

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»
Світня програма – «Якість, стандартизація, сертифікація»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук

В. Г. Равлюк
« 28 » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ 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 ТИМОФЕСВА

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 методика 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	№ докum.	Підпис	Дата	Удосконалення методів, засобів вимірювання теплових мереж	Літер	Аркуш	Аркушів
Розробив	Стаднік			25.02.25				
Перевірив	Тимофєєва			20.02.25			4	100
Реєнз.	Захаров					УкрДУЗТ		
Н. контр.	Шовкун			02.03.25				
Затв.	Равлюк			21.03.25				

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 витіки: технологічні зливи автоматизованих систем, нещільності трубопровідної арматури, деламінацію швів, корозійні пошкодження трубопроводів, а також мікровитіки, 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].

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 тепlopостачання. Київ, 2021.