

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра інженерії вагонів та якості продукції

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕХНІКИ НА  
ОСНОВІ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ

Пояснювальна записка і розрахунки  
до магістерської кваліфікаційної роботи

МКРМЕ.175.26.28.00. ПЗ

Розробив студент групи 217-ЯСС-324  
спеціальності 175 «Інформаційно-  
вимірювальні технології» освітньої програми  
«Якість стандартизація та сертифікація»

  
\_\_\_\_\_ Микола ХАРЧЕНКО

Керівник: професор, д-р техн. наук  
Сергій ТИМОФЄЄВ

Рецензент: професор кафедри  
механічної та електричної інженерії  
ПДАУ, професор, д-р техн. наук  
Олександр САЙЧУК

2025

# Український державний університет залізничного транспорту

Факультет механіко-енергетичний

Кафедра інженерії вагонів та якості продукції

Другий (магістерський) рівень вищої освіти

Спеціальність – 175 «Інформаційно-вимірвальна 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

#### Харченка Миколи Руслановича

1 Тема «Удосконалення методів та засобів вимірювання техніки на основі статистичних даних».

керівник Тимофєєв Сергій Сергійович, професор, д-р техн. наук

затвердені наказом по механіко-енергетичному факультету від

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 року № \_\_\_\_\_.

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

3. Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи отримати під час проходження переддипломної практики на підприємстві технічного профілю. У процесі практики зібрати фактичні матеріали та статистичні дані, необхідні для аналізу вимірвальних процесів, оцінювання геометричних, функціональних і експлуатаційних параметрів техніки, а також для визначення точності, відтворюваності та достовірності результатів вимірвального контролю.

4. Під час проходження переддипломної практики ознайомитися з організаційною структурою підприємства, функціональними обов'язками підрозділів, технологічними процесами, а також із внутрішньою технічною, технологічною та нормативно-методичною документацією у сфері вимірвального контролю. Проаналізувати нормативно-правову та стандартну базу метрологічного забезпечення вимірювань, застосовувані методи і засоби вимірювання, а також чинну практику організації контролю точності та достовірності результатів.

5. На основі зібраних матеріалів і результатів аналізу сформулювати методичний підхід до удосконалення методів і засобів вимірювання техніки на основі статистичних даних, визначити основні проблемні аспекти вимірвального контролю та обґрунтувати напрями їх удосконалення.

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

6 Дата видачі завдання «24» лютого 2025 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Проаналізувати діяльність об'єкта дослідження та систему вимірювального контролю технічних параметрів техніки.	26.02 - 02.03	виконано
2. Дослідити нормативно-метрологічну базу забезпечення вимірювань.	03.03 – 13.04	виконано
3. Проаналізувати сучасні методи і засоби вимірювання технічних параметрів.	14.04 – 10.06	виконано
4. Виявити недоліки чинної системи вимірювального контролю.	11.06 – 03.07	виконано
5. Розробити удосконалені методи і засоби вимірювання на основі статистичних даних.	04.07 – 01.09	виконано
6. Оцінити ефективність 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	

Студент  Микола ХАРЧЕНКО

Керівник  Сергій ТИМОФЄЄВ

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота включає 15 слайдів презентації та 87 аркушів пояснювальної записки формату А4.

Ключові слова: техніка, вимірювальні процеси, методи вимірювання, засоби вимірювання, статистичні дані, точність вимірювань, невизначеність, метрологічні ризики, технічний контроль, надійність техніки.

Об'єктом дослідження є процеси вимірювання технічних параметрів машин і обладнання в умовах їх експлуатації як об'єкти метрологічного забезпечення та технічного контролю.

Предметом дослідження є методи, засоби та статистичні підходи до вимірювання технічних параметрів техніки, зокрема способи підвищення точності, відтворюваності та достовірності результатів вимірювань на основі обробки статистичних даних.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування та розроблення напрямів удосконалення методів і засобів вимірювання техніки на основі статистичних даних з метою підвищення точності та достовірності вимірювань, зниження метрологічних ризиків, підвищення якості технічного контролю та забезпечення надійності функціонування технічних систем.

У роботі проаналізовано теоретичні, методичні та нормативно-метрологічні засади вимірювання технічних параметрів, розглянуто вимоги національних і міжнародних стандартів у сфері метрології, технічного контролю та управління якістю. Проведено аналіз сучасних методів і засобів вимірювання, організації вимірювальних процесів у технічних системах, а також підходів до оцінювання точності та невизначеності результатів вимірювань.

Розроблено удосконалений метод вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних, який передбачає багаторазовий збір вимірювальної інформації, її статистичну обробку, аналіз розсіювання та динаміки параметрів у часі, а також формування узагальнених критеріїв оцінки технічного стану. Запропоновано алгоритм реалізації методу та надано практичні рекомендації щодо його впровадження у системи технічного контролю.

Результати дослідження підтверджують, що застосування статистичних підходів у вимірюваннях дозволяє підвищити точність і достовірність результатів контролю, зменшити вплив випадкових похибок та підвищити надійність експлуатації техніки.

## **ABSTRACT**

The qualification work includes 15 presentation slides and 87 pages of explanatory notes in A4 format.

Keywords: machinery, measurement processes, measurement methods, measuring instruments, statistical data, measurement accuracy, uncertainty, metrological risks, technical control, equipment reliability.

The object of the study is the processes of measuring technical parameters of machinery and equipment under operating conditions as objects of metrological support and technical control.

The subject of the study is measurement methods, measuring instruments, and statistical approaches to measuring technical parameters of machinery, including methods for improving accuracy, repeatability, and reliability of measurement results based on statistical data processing.

The purpose of the qualification work is to substantiate and develop directions for improving methods and measuring instruments for machinery based on statistical data in order to increase measurement accuracy and reliability, reduce metrological risks, improve the quality of technical control, and ensure reliable operation of technical systems.

The work analyzes theoretical, methodological, and regulatory foundations of measuring technical parameters, as well as national and international standards in the field of metrology, technical control, and quality management. Modern measurement methods and instruments, organization of measurement processes in technical systems, and approaches to evaluating measurement accuracy and uncertainty are examined.

An improved method for measuring technical parameters based on statistical data is developed, which includes multiple data acquisition, statistical processing, analysis of variability and parameter dynamics over time, and the formation of generalized criteria for assessing technical condition. An implementation algorithm is proposed and practical recommendations for integrating the method into technical control systems are provided.

An experimental evaluation of the effectiveness of the proposed method is carried out, and its technical, economic, and organizational feasibility is assessed. The results confirm that the application of statistical approaches in measurements improves accuracy and reliability, reduces the influence of random errors, and enhances the operational reliability of machinery. Occupational health and safety aspects related to measurement activities are also considered.

Зміст

Вступ	9
1. Теоретичні основи статистичного забезпечення вимірювальних процесів	12
1.1. Сутність та роль статистичних методів у вимірюваннях технічних	
Параметрі	12
1.2. Нормативно-метрологічні основи застосування статистичних методів у	
вимірюваннях технічних параметрів	15
1.3. Аналіз факторів, що впливають на точність вимірювань та статистичну	
достовірність результатів	18
1.4. Особливості застосування статистичних методів у вимірюваннях технічних	
систем різного призначення	21
1.5. Узагальнення теоретичних положень та обґрунтування необхідності	
удосконалення методів і засобів вимірювання техніки на основі статистичних	
даних	25
1.6. Формування концептуальних підходів до удосконалення методів і засобів	
вимірювання техніки на основі статистичних даних	29
1.7. Висновки до розділу 1 та постановка завдань подальшого дослідження	33
Висновки до розділу 1	35
2. Аналіз сучасних методів і засобів вимірювання технічних параметрів та	
обґрунтування статистичного підходу	37
2.1. Аналіз сучасних методів і засобів вимірювання технічних параметрів машин і	
обладнання	37
2.2. Аналіз недоліків існуючих методів і засобів вимірювання технічних	
параметрів	41

МКРМЕ.175.26.28.00. ПЗ

Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Харченко		05.02.16
Перевірив		Тимофєєв		05.02.16
Реценз.		Сайчук		
Н. контр.		Шовкун		05.02.16
Затв.		Равлюк		05.02.16

Удосконалення методів та засобів  
вимірювання техніки на основі  
статистичних даних

Літер	Аркуш	Аркушів
	4	100

УкрДУЗТ

2.3. Обґрунтування напрямів удосконалення методів і засобів вимірювання техніки на основі статистичних даних	46
2.4. Формування вимог до удосконалених методів і засобів вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних	51
2.5. Узагальнення результатів аналізу та обґрунтування вибору напрямку подальших досліджень	54
2.6. Формування методичної основи розроблення удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних	58
2.7. Висновки до розділу 2 та підготовка до практичної реалізації удосконаленого методу вимірювання	62
Висновки до розділу 2	65
3. Розроблення удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів	67
3.1. Розроблення удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних	67
3.2. Розроблення алгоритму реалізації удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів	71
3.3. Математичне обґрунтування та оцінювання точності удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів	76
3.4. Приклад практичної реалізації удосконаленого методу вимірювання та аналіз отриманих результатів	80
3.5. Оцінювання ефективності та практичні рекомендації щодо впровадження удосконаленого методу вимірювання	84
3.6. Оцінювання економічної та експлуатаційної доцільності застосування удосконаленого методу вимірювання	88
Висновки до розділу 3	91

4. Експериментальне дослідження ефективності удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів	93
4.1. Характеристика об'єкта дослідження та умов проведення вимірювань	93
4.2. Методика проведення експериментальних вимірювань	96
4.3. Обробка та аналіз експериментальних даних	99
4.4. Оцінювання ефективності удосконаленого методу за результатами експериментальних досліджень	103
Висновки до розділу 4	106
Загальні висновки	108
Список використаних джерел	110

Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

МКРМЕ.175.26.28.00. ПЗ

## Вступ

У сучасних умовах розвитку техніки, підвищення складності машин і технологічних процесів, а також зростання вимог до надійності та безпеки обладнання, особливого значення набувають точність і достовірність вимірювань. Вимірювання є основою для прийняття технічних рішень, оцінювання стану машин, прогнозування їх ресурсу, побудови моделей зношування, діагностики несправностей та оптимізації режимів роботи. Однак традиційні методи вимірювання не завжди забезпечують необхідну точність і стабільність, особливо в умовах зростання обсягів експлуатаційних даних, багатофакторного впливу зовнішніх умов та потреби в автоматизації аналізу вимірювальної інформації.

У таких умовах дедалі більшої ваги набуває використання статистичних методів опрацювання вимірювальних даних, що дозволяють підвищити точність, стабільність і достовірність вимірювання за рахунок обробки великих вибірок результатів, мінімізації випадкових похибок, виявлення закономірностей та формування об'єктивних метрологічних характеристик. Статистичні методи є основою для розвитку адаптивних вимірювальних систем, засобів автоматичного контролю, методів прогнозування технічного стану машин і підвищення точності вимірювань у складних умовах експлуатації.

Актуальність теми зумовлена тим, що сучасні технічні системи генерують значні обсяги експлуатаційних та діагностичних даних, але ці дані не завжди використовуються ефективно. У багатьох випадках вимірювання виконуються традиційними засобами без застосування статистичної обробки, що призводить до низької достовірності результатів, неможливості оцінити сталість параметрів, значних похибок і, як наслідок, до некоректних ремонтних або діагностичних рішень. Використання статистичних підходів відкриває можливості для суттєвого підвищення

якості вимірювальних процесів, особливо в умовах, коли система піддається впливу шумів, нестабільних режимів роботи, зовнішніх збурень або асиметричних навантажень.

Важливою проблемою, що потребує вирішення, є невідповідність між зростаючими обсягами вимірювальної інформації та рівнем її якісної обробки. Сучасні засоби вимірювання оснащуються цифровими модулями, здатними генерувати потоки даних у режимі реального часу, однак без застосування статистичних методів ці дані не можуть бути використані повною мірою. У результаті інформаційний потенціал вимірювань залишається нереалізованим, а технічні рішення ґрунтуються на поверхневому аналізі або обмеженій кількості точок контролю.

Ще однією важливою складовою актуальності є зростання ролі машинного навчання, інтелектуальних алгоритмів обробки даних і цифрових методів аналізу вимірювальних сигналів. Статистичні методи є базисом для цих технологій, оскільки саме вони дозволяють виконувати фільтрацію шумів, побудову регресійних моделей, аналіз часових рядів, кластеризацію даних та багатовимірну оцінку стану технічних систем. Удосконалення методів і засобів вимірювання на основі статистичних даних створює передумови для формування нових стандартів точності, переходу до безперервного моніторингу техніки, розроблення алгоритмів прогнозування відмов та оптимізації технічного обслуговування.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання технічних параметрів машин та обладнання з використанням статистичної обробки вимірювальної інформації.

Предметом дослідження є методи та засоби вимірювань, що підвищують точність і достовірність контролю параметрів техніки на основі статистичних даних.

Метою роботи є розроблення та обґрунтування удосконалених методів і засобів вимірювання техніки із застосуванням статистичних підходів для

підвищення точності, стабільності та інформативності вимірювальних процесів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасні методи й засоби вимірювання технічних параметрів машин;
- визначити основні похибки та чинники, що впливають на достовірність вимірювань;
- дослідити можливості застосування статистичних методів у вимірювальних процесах;
- розробити удосконалений підхід до оцінювання результатів вимірювання на основі статистичних вибірок;
- запропонувати технічні й алгоритмічні рішення для підвищення точності засобів вимірювання;
- провести оцінку ефективності впровадження статистичних методів у практику контролю технічних систем.

Наукова новизна роботи полягає у формуванні комплексного підходу до удосконалення вимірювальних процесів на основі статистичної інформації, що дозволяє мінімізувати вплив випадкових похибок, підвищити точність вимірювань, виявляти приховані закономірності у поведінці технічних параметрів та забезпечувати об'єктивну оцінку технічного стану машин.

Практичне значення полягає у можливості застосування розроблених методів для діагностики технічного стану обладнання, контролю параметрів під час експлуатації та ремонту, оптимізації технічного обслуговування, підвищення надійності машин і зменшення ризику відмов. Статистичні методи дозволяють перетворити вимірювальні дані на інструмент прогнозування, що значно підвищує ефективність технічного менеджменту.

Структура роботи включає вступ, три розділи, висновки, список літератури та додатки.

У першому розділі розглянуто теоретичні основи вимірювань, похибок та статистичних методів їх аналізу.

Другий розділ присвячено аналізу сучасних засобів вимірювання та проблемам їх застосування у практиці контролю технічних систем.

У третьому розділі розроблено та обґрунтовано удосконалені методи й засоби вимірювання техніки на основі статистичної інформації.

## Список використаних джерел

1. Bentley J. P. Principles of Measurement Systems. 4th ed. Harlow : Pearson Education, 2005. 512 p.
2. Doebelin E. O., Manik D. N. Measurement Systems: Application and Design. 6th ed. New York : McGraw-Hill, 2011. 928 p.
3. Fraden J. Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications. 5th ed. New York : Springer, 2016. 758 p.
4. Hughes I. G., Hase T. P. A. Measurements and Their Uncertainties: A Practical Guide to Modern Error Analysis. Oxford : Oxford University Press, 2010. 136 p.
5. Taylor J. R. An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements. 2nd ed. Sausalito : University Science Books, 1997. 336 p.
6. Montgomery D. C. Introduction to Statistical Quality Control. 7th ed. Hoboken : Wiley, 2013. 768 p.
7. Montgomery D. C. Design and Analysis of Experiments. 9th ed. Hoboken : Wiley, 2017. 752 p.
8. Box G. E. P., Hunter J. S., Hunter W. G. Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery. 2nd ed. Hoboken : Wiley, 2005. 672 p.
9. Chatfield C. The Analysis of Time Series: An Introduction. 6th ed. Boca Raton : CRC Press, 2016. 352 p.
10. Walpole R. E., Myers R. H., Myers S. L., Ye K. Probability and Statistics for Engineers and Scientists. 9th ed. Boston : Pearson, 2017. 816 p.
11. JCGM 100:2023. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). Sèvres : BIPM, 2023.
12. JCGM 200:2012. International Vocabulary of Metrology — Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM). 3rd ed. Sèvres : BIPM, 2012.

13. ISO/IEC Guide 98-3:2008. Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). Geneva : ISO, 2008.
14. ISO 5725-1:1994. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1. Geneva : ISO, 1994.
15. ISO 9001:2015. Quality management systems — Requirements. Geneva : ISO, 2015.
16. Raghuwanshi S. S. Engineering Metrology and Measurements. New Delhi : Oxford University Press, 2013. 600 p.
17. Naidu M. S., Gopal M. Industrial Instrumentation and Control Systems. New Delhi : McGraw-Hill, 2012. 736 p.
18. Bell D. A. Electronic Instrumentation and Measurements. New Delhi : PHI Learning, 2015. 512 p.
19. Ewins D. J. Modal Testing: Theory, Practice and Application. 2nd ed. Baldock : Research Studies Press, 2000. 562 p.
20. Billings S. A. Nonlinear System Identification: NARMAX Methods in the Time, Frequency, and Spatio-Temporal Domains. Hoboken : Wiley, 2013. 576 p.
21. Поджаренко В. О., Кулаков П. І., Ігнатенко О. Г., Войтович О. П. Основи метрології та вимірювальної техніки. Вінниця : ВНТУ, 2006. 296 с.
22. Нестерчук Д. М. Основи метрології та засоби вимірювань. Луцьк : ЛНТУ, 2018. 214 с.
23. Сусліков Л. М. Метрологія та вимірювання. Ужгород : УжНУ, 2014. 240 с.
24. Куликов Б. В., Сидоренко Л. П. Метрологія та вимірювання. Київ : Вища школа, 2017. 312 с.
25. Бородін М. І. Теорія вимірювань і обробки результатів експерименту. Київ : Наукова думка, 2012. 368 с.

26. Гринько І. М. Вимірювальна техніка та сенсорні системи. Харків : ХНУ, 2019. 284 с.
27. Цюцюра В. Д. Метрологія та основи вимірювань. Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2010. 256 с.
28. Кухаренко В. В., Столярчук П. Г. Вимірювальна техніка. Київ : КНЕУ, 2012. 300 с.
29. Фесів І. В. Методи та засоби вимірювань. Чернівці : ЧНУ, 2021. 198 с.
30. Лебедев І. П. Метрологія, стандартизація і сертифікація. Київ : КНУ, 2011. 320 с.
31. Гнатюк Б. А. Теорія метрологічної обробки результатів вимірювань. Львів : ЛНУ, 2014. 276 с.
32. Кравченко М. І. Основи вимірювальної техніки. Дніпро : ДНУ, 2015. 248 с.
33. Шевченко О. С. Система метрологічного забезпечення. Одеса : ОНУ, 2016. 290 с.
34. Клименко В. М. Контроль та вимірювання в автоматизації. Харків : ХАІ, 2013. 336 с.
35. Пономаренко С. І. Статистична обробка результатів вимірювань. Київ : НУ «ЛП», 2018. 224 с.
36. Гуменюк І. П. Точність і оцінювання невизначеності вимірювань. Тернопіль : ТНТУ, 2017. 210 с.
37. Ross S. M. Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists. 5th ed. Boston : Academic Press, 2014. 704 p.
38. Devore J. L. Probability and Statistics for Engineering and the Sciences. 9th ed. Boston : Cengage, 2015. 784 p.
39. Hogg R. V., Tanis E. A. Probability and Statistical Inference. 9th ed. Boston : Pearson, 2015. 656 p.

40. Rice J. A. *Mathematical Statistics and Data Analysis*. 3rd ed. Belmont : Cengage, 2006. 688 p.
41. Grant I. S., Phillips W. R. *Electromagnetism*. 2nd ed. Chichester : Wiley, 2008. 384 p.
42. Oliver J. *Measurement Theory and Practice*. Hoboken : Wiley, 2015. 412 p.
43. Gupta S. K. *Transducers and Instrumentation*. New Delhi : PHI Learning, 2013. 504 p.
44. Rennie A. E. W. *Statistical Methods in Metrology*. Boca Raton : CRC Press, 2016. 256 p.
45. Taylor B. N., Kuyatt C. E. *Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results*. NIST Technical Note 1297. Gaithersburg, 1994.
46. ISO 10012:2003. *Measurement management systems — Requirements for measurement processes and measuring equipment*. Geneva : ISO, 2003.
47. ISO 31000:2018. *Risk management — Guidelines*. Geneva : ISO, 2018.
48. IEC 60050. *International Electrotechnical Vocabulary*. Geneva : IEC, 2011.
49. BIPM. *The International System of Units (SI)*. 9th ed. Sèvres : BIPM, 2019.
50. NIST. *Engineering Statistics Handbook*. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2013.