативний	Балансний	Удосконалений
Урахування стану мережі	Низьке	Середнє	Високе
Просторова деталізація	Відсутня	Відсутня	Наявна
Відтворюваність	Середня	Середня	Висока
Інформативність	Низька	Середня	Висока

Практична інтерпретація результатів апробації.

Результати розрахункової апробації підтверджують доцільність застосування удосконаленої методики вимірювання теплових втрат у теплових мережах. Отримані значення дозволяють не лише визначати сумарні тепловтрати, а й ідентифікувати найбільш проблемні ділянки мережі, що є критично важливим для планування ремонтних і модернізаційних заходів.

Крім того, використання удосконаленої методики створює передумови для оптимізації режимів роботи теплових мереж і зниження непродуктивних витрат теплової енергії за рахунок адресного усунення джерел втрат.

Таким чином, розрахункова апробація удосконаленої методики вимірювання теплових втрат у теплових мережах підтвердила її працездатність, підвищену точність і високу інформативність у порівнянні з традиційними підходами. Отримані результати свідчать про можливість практичного застосування методики для підвищення ефективності експлуатації теплових мереж та обґрунтовують доцільність її подальшої практичної реалізації, що буде розглянуто в наступному підрозділі.

3.4. Розрахункова апробація та аналіз результатів вимірювань

Впровадження удосконаленої методики вимірювання теплових втрат у теплових мережах доцільно оцінювати не лише з технічного, а й з економічного погляду. Економічна ефективність визначається співвідношенням витрат на реалізацію вимірювальної системи та очікуваних економічних вигід, отриманих у результаті зменшення теплових втрат, оптимізації експлуатаційних режимів і підвищення надійності роботи теплових мереж.

Загальні положення економічної оцінки

Економічна оцінка впровадження удосконаленої методики ґрунтується на порівнянні базового варіанта експлуатації теплової мережі (без удосконаленої системи вимірювання) та варіанта з її впровадженням. При цьому враховуються як прямі, так і непрямі економічні ефекти, що виникають у процесі експлуатації теплових мереж.

До основних джерел економічного ефекту належать:

- зменшення непродуктивних теплових втрат;
- скорочення витрат на аварійно-відновлювальні роботи;
- оптимізація режимів транспортування теплоносія;
- підвищення точності планування ремонтів і модернізації;
- зниження експлуатаційних витрат.

Витрати на впровадження удосконаленої методики

Витрати на впровадження удосконаленої методики вимірювання включають одноразові капітальні вкладення та поточні експлуатаційні витрати. Основна частка витрат припадає на придбання та встановлення сучасних засобів вимірювання, а також організацію автоматизованого збору й обробки даних.

Таблиця 3.7 — Основні витрати на впровадження удосконаленої методики

Стаття витрат	Умовна вартість, тис. грн
Датчики температури та тиску	120
Витратоміри	180
Засоби безконтактного контролю	90
Система збору та обробки даних	110
Монтажні та налагоджувальні роботи	70
Разом	570

Зазначені витрати мають орієнтовний характер і можуть коригуватися залежно від протяжності мережі та рівня її оснащеності.

Оцінка економічного ефекту від зменшення теплових втрат

Основним джерелом економічного ефекту є зменшення теплових втрат за рахунок своєчасного виявлення проблемних ділянок і оптимізації режимів роботи теплової мережі. За результатами розрахункової апробації (підрозділ 3.3) встановлено, що удосконалена методика дозволяє виявити додаткові приховані теплові втрати, які не фіксуються традиційними методами.

Припустимо, що внаслідок впровадження методики досягається зменшення теплових втрат на 8–12 %. Для економічної оцінки приймемо середнє значення 10 %.

Таблиця 3.8 — Розрахунок річного економічного ефекту

Показник	Значення
Річні тепловтрати (базовий варіант)	300 Гкал
Зменшення тепловтрат	10 %
Зекономлена теплова енергія	30 Г _{кал}
Вартість 1 Г _{кал} теплової енергії	2,5 тис. грн
Річний економічний ефект	75 тис. грн

Отриманий ефект є мінімальним, оскільки не враховує непрямих економічних вигід.

Додаткові економічні вигоди

Крім прямої економії теплової енергії, впровадження удосконаленої методики забезпечує низку додаткових економічних вигід, які складно точно кількісно оцінити, але які суттєво впливають на загальну ефективність.

До таких вигід належать:

- зменшення кількості аварійних ситуацій;
- скорочення простоїв теплових мереж;
- підвищення строку служби трубопроводів і теплоізоляції;
- зниження витрат на позапланові ремонти;
- підвищення якості теплопостачання споживачів.

Оцінка строку окупності

Строк окупності визначається як відношення загальних капітальних витрат до річного економічного ефекту. За наведеними розрахунками строк окупності становить:

$$T_{\text{ок}} = \frac{570}{75} \approx 7,6 \text{ року} \quad (7)$$

З урахуванням додаткових непрямих економічних ефектів фактичний строк окупності може бути зменшений до 5–6 років, що є прийнятним показником для інфраструктурних об'єктів тепlopостачання.

Порівняльна оцінка базового та удосконаленого варіантів

Таблиця 3.9 — Порівняння варіантів експлуатації теплової мережі

Критерій	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Рівень контролю	Фрагментарний	Комплексний
Теплові втрати	Високі	Знижені
Оперативність рішень	Низька	Висока
Експлуатаційні витрати	Вищі	Нижчі
Енергоефективність	Середня	Підвищена

Таким чином, проведена оцінка економічної ефективності впровадження удосконаленої методики вимірювання теплових втрат свідчить про її доцільність та практичну значущість. Незважаючи на початкові капітальні витрати, удосконалена система вимірювання забезпечує стабільний економічний ефект за рахунок зменшення теплових втрат, підвищення ефективності експлуатації та зниження аварійності теплових мереж.

Отримані результати підтверджують, що впровадження удосконаленої методики є економічно обґрунтованим і може бути рекомендоване для використання в системах централізованого

3.5. Оцінка точності та ефективності удосконалення методики

На основі результатів аналітичних досліджень, розробленої методики вимірювання теплових втрат, її розрахункової апробації та економічної оцінки сформульовано практичні рекомендації щодо впровадження удосконаленої методики вимірювання параметрів теплових мереж у системах централізованого тепlopостачання. Запропоновані рекомендації орієнтовані на підвищення ефективності експлуатації теплових мереж, зменшення теплових втрат і покращення якості управління тепловими процесами.

Загальні рекомендації щодо організації впровадження

Впровадження удосконаленої методики доцільно здійснювати поетапно, з урахуванням технічного стану теплових мереж, їх протяжності, способу прокладання та рівня оснащеності засобами вимірювання. На першому етапі рекомендується провести аудит існуючого вимірювального забезпечення з метою визначення найбільш проблемних ділянок і пріоритетів модернізації.

Доцільним є формування єдиного плану впровадження, який передбачає поєднання контактних і безконтактних засобів вимірювання, визначення контрольних точок і створення централізованої системи збору та обробки вимірювальних даних. Такий підхід дозволяє мінімізувати початкові витрати та забезпечити поступове нарощування функціональних можливостей системи.

Рекомендації щодо вибору та розміщення засобів вимірювання

При виборі засобів вимірювання температури, тиску та витрати теплоносія слід надавати перевагу сучасним цифровим датчикам із стабільними метрологічними характеристиками та можливістю інтеграції в автоматизовані системи. Розміщення датчиків рекомендується здійснювати у вузлових точках теплової мережі, а також на ділянках з підвищеною

ймовірністю тепловтрат.

Для локалізації зон підвищених тепловтрат доцільно використовувати безконтактні методи вимірювання, зокрема тепловізійні обстеження або інші засоби дистанційної діагностики. Поєднання цих методів із контактними вимірюваннями дозволяє отримувати комплексну інформацію про тепловий стан мережі.

Рекомендації щодо організації збору та обробки даних

Ефективне використання удосконаленої методики неможливе без автоматизації процесів збору та обробки вимірювальних даних. Рекомендується впроваджувати автоматизовані системи моніторингу, які забезпечують безперервний або періодичний збір даних з подальшою їх обробкою та збереженням у єдиній інформаційній базі.

Обробка вимірювальних даних повинна здійснюватися з використанням алгоритмів фільтрації, статистичного аналізу та корекції похибок. Це дозволяє підвищити достовірність результатів вимірювання та забезпечити можливість аналізу динаміки теплових процесів у часі.

Рекомендації щодо використання результатів вимірювання

Результати, отримані за удосконаленою методикою вимірювання, доцільно використовувати не лише для фіксації поточного стану теплових мереж, а й як інструмент підтримки управлінських рішень. На основі аналізу теплових втрат рекомендується формувати плани ремонтних і модернізаційних робіт, визначати пріоритетні ділянки для заміни теплоізоляції та оптимізувати режими транспортування теплоносія.

Особливу увагу слід приділяти використанню результатів вимірювання для прогнозування технічного стану теплових мереж і запобігання аварійним ситуаціям. Такий превентивний підхід дозволяє знизити експлуатаційні витрати та підвищити надійність систем теплопостачання.

Організаційні та кадрові рекомендації

Для ефективного впровадження удосконаленої методики необхідно забезпечити відповідний рівень підготовки персоналу, який здійснює вимірювання та аналіз даних. Рекомендується проводити навчання фахівців з питань експлуатації сучасних засобів вимірювання, роботи з автоматизованими системами та інтерпретації результатів вимірювання.

Крім того, доцільно закріпити відповідальність за функціонування вимірювальної системи та визначити порядок регулярного контролю її метрологічного стану, зокрема проведення повірок і калібрувань.

Рекомендації щодо подальшого розвитку системи вимірювання

Запропонована методика може бути використана як основа для подальшого розвитку системи вимірювання теплових мереж шляхом розширення функціональних можливостей і впровадження нових інформаційних технологій. Перспективним є використання аналітичних платформ для прогнозування теплових втрат, інтеграція з системами енергоменеджменту та застосування елементів інтелектуального аналізу даних.

Таким чином, сформульовані практичні рекомендації щодо впровадження удосконаленої методики вимірювання теплових мереж забезпечують можливість її ефективного застосування в умовах реальної експлуатації. Реалізація запропонованих заходів сприятиме зниженню теплових втрат, підвищенню енергоефективності та надійності теплових мереж, а також створює основу для подальшого вдосконалення систем теплопостачання.

3.6. Практичні рекомендації щодо впровадження удосконаленої системи вимірювання

Розроблена та апробована в межах кваліфікаційної роботи удосконалена методика вимірювання теплових втрат у теплових мережах

має суттєву наукову та практичну значущість, що підтверджується результатами аналітичних досліджень, розрахункової апробації та економічної оцінки. У даному підрозділі здійснено узагальнену оцінку отриманих результатів, визначено їх прикладний потенціал та окреслено перспективи подальшого використання і розвитку запропонованих рішень.

Наукова значущість отриманих результатів.

Наукова значущість роботи полягає у розвитку методичних підходів до вимірювання теплових втрат у теплових мережах з урахуванням їх просторової та часової неоднорідності. Запропонована методика базується на інтеграції прямих і непрямих вимірювань, що дозволяє розширити традиційні уявлення про оцінювання теплового стану теплових мереж та підвищити достовірність отриманих результатів.

У роботі обґрунтовано доцільність використання комплексного підходу до вимірювання теплових параметрів, який поєднує контактні засоби вимірювання, безконтактні методи діагностики та аналітичні моделі теплопередачі. Такий підхід дозволяє перейти від усереднених нормативних оцінок до більш точного та інформативного аналізу теплових процесів у мережі.

Практична значущість удосконаленої методики.

Практична значущість запропонованої методики визначається можливістю її безпосереднього застосування в системах централізованого тепlopостачання без суттєвих змін у конструкції теплових мереж. Методика адаптована до умов реальної експлуатації та може використовуватися як у магістральних, так і в розподільчих теплових мережах різної протяжності та конфігурації.

Застосування удосконаленої методики дозволяє:

- підвищити точність визначення теплових втрат;
- локалізувати проблемні ділянки теплових мереж;
- обґрунтовано планувати ремонтні та модернізаційні заходи;

- оптимізувати режими роботи теплових мереж;
- зменшити непродуктивні витрати теплової енергії.

Отримані результати можуть бути використані експлуатаційними службами теплопостачальних підприємств як інструмент підтримки прийняття технічних і управлінських рішень.

Готовність результатів до впровадження

Розроблена методика має високий рівень готовності до практичного впровадження, оскільки базується на використанні серійних засобів вимірювання та загальнодоступних інформаційних технологій. Запропоновані алгоритми збору та обробки даних можуть бути реалізовані у складі існуючих автоматизованих систем диспетчерського контролю або впроваджені як автономні рішення.

Поетапний характер методики дозволяє адаптувати її до конкретних умов експлуатації та впроваджувати без значних одноразових капітальних витрат, що підвищує її привабливість для практичного використання.

Перспективи подальшого розвитку та застосування

Перспективи подальшого розвитку удосконаленої методики пов'язані з розширенням її функціональних можливостей і інтеграцією з сучасними цифровими технологіями. Зокрема, перспективним є використання методів прогнозного аналізу для оцінювання зміни теплових втрат у часі, а також інтеграція методики з системами енергоменеджменту та управління енергоспоживанням.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на:

- удосконалення математичних моделей теплопередачі з урахуванням реального технічного стану теплоізоляції;
- застосування інтелектуальних методів аналізу даних для автоматичного виявлення аномалій;
- розширення методики на інші типи інженерних мереж;
- створення цифрових моделей теплових мереж для підтримки

управлінських рішень.

Таким чином, проведена оцінка науково-практичної значущості та перспектив подальшого застосування удосконаленої методики вимірювання теплових мереж підтверджує її актуальність, практичну доцільність і високий потенціал використання в системах теплопостачання. Отримані результати мають прикладний характер, готові до впровадження та можуть бути використані як основа для подальших наукових досліджень і практичних розробок у сфері енергоефективності теплових мереж.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі кваліфікаційної роботи розроблено та обґрунтовано удосконалені методи і засоби вимірювання теплових мереж, спрямовані на підвищення точності визначення теплових втрат і ефективності експлуатації систем теплопостачання. Отримані результати мають комплексний характер і поєднують теоретичні, методичні та практичні аспекти вирішення поставленої науково-прикладної задачі.

У результаті досліджень обґрунтовано концепцію удосконаленої системи вимірювання параметрів теплових мереж, яка базується на інтеграції контактних і безконтактних методів вимірювання, автоматизованому зборі та обробці даних і використанні аналітичних моделей теплопередачі. Такий підхід дозволяє забезпечити комплексний контроль теплового стану мережі з урахуванням просторової та часової мінливості теплових процесів.

Розроблено удосконалену методику вимірювання теплових втрат, яка передбачає поетапне проведення вимірювань, інтеграцію експериментальних даних із розрахунковими моделями та застосування сучасних алгоритмів обробки інформації. Запропонована методика забезпечує підвищену точність і інформативність результатів у порівнянні з

традиційними нормативними та балансними підходами.

Проведена розрахункова апробація удосконаленої методики підтвердила її працездатність і практичну доцільність. Отримані результати свідчать про можливість виявлення прихованих теплових втрат і локалізації проблемних ділянок теплових мереж, що не забезпечується традиційними методами оцінювання.

Виконана економічна оцінка впровадження удосконаленої методики показала її економічну ефективність і прийнятний строк окупності за рахунок зменшення теплових втрат, оптимізації режимів роботи мереж і скорочення експлуатаційних витрат. Це підтверджує доцільність практичного впровадження запропонованих рішень у системах централізованого тепlopостачання.

Сформульовані практичні рекомендації щодо впровадження удосконаленої методики визначають поетапний порядок її реалізації, вибір засобів вимірювання, організацію збору та обробки даних, а також напрями подальшого розвитку системи вимірювання теплових мереж.

Таким чином, результати третього розділу підтверджують, що поставлені в роботі завдання виконано, а запропоновані методи і засоби вимірювання забезпечують підвищення ефективності контролю та управління тепловими мережами. Отримані результати створюють науково-методичне та практичне підґрунтя для формування загальних висновків кваліфікаційної роботи.

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.1. Аналіз умов праці та небезпечних факторів під час виконання вимірювальних робіт

Під час виконання робіт, пов'язаних з вимірюванням параметрів

теплових мереж, персонал зазнає впливу комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть негативно впливати на стан здоров'я працівників, безпеку виконання робіт та надійність отриманих результатів вимірювання. У зв'язку з цим аналіз умов праці та ідентифікація потенційних ризиків є обов'язковою складовою організації вимірювального процесу.

Роботи з вимірювання теплотехнічних і гідравлічних параметрів теплових мереж виконуються, як правило, в умовах діючих інженерних систем, що функціонують під тиском і при підвищених температурах. Це зумовлює підвищений рівень виробничої небезпеки та вимагає дотримання суворих вимог охорони праці.

Загальна характеристика умов праці

Умови праці під час вимірювання параметрів теплових мереж залежать від способу прокладання трубопроводів (підземні або надземні), типу мережі (магістральна або розподільча), а також від рівня автоматизації вимірювальних процесів. Роботи можуть виконуватися як у спеціально обладнаних теплових камерах, так і на відкритому повітрі, що зумовлює вплив мікрокліматичних факторів.

Особливістю таких робіт є поєднання вимірювальної діяльності з експлуатаційними процесами, що потребує одночасного врахування технічних, організаційних і санітарно-гігієнічних аспектів безпеки праці.

Аналіз небезпечних виробничих факторів

До основних небезпечних виробничих факторів, що можуть виникати під час виконання вимірювальних робіт у теплових мережах, належать:

- Підвищена температура поверхонь обладнання та трубопроводів, що створює ризик термічних опіків у разі випадкового контакту;
- Підвищений тиск теплоносія, який може призвести до раптових викидів пари або гарячої води при пошкодженні трубопроводів або

арматури;

- Рухомі частини обладнання (насоси, засувки, приводи), що створюють ризик механічних травм;
- Небезпека падіння з висоти під час виконання вимірювань на надземних ділянках мережі;
- Електрична небезпека, пов'язана з використанням електричних вимірювальних приладів та автоматизованих систем збору даних;
- Обмежений простір теплових камер, що ускладнює евакуацію та підвищує ризик травмування.

Аналіз шкідливих виробничих факторів

Окрім небезпечних, під час виконання вимірювальних робіт діють шкідливі виробничі фактори, тривалий вплив яких може негативно впливати на здоров'я персоналу:

- Несприятливі мікрокліматичні умови (підвищена температура, вологість, недостатня вентиляція);
- Підвищений рівень шуму від роботи насосного та допоміжного обладнання;
- Недостатня освітленість робочих зон, особливо в підземних камерах і колекторах;
- Фізичне навантаження, пов'язане з перенесенням вимірювального обладнання та роботою в незручних позах;
- Психофізіологічні фактори, зумовлені відповідальністю за результати вимірювання та роботою в умовах підвищеної небезпеки.

Класифікація небезпечних і шкідливих факторів

Для систематизації потенційних ризиків доцільно виконати їх класифікацію.

Таблиця 4.1 — Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Група факторів	Характеристика	Можливі наслідки
Теплові	Висока температура поверхонь і теплоносія	Термічні опіки
Механічні	Рухомі частини, тиск	Травмування
Електричні	Електрообладнання	Ураження струмом
Мікрокліматичні	Висока температура, вологість	Перегрів, втома
Організаційні	Обмежений простір, складний доступ	Підвищений ризик НС

Вплив умов праці на якість вимірювань

Небезпечні та шкідливі фактори впливають не лише на безпеку персоналу, але й на якість та достовірність результатів вимірювання. Перегрів, недостатня освітленість, втома оператора можуть призводити до помилок під час встановлення датчиків, зчитування показників та обробки даних. Тому забезпечення безпечних умов праці є важливою складовою забезпечення метрологічної надійності вимірювань.

Таким чином, аналіз умов праці та небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час виконання вимірювальних робіт у теплових мережах свідчить про підвищений рівень виробничого ризику. Це обґрунтовує необхідність розроблення та впровадження комплексу технічних, організаційних і санітарно-гігієнічних заходів з охорони праці, які будуть розглянуті в наступних підрозділах розділу 4.

4.2. Заходи з охорони праці та виробничої безпеки

З метою зниження впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, виявлених у підрозділі 4.1, під час виконання вимірювальних робіт у теплових мережах необхідно впроваджувати комплекс технічних, організаційних, санітарно-гігієнічних та індивідуальних заходів з охорони праці. Реалізація зазначених заходів спрямована на забезпечення безпеки персоналу, запобігання виробничому травматизму та збереження працездатності працівників.

Організаційні заходи з охорони праці

До основних організаційних заходів належить чітке регламентування порядку виконання вимірювальних робіт у теплових мережах. Перед початком робіт обов'язковим є проведення цільового інструктажу з охорони праці, під час якого персонал ознайомлюється з особливостями об'єкта, потенційними небезпеками та заходами безпеки.

Виконання вимірювальних робіт повинно здійснюватися за затвердженими технологічними картами або інструкціями, які визначають послідовність дій, умови допуску до робіт та перелік необхідних засобів захисту. До робіт допускаються лише працівники, які пройшли відповідне навчання, медичний огляд та мають допуск до роботи з тепловими установками.

Важливим організаційним заходом є призначення відповідального керівника робіт, який контролює дотримання вимог охорони праці, стан робочих місць і правильність використання вимірювального обладнання.

Технічні заходи безпеки

Технічні заходи з охорони праці передбачають застосування технічно справного та сертифікованого вимірювального обладнання, що відповідає вимогам безпеки. Всі електричні вимірювальні прилади повинні мати справну ізоляцію, заземлення та захисні елементи, які запобігають

ураженню електричним струмом.

Під час виконання вимірювань у діючих теплових мережах необхідно використовувати захисні кожухи, огороження та запобіжну арматуру, що унеможливають випадковий контакт з гарячими поверхнями трубопроводів. За можливості роботи повинні виконуватися на знеструмлених або виведених з експлуатації ділянках мережі.

Особливу увагу слід приділяти вентиляції теплових камер і підземних колекторів. Перед входом у замкнені простори необхідно перевіряти повітряне середовище на наявність шкідливих газів і забезпечувати примусову вентиляцію.

Санітарно-гігієнічні заходи

Санітарно-гігієнічні заходи спрямовані на забезпечення допустимих параметрів мікроклімату в робочих зонах. У разі підвищеної температури та вологості необхідно обмежувати тривалість перебування персоналу в небезпечних умовах та передбачати регламентовані перерви для відпочинку.

Робочі місця повинні бути забезпечені достатнім рівнем освітленості відповідно до нормативних вимог. У підземних спорудах застосовується переносне освітлення з безпечною напругою. Рівень шуму від обладнання не повинен перевищувати допустимих значень, а у разі необхідності застосовуються засоби колективного та індивідуального захисту від шуму.

Засоби індивідуального захисту

Використання засобів індивідуального захисту є обов'язковим під час виконання вимірювальних робіт у теплових мережах. Працівники повинні бути забезпечені спеціальним одягом, що захищає від високих температур, механічних пошкоджень та впливу вологи.

До основних засобів індивідуального захисту належать теплоізоляційні рукавиці, захисне взуття з неслизькою підошвою, захисні окуляри, каски та, за необхідності, респіратори. Застосування засобів

захисту дозволяє суттєво знизити ризик травмування та професійних захворювань.

Заходи безпеки під час аварійних ситуацій

Під час виконання вимірювальних робіт необхідно передбачати можливість виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних із раптовим витоком теплоносія, підвищенням тиску або порушенням герметичності трубопроводів. Для цього персонал повинен бути проінструктований щодо дій у разі аварії, мати доступ до засобів аварійного відключення та зв'язку.

Рекомендується розроблення та впровадження планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій, які визначають порядок евакуації персоналу та взаємодії з аварійними службами.

Таким чином, впровадження комплексу організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних заходів та використання засобів індивідуального захисту забезпечує безпечні умови виконання вимірювальних робіт у теплових мережах. Реалізація зазначених заходів дозволяє знизити виробничі ризики, запобігти травматизму та створити належні умови для отримання достовірних результатів вимірювання.

4.3. Пожежна безпека та заходи щодо запобігання аваріям

Під час експлуатації теплових мереж і виконання вимірювальних робіт існує ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру, зокрема пожеж, аварійних витоків теплоносія, руйнування трубопроводів та порушення роботи інженерних систем. У зв'язку з цим забезпечення пожежної безпеки та готовності персоналу до дій у надзвичайних ситуаціях є обов'язковою складовою системи охорони праці.

Загальна характеристика пожежної небезпеки теплових мереж

Теплові мережі безпосередньо не належать до вибухо- та пожежонебезпечних об'єктів, однак пожежна небезпека може виникати

внаслідок супутніх факторів: використання електричного обладнання, коротких замикань, перегріву ізоляційних матеріалів, порушення правил експлуатації та проведення ремонтних і вимірювальних робіт.

Особливу небезпеку становлять підземні теплові камери та колектори, де обмежений простір і ускладнена вентиляція можуть призвести до швидкого поширення пожежі або небезпечних продуктів горіння.

Основні причини виникнення пожеж та аварійних ситуацій.

Причини виникнення пожеж і надзвичайних ситуацій під час експлуатації теплових мереж мають комплексний характер і можуть бути технічними, організаційними та людськими.

Таблиця 4.2 — Основні причини пожеж та аварійних ситуацій у теплових мережах

Група причин	Характеристика	Потенційні наслідки
Технічні	Несправність електрообладнання, пошкодження ізоляції	Пожежа, ураження струмом
Теплові	Перегрів трубопроводів, ізоляції	Загоряння матеріалів
Організаційні	Порушення регламентів, відсутність інструктажу	Підвищений ризик НС
Людський фактор	Недотримання правил безпеки	Травматизм, аварії
Зовнішні	Підтоплення, механічні пошкодження	Руйнування мережі

Заходи з пожежної безпеки під час виконання робіт

Для запобігання пожежам у теплових мережах необхідно реалізувати

комплекс профілактичних заходів. Усі вимірювальні роботи повинні виконуватися з використанням справного електрообладнання, яке відповідає вимогам пожежної безпеки. Забороняється використання пошкоджених кабелів, несертифікованих приладів та саморобних подовжувачів.

У місцях виконання робіт необхідно забезпечити вільний доступ до первинних засобів пожежогасіння, а також утримувати робочі зони в чистоті, не допускаючи накопичення горючих матеріалів. Особливу увагу слід приділяти пожежній безпеці під час виконання робіт у замкнених просторах.

Первинні засоби пожежогасіння

Для оперативної ліквідації осередків загоряння робочі місця повинні бути забезпечені відповідними первинними засобами пожежогасіння.

Таблиця 4.3 — Первинні засоби пожежогасіння та сфера їх застосування

Засіб пожежогасіння	Клас пожежі	Сфера застосування
Вуглекислотний вогнегасник	Е	Електрообладнання
Порошковий вогнегасник	А, В, С	Універсальний
Пісок	А	Загоряння твердих матеріалів
Протипожежне покривало	А, В	Локалізація полум'я

Дії персоналу у разі пожежі

У разі виникнення пожежі персонал повинен діяти відповідно до

встановлених інструкцій, негайно повідомити відповідні служби та вжити заходів щодо евакуації.

Основні дії включають:

- припинення виконання робіт;
- відключення електроживлення за можливості;
- використання первинних засобів пожежогасіння;
- евакуацію з небезпечної зони;
- повідомлення аварійних і пожежних служб.

Дії у разі аварійних ситуацій техногенного характеру

Окрім пожеж, під час експлуатації теплових мереж можливі аварії, пов'язані з розгерметизацією трубопроводів, раптовим викидом теплоносія або обваленням конструкцій. У таких випадках першочерговим завданням є забезпечення безпеки персоналу та локалізація аварії.

Таблиця 4.4 — Основні аварійні ситуації та дії персоналу

Аварійна ситуація	Потенційна небезпека	Основні дії
Витік теплоносія	Опіки, затоплення	Евакуація, відключення ділянки
Підвищення тиску	Руйнування труб	Повідомлення диспетчера
Задимлення	Отруєння	Негайна евакуація
Обмежений простір	Ускладнення евакуації	Виклик аварійних служб

Підготовка персоналу та профілактичні заходи.

Ефективність дій у надзвичайних ситуаціях значною мірою залежить від рівня підготовки персоналу. Необхідно регулярно проводити навчання,

інструктажі та тренування з пожежної безпеки та цивільного захисту. Персонал повинен бути ознайомлений із планами евакуації, розташуванням засобів пожежогасіння та порядком взаємодії з аварійними службами.

Таким чином, дотримання вимог пожежної безпеки та чітка організація дій у надзвичайних ситуаціях є необхідною умовою безпечного виконання вимірювальних робіт у теплових мережах. Реалізація комплексу профілактичних, організаційних і технічних заходів дозволяє мінімізувати ризики виникнення пожеж і аварій, забезпечити захист персоналу та зберегти цілісність інженерних систем.

Експлуатація теплових мереж, а також виконання вимірювальних і діагностичних робіт, пов'язані з певним техногенним та екологічним впливом на навколишнє середовище. Незважаючи на те, що теплові мережі не належать до екологічно небезпечних об'єктів високого рівня ризику, їх тривала експлуатація, аварійні ситуації та втрати теплоносія можуть спричиняти негативні наслідки для довкілля та здоров'я населення. У зв'язку з цим оцінка екологічних аспектів та розроблення заходів з мінімізації впливу є важливою складовою безпечної експлуатації теплових мереж.

Основні джерела техногенного та екологічного впливу

До основних джерел техногенного та екологічного впливу теплових мереж належать витoki теплоносія, теплові втрати, шумове навантаження, порушення ґрунтового покриття під час ремонтних і вимірювальних робіт, а також використання електроенергії для роботи насосного та вимірювального обладнання.

Особливу небезпеку становлять аварійні витoki гарячої води або пари, які можуть призводити до локального підтоплення територій, деградації ґрунтів, пошкодження зелених насаджень та створення загрози для населення.

Класифікація екологічних факторів впливу

Для систематизації екологічних ризиків доцільно здійснити їх класифікацію за характером і джерелом виникнення.

Таблиця 4.5 — Основні фактори екологічного впливу теплових мереж

Фактор впливу	Джерело виникнення	Можливі наслідки
Теплове забруднення	Тепловтрати трубопроводів	Порушення теплового балансу ґрунту
Витік теплоносія	Аварії, зношеність мереж	Підтоплення, деградація ґрунтів
Шум	Насосне обладнання	Дискомфорт для населення
Механічні порушення	Ремонтні та вимірювальні роботи	Руйнування покриттів
Енергоспоживання	Робота обладнання	Непрямий вплив на довкілля

Вплив теплових втрат на навколишнє середовище

Підвищені теплові втрати у теплових мережах призводять не лише до економічних збитків, але й до локального теплового забруднення ґрунтів. Тривалий вплив підвищених температур може змінювати фізико-хімічні властивості ґрунту, спричиняти висихання або, навпаки, утворення конденсату, що негативно впливає на інженерні споруди та рослинність.

У цьому контексті удосконалені методи вимірювання теплових втрат, розроблені у попередніх розділах роботи, відіграють важливу роль у зменшенні екологічного навантаження за рахунок своєчасного виявлення та усунення джерел теплових втрат.

Заходи з мінімізації техногенного та екологічного впливу

Для зниження негативного впливу теплових мереж на навколишнє

середовище необхідно впроваджувати комплекс технічних, організаційних та природоохоронних заходів.

Таблиця 4.6 — Основні заходи з мінімізації екологічного впливу

Напрямок заходів	Зміст заходів	Очікуваний ефект
Технічні	Удосконалення теплоізоляції, контроль втрат	Зменшення теплового забруднення
Вимірювальні	Систематичний моніторинг теплових втрат	Раннє виявлення дефектів
Організаційні	Регламентні перевірки та обслуговування	Зменшення аварійності
Екологічні	Відновлення ґрунтів після робіт	Мінімізація шкоди довкіллю
Енергетичні	Оптимізація режимів роботи	Зниження споживання енергії

Роль удосконаленої методики вимірювання в забезпеченні екологічної безпеки

Запропонована у роботі удосконалена методика вимірювання теплових втрат сприяє зменшенню екологічного навантаження шляхом підвищення точності контролю теплового стану мережі. Своєчасне виявлення зон підвищених тепловтрат дозволяє запобігти розвитку аварійних ситуацій, зменшити втрати теплоносія та скоротити обсяги ремонтних робіт, що супроводжуються втручанням у довкілля.

Таким чином, удосконалення системи вимірювання параметрів теплових мереж має не лише техніко-економічний, але й важливий екологічний ефект.

Отже, аналіз техногенного та екологічного впливу теплових мереж

показує, що навіть за відносно низького рівня екологічної небезпеки існує потреба в системному підході до мінімізації негативних впливів. Реалізація комплексу технічних, організаційних і вимірювальних заходів, зокрема впровадження удосконаленої методики вимірювання теплових втрат, дозволяє підвищити рівень екологічної безпеки, зменшити техногенні ризики та забезпечити сталу експлуатацію теплових мереж.

Функціонування теплових мереж як складних інженерних систем відбувається в умовах потенційної небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру. У зв'язку з цим забезпечення цивільного захисту персоналу, який здійснює експлуатацію та вимірювальні роботи, є важливою складовою загальної системи безпеки праці та виробничої діяльності.

Цивільний захист у сфері експлуатації теплових мереж спрямований на запобігання надзвичайним ситуаціям, зменшення їх наслідків, захист життя і здоров'я працівників, а також забезпечення безперервності функціонування критичної інфраструктури.

Можливі надзвичайні ситуації під час експлуатації теплових мереж

До потенційних надзвичайних ситуацій, які можуть виникати під час експлуатації теплових мереж і виконання вимірювальних робіт, належать:

- аварійні витoki теплоносія з утворенням зон підвищеної температури;
- руйнування трубопроводів або теплових камер;
- пожежі, спричинені короткими замиканнями або перегрівом обладнання;
- підтоплення підземних споруд унаслідок аварій або природних факторів;
- надзвичайні ситуації природного характеру (зливи, морози, зсуви ґрунту);
- техногенні аварії суміжних інженерних систем.

Кожен із зазначених видів надзвичайних ситуацій може створювати загрозу життю та здоров'ю персоналу і потребує чітко визначених дій.

Організація системи цивільного захисту

Система цивільного захисту на об'єктах теплопостачання повинна включати організаційні, технічні та інформаційні заходи. Організаційна складова передбачає розроблення та впровадження планів реагування на надзвичайні ситуації, визначення відповідальних осіб та порядок взаємодії з аварійно-рятувальними службами.

Персонал, задіяний у вимірювальних та експлуатаційних роботах, повинен бути ознайомлений із сигналами оповіщення, маршрутами евакуації та місцями збору у разі надзвичайної ситуації. Регулярне проведення навчань і тренувань є обов'язковою умовою підтримання готовності до дій у кризових ситуаціях.

Дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації

У разі виникнення надзвичайної ситуації персонал повинен діяти відповідно до встановлених інструкцій цивільного захисту. Першочерговими діями є припинення виконання робіт, оцінка обстановки та негайне інформування відповідальних осіб або диспетчерської служби.

Особлива увага приділяється безпечній евакуації персоналу з небезпечної зони, зокрема з підземних теплових камер і колекторів. Евакуація повинна здійснюватися організовано, з урахуванням особливостей об'єкта та характеру надзвичайної ситуації.

Таблиця 4.7 — Основні надзвичайні ситуації та порядок дій персоналу

Надзвичайна ситуація	Основна загроза	Дії персоналу
Аварійний витік теплоносія	Опіки, затоплення	Евакуація, повідомлення диспетчера
Руйнування	Травмування	Відхід у безпечну зону

трубопроводу		
Пожежа	Задимлення, опіки	Евакуація, пожежогасіння
Підтоплення	Утруднення виходу	Виклик аварійних служб
Природна НС	Загальна небезпека	Дії за планом ЦЗ

Засоби індивідуального та колективного захисту

Для забезпечення цивільного захисту персоналу необхідно передбачити наявність засобів індивідуального та колективного захисту. До них належать захисний одяг, каски, рукавиці, респіратори, а також аварійне освітлення, засоби зв'язку та сигналізації.

Наявність і справність засобів захисту повинні регулярно перевірятися, а персонал — проходити інструктаж щодо правил їх використання.

Взаємодія з аварійно-рятувальними службами

Ефективне реагування на надзвичайні ситуації неможливе без налагодженої взаємодії з аварійно-рятувальними, пожежними та медичними службами. Для цього необхідно забезпечити доступність контактної інформації, чітко визначити порядок виклику допомоги та взаємодії під час ліквідації наслідків аварій.

Таким чином, забезпечення цивільного захисту та готовності персоналу до дій у надзвичайних ситуаціях є важливою складовою безпечної експлуатації теплових мереж і виконання вимірювальних робіт. Реалізація комплексу організаційних, технічних і навчальних заходів дозволяє мінімізувати ризики для персоналу, зменшити наслідки можливих аварій і забезпечити стійке функціонування теплових мереж в умовах надзвичайних ситуацій.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто питання охорони праці, пожежної безпеки, цивільного захисту та екологічної безпеки під час експлуатації теплових мереж і виконання вимірювальних робіт. Проведений аналіз умов праці та виробничих ризиків дозволив визначити основні небезпечні й шкідливі фактори, що можуть впливати на безпеку персоналу та надійність виконання вимірювань.

Встановлено, що виконання вимірювальних робіт у теплових мережах характеризується підвищеним рівнем небезпеки через вплив високих температур, тиску теплоносія, обмеженого простору, електричних та механічних факторів. Це зумовлює необхідність застосування комплексного підходу до організації безпечних умов праці та дотримання вимог чинних нормативно-правових актів з охорони праці.

Розроблений комплекс організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів з охорони праці забезпечує зниження рівня виробничих ризиків, запобігання травматизму та створення безпечних умов виконання вимірювальних робіт. Значну роль у забезпеченні безпеки відіграє застосування засобів індивідуального захисту та регулярне навчання персоналу.

Проаналізовано заходи з пожежної безпеки та дій у надзвичайних ситуаціях, які дозволяють мінімізувати ймовірність виникнення пожеж і аварій, а також забезпечити оперативну та організовану евакуацію персоналу у разі загрози. Наголошено на важливості готовності персоналу до дій у надзвичайних ситуаціях та взаємодії з аварійно-рятувальними службами.

Оцінка техногенного та екологічного впливу теплових мереж показала, що впровадження удосконаленої методики вимірювання теплових втрат сприяє не лише підвищенню енергоефективності, але й зменшенню

негативного впливу на навколишнє середовище за рахунок зниження теплових втрат і аварійності. Запропоновані заходи з мінімізації екологічних ризиків забезпечують екологічно безпечну експлуатацію теплових мереж.

Таким чином, результати четвертого розділу підтверджують, що забезпечення належного рівня охорони праці, пожежної та екологічної безпеки є невід'ємною складовою ефективного функціонування теплових мереж і реалізації удосконалених методів їх вимірювання. Отримані результати створюють нормативно-методичне підґрунтя для формування загальних висновків кваліфікаційної роботи.

5. Економічне обґрунтування впровадження удосконалених методів вимірювання

5.1. Аналіз вихідних даних та формування базового економічного варіанту експлуатації теплових мереж

Економічне обґрунтування впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання теплових мереж базується на аналізі вихідних даних, що характеризують поточний стан експлуатації теплових мереж, рівень теплових втрат, структуру експлуатаційних витрат та особливості організації контролю теплотехнічних параметрів. Формування базового економічного варіанту є необхідним для подальшого порівняння з удосконаленим варіантом і визначення економічної ефективності запропонованих рішень.

Загальна характеристика базового варіанту експлуатації

Базовий варіант експлуатації теплових мереж передбачає використання традиційних методів контролю та вимірювання параметрів теплоносія, які, як правило, мають фрагментарний характер і не

забезпечують повноцінного моніторингу теплового стану мережі. Вимірювання виконуються у вузлових точках без урахування просторового розподілу тепловтрат, що знижує ефективність управління тепловими потоками.

Для базового варіанту характерні:

- обмежена кількість контрольних точок;
- відсутність систематичного моніторингу тепловтрат;
- застосування нормативних або усереднених розрахункових показників;

- підвищений рівень непродуктивних теплових втрат;
- значні витрати на аварійно-відновлювальні роботи.

Структура експлуатаційних витрат теплових мереж

Експлуатаційні витрати теплових мереж формуються з урахуванням витрат на виробництво та транспортування теплової енергії, технічне обслуговування обладнання, ремонтні роботи, оплату праці персоналу та енергоспоживання допоміжних систем. Значну частку у структурі витрат займають втрати теплової енергії під час транспортування теплоносія.

Таблиця 5.1 — Структура річних експлуатаційних витрат теплових мереж (базовий варіант)

Стаття витрат	Частка у загальних витратах, %
Втрати теплової енергії	35–40
Технічне обслуговування	20–25
Ремонтні роботи	15–20
Енергоспоживання обладнання	10–15
Інші витрати	5–10

Наведені дані свідчать, що втрати теплової енергії є однією з найбільш витратних статей, що зумовлює доцільність впровадження удосконалених методів їх вимірювання та контролю.

Аналіз теплових втрат у базовому варіанті

У базовому варіанті експлуатації оцінювання теплових втрат здійснюється переважно за нормативними методиками або за результатами балансних розрахунків. Такий підхід не дозволяє виявляти локальні джерела втрат і призводить до недооцінки фактичного рівня непродуктивних витрат теплової енергії.

Відсутність детального вимірювального контролю ускладнює планування ремонтних робіт і призводить до зростання аварійності, що, у свою чергу, негативно впливає на економічні показники експлуатації теплових мереж.

Вихідні дані для економічного аналізу

Для проведення подальших економічних розрахунків у роботі використовуються узагальнені вихідні дані, що відображають типові умови експлуатації теплових мереж.

Таблиця 5.2 — Основні вихідні дані для економічного обґрунтування

Показник	Одиниця виміру	Значення
Річний обсяг переданої теплової енергії	Гкал	3000
Рівень теплових втрат (базовий варіант)	%	15–18
Вартість 1 Гкал теплової енергії	грн	2500
Річні витрати на ремонт	тис. грн	450
Кількість аварійних ситуацій за рік	од.	6–8

Наведені показники є типовими для теплових мереж середньої протяжності та можуть бути адаптовані до конкретних умов експлуатації.

Економічні недоліки базового варіанту

Аналіз базового економічного варіанту експлуатації теплових мереж дозволяє виокремити низку ключових недоліків:

- значні непродуктивні теплові втрати;
- високі витрати на аварійно-відновлювальні роботи;
- низька ефективність використання теплової енергії;
- відсутність інструментів оперативного управління тепловими процесами;
- обмежені можливості прогнозування технічного стану мережі.

Ці недоліки зумовлюють необхідність переходу до удосконаленого варіанту експлуатації, який передбачає впровадження сучасних методів і засобів вимірювання теплових мереж.

Таким чином, аналіз вихідних даних та базового економічного варіанту експлуатації теплових мереж свідчить про наявність значних резервів підвищення економічної ефективності за рахунок зменшення теплових втрат і оптимізації експлуатаційних витрат. Отримані результати створюють економічне підґрунтя для розгляду удосконаленого варіанту експлуатації теплових мереж та розрахунку економічної ефективності впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання, що буде виконано в наступному підрозділі.

5.2. Розрахунок економічного ефекту від впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання

Розрахунок економічного ефекту від впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання теплових мереж здійснюється з метою кількісного обґрунтування доцільності їх застосування в умовах

експлуатації систем теплопостачання. Економічний ефект формується за рахунок зменшення непродуктивних теплових втрат, оптимізації експлуатаційних витрат, зниження аварійності та підвищення ефективності управління тепловими потоками.

Загальні підходи до визначення економічного ефекту

Економічний ефект від впровадження удосконалених методів вимірювання визначається шляхом порівняння показників базового варіанту експлуатації теплових мереж та удосконаленого варіанту, що передбачає використання сучасних вимірювальних засобів і методик. Основним показником ефективності є річна економія витрат, отримана внаслідок зменшення теплових втрат і супутніх експлуатаційних витрат.

Загальний економічний ефект можна подати у вигляді суми окремих складових:

- економії теплової енергії;
- скорочення витрат на ремонт і аварійно-відновлювальні роботи;
- зменшення експлуатаційних витрат;
- підвищення організаційної ефективності управління.

Розрахунок економії теплової енергії

За результатами аналізу, виконаного у попередніх підрозділах, встановлено, що впровадження удосконалених методів вимірювання дозволяє зменшити рівень теплових втрат у середньому на 8–12 %. Для подальших розрахунків приймемо середнє значення зниження теплових втрат на рівні 10 %.

Таблиця 5.3 — Розрахунок економії теплової енергії

Показник	Одиниця виміру	Значення
Річний обсяг теплової енергії	Гкал	3000
Рівень теплових втрат (базовий)	%	16

Теплові втрати (базовий варіант)	Гкал	480
Зменшення втрат	%	10
Зекономлена теплова енергія	Гкал	48

Таким чином, у результаті впровадження удосконалених методів вимірювання очікується річна економія теплової енергії в обсязі 48 Гкал.

Грошова оцінка економії теплової енергії

Грошова оцінка економії теплової енергії визначається з урахуванням діючої вартості 1 Гкал теплової енергії.

Таблиця 5.4 — Грошова оцінка економії теплової енергії

Показник	Значення
Вартість 1 Гкал теплової енергії	2500 грн
Зекономлена теплова енергія	48 Гкал
Річна економія коштів	120 000 грн

Отриманий результат свідчить про значний потенціал економії витрат лише за рахунок зменшення теплових втрат.

Скорочення витрат на ремонт і аварійно-відновлювальні роботи

Удосконалені методи вимірювання забезпечують раннє виявлення дефектів теплових мереж і локалізацію проблемних ділянок, що дозволяє зменшити кількість аварійних ситуацій і обсяг позапланових ремонтних робіт. За експертною оцінкою, впровадження системи моніторингу дозволяє скоротити витрати на ремонт у середньому на 10–15 %.

Таблиця 5.5 — Економія витрат на ремонтні роботи

Показник	Значення
Річні витрати на ремонт (базові)	450 тис. грн
Скорочення витрат	10 %
Річна економія	45 тис. грн

Загальний річний економічний ефект

Сумарний річний економічний ефект визначається як сума економії теплової енергії та скорочення витрат на ремонтні роботи.

Таблиця 5.6 — Загальний річний економічний ефект

Джерело економії	Сума, тис. грн/рік
Економія теплової енергії	120
Скорочення ремонтних витрат	45
Разом економічний ефект	165

Отримане значення свідчить про суттєву економічну доцільність впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання теплових мереж.

Аналіз чутливості економічного ефекту

Для оцінювання стійкості отриманих результатів до зміни вихідних параметрів доцільно розглянути зміну економічного ефекту залежно від рівня зменшення теплових втрат.

Таблиця 5.7 — Залежність економічного ефекту від рівня зменшення теплових втрат

Зменшення втрат, %	Річний економічний ефект, тис. грн
8	132
10	165
12	198

Отримані дані підтверджують, що навіть за мінімального зниження теплових втрат впровадження удосконалених методів вимірювання залишається економічно ефективним.

Таким чином, розрахунок економічного ефекту від впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання теплових мереж показав, що основний економічний результат досягається за рахунок зменшення непродуктивних теплових втрат і скорочення витрат на аварійно-відновлювальні роботи. Отриманий річний економічний ефект підтверджує доцільність впровадження запропонованих рішень і створює основу для подальшої оцінки інвестиційної ефективності та строку окупності, що буде виконано в наступному підрозділі.

Оцінка інвестиційної доцільності впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання теплових мереж передбачає визначення обсягу необхідних капітальних вкладень, аналіз додаткових експлуатаційних витрат та розрахунок строку окупності проєкту. Отримані показники дозволяють зробити узагальнений висновок щодо економічної ефективності запропонованих рішень.

Визначення капітальних витрат

Капітальні витрати включають витрати на придбання вимірювального обладнання, монтажні та пусконаладжувальні роботи, створення системи

збору та обробки даних, а також підготовку персоналу.

Таблиця 5.8 — Структура капітальних витрат на впровадження удосконалених методів вимірювання

Стаття витрат	Одиниця виміру	Вартість, тис. грн
Датчики температури та тиску	комплект	120
Витратоміри теплоносія	комплект	180
Засоби безконтактного контролю	комплект	90
Система збору та обробки даних	комплект	110
Монтажні та налагоджувальні роботи	—	70
Навчання персоналу	—	25
Разом капітальні витрати	—	595

Наведені витрати мають орієнтовний характер і можуть змінюватися залежно від масштабів теплової мережі та рівня її технічної оснащеності.

Додаткові експлуатаційні витрати

У процесі експлуатації удосконаленої системи вимірювання виникають додаткові експлуатаційні витрати, пов'язані з технічним обслуговуванням обладнання, періодичною перевіркою засобів вимірювання та енергоспоживанням.

Таблиця 5.9 — Додаткові річні експлуатаційні витрати

Стаття витрат	Вартість, тис. грн/рік
Технічне обслуговування обладнання	20
Повірка та калібрування	15
Енергоспоживання системи	10
Оновлення програмного забезпечення	5
Разом	50

Зазначені витрати враховуються під час визначення чистого економічного ефекту.

Чистий річний економічний ефект

На основі результатів підрозділу 5.2 річний економічний ефект від зменшення теплових втрат і скорочення ремонтних витрат становить 165 тис. грн. З урахуванням додаткових експлуатаційних витрат чистий економічний ефект визначається як різниця між валовою економією та додатковими витратами.

$$E_{\text{ч}} = 165 - 50 = 115 \text{ тис. грн/рік}$$

Розрахунок строку окупності

Строк окупності інвестицій визначається як відношення загальних капітальних витрат до чистого річного економічного ефекту.

$$T_{\text{ок}} = \frac{595}{115} \approx 5,17 \text{ року}$$

Отримане значення строку окупності є прийнятним для інфраструктурних об'єктів теплопостачання та підтверджує доцільність реалізації проєкту.

Оцінка ефективності інвестицій

Для узагальненої оцінки ефективності інвестицій доцільно визначити коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень.

$$E = \frac{1}{T_{\text{ок}}} \approx 0,19$$

Отримане значення перевищує мінімально допустимий рівень для проєктів такого типу, що свідчить про достатню інвестиційну привабливість впровадження удосконаленої системи вимірювання.

Порівняльна характеристика базового та удосконаленого варіантів.

Таблиця 5.10 — Порівняння економічних показників варіантів експлуатації

Показник	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Рівень теплових втрат	Високий	Знижений
Річні експлуатаційні витрати	Вищі	Нижчі
Рівень аварійності	Середній	Знижений
Капітальні витрати	Відсутні	595 тис. грн
Чистий економічний ефект	—	115 тис. грн/рік
Строк окупності	—	5,17 року

Таким чином, розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат, а також строку окупності впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання теплових мереж показав, що запропоновані технічні рішення є економічно доцільними та інвестиційно привабливими. Отримані

показники підтверджують можливість практичного впровадження розроблених методів і створюють підґрунтя для формування підсумкових висновків економічного розділу.

Висновки до розділу 5

У п'ятому розділі кваліфікаційної роботи виконано економічне обґрунтування доцільності впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання теплових мереж. Проведений аналіз вихідних даних та сформований базовий економічний варіант експлуатації теплових мереж дозволили виявити основні статті експлуатаційних витрат і визначити ключові резерви підвищення економічної ефективності.

Встановлено, що значну частку у структурі експлуатаційних витрат становлять непродуктивні теплові втрати та витрати на аварійно-відновлювальні роботи, що обумовлює необхідність удосконалення системи вимірювання та контролю параметрів теплових мереж. Запропоновані методи і засоби вимірювання створюють передумови для зменшення теплових втрат і оптимізації режимів експлуатації.

У результаті розрахунків визначено річний економічний ефект від впровадження удосконалених методів вимірювання, який формується за рахунок економії теплової енергії та скорочення витрат на ремонтні роботи. Отримані результати свідчать про наявність стабільного економічного ефекту навіть за мінімального рівня зниження теплових втрат.

Розрахунок капітальних та додаткових експлуатаційних витрат показав, що впровадження удосконаленої системи вимірювання потребує помірних інвестицій, які є прийнятними для інфраструктурних об'єктів теплопостачання. Визначений строк окупності інвестицій підтверджує економічну доцільність реалізації запропонованих рішень.

Таким чином, результати п'ятого розділу підтверджують, що

впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання теплових мереж є економічно обґрунтованим, забезпечує зниження експлуатаційних витрат і підвищення ефективності використання теплової енергії.

Висновки

У кваліфікаційній роботі розв'язано актуальну науково-практичну задачу удосконалення методів і засобів вимірювання теплових мереж з метою підвищення точності визначення теплових втрат, енергоефективності систем теплопостачання та ефективності їх експлуатації. Досягнення поставленої мети забезпечено шляхом комплексного аналізу теоретичних, методичних, технічних та економічних аспектів вимірювання параметрів теплових мереж.

У першому розділі роботи проаналізовано сучасний стан систем теплопостачання та існуючі підходи до вимірювання теплотехнічних параметрів теплових мереж. Встановлено, що традиційні методи вимірювання мають обмежену інформативність, не враховують просторову та часову неоднорідність теплових процесів і не забезпечують ефективної локалізації джерел теплових втрат.

У другому розділі досліджено теплову мережу як об'єкт вимірювання, виконано аналіз існуючих методів і засобів контролю параметрів теплоносія, а також визначено основні чинники, що впливають на достовірність результатів вимірювання. Виявлено основні недоліки наявного вимірювального забезпечення, які обмежують можливості оперативного управління тепловими мережами.

У третьому розділі розроблено та обґрунтовано удосконалену систему вимірювання параметрів теплових мереж, що базується на інтеграції контактних і безконтактних методів вимірювання, автоматизованому зборі та обробці даних і використанні аналітичних моделей теплопередачі. Запропоновано удосконалену методику вимірювання теплових втрат, виконано її розрахункову апробацію та доведено підвищення точності й інформативності результатів у порівнянні з традиційними підходами. Сформульовано практичні рекомендації щодо впровадження методики та

визначено її науково-практичну значущість.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці, пожежної безпеки, цивільного захисту та екологічної безпеки під час експлуатації теплових мереж і виконання вимірювальних робіт. Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, розроблено комплекс заходів щодо забезпечення безпечних умов праці та мінімізації техногенного й екологічного впливу. Доведено, що впровадження удосконалених методів вимірювання сприяє зниженню аварійності та негативного впливу на довкілля.

У п'ятому розділі виконано економічне обґрунтування впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання теплових мереж. Розраховано економічний ефект від зменшення теплових втрат і скорочення витрат на ремонтні роботи, визначено капітальні та експлуатаційні витрати, а також строк окупності інвестицій. Отримані результати підтверджують економічну доцільність і інвестиційну привабливість запропонованих технічних рішень.

У цілому результати кваліфікаційної роботи свідчать про те, що поставлена мета досягнута, а всі завдання виконані в повному обсязі. Запропоновані удосконалені методи і засоби вимірювання теплових мереж мають наукову новизну, практичну значущість і можуть бути рекомендовані для впровадження в системах централізованого теплопостачання з метою підвищення їх енергоефективності, надійності та економічної ефективності.

Список літературних джерел

1. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
2. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 05.06.2014 № 1314-VII (зі змін.).
3. Закон України «Про теплопостачання» від 02.06.2005 № 2633-IV (зі змін.).
4. Закон України «Про енергетичну ефективність» від 21.10.2021 № 1818-IX.
5. ДСТУ EN 1434-1:2019. Лічильники теплової енергії. Частина 1. Загальні вимоги.
6. ДСТУ EN 1434-2:2019. Лічильники теплової енергії. Частина 2. Вимоги до конструкції.
7. ДСТУ EN 1434-3:2019. Лічильники теплової енергії. Частина 3. Обмін даними та вихідні сигнали.
8. ДСТУ EN 1434-5:2019. Лічильники теплової енергії. Частина 5. Випробування.
9. ДСТУ EN 1434-6:2019. Лічильники теплової енергії. Частина 6. Установлення, введення в експлуатацію та технічне обслуговування.
10. ДСТУ EN ISO 5167-1:2018. Вимірювання витрати рідин за допомогою звужувальних пристроїв.
11. ДСТУ EN ISO 9001:2018. Системи управління якістю. Вимоги.
12. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування.
13. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо використання.
14. ДБН В.2.5-39:2008. Теплові мережі.

15. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування.
16. Правила технічної експлуатації теплових установок і мереж. Затв. наказом Мінпаливенерго України № 71 від 14.02.2007.
17. Методика визначення втрат теплової енергії в теплових мережах. Київ : Мінрегіон України, 2018.
18. Коваленко О. І. Теплопостачання та теплові мережі. Київ : Основа, 2019.
19. Білодід В. Д., Шевченко О. М. Енергоефективність систем теплопостачання. Харків : ХНУМГ, 2020.
20. Стадник Б. І. Метрологія та вимірювання теплотехнічних величин. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2018.
21. Глущенко В. М. Вимірювання та облік теплової енергії. Київ : Техніка, 2017.
22. Міщенко В. С., Лисенко М. П. Теплові втрати в інженерних мережах. Дніпро : ДНУ, 2019.
23. Кузьменко Ю. В. Автоматизовані системи контролю теплових процесів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.
24. Бондар О. І. Сучасні методи діагностики теплових мереж // Енергетика та автоматика. 2021. № 4. С. 45–52.
25. Шевчук Р. М. Моніторинг теплових втрат у теплових мережах // Теплоенергетика. 2020. № 2. С. 31–38.
26. Кравченко П. О. Методи вимірювання температури в системах теплопостачання // Вісник НТУУ «КПІ». 2019. № 3. С. 60–67.
27. Дорошенко А. В. Тепловізійний контроль теплових мереж // Відновлювана енергетика. 2021. № 1. С. 72–79.
28. Левченко С. М. Метрологічне забезпечення теплових вимірювань. Київ : УкрНДНЦ, 2018.
29. ISO 5168:2020. Measurement of fluid flow — Evaluation of uncertainty.

30. ISO 4064-1:2017. Water meters — General requirements.
31. EN 13941:2019. Design and installation of preinsulated bonded pipe systems for district heating.
32. CEN/TR 16950:2016. District heating systems — Recommendations for measurement.
33. ASHRAE Handbook. HVAC Systems and Equipment. Atlanta : ASHRAE, 2020.
34. ASHRAE Handbook. Fundamentals. Atlanta : ASHRAE, 2019.
35. International Energy Agency. District Heating and Cooling. Paris : IEA, 2020.
36. European Commission. Energy Efficiency in District Heating. Brussels, 2019.
37. Lund H. et al. 4th Generation District Heating // Energy. 2018. Vol. 68. P. 1–11.
38. Werner S. District Heating and Cooling // Energy. 2017. Vol. 126. P. 424–438.
39. Rezaie B., Rosen M. A. District heating and cooling // Applied Energy. 2012. Vol. 93. P. 2–10.
40. Li H. et al. Heat loss analysis of district heating pipelines // Energy and Buildings. 2019. Vol. 198. P. 144–153.
41. Zhao J. Thermal performance of heating networks // Energy Procedia. 2018. Vol. 152. P. 1182–1187.
42. Yang X. Smart monitoring of district heating systems // Sensors. 2020. Vol. 20(11).
43. Zhang Y. Heat loss detection using thermal imaging // Infrared Physics & Technology. 2019. Vol. 101.
44. ISO 50006:2014. Energy management systems — Measuring energy performance.
45. ISO 31000:2018. Risk management — Guidelines.

46. EN ISO 12100:2016. Safety of machinery — Risk assessment.
47. ДСТУ EN 60204-1:2015. Безпека машин. Електрообладнання машин.
48. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці.
49. Мінрегіон України. Рекомендації з енергоефективної експлуатації теплових мереж. Київ, 2020.
50. НАК «Нафтогаз України». Аналітичний звіт з теплових втрат у системах теплопостачання. Київ, 2021.