

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра інженерії вагонів та якості продукції

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕХНІКИ ПРИ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Пояснювальна записка і розрахунки
до магістерської кваліфікаційної роботи

МКРМЕ.175.26.16.00. ПЗ

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

 Ірина ЛУПІКА

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

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

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет механіко-енергетичний

Кафедра інженерії вагонів та якості продукції

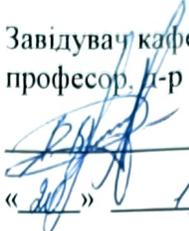
Другий (магістерський) рівень вищої освіти

Спеціальність – 175 «Інформаційно-вимірювальна техніка»

Освітня програма – «Якість, стандартизація, сертифікація»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук


В. Г. Равлюк

« 20 » 11 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Лупіки Ірини Федорівни

1 Тема «Удосконалення методів та засобів вимірювання техніки при експлуатаційних дослідженнях».

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

затвердені наказом по механіко-енергетичному факультету від

“ ” 2025 року № .

2 Строк подання студентом закінченої роботи «28» грудня 20 25 року.

3. Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи отримати під час проходження переддипломної практики на підприємстві технічного профілю, що здійснює експлуатацію техніки та проводить експлуатаційні дослідження її технічного стану й робочих параметрів.

4. Під час проходження переддипломної практики необхідно ознайомитися з організаційною структурою підприємства, функціональними обов'язками його підрозділів, умовами та режимами експлуатації техніки, а також із внутрішньою технічною, технологічною та нормативно-методичною документацією у сфері вимірювання експлуатаційних параметрів. Студент повинен вивчити нормативно-правову та стандартну базу з метрологічного забезпечення вимірювань, а також проаналізувати чинну практику організації вимірювального контролю, застосування засобів вимірювання та забезпечення точності вимірювань у процесі експлуатаційних досліджень.

5. На основі зібраних матеріалів необхідно сформулювати методичний підхід до удосконалення методів і засобів вимірювання техніки при експлуатаційних дослідженнях, виконати аналіз застосовуваних вимірювальних методик і засобів, визначити основні проблемні аспекти вимірювального контролю та обґрунтувати напрями їх удосконалення. Студент має отримати вихідні дані для виконання аналітичної та економічної частин роботи, зокрема щодо точності та достовірності вимірювань, організації вимірювальних процесів і ефективності експлуатації.

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 та технічною документацією у сфері експлуатаційних досліджень техніки.	26.02 - 02.03	виконано
2. Аналіз нормативно-правової та стандартної бази метрологічного забезпечення вимірювань при експлуатації техніки.	03.03 – 13.04	виконано
3. Дослідження методів і засобів вимірювання експлуатаційних параметрів техніки та оцінювання їх точності.	14.04 – 10.06	виконано
4. Аналіз системи вимірювального контролю і моніторингу технічного стану техніки.	11.06 – 03.07	виконано
5. Обґрунтування та розроблення удосконалених методів і засобів вимірювання при експлуатаційних дослідженнях.	04.07 – 01.09	виконано
6. Оцінка економічної та організаційної ефективності впровадження запропонованих рішень.	02.09 – 05.10	виконано
7. Розробка та оформлення слайдів	06.10 - 16.11	виконано
8. Отримання рецензії на МКР	01.12.25	виконано
9. Захист МКР в ДЕК	15.01.26	

Студентка *Лупіка* Ірина ЛУПІКА

Керівник *Тимофєєва* Ларіса ТИМОФЄЄВА

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота включає 15 слайдів презентації та 111 аркушів пояснювальної записки формату А4.

Ключові слова: експлуатаційні дослідження, вимірювальні процеси, засоби вимірювання, метрологічне забезпечення, точність вимірювань, невизначеність, технічний стан, ефективність експлуатації техніки.

Об'єктом дослідження є техніка, що перебуває в експлуатації, як об'єкт вимірювального контролю та експлуатаційних досліджень.

Предметом дослідження є методи, засоби та організаційно-методичні підходи до вимірювання експлуатаційних параметрів техніки в процесі її функціонування.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування та розроблення напрямів удосконалення методів і засобів вимірювання техніки при експлуатаційних дослідженнях з метою підвищення точності та достовірності результатів вимірювань, зниження метрологічних ризиків і підвищення ефективності експлуатації машин і механізмів.

У роботі проаналізовано теоретичні та нормативно-методичні засади вимірювань при експлуатаційних дослідженнях техніки, розглянуто вимоги національних і міжнародних стандартів у сфері метрології, технічної діагностики та управління якістю. Проведено аналіз чинних методів і засобів вимірювання експлуатаційних параметрів техніки, організації вимірювальних процесів в умовах реальної експлуатації та виявлено основні проблемні аспекти, що знижують точність вимірювань і достовірність оцінювання технічного стану.

Розроблено практичні рекомендації щодо удосконалення методів і засобів вимірювання техніки при експлуатаційних дослідженнях, які передбачають застосування сучасних вимірювальних засобів, удосконалення методик вимірювання, впровадження елементів автоматизованого збору й обробки даних. Виконано оцінку економічної та організаційної ефективності запропонованих заходів, а також розглянуто питання охорони праці та безпеки під час проведення експлуатаційних вимірювань.

ABSTRACT

The qualification work includes 15 presentation slides and 111 pages of explanatory notes in A4 format.

Keywords: operational research, measurement processes, measuring instruments, metrological support, measurement accuracy, uncertainty, technical condition, efficiency of equipment operation.

The object of the study is equipment in operation as an object of measurement control and operational research.

The subject of the study is methods, measuring instruments, and organizational and methodological approaches to measuring operational parameters of equipment during its functioning.

The purpose of the qualification work is to substantiate and develop directions for improving methods and instruments for measuring equipment during operational research in order to increase measurement accuracy and reliability, reduce metrological risks, and improve the efficiency of equipment operation.

The work analyzes theoretical and regulatory foundations of measurements in operational research, as well as national and international standards in the field of metrology, technical diagnostics, and quality management. Existing measurement methods and instruments, as well as the organization of measurement processes under real operating conditions, are analyzed, and the main problem areas that reduce measurement accuracy and reliability of technical condition assessment are identified.

Practical recommendations for improving measurement methods and instruments for equipment during operational research are developed, including the use of modern measuring instruments, improvement of measurement methodologies, and implementation of automated data acquisition and processing elements. The economic and organizational efficiency of the proposed measures is evaluated, and occupational health and safety issues during operational measurements are considered.

Зміст

Вступ	9
1 Теоретичні основи експлуатаційних вимірювань техніки	12
1.1. Сутність, роль та значення вимірювань у процесі експлуатаційних досліджень техніки	12
1.2. Нормативно-правові засади, стандарти та вимоги до вимірювань у процесі експлуатаційних досліджень техніки	15
1.3. Особливості, умови та фактори, що впливають на точність вимірювань під час експлуатаційних досліджень техніки	18
1.4. Класифікація методів та засобів вимірювання, що застосовуються під час експлуатаційних досліджень техніки	21
1.5. Сучасні тенденції розвитку методів та засобів вимірювання при експлуатаційних дослідженнях техніки	25
Висновки до розділу 1	28
2 Аналіз існуючих методів та засобів вимірювання при експлуатаційних дослідженнях техніки	30
2.1. Аналіз існуючих засобів вимірювання експлуатаційних параметрів техніки	30
2.2. Недоліки існуючих методів і засобів вимірювання при експлуатаційних дослідженнях техніки	34
2.3. Обґрунтування необхідності удосконалення методів та засобів вимірювання при експлуатаційних дослідженнях техніки	38
2.4. Узагальнення результатів аналізу та формування вимог до удосконалених методів і засобів вимірювання при експлуатаційних дослідженнях техніки	41
Висновки до розділу 2	43

МКРМЕ.175.26.16.00. ПЗ								
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення методів та засобів вимірювання техніки при експлуатаційних дослідженнях	Літер	Аркуш	Аркушів
Розробив	Лушка			20.02.20			4	90
Перевірив	Тимофєєв			20.02.20				
Реценз.	Захаров							
Н. контр.	Шовкун			20.02.20				
Затв.	Равлюк			20.02.20		УкрДУЗТ		

3 Удосконалення методів та засобів вимірювання техніки при експлуатаційних дослідженнях	45
3.1. Обґрунтування напрямків удосконалення методів та засобів вимірювання техніки при експлуатаційних дослідженнях	45
3.2. Розробка удосконаленого методу вимірювання експлуатаційних параметрів техніки	49
3.3. Оцінка точності та достовірності удосконаленого методу вимірювання експлуатаційних параметрів техніки	52
3.4. Практична апробація та оцінка ефективності удосконаленого методу вимірювання експлуатаційних параметрів техніки	56
3.5. Узагальнення результатів дослідження, кількісна оцінка ефективності та практичні рекомендації щодо впровадження удосконаленого методу вимірювання	59
3.6. Загальна оцінка результатів удосконалення та перспективи подальшого розвитку методів вимірювання при експлуатаційних дослідженнях техніки	64
3.7. Загальні науково-практичні підсумки дослідження та обґрунтування доцільності впровадження удосконаленого методу вимірювання	67
3.8. Комплексне узагальнення, порівняльна оцінка та практичне значення удосконалення методів і засобів вимірювання техніки при експлуатаційних дослідженнях	72
3.9. Практична реалізація та оцінювання ефективності впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання при експлуатаційних дослідженнях техніки	76
3.10. Узагальнена оцінка науково-практичної ефективності удосконалених методів і засобів вимірювання техніки при експлуатаційних дослідженнях	80
Висновки до розділу 3	83
4 Охорона праці та безпека при виконанні експлуатаційних вимірювань	85

4.1. Економічна доцільність та загальна оцінка ефективності впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання при експлуатаційних дослідженнях техніки	85
4.2. Аналіз і структура витрат на впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання при експлуатаційних дослідженнях техніки	90
4.3. Розрахунок економічного ефекту та терміну окупності впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання	94
4.4. Охорона праці та безпека під час виконання вимірювань при експлуатаційних дослідженнях техніки	97
4.5. Соціально-організаційний ефект від упровадження удосконалених методів і засобів вимірювання при експлуатаційних дослідженнях техніки	100
Висновки до розділу 4	103
Загальні висновки	105
Список використаних джерел	108

					МКРМЕ.175.26.16.00. ПЗ
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	

Вступ

У сучасних умовах розвитку технічних систем, підвищення інтенсивності навантажень та зростання вимог до ефективності та надійності машин особливого значення набувають експлуатаційні дослідження, що дозволяють оцінити фактичний стан техніки, її працездатність та відповідність нормативним показникам. Експлуатаційні дослідження є важливою складовою інженерної практики, адже саме у реальних умовах функціонування проявляються ті фактори, які неможливо передбачити під час лабораторних або стендових випробувань. Зростаюча складність сучасних машин, використання інтелектуальних систем керування, вимоги до енергоефективності та ресурсозбереження обумовлюють необхідність удосконалення методів і засобів вимірювання, що застосовуються під час їх експлуатаційного аналізу.

Якість експлуатаційних досліджень напряму залежить від достовірності отримуваної вимірювальної інформації. Саме вимірювання є основою для визначення технічних параметрів, оцінки відповідності нормам, постановки діагнозу технічному стану, прогнозування залишкового ресурсу та прийняття управлінських рішень щодо ремонту чи модернізації. Тому актуальним завданням сучасної метрології є підвищення точності, швидкодії та надійності вимірювальних процесів, що застосовуються під час експлуатації техніки в умовах впливу динамічних навантажень, вібрацій, температурних перепадів, агресивних середовищ та інших зовнішніх факторів.

Традиційні методи вимірювання, що були достатніми для техніки попередніх поколінь, часто не відповідають вимогам сучасних машин і устаткування. Підвищення швидкості технологічних процесів, впровадження автоматизації та цифрових систем керування висувають нові вимоги до вимірювальних засобів. Точність вимірювання теплових,

механічних, електричних та динамічних параметрів має відповідати не тільки нормативним документам, але й вимогам інтеграції в інтелектуальні системи моніторингу стану техніки, Industry 4.0, цифрові двійники. Такі системи вимагають отримання даних у режимі реального часу, високої частоти дискретизації, мінімізації похибок та можливості автоматичного аналізу великих масивів інформації.

Проблематика удосконалення методів і засобів вимірювання має комплексний характер. Вона охоплює питання вибору відповідних сенсорів, розроблення нових схем їх встановлення, методичних підходів до оцінювання похибок, використання цифрової обробки сигналів, впровадження дистанційного моніторингу та діагностичних систем. Окремої уваги потребує питання забезпечення простежуваності результатів, калібрування засобів вимірювань, а також оцінювання невизначеності при змінних експлуатаційних навантаженнях.

На сьогодні існує низка невирішених проблем, пов'язаних з експлуатаційними вимірюваннями: по-перше, недостатня адаптованість традиційних методів до роботи в умовах *in-situ*, де техніка функціонує у нестабільному та змінному середовищі; по-друге, обмежена точність і надійність застарілих засобів вимірювання, що не враховують впливу багатofакторних навантажень; по-третє, недостатній рівень автоматизації та цифровізації збору даних, що ускладнює використання результатів для подальшого технічного аналізу; по-четверте, відсутність уніфікованих методик, придатних для інтеграції у сучасні системи діагностики та прогнозування технічного стану.

Удосконалення методів і засобів вимірювання дозволяє вирішити зазначені проблеми та забезпечити новий рівень достовірності експлуатаційних досліджень. Розроблення інноваційних підходів до вимірювань сприяє підвищенню точності діагностики, ранньому виявленню несправностей, оптимізації режимів роботи техніки, продовженню її

ресурсу та зменшенню витрат на технічне обслуговування і ремонт. У цьому контексті важливим є розвиток безконтактних методів вимірювання, застосування вібродіагностичних технологій, термографії, інтелектуальних сенсорів, модулів інтернету речей (IoT), а також цифрових засобів збору та оброблення експлуатаційної інформації.

Об'єктом дослідження у роботі є процес вимірювання параметрів техніки під час експлуатаційних досліджень. Предметом — методи, засоби та технологічні рішення, що забезпечують підвищення точності та ефективності експлуатаційних вимірювань.

Метою дипломної роботи є розроблення та обґрунтування удосконалених методів і засобів вимірювання техніки під час експлуатаційних досліджень, що забезпечують підвищення їх точності, надійності та інформативності в реальних умовах роботи технічних систем.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких завдань:

- проведення аналізу сучасного стану вимірювальних технологій у сфері експлуатаційних досліджень техніки;
- вивчення впливу зовнішніх факторів на результати вимірювань у реальних умовах роботи машин;
- аналіз існуючих методів контролю параметрів техніки та виявлення їх недоліків;
- обґрунтування вимог до точності та технічних характеристик засобів вимірювання;
- розроблення удосконалених методів і схем вимірювання, що підвищують достовірність експлуатаційних даних;
- оцінка метрологічних характеристик запропонованих рішень;
- визначення практичної ефективності впровадження нових методів і засобів у реальні експлуатаційні дослідження.

Наукова новизна роботи полягає у формуванні узагальненої моделі удосконаленого експлуатаційного вимірювання, яка враховує вплив комплексних факторів експлуатації та забезпечує зниження похибок, що виникають у традиційних методах контролю.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання запропонованих рішень для підвищення ефективності діагностики техніки, оптимізації режимів її роботи, зменшення витрат на обслуговування, підвищення безпеки експлуатації та подовження міжремонтного ресурсу машин.

Структура роботи включає вступ, три розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. У першому розділі розглянуто теоретичні основи експлуатаційних вимірювань та сучасні підходи до контролю технічного стану машин; у другому — виконано аналіз існуючих методів і засобів вимірювання та встановлено їх переваги й недоліки; у третьому — запропоновано удосконалені методи та засоби вимірювання і проведено оцінку їх ефективності.

Список використаних літературних джерел

1. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. — 16 с.
2. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. — 24 с.
3. ДСТУ ISO 9000:2015. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. — 29 с.
4. ДСТУ ISO/IEC 17025:2019. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. — 36 с.
5. ДСТУ ISO 10012:2005. Системи управління вимірюваннями. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання. — Київ : Держспоживстандарт України, 2007. — 28 с.
6. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність». — Відомості Верховної Ради України. — 2014. — № 30.
7. Закон України «Про стандартизацію». — Відомості Верховної Ради України. — 2014. — № 31.
8. Закон України «Про охорону праці». — Відомості Верховної Ради України. — 1992. — № 49.
9. Кузьмін О. Є., Мельник Л. Г. Управління якістю та технічний контроль. — Львів : Львівська політехніка, 2018. — 312 с.
10. Баранов В. М. Метрологічне забезпечення виробництва. — Київ : НАУ, 2017. — 284 с.
11. Лисенко В. О. Вимірювання та контроль у машинобудуванні. — Харків : ХНТУ, 2016. — 256 с.
12. Слободянюк П. П. Теорія похибок і обробка результатів вимірювань. — Вінниця : ВНТУ, 2019. — 198 с.

13. Ковальчук С. Я. Основи технічної діагностики машин. — Львів : Світ, 2015. — 224 с.
14. Мельник В. М. Надійність і діагностика технічних систем. — Київ : КНУБА, 2018. — 276 с.
15. Кравченко О. П. Експлуатація машин і обладнання. — Харків : Факт, 2017. — 240 с.
16. ISO 14253-1:2017. Geometrical product specifications (GPS). — Geneva : ISO, 2017.
17. ISO 5725-1:1994. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. — Geneva : ISO.
18. Montgomery D. C. Introduction to Statistical Quality Control. — New York : Wiley, 2019. — 768 p.
19. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). — Geneva, 2008.
20. Bentley J. P. Principles of Measurement Systems. — London : Pearson, 2016. — 432 p.
21. Webster J. G. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook. — Boca Raton : CRC Press, 2014. — 1752 p.
22. Figliola R., Beasley D. Theory and Design for Mechanical Measurements. — New York : Wiley, 2018. — 640 p.
23. Popovic D. Digital Measurement Systems. — London : Springer, 2015. — 356 p.
24. Fraden J. Handbook of Modern Sensors. — New York : Springer, 2016. — 758 p.
25. Holman J. P. Experimental Methods for Engineers. — New York : McGraw-Hill, 2017. — 528 p.
26. Бондаренко В. О. Автоматизовані системи збору та обробки даних. — Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2019. — 212 с.

27. Пилипенко М. І. Інформаційні технології в метрології. — Харків : ХНЕУ, 2020. — 196 с.
28. Кравець О. В. Методи підвищення точності вимірювань. — Одеса : ОНПУ, 2018. — 184 с.
29. ISO 55000:2014. Asset management — Overview, principles and terminology. — Geneva : ISO.
30. ISO 13374:2012. Condition monitoring and diagnostics of machines. — Geneva : ISO.
31. ДСТУ EN 60204-1:2015. Безпечність машин. Електрообладнання машин. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
32. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
33. Куц В. І. Основи технічного сервісу. — Київ : Аграрна освіта, 2016. — 288 с.
34. Грабовський А. М. Організація технічного обслуговування машин. — Львів : Каменяр, 2017. — 240 с.
35. ДСТУ 3215-95. Метрологія. Терміни та визначення. — Київ : Держстандарт України, 1996.
36. ISO/TR 10017:2003. Guidance on statistical techniques. — Geneva : ISO.
37. IEC 61508:2010. Functional safety of electrical systems. — Geneva : IEC.
38. Скиба Ю. А. Експлуатаційна надійність машин. — Київ : НТУ, 2018. — 264 с.
39. Шаповалов В. В. Контроль технічного стану машин. — Харків : ХПІ, 2019. — 212 с.
40. Кулик О. С. Технічна експлуатація обладнання. — Київ : КНУТД, 2020. — 198 с.

41. ISO 25178:2012. Geometrical product specifications. — Geneva : ISO.
42. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною праці. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020.
43. Boyes W. Instrumentation Reference Book. — Oxford : Butterworth-Heinemann, 2015.
44. Bosch R. Automotive Handbook. — Stuttgart : Bosch, 2018. — 1128 p.
45. Kalpakjian S., Schmid S. Manufacturing Processes for Engineering Materials. — London : Pearson, 2017.
46. ISO 9004:2018. Quality management — Quality of an organization. — Geneva : ISO.
47. Juran J. M. Juran's Quality Handbook. — New York : McGraw-Hill, 2016.
48. Pyzdek T. The Six Sigma Handbook. — New York : McGraw-Hill, 2018.
49. ДСТУ ISO/IEC 17020:2014. Вимоги до органів інспектування. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015.
50. ДСТУ ISO 31000:2018. Управління ризиками. Принципи та настанови. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.