

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

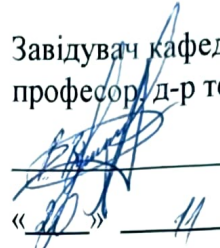
Рецензент: професор кафедри
механічної та електричної інженерії
ПДАУ, професор, д-р техн. наук
Олександр САЙЧУК

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

Харченка Миколи Руслановича

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

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

затверджені наказом по механіко-енергетичному факультету від

« ____ » _____ 2025 року № ____.

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

3. Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи отримати під час проходження переддипломної практики на підприємстві технічного профілю. У процесі практики зібрати фактичні матеріали та статистичні дані, необхідні для аналізу вимірювальних процесів, оцінювання геометричних, функціональних і експлуатаційних параметрів техніки, а також для визначення точності, відтворюваності та достовірності результатів вимірювального 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 вимірювального 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 вимірювального 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	Удосконалення методів та засобів вимірювання техніки на основі статистичних даних	Літер	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Харченко			25.11.15			4	100	
Перевірив	Тимофєєв			25.11.15		УкрДУЗТ			
Реценз.	Сайчук								
Н. контр.	Шовкун			09.12.16					
Затв.	Равлюк			20.12.16					

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

					МКРМЕ.175.26.28.00. ПЗ
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	

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.

1. Теоретичні основи статистичного забезпечення вимірювальних процесів

1.1. Сутність та роль статистичних методів у вимірюваннях технічних параметрів

Статистичні методи у вимірюваннях технічних параметрів посідають особливе місце у сучасній метрології, оскільки забезпечують можливість об'єктивної оцінки результатів у реальних умовах експлуатації техніки, де точність контролю перебуває під впливом багатьох невизначених факторів. На відміну від ідеалізованих лабораторних умов, вимірювання технічних параметрів машин і обладнання здійснюються в складному середовищі, де мають місце механічні коливання, температура, шум, нестабільність сигналів, старіння вузлів, вплив операторів та інші джерела похибок. У таких умовах окреме значення має не стільки одиничне вимірювання, скільки його статистична обробка, яка дозволяє підвищити точність і достовірність результатів.

Сутність статистичних методів у вимірюваннях полягає у використанні вибірки результатів для встановлення закономірностей, оцінювання характеристик випадкових величин та отримання найбільш імовірних значень вимірюваного параметра. Застосування статистичних методів дозволяє зменшити вплив випадкових похибок, які є невід'ємною частиною будь-якого вимірювання. Навіть за використання високоточних засобів вимірювальної техніки випадкові похибки неможливо повністю усунути, однак їх дія може бути істотно зменшена за рахунок аналізу вибірок, усереднення результатів, визначення довірчих інтервалів або використання методів регресійного та кореляційного аналізу.

Роль статистичних методів у вимірюваннях технічних параметрів полягає також у можливості оцінювати поведінку параметрів техніки в

динаміці, що є особливо важливим у процесі діагностики та прогнозування її технічного стану. У реальних умовах експлуатації параметри машин змінюються нерівномірно, під впливом навантажень, зносу, температурних коливань, вібрацій та інших факторів. Використання статистичного аналізу дозволяє виявити приховані тенденції, закономірності, циклічність або аномалії у зміні параметрів, що може свідчити про наближення відмови, початок деградації вузла чи появу дефекту. Таким чином статистичні методи є основою для формування систем технічного моніторингу та прогнозування ресурсу.

Однією з ключових переваг використання статистичних методів є можливість кількісної оцінки точності вимірювань. Класичні підходи, засновані на аналізі одиничного вимірювання, не дозволяють визначити ступінь достовірності отриманого результату. Статистичні методи, навпаки, дають можливість обчислювати середнє значення, дисперсію, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації та інші характеристики, які описують точність і стабільність вимірювань. Це особливо важливо у випадках, коли результати контролю використовуються для прийняття критично важливих технічних рішень, наприклад, щодо ремонту, регулювання або визначення ресурсу вузлів і агрегатів.

Статистичні методи також відіграють важливу роль у формуванні метрологічних моделей вимірювання. Завдяки статистичному підходу можна побудувати моделі, що враховують вплив багатьох факторів одночасно — температури, навантаження, зношування, швидкості, вологості тощо. Такі моделі дозволяють виконувати складні розрахунки, прогнозувати поведінку технічних параметрів та створювати інтелектуальні системи обробки даних, які автоматично компенсують похибки вимірювання. Це робить статистичні методи ключовим інструментом у створенні сучасних вимірювальних систем з високою точністю та адаптивністю.

Не менш важливим аспектом є те, що статистичні методи забезпечують основу для аналізу великих масивів даних, які формуються сучасними датчиками та системами моніторингу техніки. Цифрові системи генерують вимірювальну інформацію з високою частотою, іноді – у режимі реального часу. Без належної статистичної обробки такі дані не можуть бути інтерпретовані коректно. Статистичні алгоритми фільтрації, згладжування, класифікації та виявлення аномалій дозволяють перетворити необроблений сигнал на інформативний показник технічного стану.

Застосування статистичних методів у вимірюваннях також є необхідним для забезпечення простежуваності результатів та відповідності вимогам сучасних стандартів, зокрема ISO 10012, ISO/IEC 17025, ДСТУ ISO серії 5725. Ці стандарти передбачають використання саме статистичних підходів до оцінювання похибок, невизначеності, стабільності та надійності вимірювальних процесів. У цьому контексті статистичний аналіз виступає не лише інструментом підвищення точності, а й обов'язковим елементом метрологічної відповідності.

Таким чином, статистичні методи відіграють ключову роль у сучасних вимірюваннях технічних параметрів, забезпечуючи високу точність, достовірність і інформативність результатів у складних умовах експлуатації. Їхнє застосування дозволяє мінімізувати похибки, підвищити якість контролю, сформувати об'єктивну картину технічного стану машин і створити фундамент для розроблення удосконалених методів та засобів вимірювання, які є особливо потрібними в умовах швидкого розвитку техніки та зростання вимог до її надійності.

1.2. Нормативно-метрологічні основи застосування статистичних методів у вимірюваннях технічних параметрів

Застосування статистичних методів у вимірюваннях технічних параметрів машин і обладнання ґрунтується на широкому комплексі нормативних вимог, стандартів, методик та регламентів, що визначають порядок проведення вимірювань, оцінювання похибок, аналізу даних та забезпечення простежуваності результатів. Нормативно-метрологічна база є ключовою складовою вимірювального процесу, оскільки саме вона визначає, за якими правилами виконуються вимірювання, які методи статистичної обробки допускаються, як здійснюється оцінка невизначеності та які критерії прийнятності результатів застосовуються на практиці. Використання статистичних методів не може бути відокремлене від нормативної складової, адже вона забезпечує юридичну, технічну та наукову коректність результатів.

Провідне місце серед нормативних документів займає Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність», який визначає основні принципи державної політики у сфері вимірювань та встановлює вимоги до простежуваності й достовірності результатів. Закон передбачає, що всі вимірювання, які мають вплив на безпеку, якість продукції та технологічні процеси, повинні виконуватися за методиками, що відповідають встановленим нормативам та забезпечують можливість статистичного оцінювання похибок і невизначеності. Таким чином, законодавча база закріплює необхідність застосування статистичних методів як інструменту забезпечення точності.

У міжнародній практиці основним документом, який регламентує статистичні підходи до вимірювань, є серія стандартів ISO 5725 «Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання». Ці стандарти визначають правила оцінювання правил. Вони встановлюють підходи до повторюваності та відтворюваності, а також методи кількісної оцінки випадкових і систематичних похибок на основі аналізу вибірок. На практиці вимоги ISO 5725 забезпечують можливість оцінювати стабільність

вимірювального процесу, визначати величину статистичних відхилень, будувати довірчі інтервали та об'єктивно оцінювати точність вимірювального обладнання.

Особливу роль відіграє також стандарт ISO 10012 «Система керування вимірювальними процесами та вимірювальним обладнанням», який закріплює вимоги до організаційних і технічних аспектів метрологічного забезпечення. Він передбачає обов'язковість оцінювання невизначеності вимірювання, необхідність автоматизованого чи ручного збору статистичних даних, їх періодичного аналізу та документування. Основним принципом ISO 10012 є побудова системи, в якій результати вимірювань мають бути не лише точними, а й статистично обґрунтованими. Це означає, що всі етапи вимірювального процесу – від калібрування обладнання до перевірки результатів – повинні враховувати методи статистичної обробки.

Ще одним важливим нормативним документом є ISO/IEC 17025 «Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій». Хоча цей стандарт переважно використовується лабораторіями, його принципи поширюються й на промислові підприємства, що здійснюють вимірювання. Стандарт передбачає обов'язковість використання статистичних методів під час оцінювання стабільності результатів, перевірки лінійності, встановлення характеристик приладів, аналізу похибок та підтвердження метрологічної придатності методики. Усі вимірювання, які виконуються у відповідальних технологічних процесах, повинні бути придатними до статистичного аналізу, а їхня невизначеність має бути оцінена відповідно до міжнародних вимог.

Нормативне забезпечення також передбачає використання методик оцінювання невизначеності вимірювань, що визначені у Рекомендації Міжнародної організації з метрології (GUM – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement). Цей документ визначає універсальний підхід до

кількісного оцінювання невизначеності на основі статистичних вибірок, включаючи методи типу А (статистичні) та методи типу В (експертні або теоретичні). Для вимірювань технічних параметрів машин GUM має особливе значення, оскільки невизначеність може визначати прийняття рішень щодо ремонтних або регулювальних операцій.

У галузевих стандартах, що стосуються експлуатації та ремонту технічних систем, також чітко регламентується застосування статистичних методів. Наприклад, стандарти щодо діагностики вібрацій, технічного стану підшипників, вимірювання параметрів двигунів чи гідросистем містять вимоги до аналізу вибірок сигналів, визначення спектральних характеристик, статистичної стабільності даних та аналізу шумів. Це пов'язано з тим, що сучасні діагностичні системи працюють у режимі опрацювання великих масивів цифрових даних, які без статистичних методів не мають практичної цінності.

Не менш важливим нормативним аспектом є вимога до простіження результатів вимірювань, яка передбачає використання калібрувальних сертифікатів, еталонних значень та статистично обґрунтованих методик. Простежуваність є ключовою умовою для коректної інтерпретації вимірювань та порівняння результатів, отриманих у різний час або різними засобами. Статистичні методи забезпечують можливість перевіряти стабільність приладів у часі, визначати дрейф параметрів та оцінювати придатність приладу до виконання певних вимірювальних задач.

Нормативно-метрологічні документи також регламентують вимоги до кваліфікації персоналу, який виконує вимірювання та аналіз даних. Фахівці повинні володіти статистичними методами, вміти інтерпретувати дані, аналізувати вибірки, оцінювати похибки та застосовувати відповідні стандарти. Низький рівень знань у галузі статистики може призвести до неправильних висновків, необґрунтованих рішень та зниження надійності технічних систем.

Таким чином, нормативно-метрологічні основи застосування статистичних методів у вимірюваннях технічних параметрів являють собою багаторівневу та комплексну систему, яка охоплює міжнародні стандарти, національні закони, галузеві регламенти та методики оцінювання точності. Використання статистичних методів є не просто бажаним, а обов'язковим елементом сучасної метрології, оскільки саме вони забезпечують об'єктивність, достовірність та точність вимірювальних процесів, що лежать в основі технічного контролю, діагностики та прогнозування ресурсу машин і обладнання.

1.3. Аналіз факторів, що впливають на точність вимірювань та статистичну достовірність результатів

Точність та статистична достовірність результатів вимірювання технічних параметрів залежать від широкого комплексу факторів, які формують метрологічну складність процесу контролю та безпосередньо визначають якість отриманих даних. На відміну від лабораторних досліджень, у реальних умовах експлуатації техніки вимірювання здійснюються під впливом значних зовнішніх і внутрішніх збурень, що можуть суттєво спотворювати результати. Тому аналіз факторів, які впливають на точність і статистичну стабільність вимірювань, є базовою передумовою для розроблення ефективних методів їх удосконалення.

Одним із ключових факторів є вплив зовнішнього середовища, який включає температурні коливання, вологість, атмосферний тиск, наявність пилу, агресивних речовин або мастильних матеріалів. Температурні зміни можуть викликати теплове розширення або стискання вимірюваних деталей, дрейф параметрів електронних засобів вимірювання, нестабільність нульових точок та зміни чутливості датчиків. Навіть незначна зміна температури здатна спричинити статистично значимий зсув у результатах

вимірювань, що призводить до появи систематичних похибок. Волога впливає на електричні характеристики датчиків, сприяє зміні опору, накопиченню зарядів, корозії та погіршенню контактів, тоді як пил і частки можуть ускладнювати роботу оптичних та механічних засобів контролю.

Важливим фактором, що знижує точність вимірювань, є механічні коливання та вібрації, які виникають під час роботи техніки або обладнання, що обслуговується. Вібрації здатні викликати флуктуації показів аналогових приладів, генерацію шумів у цифрових сигналах та нестабільність контактних вимірювань. У багатьох випадках вимірювання технічних параметрів виконуються на працюючих машинах, де вібрації мають випадковий або періодичний характер. Це призводить до збільшення розсіювання даних, зростання дисперсії вибірок та ускладнення статистичного аналізу. Для коректної інтерпретації таких даних необхідні методи згладжування, фільтрації та ідентифікації вібраційних компонентів.

Суттєвий вплив на достовірність результатів мають властивості вимірюваних об'єктів, зокрема їх жорсткість, форма, структура поверхні, ступінь зношування та наявність дефектів. У техніці зношування деталей може призводити до нерівномірності поверхонь, локальних деформацій, мікротріщин або пористості. Це ускладнює роботу контактних засобів контролю та спричиняє нестабільну поведінку сигналів. У випадку вимірювань геометричних параметрів додаткові труднощі створює необхідність визначення правильної вимірювальної бази, особливо якщо поверхні деформовані або мають складну форму. У таких умовах статистичні методи дозволяють компенсувати частину невизначень, оскільки вони враховують варіативність даних та дозволяють отримати найбільш правдоподібний результат.

Важливим фактором, що впливає на точність, є якість і стан засобів вимірювальної техніки. У реальних умовах експлуатації прилади піддаються механічним навантаженням, старінню електронних

компонентів, зносу контактних поверхонь та впливу агресивних факторів середовища. Дрейф характеристик приладів у часі призводить до накопичення систематичних похибок, які можуть не проявлятися в одиничних вимірюваннях, але стають очевидними при аналізі вибірок даних. Саме статистична обробка дозволяє виявити такі систематичні зміщення, оцінити стабільність роботи приладів, визначити тенденції та своєчасно ініціювати їх калібрування або технічне обслуговування.

Не можна недооцінювати вплив електромагнітних завад, які виникають поблизу працюючих електричних машин, перетворювачів частоти, генераторів, систем запалювання, джерел високовольтних імпульсів тощо. Ці завади проявляються як випадковий або періодичний шум у сигналі, зміщення базових ліній, спотворення форм сигналів та збільшення розсіювання вибірових значень. Алгоритмічні методи статистичного аналізу, такі як спектральний аналіз, фільтрація, методи згладжування або вейвлет-перетворення, дозволяють відокремити інформативний сигнал від шумової складової та підвищити достовірність вимірів.

Одним із суттєвих чинників є людський фактор, що залишається вагомим навіть за високого рівня автоматизації. Помилки оператора під час налаштування приладів, неправильний вибір методики, неточне встановлення датчиків, невірна інтерпретація даних або порушення процедури вимірювання можуть призвести до істотних похибок. Людський фактор є особливо значущим при виконанні серії вимірювань, коли кожна помилка збільшує дисперсію вибірки та знижує надійність статистичного аналізу. Використання статистичних методів дозволяє зменшити вплив людського фактору шляхом автоматизації обробки даних, формалізації процедур, стандартизації методик та виявлення аномальних значень.

Важливим чинником, який часто залишається недооціненим, є частота дискретизації та методи реєстрації сигналів. Для сучасних цифрових засобів вимірювань характерна висока швидкість збору інформації, однак її

недостатність або надлишковість може створювати додаткові похибки. Низька частота дискретизації спричиняє втрату важливої інформації, тоді як надмірна – збільшує обсяг шумових даних. Статистичні методи, такі як аналіз часових рядів, спектральний аналіз або регресійне моделювання, дозволяють оптимізувати ці процеси та визначити оптимальні параметри дискретизації для конкретних вимірювальних задач.

Таким чином, точність та статистична достовірність результатів вимірювань технічних параметрів формуються під впливом великої кількості факторів: середовищних, конструктивних, апаратних, людських та інформаційних. Глибоке розуміння механізмів їхнього впливу та використання статистичних методів обробки даних дозволяє істотно підвищити якість вимірювальних процесів, мінімізувати похибки, отримувати об'єктивні результати та забезпечувати коректність технічних рішень, що приймаються на основі оброблених даних.

1.4. Особливості застосування статистичних методів у вимірюваннях технічних систем різного призначення

Застосування статистичних методів у вимірюваннях технічних систем різного призначення зумовлене зростанням складності сучасної техніки, багатофакторністю впливів на вимірювані параметри та динамічним характером їх зміни в процесі експлуатації. У реальних умовах роботи машин, механізмів і технологічних комплексів вимірювальні процеси відбуваються під впливом навантажень, температурних коливань, вібрацій, електромагнітних завад, зношування та людського фактору, що призводить до значного розсіювання результатів вимірювань. За таких умов традиційний підхід, який ґрунтується на одиничних вимірюваннях або порівнянні окремих значень з нормативами, не забезпечує достатньої точності та достовірності інформації про технічний стан об'єкта.

Статистичні методи дозволяють розглядати вимірюваний параметр як випадкову величину, що характеризується сукупністю значень, отриманих у процесі багаторазових вимірювань. Такий підхід є універсальним для технічних систем різного призначення, оскільки він враховує реальні умови експлуатації та дозволяє мінімізувати вплив випадкових похибок. Основною перевагою статистичної обробки є можливість визначення найбільш імовірного значення параметра шляхом усереднення результатів, а також кількісної оцінки стабільності вимірювального процесу за допомогою дисперсії та середньоквадратичного відхилення. Середнє арифметичне значення вимірюваного параметра визначається за виразом

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

а міра розсіювання результатів вимірювань може бути охарактеризована середньоквадратичним відхиленням

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

Ці показники дозволяють не лише оцінити точність вимірювань, але й проаналізувати поведінку технічної системи в часі, що є особливо важливим для діагностики та прогнозування її технічного стану.

У механічних технічних системах статистичні методи застосовуються для аналізу параметрів, які мають змінний або циклічний характер, зокрема зусиль, переміщень, швидкостей, вібрацій та зношування. Вимірювання таких параметрів супроводжуються значними флуктуаціями, обумовленими нерівномірністю навантажень і динамікою роботи механізмів. Статистична обробка дозволяє виявляти тенденції зміни параметрів, оцінювати стабільність роботи вузлів та своєчасно фіксувати відхилення, що можуть свідчити про зародження дефектів або зниження ресурсу. Аналіз часових рядів вимірювань дає змогу відокремити випадкові коливання від систематичних змін, що мають діагностичне значення.

Для гідравлічних і пневматичних систем характерним є стохастичний характер зміни параметрів тиску, витрати та температури робочого середовища. Турбулентність потоків, пульсації, робота насосів і компресорів спричиняють значні випадкові відхилення вимірюваних величин. У таких умовах статистичні методи використовуються для згладжування сигналів, визначення довірчих інтервалів і оцінювання стабільності режимів роботи. Довірчий інтервал для середнього значення параметра дозволяє кількісно оцінити межі, у яких із заданою ймовірністю знаходиться істинне значення вимірюваної величини, що має важливе значення для прийняття технічних рішень у процесі експлуатації та обслуговування обладнання.

В електричних та електронних системах статистичні методи є необхідними через значну зашумленість сигналів, наявність електромагнітних завад і дрейф параметрів елементів у часі. Вимірювання напруги, струму, частоти або параметрів сигналів без статистичної обробки можуть давати нестабільні та малодостовірні результати. Застосування методів статистичного аналізу дозволяє виконувати фільтрацію шумів, оцінювати варіативність сигналів і порівнювати стабільність різних режимів роботи. Для цього часто використовується коефіцієнт варіації, який характеризує відносну мінливість параметра та дозволяє порівнювати результати вимірювань незалежно від їх абсолютних значень.

У теплотехнічних системах вимірювання температури та теплових параметрів ускладнюється неоднорідністю температурних полів, інерційністю датчиків і впливом навколишнього середовища. Одиничні вимірювання в таких умовах не відображають реального теплового стану об'єкта. Статистичні методи дозволяють визначати середньозважені температурні значення, оцінювати теплову стабільність системи та виявляти локальні перегріви. Аналіз розсіювання температурних даних є основою для оцінювання ефективності теплових режимів і запобігання аварійним ситуаціям.

Особливу актуальність статистичні методи мають у багатокомпонентних технічних системах, де взаємодіють механічні, електричні, гідравлічні та теплові процеси. У таких системах вимірювані параметри тісно пов'язані між собою, а зміна одного з них може впливати на інші. Статистичний аналіз дозволяє досліджувати кореляційні зв'язки між параметрами, визначати найбільш інформативні показники та формувати узагальнені критерії оцінки технічного стану. Це створює основу для побудови адаптивних вимірювальних систем і автоматизованих систем моніторингу.

Узагальнені особливості застосування статистичних методів у вимірюваннях технічних систем різного призначення наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Особливості застосування статистичних методів у вимірюваннях технічних систем

Тип технічної системи	Основні вимірювані параметри	Роль статистичних методів
Механічні	Зусилля, вібрація, знос	Аналіз стабільності, виявлення трендів
Гідравлічні	Тиск, витрата	Згладжування, довірчі інтервали

Продовження табл.1.1

1	2	3
Електричні	Напруга, струм	Фільтрація шумів, оцінка варіативності

Теплотехнічні	Температура	Усереднення, аналіз теплових коливань
Комплексні	Сукупні показники	Кореляційний та регресійний аналіз

Таким чином, застосування статистичних методів у вимірюваннях технічних систем різного призначення дозволяє перейти від формального контролю параметрів до глибокого аналізу їх поведінки в реальних умовах експлуатації. Статистична обробка результатів вимірювань забезпечує підвищення точності та достовірності даних, створює умови для своєчасного виявлення відхилень і формує науково обґрунтовану основу для прийняття технічних рішень. Саме ці положення є базисом для подальшого аналізу сучасних методів і засобів вимірювання та їх удосконалення на основі статистичних даних, що розглядається у наступних розділах дипломної роботи.

1.5. Узагальнення теоретичних положень та обґрунтування необхідності удосконалення методів і засобів вимірювання техніки на основі статистичних даних

Аналіз теоретичних положень, нормативно-метрологічних вимог та особливостей застосування статистичних методів у вимірюваннях технічних параметрів, виконаний у попередніх підрозділах, дозволяє сформулювати цілісне уявлення про сучасний стан вимірювальних процесів у технічних системах різного призначення. Установлено, що вимірювання в умовах реальної експлуатації техніки характеризуються складною сукупністю факторів впливу, серед яких домінують динамічні

навантаження, нестабільність режимів роботи, зношування елементів, температурні коливання, електромагнітні завади та людський фактор. У результаті цього вимірювані параметри мають стохастичний характер, а результати одиничних вимірювань не забезпечують достатньої достовірності для прийняття обґрунтованих технічних рішень.

Узагальнення теоретичних основ статистичних методів показує, що їх застосування дозволяє розглядати вимірювальні результати як вибірку випадкових величин, для яких можуть бути визначені кількісні характеристики точності, стабільності та надійності. Перехід від одиничних вимірювань до аналізу сукупності результатів створює можливість визначення найбільш імовірних значень параметрів, оцінювання розсіювання даних, виявлення тенденцій зміни параметрів у часі та ідентифікації відхилень, що мають діагностичне значення. Такий підхід є особливо важливим для технічних систем, у яких параметри змінюються не лише внаслідок випадкових збурень, але й під дією повільних деградаційних процесів, що без статистичного аналізу залишаються непоміченими.

Проведений аналіз нормативно-метрологічної бази підтвердив, що використання статистичних методів є обов'язковою складовою сучасних вимірювальних процесів. Вимоги національних і міжнародних стандартів щодо оцінювання похибок, невизначеності, повторюваності та відтворюваності результатів безпосередньо ґрунтуються на статистичних підходах. Це означає, що удосконалення методів і засобів вимірювання не може обмежуватися лише підвищенням класу точності приладів або модернізацією їх конструкції, а повинно включати розвиток методів збору, обробки та інтерпретації вимірювальних даних із використанням статистичних алгоритмів.

Важливим результатом узагальнення є встановлення того, що значна частина похибок у вимірюваннях технічних параметрів має випадковий характер і не може бути повністю усунена навіть за умови застосування

високоточних засобів вимірювальної техніки. Водночас ці похибки можуть бути суттєво зменшені або враховані шляхом статистичної обробки результатів вимірювань, зокрема шляхом усереднення, фільтрації шумів, аналізу розсіювання та побудови довірчих інтервалів. Таким чином, підвищення точності та достовірності вимірювань значною мірою залежить від методичного рівня обробки вимірювальної інформації, а не лише від технічних характеристик приладів.

Особливої актуальності проблема набуває у зв'язку з широким впровадженням цифрових вимірювальних систем, сенсорних мереж і систем технічного моніторингу, які здатні формувати великі масиви вимірювальних даних у режимі реального часу. Без застосування статистичних методів такі дані використовуються фрагментарно або взагалі не аналізуються повною мірою, що призводить до втрати значної частини їх інформаційного потенціалу. Статистичні підходи дозволяють перетворити необроблені вимірювальні дані на інформативні показники технічного стану, що можуть бути використані для діагностики, прогнозування ресурсу та оптимізації технічного обслуговування.

У результаті узагальнення матеріалів першого розділу виявлено ключову суперечність між зростаючими можливостями сучасних засобів вимірювання та недостатнім рівнем використання статистичних методів у практиці контролю технічних параметрів. Ця суперечність зумовлює необхідність удосконалення існуючих методів і засобів вимірювання шляхом інтеграції статистичних алгоритмів обробки даних, автоматизації аналізу результатів і підвищення адаптивності вимірювальних систем до умов реальної експлуатації.

Основні напрями такого удосконалення узагальнено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні напрями удосконалення методів і засобів вимірювання техніки

Напрямок удосконалення	Сутність	Очікуваний ефект
Статистична обробка результатів	Використання усереднення, аналізу розсіювання, довірчих інтервалів	Підвищення достовірності вимірювань
Інтеграція цифрових алгоритмів	Автоматизація аналізу вимірювальних даних	Зменшення впливу людського фактору
Аналіз динаміки параметрів	Дослідження змін параметрів у часі	Раннє виявлення деградації
Комплексна оцінка стану	Об'єднання кількох параметрів	Підвищення інформативності контролю

Подальше узагальнення дозволяє зробити висновок, що удосконалення методів і засобів вимірювання на основі статистичних даних є не лише технічно доцільним, але й економічно обґрунтованим. Підвищення достовірності вимірювань зменшує ризик помилкових рішень щодо ремонту або заміни обладнання, дозволяє оптимізувати інтервали технічного обслуговування та підвищити загальну надійність технічних систем. Це особливо важливо для складних машин і технологічних комплексів, де вартість помилки є надзвичайно високою.

Таким чином, узагальнення теоретичних положень першого розділу підтверджує обґрунтованість і актуальність обраної теми дипломної роботи та визначає доцільність подальших досліджень, спрямованих на аналіз

сучасних засобів вимірювання, виявлення їх недоліків і розроблення удосконалених методів та засобів вимірювання техніки на основі статистичних даних. Отримані висновки створюють науково-методичну основу для практичної частини дослідження, яка буде представлена у наступних розділах роботи.

1.6. Формування концептуальних підходів до удосконалення методів і засобів вимірювання техніки на основі статистичних даних

Сучасний етап розвитку технічних систем і засобів вимірювальної техніки характеризується переходом від локального контролю окремих параметрів до комплексного аналізу технічного стану машин і обладнання в умовах реальної експлуатації. Узагальнення теоретичних положень, виконане у попередніх підрозділах, свідчить про те, що подальше підвищення точності та достовірності вимірювань неможливе виключно за рахунок удосконалення конструкції вимірювальних приладів або підвищення їх класу точності. Ключовим напрямом розвитку вимірювальних процесів стає формування концептуальних підходів, заснованих на використанні статистичних методів обробки вимірювальної інформації.

Формування таких підходів передбачає зміну парадигми вимірювання, за якої результат вимірювання розглядається не як окреме числове значення, а як інформаційна сукупність статистично пов'язаних даних. У межах цього підходу вимірювальний процес включає не лише етап реєстрації сигналу, але й подальшу статистичну обробку, аналіз стабільності результатів, оцінювання невизначеності та інтерпретацію отриманих даних з урахуванням умов експлуатації технічної системи. Такий підхід дозволяє підвищити інформативність вимірювань і зменшити вплив випадкових похибок, які неминуче виникають у реальних умовах роботи техніки.

Важливою складовою концептуального підходу є інтеграція статистичних методів безпосередньо у структуру вимірювальних систем. Це означає, що алгоритми усереднення, фільтрації, аналізу розсіювання, виявлення трендів і аномалій повинні бути реалізовані на рівні програмного забезпечення вимірювальних приладів або систем збору даних. Така інтеграція дозволяє здійснювати обробку результатів у режимі реального часу, зменшувати вплив людського фактору та забезпечувати стабільну якість вимірювальної інформації незалежно від умов експлуатації.

Формування концептуальних підходів також передбачає перехід від статичних методик контролю до адаптивних вимірювальних процесів. У реальних умовах експлуатації параметри технічних систем змінюються у часі, що зумовлює необхідність коригування методів обробки даних, параметрів фільтрації та критеріїв оцінювання результатів. Статистичні методи дозволяють створювати адаптивні алгоритми, які автоматично враховують зміну умов вимірювання, рівень шумів і характер динаміки параметрів, забезпечуючи більш точну та об'єктивну оцінку технічного стану об'єкта.

Ще одним важливим елементом концептуального підходу є використання статистичного аналізу для формування узагальнених показників технічного стану. У складних технічних системах окремі параметри не завжди можуть адекватно відображати реальний стан обладнання. Статистична обробка дозволяє об'єднувати результати вимірювань кількох параметрів у комплексні індикатори, які мають вищу інформативність і надійність. Це створює передумови для розвитку систем технічної діагностики, прогнозування ресурсу та підтримки прийняття рішень у процесі експлуатації та обслуговування техніки.

Формування концептуальних підходів до удосконалення методів і засобів вимірювання також пов'язане з необхідністю забезпечення відповідності вимірювальних процесів чинним нормативно-метрологічним

вимогам. Застосування статистичних методів дозволяє забезпечити простежуваність результатів вимірювань, обґрунтовано оцінювати невизначеність та підтверджувати метрологічну придатність методик контролю. Таким чином, статистичні підходи виступають не лише інструментом підвищення точності, але й засобом забезпечення нормативної відповідності вимірювальних процесів.

Особливу роль у формуванні концептуальних підходів відіграє використання сучасних інформаційних технологій, зокрема цифрових платформ збору та обробки даних, систем технічного моніторингу та елементів інтелектуального аналізу даних. Статистичні методи є базовою основою для реалізації таких технологій, оскільки саме вони забезпечують коректну обробку великих масивів вимірювальної інформації, фільтрацію шумів, аналіз закономірностей і формування прогнозних моделей. У цьому контексті удосконалення методів і засобів вимірювання на основі статистичних даних слід розглядати як важливий етап переходу до цифрових і інтелектуальних систем контролю технічного стану.

Узагальнення концептуальних підходів до удосконалення методів і засобів вимірювання техніки на основі статистичних даних наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Концептуальні підходи до удосконалення вимірювальних процесів

Концептуальний підхід	Зміст	Очікуваний результат
-----------------------	-------	----------------------

Статистичне представлення результатів	Аналіз вибірок замість одиничних вимірювань	Підвищення достовірності
Інтеграція алгоритмів обробки	Реалізація статистичних методів у ЗВТ	Зменшення похибок
Адаптивність вимірювань	Автоматичне коригування методів аналізу	Стабільність результатів
Комплексна оцінка стану	Формування узагальнених показників	Підвищення інформативності
Цифровізація процесів	Обробка великих масивів даних	Підтримка прогнозування

Таким чином, формування концептуальних підходів до удосконалення методів і засобів вимірювання техніки на основі статистичних даних є логічним і необхідним етапом розвитку сучасної метрології. Запропоновані підходи дозволяють перейти від фрагментарного контролю параметрів до системного аналізу технічного стану, підвищити точність і достовірність вимірювальної інформації та створити методичну основу для практичної реалізації удосконалених вимірювальних систем. Отримані положення є завершальними для теоретичної частини дослідження та визначають напрям подальшого аналізу сучасних засобів вимірювання і розроблення практичних рішень, що буде представлено у наступних розділах дипломної роботи.

1.7. Висновки до розділу 1 та постановка завдань подальшого дослідження

У першому розділі дипломної роботи здійснено комплексний аналіз теоретичних і методичних основ застосування статистичних методів у вимірюваннях технічних параметрів машин і обладнання. Розглянуто сутність вимірювальних процесів у реальних умовах експлуатації техніки, встановлено особливості формування похибок та невизначеностей, а також визначено роль статистичної обробки результатів у підвищенні точності та достовірності вимірювальної інформації. Проведене дослідження дозволяє зробити узагальнений висновок про те, що сучасні вимірювання технічних параметрів мають стохастичний характер і не можуть бути коректно інтерпретовані без застосування статистичних підходів.

У результаті аналізу теоретичних положень статистичної обробки вимірювальних даних встановлено, що перехід від одиничних вимірювань до аналізу вибірок результатів є необхідною умовою підвищення інформативності контролю. Застосування методів усереднення, аналізу розсіювання, оцінювання довірчих інтервалів і виявлення тенденцій зміни параметрів дозволяє мінімізувати вплив випадкових похибок та забезпечити об'єктивну оцінку вимірюваних величин. Це має принципове значення для технічних систем, у яких параметри змінюються під впливом навантажень, температурних коливань, вібрацій та деградаційних процесів.

Розгляд нормативно-метрологічної бази підтвердив, що застосування статистичних методів є обов'язковою складовою сучасних вимірювальних процесів відповідно до вимог чинних національних і міжнародних стандартів. Оцінювання похибок, невизначеності, повторюваності та відтворюваності результатів вимірювань безпосередньо ґрунтується на статистичних підходах, що визначає необхідність їх системного впровадження у практику технічного контролю. Таким чином, статистична обробка результатів вимірювань виступає не лише науковим інструментом, але й елементом нормативної відповідності вимірювальних процесів.

Аналіз факторів, що впливають на точність і достовірність вимірювань, показав, що значна частина похибок має випадковий характер і не може бути повністю усунена конструктивними або організаційними заходами. Водночас ці похибки можуть бути ефективно враховані шляхом застосування статистичних методів аналізу, що підтверджує доцільність їх використання у вимірюваннях технічних параметрів різного фізичного походження. Особливу увагу приділено впливу умов експлуатації, стану засобів вимірювальної техніки, електромагнітних завад і людського фактору, що в сукупності формують складний вимірювальний простір сучасних технічних систем.

Узагальнення особливостей застосування статистичних методів у вимірюваннях технічних систем різного призначення дозволило встановити їх універсальний характер і ефективність у механічних, гідравлічних, електричних, електронних і теплотехнічних системах. Показано, що статистичні методи є основою для формування адаптивних вимірювальних процесів, комплексної оцінки технічного стану та розвитку систем технічної діагностики і прогнозування ресурсу. Це підтверджує доцільність розгляду статистичної обробки як невід'ємного елементу сучасних вимірювальних систем.

На основі узагальнення теоретичних положень сформовано концептуальні підходи до удосконалення методів і засобів вимірювання техніки, що передбачають інтеграцію статистичних алгоритмів обробки даних у структуру вимірювальних систем, автоматизацію аналізу результатів, підвищення адаптивності вимірювальних процесів і формування узагальнених показників технічного стану. Реалізація таких підходів дозволяє підвищити точність і достовірність вимірювань, зменшити вплив людського фактору та забезпечити стабільну якість вимірювальної інформації в умовах реальної експлуатації.

Узагальнюючи результати першого розділу, можна зробити висновок про наявність об'єктивної потреби в удосконаленні існуючих методів і засобів вимірювання технічних параметрів шляхом активного використання статистичних даних. Саме ця потреба визначає напрям подальшого дослідження та зумовлює необхідність детального аналізу сучасних засобів вимірювання, оцінювання їх функціональних і метрологічних обмежень, а також розроблення практичних рекомендацій щодо впровадження статистичних методів у вимірювальні процеси.

Таким чином, матеріали першого розділу створюють науково-методичну основу для виконання подальших етапів дипломної роботи. У наступному розділі буде здійснено аналіз сучасних методів і засобів вимірювання технічних параметрів, визначено їх основні недоліки з точки зору точності та достовірності, а також обґрунтовано необхідність їх удосконалення з використанням статистичних підходів, сформованих у теоретичній частині дослідження.

Висновки до розділу 1

У першому розділі дипломної роботи здійснено всебічний аналіз теоретичних, методичних та нормативно-метрологічних основ вимірювання технічних параметрів машин і обладнання з використанням статистичних методів. Установлено, що в умовах реальної експлуатації техніки вимірювальні процеси характеризуються складною сукупністю факторів впливу, що зумовлює стохастичний характер результатів вимірювань і обмежує достовірність одиничних вимірювальних значень.

Проаналізовано сутність і роль статистичних методів у вимірюваннях технічних параметрів та доведено, що їх застосування дозволяє перейти від формального контролю окремих показників до комплексного аналізу результатів вимірювань як сукупності випадкових величин. Використання

статистичних підходів забезпечує можливість визначення найбільш імовірних значень параметрів, кількісної оцінки розсіювання результатів, аналізу стабільності вимірювальних процесів і виявлення тенденцій зміни параметрів у часі, що є особливо важливим для діагностики та прогнозування технічного стану машин.

Розгляд нормативно-метрологічних основ показав, що застосування статистичних методів у вимірюваннях є обов'язковою вимогою чинних національних і міжнародних стандартів у сфері метрології. Оцінювання похибок, невизначеності, повторюваності та відтворюваності результатів вимірювань безпосередньо ґрунтується на статистичних підходах, що визначає необхідність їх системного впровадження у практику вимірювального контролю технічних систем.

У результаті аналізу факторів, що впливають на точність і статистичну достовірність вимірювань, встановлено, що значна частина похибок має випадковий характер і не може бути повністю усунена конструктивними або організаційними заходами. Водночас доведено, що застосування статистичних методів дозволяє ефективно враховувати вплив зовнішніх умов, нестабільності режимів роботи, зношування елементів, електромагнітних завад і людського фактору, що істотно підвищує достовірність вимірювальної інформації.

Узагальнення особливостей застосування статистичних методів у вимірюваннях технічних систем різного призначення підтвердило їх універсальний характер та ефективність у механічних, гідравлічних, електричних, електронних і теплотехнічних системах. Показано, що статистичні методи є основою для формування адаптивних вимірювальних процесів, комплексної оцінки технічного стану та розвитку систем технічної діагностики і прогнозування ресурсу обладнання.

На основі узагальнення теоретичних положень сформовано концептуальні підходи до удосконалення методів і засобів вимірювання

техніки, що передбачають інтеграцію статистичних алгоритмів обробки даних у структуру вимірювальних систем, автоматизацію аналізу результатів вимірювань, підвищення адаптивності вимірювальних процесів та формування узагальнених показників технічного стану. Реалізація цих підходів дозволяє підвищити точність і достовірність вимірювань, зменшити вплив людського фактору та забезпечити стабільну якість вимірювальної інформації в умовах реальної експлуатації.

Таким чином, результати першого розділу підтверджують актуальність і наукову обґрунтованість обраної теми дипломної роботи та створюють теоретичну і методичну основу для подальшого дослідження. Отримані висновки визначають необхідність аналізу сучасних методів і засобів вимірювання технічних параметрів, виявлення їх недоліків і розроблення практичних рекомендацій щодо удосконалення вимірювальних процесів на основі статистичних даних, що буде реалізовано у наступному розділі роботи.

2. Аналіз сучасних методів і засобів вимірювання технічних параметрів та обґрунтування статистичного підходу

2.1. Аналіз сучасних методів і засобів вимірювання технічних параметрів машин і обладнання

Сучасні методи та засоби вимірювання технічних параметрів машин і обладнання відіграють ключову роль у забезпеченні надійності, безпеки та ефективності експлуатації технічних систем. У практиці технічного контролю вимірювання використовуються для оцінювання геометричних, механічних, електричних, теплових, гідравлічних та інших параметрів, які визначають працездатність і ресурс обладнання. Розвиток вимірювальної техніки супроводжується впровадженням цифрових приладів, сенсорних

систем і автоматизованих комплексів збору даних, однак у багатьох випадках методи вимірювання залишаються орієнтованими на отримання одиничних значень параметрів без належної статистичної обробки результатів.

Традиційні методи вимірювання ґрунтуються на використанні контактних і безконтактних засобів вимірювальної техніки, таких як механічні та електронні індикатори, штангенінструменти, тензодатчики, термопари, манометри, витратоміри, вольтметри, амперметри та інші прилади. Ці засоби забезпечують достатню точність у стабільних умовах, однак у реальних умовах експлуатації техніки їх покази зазнають впливу зовнішніх факторів, що призводить до значного розсіювання результатів вимірювань. У більшості випадків результати вимірювань фіксуються як окремі значення, що унеможлиблює оцінку стабільності параметрів та достовірності отриманої інформації.

У механічних системах широко застосовуються засоби вимірювання переміщень, швидкостей, зусиль, вібрацій і зношування. Такі вимірювання виконуються за допомогою індуктивних, ємнісних, оптичних і тензорезистивних датчиків. Незважаючи на високу чутливість сучасних сенсорів, результати вимірювань характеризуються значною варіативністю, що зумовлено нерівномірністю навантажень, коливальними процесами та зношуванням вузлів. За відсутності статистичної обробки ці особливості призводять до помилкових висновків щодо технічного стану механізмів і знижують ефективність діагностичних рішень.

У гідравлічних і пневматичних системах основними контрольованими параметрами є тиск, витрата та температура робочого середовища. Вимірювання виконуються за допомогою манометрів, електронних датчиків тиску, витратомірів і температурних сенсорів. Особливістю таких систем є стохастичний характер зміни параметрів, спричинений турбулентністю потоків, пульсаціями насосів і компресорів, а також змінними режимами

роботи. У практиці експлуатації часто використовуються миттєві значення параметрів, що не відображають реального режиму роботи системи та ускладнюють оцінку її стабільності.

В електричних та електронних системах вимірювання напруги, струму, частоти, опору та параметрів сигналів здійснюється з використанням цифрових вимірювальних приладів і систем збору даних. Основними проблемами таких вимірювань є наявність електромагнітних завад, шумів і дрейфу параметрів електронних компонентів. У багатьох випадках результати вимірювань аналізуються без урахування статистичних характеристик сигналів, що знижує точність оцінювання стану електричних систем і ускладнює виявлення прихованих дефектів.

Теплотехнічні вимірювання, пов'язані з контролем температури, теплових потоків і тепловтрат, характеризуються значною інерційністю датчиків і неоднорідністю температурних полів. У таких умовах одиничні вимірювання не дозволяють отримати об'єктивну інформацію про тепловий стан об'єкта, особливо за змінних режимів роботи. Сучасні тепловимірювальні прилади здатні реєструвати дані з високою частотою, однак без застосування статистичної обробки ці дані не використовуються повною мірою.

Особливе місце серед сучасних засобів вимірювання займають автоматизовані системи контролю та моніторингу технічного стану, які поєднують сенсорні мережі, програмні засоби збору даних і елементи дистанційної передачі інформації. Такі системи здатні формувати великі масиви вимірювальних даних, однак у багатьох випадках їх функціональні можливості обмежуються візуалізацією параметрів або порівнянням з граничними значеннями. Недостатнє використання статистичних методів аналізу призводить до втрати інформаційного потенціалу таких систем і обмежує можливості прогнозування технічного стану обладнання.

Узагальнену характеристику сучасних методів і засобів вимірювання технічних параметрів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика сучасних методів і засобів вимірювання технічних параметрів

Тип технічної системи	Основні вимірювані параметри	Засоби вимірювання	Основні обмеження
Механічні	Переміщення, зусилля, вібрація	Тензодатчики, індуктивні сенсори	Високе розсіювання результатів
Гідравлічні	Тиск, витрата	Датчики тиску, витратоміри	Пульсації, турбулентність
Електричні	Напруга, струм	Цифрові вимірювачі	Шуми, електромагнітні завади
Теплотехнічні	Температура	Термопари, датчики температури	Інерційність, неоднорідність
Комплексні	Сукупні параметри	Автоматизовані системи	Недостатня аналітична обробка

Проведений аналіз показує, що більшість сучасних методів і засобів вимірювання орієнтовані на отримання миттєвих або усереднених значень параметрів без глибокого аналізу статистичних характеристик вимірювальних даних. У результаті інформація про варіативність

параметрів, їх стабільність і тенденції зміни залишається поза увагою, що знижує ефективність контролю та діагностики технічних систем.

Таким чином, сучасні методи і засоби вимірювання технічних параметрів машин і обладнання, незважаючи на високий рівень технічного розвитку, мають суттєві обмеження, пов'язані з недостатнім використанням статистичних методів обробки вимірювальної інформації. Це зумовлює необхідність подальшого аналізу недоліків існуючих підходів і обґрунтування напрямів удосконалення вимірювальних процесів на основі статистичних даних, що буде розглянуто у наступних підрозділах даного розділу.

2.2. Аналіз недоліків існуючих методів і засобів вимірювання технічних параметрів

Незважаючи на значний розвиток сучасних засобів вимірювальної техніки та широке впровадження цифрових приладів і автоматизованих систем контролю, існуючі методи вимірювання технічних параметрів машин і обладнання мають низку суттєвих недоліків, які обмежують достовірність отриманих результатів та знижують ефективність прийняття технічних рішень. У більшості випадків ці недоліки зумовлені орієнтацією вимірювальних процесів на отримання одиничних або слабо узагальнених значень параметрів без урахування їх статистичної природи та динаміки зміни в умовах реальної експлуатації.

Одним із ключових недоліків існуючих методів вимірювання є ігнорування стохастичного характеру вимірюваних параметрів. У реальних умовах експлуатації техніки параметри змінюються під впливом випадкових навантажень, температурних коливань, вібрацій, електромагнітних завад і деградаційних процесів. Проте традиційні методики часто передбачають фіксацію одного або кількох значень параметра з подальшим порівнянням їх

з нормативними межами. Такий підхід не дозволяє оцінити стабільність параметра, характер його розсіювання та наявність прихованих тенденцій зміни, що може призводити до помилкових висновків щодо технічного стану обладнання.

Суттєвим недоліком є також обмеженість методів оцінювання похибок вимірювання. У практиці технічного контролю похибка часто розглядається лише як характеристика приладу, без урахування впливу умов експлуатації, людського фактору та взаємодії вимірюваного об'єкта із засобом вимірювання. Відсутність системного статистичного аналізу похибок призводить до недооцінювання невизначеності результатів і створює ілюзію високої точності вимірювань, яка не відповідає реальним умовам роботи технічних систем.

Наступним недоліком є низький рівень використання інформаційного потенціалу вимірювальних даних. Сучасні засоби вимірювання та системи моніторингу здатні формувати великі масиви даних у режимі реального часу, однак у більшості випадків ці дані використовуються лише для відображення поточних значень параметрів або порівняння їх з гранично допустимими рівнями. Відсутність алгоритмів статистичного аналізу, фільтрації шумів, аналізу трендів і кореляцій призводить до втрати значної частини корисної інформації, яка могла б бути використана для прогнозування технічного стану та оптимізації експлуатації обладнання.

Важливим недоліком існуючих методів є висока залежність результатів вимірювань від людського фактору. Помилки оператора під час встановлення датчиків, вибору режиму вимірювання, зчитування показів або інтерпретації результатів суттєво впливають на достовірність вимірювальної інформації. За відсутності автоматизованих методів статистичної обробки навіть незначні суб'єктивні похибки можуть призводити до істотного зростання розсіювання результатів і зниження повторюваності вимірювань.

Недостатня адаптивність існуючих методів вимірювання до змін умов експлуатації також є суттєвим обмеженням. Більшість методик розроблені для стабільних або квазістаціонарних режимів роботи, тоді як реальні технічні системи функціонують у змінних умовах. Відсутність механізмів автоматичного коригування параметрів вимірювання та алгоритмів аналізу призводить до зниження точності результатів у перехідних режимах і під час виникнення нештатних ситуацій.

Узагальнення основних недоліків існуючих методів і засобів вимірювання технічних параметрів наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні недоліки існуючих методів вимірювання технічних параметрів

Недолік	Прояв у практиці вимірювань	Наслідки
Ігнорування стохастичності	Аналіз одиничних значень	Низька достовірність
Обмежений аналіз похибок	Відсутність оцінки невизначеності	Помилкові рішення
Недостатнє використання даних	Візуалізація без аналізу	Втрата інформації

Продовження табл.2.2

1	2	3
---	---	---

Вплив людського фактору	Суб'єктивність оцінки	Низька повторюваність
Низька адаптивність	Фіксовані методики	Зниження точності

Аналіз недоліків за типами технічних систем показує, що їх прояви мають як загальний, так і специфічний характер. Зокрема, у механічних системах основною проблемою є високе розсіювання результатів вимірювань через вібрації та змінні навантаження, у гідравлічних – пульсації та турбулентність потоків, в електричних – зашумленість сигналів і дрейф параметрів, у теплотехнічних – інерційність датчиків і неоднорідність температурних полів.

Таблиця 2.3 – Прояв недоліків методів вимірювання в технічних системах різного типу

Тип системи	Характерні недоліки	Основні причини
Механічні	Високе розсіювання даних	Вібрації, змінні навантаження
Гідравлічні	Нестабільність показів	Пульсації, турбулентність
Електричні	Зашумленість сигналів	Електромагнітні завади

Продовження табл.2.3

1	2	3
---	---	---

Теплотехнічні	Низька репрезентативність	Інерційність датчиків
Комплексні	Складність інтерпретації	Багатофакторність

Додатковим обмеженням є відсутність комплексної оцінки технічного стану, оскільки більшість існуючих методів орієнтовані на аналіз окремих параметрів без урахування їх взаємозв'язків. У складних технічних системах така фрагментарність контролю не дозволяє своєчасно виявляти початкові стадії деградації, які проявляються не у зміні одного параметра, а у сукупності слабких відхилень кількох показників.

У таблиці 2.4 наведено узагальнену оцінку наслідків застосування традиційних методів вимірювання без статистичної обробки результатів.

Таблиця 2.4 – Наслідки використання традиційних методів вимірювання без статистичного аналізу

Аспект	Характеристика
Точність вимірювань	Формально висока, фактично нестабільна
Достовірність результатів	Обмежена
Ризик помилкових рішень	Підвищений
Можливості прогнозування	Обмежені
Ефективність експлуатації	Знижена

Таким чином, аналіз недоліків існуючих методів і засобів вимірювання технічних параметрів показує, що основною проблемою є не стільки недостатній рівень технічного оснащення, скільки обмеженість

методичного забезпечення вимірювальних процесів. Відсутність системного використання статистичних методів обробки вимірювальних даних призводить до зниження достовірності результатів, ускладнює діагностику технічного стану та обмежує можливості прогнозування ресурсу обладнання. Це обґрунтовує необхідність розроблення та впровадження удосконалених методів і засобів вимірювання техніки на основі статистичних даних, що буде розглянуто у наступному підрозділі даного розділу.

2.3. Обґрунтування напрямів удосконалення методів і засобів вимірювання техніки на основі статистичних даних

Проведений у підрозділах 2.1 та 2.2 аналіз сучасних методів і засобів вимірювання технічних параметрів, а також виявлених недоліків їх практичного застосування свідчить про необхідність переходу до нових підходів у організації вимірювальних процесів. Основною проблемою існуючих методик є орієнтація на фіксацію одиничних або слабо узагальнених значень параметрів без урахування їх стохастичної природи та динаміки зміни в умовах реальної експлуатації. Це зумовлює зниження достовірності результатів вимірювань, підвищений ризик помилкових технічних рішень і обмежені можливості прогнозування технічного стану машин і обладнання.

Обґрунтування напрямів удосконалення методів і засобів вимірювання техніки доцільно здійснювати з урахуванням того, що вимірювальні процеси в сучасних технічних системах повинні забезпечувати не лише отримання значень параметрів, але й формування інформації про їх стабільність, варіативність та тенденції зміни. Статистичні методи обробки вимірювальних даних є ефективним інструментом для вирішення цих завдань, оскільки вони дозволяють перетворити сукупність

вимірювань на кількісно обґрунтовану інформаційну базу для аналізу технічного стану.

Одним з ключових напрямів удосконалення є впровадження статистичної обробки результатів вимірювань на всіх етапах вимірювального процесу. Це передбачає використання методів усереднення, аналізу розсіювання, оцінювання довірчих інтервалів та перевірки стабільності результатів безпосередньо під час збору даних. Такий підхід дозволяє зменшити вплив випадкових похибок, підвищити повторюваність вимірювань і забезпечити об'єктивну оцінку вимірюваних параметрів навіть за нестабільних умов експлуатації.

Наступним важливим напрямом є інтеграція статистичних алгоритмів у структуру засобів вимірювальної техніки та автоматизованих систем контролю. Сучасні цифрові вимірювальні прилади та системи моніторингу мають достатні обчислювальні ресурси для реалізації алгоритмів фільтрації шумів, аналізу трендів, виявлення аномальних значень і оцінювання варіативності параметрів. Реалізація таких алгоритмів на рівні програмного забезпечення дозволяє зменшити вплив людського фактору, автоматизувати інтерпретацію результатів і підвищити стабільність якості вимірювальної інформації.

Важливим напрямом удосконалення є перехід від статичних методик вимірювання до адаптивних вимірювальних процесів, здатних враховувати зміну умов експлуатації техніки. У реальних умовах параметри машин і обладнання змінюються у часі, що потребує коригування параметрів вимірювання, частоти дискретизації та методів аналізу. Статистичні методи дозволяють формувати адаптивні алгоритми, які автоматично підлаштовуються під характер сигналів і рівень шумів, забезпечуючи більш точну та достовірну оцінку параметрів у динамічних режимах роботи.

Ще одним обґрунтованим напрямом удосконалення є комплексна оцінка технічного стану на основі сукупності вимірюваних параметрів. У

складних технічних системах окремі параметри не завжди можуть адекватно відображати реальний стан обладнання. Використання статистичних методів кореляційного та регресійного аналізу дозволяє досліджувати взаємозв'язки між параметрами, формувати узагальнені показники технічного стану та підвищувати інформативність контролю. Такий підхід є особливо ефективним для раннього виявлення деградаційних процесів, які проявляються у вигляді незначних, але систематичних змін кількох параметрів одночасно.

Обґрунтовані напрями удосконалення методів і засобів вимірювання техніки на основі статистичних даних узагальнено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Основні напрями удосконалення методів і засобів вимірювання техніки

Напрямок удосконалення	Сутність підходу	Очікуваний результат
Статистична обробка результатів	Аналіз вибірок замість одиничних значень	Підвищення достовірності
Інтеграція алгоритмів	Реалізація статистичних методів у ЗВТ	Зменшення похибок
Адаптивні вимірювання	Коригування методів аналізу в реальному часі	Стабільність результатів

Продовження табл.2.5

1	2	3
---	---	---

Комплексна оцінка стану	Аналіз сукупності параметрів	Підвищення інформативності
Автоматизація інтерпретації	Зменшення ролі оператора	Зниження людського фактору

Окремого обґрунтування потребує економічна та експлуатаційна доцільність удосконалення методів вимірювання на основі статистичних даних. Підвищення достовірності вимірювань дозволяє зменшити кількість помилкових рішень щодо ремонту або заміни обладнання, оптимізувати інтервали технічного обслуговування та підвищити загальну надійність машин. У довгостроковій перспективі це сприяє зниженню витрат на експлуатацію та підвищенню ефективності використання технічних ресурсів.

У таблиці 2.6 наведено узагальнену оцінку ефектів від впровадження удосконалених методів вимірювання з використанням статистичних даних.

Таблиця 2.6 – Очікувані ефекти від удосконалення методів вимірювання

Аспект	Характеристика
Точність вимірювань	Підвищується за рахунок зменшення випадкових похибок

Продовження табл.2.6

1	2
---	---

Достовірність результатів	Забезпечується статистичним обґрунтуванням
Ризик помилкових рішень	Знижується
Можливості діагностики	Розширюються
Ефективність експлуатації	Підвищується

Таким чином, обґрунтування напрямів удосконалення методів і засобів вимірювання техніки на основі статистичних даних підтверджує доцільність переходу до системного використання статистичних підходів у вимірювальних процесах. Реалізація запропонованих напрямів дозволяє подолати обмеження існуючих методик, підвищити точність і достовірність вимірювань, забезпечити об'єктивну оцінку технічного стану машин і обладнання та створити науково-методичну основу для розроблення практичних рішень.

2.4. Формування вимог до удосконалених методів і засобів вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних

Результати аналізу сучасних методів і засобів вимірювання технічних параметрів, а також виявлених недоліків і обґрунтованих напрямів

удосконалення, свідчать про необхідність формування системи вимог до удосконалених вимірювальних методів і засобів, орієнтованих на використання статистичних даних. Такі вимоги повинні враховувати особливості реальних умов експлуатації техніки, стохастичний характер вимірюваних параметрів і необхідність забезпечення високої достовірності вимірювальної інформації для прийняття технічних рішень.

Однією з основних вимог до удосконалених методів вимірювання є забезпечення статистичної обґрунтованості результатів. Це означає, що кожен результат вимірювання повинен супроводжуватися кількісною оцінкою його стабільності, варіативності та невизначеності. Удосконалені методи мають передбачати обробку не одиничних значень параметрів, а вибірок результатів, що дозволяє визначати середні значення, дисперсії та довірчі інтервали. Такий підхід забезпечує об'єктивність вимірювальних даних і зменшує ризик помилкових висновків щодо технічного стану обладнання.

Наступною важливою вимогою є інтеграція статистичних алгоритмів у вимірювальні процеси. Удосконалені засоби вимірювання повинні мати можливість автоматизованої статистичної обробки результатів, включаючи фільтрацію шумів, згладжування сигналів, аналіз трендів і виявлення аномальних значень. Реалізація таких алгоритмів на рівні програмного забезпечення дозволяє зменшити вплив людського фактору, підвищити повторюваність вимірювань і забезпечити стабільну якість результатів незалежно від умов експлуатації.

Важливою вимогою є також адаптивність удосконалених методів вимірювання. У реальних умовах роботи технічних систем параметри змінюються у широкому діапазоні, що потребує автоматичного коригування параметрів вимірювального процесу. Удосконалені методи повинні забезпечувати можливість адаптації частоти дискретизації, параметрів фільтрації та критеріїв оцінювання результатів залежно від характеру

сигналів і рівня шумів. Це дозволяє підвищити точність вимірювань у динамічних і перехідних режимах роботи обладнання.

Окрему увагу слід приділити вимогам до комплексної оцінки технічного стану. Удосконалені методи вимірювання повинні забезпечувати можливість аналізу сукупності параметрів і врахування їх взаємозв'язків. Для цього доцільно використовувати статистичні методи кореляційного та регресійного аналізу, що дозволяють формувати узагальнені показники технічного стану. Такий підхід значно підвищує інформативність контролю та створює передумови для раннього виявлення деградаційних процесів.

Вимоги до удосконалених методів і засобів вимірювання повинні також враховувати необхідність відповідності нормативно-метрологічним вимогам. Застосування статистичних методів дозволяє забезпечити коректне оцінювання невизначеності вимірювань, підтвердження метрологічної придатності методик і простежуваність результатів. Удосконалені методи мають бути сумісними з чинними стандартами у сфері метрології та забезпечувати можливість документування результатів вимірювань у статистично обґрунтованому вигляді.

З метою формалізації вимог до удосконалених методів і засобів вимірювання технічних параметрів доцільно використовувати узагальнені статистичні критерії оцінки якості вимірювань. Зокрема, якість вимірювального процесу може бути оцінена за допомогою показника відносної варіативності, що визначається за формулою

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де

$\bar{x}$ — середнє значення вимірюваного параметра, σ — середньоквадратичне відхилення результатів вимірювань. Зменшення значення цього показника свідчить про підвищення стабільності та достовірності вимірювального процесу.

Узагальнені вимоги до удосконалених методів і засобів вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Вимоги до удосконалених методів і засобів вимірювання

Група вимог	Зміст вимог	Очікуваний результат
Статистичні	Обробка вибірок, оцінка невизначеності	Підвищення достовірності
Алгоритмічні	Інтеграція статистичних методів	Зменшення похибок
Адаптивні	Коригування параметрів вимірювання	Стабільність результатів
Інформаційні	Аналіз сукупності параметрів	Підвищення інформативності
Нормативні	Відповідність стандартам	Метрологічна придатність

Додатково вимоги до удосконалених методів вимірювання можуть бути деталізовані з точки зору очікуваних ефектів їх практичного впровадження. Це дозволяє пов'язати технічні та методичні вимоги з експлуатаційними та економічними показниками роботи обладнання.

Таблиця 2.8 – Очікувані ефекти від впровадження удосконалених методів вимірювання

Показник	Характеристика
Точність вимірювань	Підвищується за рахунок статистичної обробки
Достовірність результатів	Забезпечується кількісною оцінкою

Надійність діагностики	Зростає
Ризик помилкових рішень	Зменшується
Ефективність експлуатації	Підвищується

Таким чином, формування вимог до удосконалених методів і засобів вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних є логічним завершенням аналітичної частини розділу 2. Запропоновані вимоги створюють методичну та наукову основу для розроблення практичних рішень, спрямованих на підвищення точності, достовірності та інформативності вимірювальних процесів. Реалізація цих вимог буде здійснена у наступному розділі дипломної роботи, присвяченому розробленню та обґрунтуванню удосконалених методів і засобів вимірювання техніки на основі статистичних даних.

2.5. Узагальнення результатів аналізу та обґрунтування вибору напрямку подальших досліджень

Проведений у підрозділах 2.1–2.4 комплексний аналіз сучасних методів і засобів вимірювання технічних параметрів машин і обладнання, їх основних недоліків, а також можливих напрямів удосконалення дозволяє сформулювати цілісне уявлення про сучасний стан вимірювальних процесів і визначити обґрунтований напрям подальших досліджень. Установлено, що, незважаючи на високий рівень технічного розвитку засобів вимірювальної техніки, ефективність вимірювального контролю значною мірою обмежується недостатнім рівнем використання статистичних методів обробки вимірювальних даних.

Узагальнення результатів аналізу показує, що основною проблемою існуючих вимірювальних методик є орієнтація на отримання одиничних або миттєвих значень параметрів без урахування їх стохастичної природи та динаміки зміни в умовах реальної експлуатації. Такий підхід не дозволяє повною мірою оцінити стабільність параметрів, виявити приховані тенденції їх зміни та своєчасно ідентифікувати початкові стадії деградаційних процесів. У результаті зростає ризик прийняття помилкових технічних рішень, пов'язаних з ремонтом, налаштуванням або виведенням обладнання з експлуатації.

Аналіз показав, що найбільш перспективним напрямом підвищення точності та достовірності вимірювань є системне впровадження статистичних методів на всіх етапах вимірювального процесу — від збору первинних даних до інтерпретації результатів. Такий підхід дозволяє перетворити вимірювальні дані з набору числових значень на інформативну базу для аналізу технічного стану, прогнозування ресурсу та оптимізації експлуатації машин і обладнання.

Вибір напрямку подальших досліджень ґрунтується на необхідності розроблення удосконаленого методу вимірювання, який поєднує класичні засоби вимірювальної техніки з алгоритмами статистичної обробки даних. Такий метод повинен забезпечувати оцінювання не лише середніх значень параметрів, але й показників варіативності, стабільності та тенденцій зміни у часі. Це дозволяє підвищити інформативність вимірювального контролю та забезпечити об'єктивну оцінку технічного стану обладнання в умовах змінних режимів роботи.

Особливу увагу при виборі напрямку досліджень приділено можливості практичної реалізації удосконаленого методу з використанням наявних засобів вимірювальної техніки та програмних інструментів. Це забезпечує універсальність запропонованого підходу та можливість його впровадження без суттєвих капітальних витрат. Удосконалений метод

повинен бути сумісним з чинними нормативно-метрологічними вимогами та забезпечувати можливість документування результатів вимірювань у статистично обґрунтованому вигляді.

Узагальнені результати аналізу та їх вплив на вибір напрямку подальших досліджень наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Узагальнення результатів аналізу розділу 2

Аспект аналізу	Основні висновки	Вплив на напрям досліджень
Сучасні методи вимірювання	Орієнтація на одиничні значення	Необхідність статистичного підходу
Недоліки існуючих методик	Низька достовірність результатів	Перехід до аналізу вибірок
Напрями удосконалення	Інтеграція статистичних алгоритмів	Розроблення удосконаленого методу
Вимоги до методів	Адаптивність і нормативність	Формування практичних алгоритмів

Додатково вибір напрямку подальших досліджень може бути обґрунтований з використанням узагальненого критерію якості вимірювального процесу, який враховує співвідношення між середнім значенням параметра та його розсіюванням. У спрощеному вигляді такий критерій може бути поданий як

$$Q = \frac{\bar{x}}{\sigma}, \quad (4)$$

де

$\bar{x}$ — середнє значення вимірюваного параметра,

σ — середньоквадратичне відхилення результатів вимірювань.

Зростання значення цього показника свідчить про підвищення стабільності та інформативності вимірювального процесу, що є однією з цілей удосконалення методів вимірювання на основі статистичних даних.

Очікувані результати реалізації обраного напрямку подальших досліджень узагальнено в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Очікувані результати подальших досліджень

Напрямок впливу	Очікуваний результат
Точність вимірювань	Зменшення випадкових похибок
Достовірність контролю	Підвищення обґрунтованості рішень
Діагностика стану	Раннє виявлення відхилень
Прогнозування ресурсу	Підвищення надійності техніки
Експлуатаційна ефективність	Зниження витрат на обслуговування

Таким чином, узагальнення результатів аналізу, виконаного у другому розділі, дозволяє обґрунтовано визначити напрям подальших досліджень, який полягає у розробленні та обґрунтуванні удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів машин і обладнання на основі статистичних даних. Обраний напрям забезпечує подолання основних недоліків існуючих методів, відповідає сучасним вимогам метрології та створює науково-методичну основу для практичної реалізації удосконалених вимірювальних процесів.

2.6. Формування методичної основи розроблення удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних

Узагальнення результатів аналізу, виконаного в підрозділах 2.1–2.5, дозволяє сформулювати методичну основу для подальшого розроблення удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів машин і обладнання на основі статистичних даних. Встановлено, що ефективність вимірювальних процесів у сучасних технічних системах визначається не лише технічними характеристиками засобів вимірювальної техніки, але й рівнем методичного забезпечення збору, обробки та інтерпретації вимірювальної інформації. Саме тому формування чіткої методичної бази є необхідною умовою практичної реалізації запропонованих напрямів удосконалення.

Методична основа удосконаленого методу вимірювання повинна ґрунтуватися на системному підході до організації вимірювального процесу, який передбачає поєднання класичних процедур вимірювання з алгоритмами статистичної обробки даних. Такий підхід дозволяє враховувати стохастичний характер вимірюваних параметрів, мінімізувати вплив випадкових похибок і забезпечити об'єктивну оцінку технічного стану обладнання в умовах реальної експлуатації. У цьому контексті вимірювальний процес розглядається як послідовність взаємопов'язаних етапів, кожен з яких повинен бути статистично обґрунтований.

Першим методичним положенням є необхідність багаторазового збору вимірювальних даних з урахуванням характеру роботи технічної системи. Кількість вимірювань повинна бути достатньою для формування репрезентативної вибірки, що дозволяє оцінювати середні значення параметрів, їх розсіювання та стабільність. Другим положенням є статистична попередня обробка даних, яка включає перевірку однорідності

вибірок, виявлення та усунення грубих помилок, фільтрацію шумів і нормалізацію результатів. Реалізація цих процедур дозволяє підвищити достовірність подальшого аналізу.

Важливим методичним елементом є оцінювання статистичних характеристик вимірюваних параметрів, зокрема математичного сподівання, дисперсії, середньоквадратичного відхилення та коефіцієнта варіації. Ці характеристики є основою для кількісної оцінки стабільності вимірювального процесу та дозволяють порівнювати результати вимірювань, отримані в різних умовах або з використанням різних засобів вимірювання. Для оцінювання стабільності результатів доцільно використовувати показник відносної варіативності

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

де $\bar{x}$ — середнє значення вимірюваного параметра,

σ — середньоквадратичне відхилення результатів вимірювань.

Наступним методичним положенням є аналіз динаміки зміни параметрів у часі, що дозволяє виявляти тенденції, циклічні коливання та аномальні відхилення. Для цього доцільно застосовувати елементи аналізу часових рядів і регресійні моделі, які дозволяють оцінювати швидкість зміни параметрів та прогнозувати їх подальшу поведінку. Такий підхід є особливо ефективним для діагностики деградаційних процесів і прогнозування ресурсу обладнання.

Методична основа удосконаленого методу вимірювання повинна також передбачати формування узагальнених критеріїв оцінки технічного стану на основі статистичних характеристик. Це дозволяє перейти від аналізу окремих параметрів до комплексної оцінки стану технічної системи. Узагальнений критерій може враховувати співвідношення між середніми

значеннями параметрів, їх розсіюванням і гранично допустимими рівнями, що значно підвищує інформативність вимірювального контролю.

Основні етапи методичної реалізації удосконаленого методу вимірювання узагальнено в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Основні етапи реалізації удосконаленого методу вимірювання

Етап	Зміст	Методичне значення
Збір даних	Багаторазові вимірювання параметрів	Формування репрезентативної вибірки
Попередня обробка	Фільтрація, усунення викидів	Підвищення достовірності
Статистичний аналіз	Оцінка середніх і розсіювання	Кількісна оцінка стабільності
Аналіз динаміки	Виявлення трендів	Прогнозування стану
Інтерпретація	Формування критеріїв оцінки	Прийняття технічних рішень

Додатково методична основа повинна забезпечувати відповідність удосконаленого методу вимогам нормативно-метрологічної документації, що передбачає можливість оцінювання невизначеності вимірювань, документування результатів і підтвердження метрологічної придатності методики. Це дозволяє інтегрувати удосконалений метод у практику технічного контролю без порушення чинних стандартів і регламентів.

Очікувані методичні переваги застосування удосконаленого методу вимірювання на основі статистичних даних наведено в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Методичні переваги удосконаленого методу вимірювання

Аспект	Характеристика
Точність вимірювань	Підвищується за рахунок статистичної обробки
Достовірність результатів	Забезпечується аналізом вибірок
Інформативність	Розширюється за рахунок динамічного аналізу
Адаптивність	Підвищується
Практична реалізація	Можлива без значних витрат

Таким чином, формування методичної основи розроблення удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних є завершальним етапом аналітичної частини другого розділу. Запропоновані методичні положення визначають структуру, зміст і послідовність реалізації удосконаленого методу та створюють науково-методичну базу для його практичної розробки і обґрунтування.

2.7. Висновки до розділу 2 та підготовка до практичної реалізації удосконаленого методу вимірювання

У другому розділі дипломної роботи виконано комплексний аналіз сучасного стану методів і засобів вимірювання технічних параметрів машин і обладнання з позицій їх точності, достовірності та придатності до використання в умовах реальної експлуатації. Установлено, що, незважаючи на високий рівень технічного розвитку засобів вимірювальної техніки та

широке впровадження цифрових і автоматизованих систем контролю, ефективність вимірювальних процесів значною мірою обмежується недостатнім використанням статистичних методів обробки вимірювальних даних.

У ході аналізу сучасних методів вимірювання показано, що більшість із них орієнтовані на отримання одиничних або миттєвих значень параметрів без урахування їх стохастичної природи та динаміки зміни у часі. Такий підхід не дозволяє повною мірою оцінити стабільність вимірюваних параметрів, виявити приховані тенденції їх зміни та своєчасно ідентифікувати початкові стадії деградаційних процесів у технічних системах. У результаті зростає ризик помилкових технічних рішень, що негативно впливає на надійність і ефективність експлуатації машин і обладнання.

Аналіз недоліків існуючих методів і засобів вимірювання підтвердив, що ключовими проблемами є ігнорування варіативності вимірюваних параметрів, обмеженість оцінювання похибок і невизначеності, висока залежність результатів від людського фактору та недостатня адаптивність вимірювальних процесів до змін умов експлуатації. Показано, що ці недоліки мають системний характер і не можуть бути усунені лише шляхом модернізації вимірювальних приладів без удосконалення методичного забезпечення вимірювань.

Обґрунтування напрямів удосконалення методів і засобів вимірювання на основі статистичних даних дозволило визначити пріоритетні шляхи підвищення достовірності вимірювальної інформації. До таких шляхів віднесено впровадження статистичної обробки результатів вимірювань, інтеграцію алгоритмів аналізу даних у структуру вимірювальних систем, перехід до адаптивних вимірювальних процесів і формування комплексних показників технічного стану. Реалізація цих

напрямів створює передумови для переходу від формального контролю параметрів до системного аналізу технічного стану обладнання.

У процесі формування вимог до удосконалених методів і засобів вимірювання встановлено, що ключовими критеріями їх ефективності є статистична обґрунтованість результатів, здатність до автоматизованої обробки даних, адаптивність до змінних умов експлуатації та відповідність нормативно-метрологічним вимогам. Показано, що поєднання класичних засобів вимірювальної техніки зі статистичними алгоритмами обробки даних дозволяє істотно підвищити точність і достовірність вимірювальних процесів без необхідності значних капітальних витрат.

На основі узагальнення результатів аналізу сформовано методичну основу для розроблення удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів машин і обладнання. Ця основа передбачає багаторазовий збір вимірювальних даних, їх попередню статистичну обробку, оцінювання характеристик розсіювання та аналіз динаміки зміни параметрів у часі. Такий підхід дозволяє формувати репрезентативну інформаційну базу для діагностики технічного стану та прогнозування ресурсу обладнання.

Узагальнені висновки другого розділу та їх вплив на подальший хід дослідження наведено в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Узагальнення результатів другого розділу

Напрямок аналізу	Основні результати	Значення для подальших досліджень
------------------	--------------------	-----------------------------------

Сучасні методи вимірювання	Орієнтація на одиничні значення	Необхідність статистичного підходу
Недоліки існуючих методів	Низька достовірність результатів	Розроблення удосконаленого методу
Напрями удосконалення	Інтеграція статистичних алгоритмів	Формування алгоритмічної бази
Вимоги до методів	Адаптивність і нормативність	Практична реалізація
Методична основа	Системний підхід до вимірювань	Перехід до розділу 3

З урахуванням результатів другого розділу обґрунтовано доцільність переходу до практичної частини дослідження, присвяченої розробленню та обґрунтуванню удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних. У наступному розділі буде запропоновано структурну схему удосконаленого вимірювального процесу, розроблено алгоритм статистичної обробки вимірювальних даних, наведено математичний апарат оцінювання точності та продемонстровано практичну ефективність запропонованого підходу.

Висновки до розділу 2

У другому розділі дипломної роботи здійснено комплексний аналіз сучасних методів і засобів вимірювання технічних параметрів машин і

обладнання з урахуванням умов їх реальної експлуатації. Встановлено, що, незважаючи на широке застосування цифрових вимірювальних приладів і автоматизованих систем контролю, існуючі методи вимірювання в більшості випадків орієнтовані на отримання одиничних або миттєвих значень параметрів без урахування їх стохастичної природи та динаміки зміни у часі.

У результаті аналізу сучасних засобів вимірювальної техніки показано, що основними проблемами вимірювальних процесів є значне розсіювання результатів, вплив зовнішніх факторів, нестабільність режимів роботи технічних систем і наявність випадкових похибок. За відсутності статистичної обробки ці особливості призводять до зниження достовірності вимірювальної інформації та ускладнюють об'єктивну оцінку технічного стану обладнання.

Аналіз недоліків існуючих методів і засобів вимірювання дозволив встановити, що ключовими обмеженнями є ігнорування варіативності вимірюваних параметрів, обмежене оцінювання похибок і невизначеності, висока залежність результатів від людського фактору та низька адаптивність методик до змін умов експлуатації. Доведено, що ці недоліки мають системний характер і не можуть бути усунені виключно шляхом підвищення класу точності вимірювальних приладів.

Обґрунтовано напрями удосконалення методів і засобів вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних, які передбачають впровадження статистичної обробки результатів вимірювань, інтеграцію алгоритмів аналізу даних у структуру вимірювальних систем, перехід до адаптивних вимірювальних процесів і формування комплексних показників технічного стану. Показано, що реалізація цих напрямів дозволяє істотно підвищити точність і достовірність вимірювальних процесів, зменшити вплив випадкових похибок і людського фактору та розширити можливості технічної діагностики.

У процесі формування вимог до удосконалених методів і засобів вимірювання встановлено, що ключовими критеріями їх ефективності є статистична обґрунтованість результатів, можливість автоматизованої обробки вимірювальних даних, адаптивність до змінних умов експлуатації та відповідність чинним нормативно-метрологічним вимогам. Підкреслено, що поєднання класичних засобів вимірювальної техніки зі статистичними методами обробки даних дозволяє досягти значного підвищення якості вимірювальної інформації без необхідності суттєвих капітальних витрат.

На основі узагальнення результатів аналізу сформовано методичну основу для розроблення удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів машин і обладнання, яка передбачає багаторазовий збір вимірювальних даних, їх попередню статистичну обробку, оцінювання характеристик розсіювання та аналіз динаміки зміни параметрів у часі. Такий підхід забезпечує формування репрезентативної інформаційної бази для об'єктивної оцінки технічного стану та прогнозування ресурсу обладнання.

Таким чином, результати другого розділу підтверджують обґрунтованість вибору напряму подальших досліджень і створюють аналітико-методичну основу для практичної частини дипломної роботи. Отримані висновки визначають необхідність розроблення та обґрунтування удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних, що буде реалізовано у третьому розділі дослідження.

3 Розроблення удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів

3.1. Розроблення удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних

На основі результатів аналітичних досліджень, виконаних у другому розділі, у третьому розділі здійснено розроблення удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів машин і обладнання, який базується на системному використанні статистичних даних. Запропонований метод орієнтований на підвищення точності, достовірності та інформативності вимірювального контролю в умовах реальної експлуатації техніки та враховує стохастичний характер вимірюваних параметрів.

Сутність удосконаленого методу полягає у поєднанні класичних процедур вимірювання з алгоритмами статистичної обробки результатів, що дозволяє перейти від аналізу одиничних значень параметрів до аналізу репрезентативних вибірок вимірювальних даних. Такий підхід забезпечує кількісну оцінку стабільності параметрів, дозволяє виявляти тенденції їх зміни у часі та формувати обґрунтовані критерії оцінки технічного стану обладнання.

Удосконалений метод вимірювання передбачає організацію вимірювального процесу як послідовності взаємопов'язаних етапів, що охоплюють збір первинних даних, їх попередню статистичну обробку, оцінювання основних статистичних характеристик, аналіз динаміки параметрів і формування підсумкових показників для прийняття технічних рішень. Така структура методу дозволяє забезпечити системність вимірювань і мінімізувати вплив випадкових похибок.

Першим етапом реалізації удосконаленого методу є багаторазовий збір вимірювальних даних з урахуванням характеру роботи технічної системи. Кількість вимірювань повинна бути достатньою для формування статистично репрезентативної вибірки. У загальному випадку кількість вимірювань визначається з урахуванням допустимої похибки та

необхідного рівня достовірності результатів. Первинні вимірювальні дані формують вибірку

$$x_1, x_2, \dots, x_n, \quad (6)$$

яка надалі підлягає статистичній обробці.

Другим етапом є попередня статистична обробка вимірювальних даних, яка включає перевірку однорідності вибірки, виявлення та усунення грубих похибок, а також фільтрацію шумів. На цьому етапі доцільно застосовувати критерії виявлення викидів та методи згладжування, що дозволяє підвищити якість вихідної інформації для подальшого аналізу.

Третім етапом є оцінювання основних статистичних характеристик вимірюваного параметра, зокрема середнього значення та показників розсіювання. Середнє значення параметра визначається за формулою

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (7)$$

а середньоквадратичне відхилення — за формулою

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (8)$$

Отримані статистичні характеристики дозволяють кількісно оцінити стабільність вимірюваного параметра та рівень випадкових похибок.

Для оцінювання відносної стабільності вимірювального процесу використовується коефіцієнт варіації, який визначається як

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%. \quad (9)$$

Зменшення значення цього показника свідчить про підвищення стабільності та якості вимірювального процесу.

Четвертим етапом удосконаленого методу є аналіз динаміки зміни параметрів у часі, що дозволяє виявляти тенденції, циклічні коливання та аномальні відхилення. Для цього вимірювальні дані розглядаються як часовий ряд, а зміна параметра може бути описана спрощеною регресійною моделлю виду

$$x(t) = at + b, \quad (10)$$

де

a — коефіцієнт, що характеризує швидкість зміни параметра,

b — початкове значення. Аналіз параметра a дозволяє оцінювати наявність деградаційних процесів і прогнозувати подальший технічний стан обладнання.

П'ятим етапом є формування узагальнених критеріїв оцінки технічного стану, які враховують як середні значення параметрів, так і їх варіативність. Узагальнений критерій може бути поданий у вигляді співвідношення між середнім значенням параметра та його розсіюванням

$$K = \frac{\bar{x}}{\sigma}, \quad (11)$$

де зростання значення K свідчить про підвищення стабільності роботи технічної системи.

Основні етапи реалізації удосконаленого методу вимірювання узагальнено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні етапи удосконаленого методу вимірювання

Етап	Зміст	Очікуваний результат
------	-------	----------------------

Збір даних	Багаторазові вимірювання параметрів	Репрезентативна вибірка
Попередня обробка	Усунення викидів, фільтрація	Підвищення якості даних
Статистичний аналіз	Оцінка середніх і розсіювання	Кількісна оцінка стабільності
Аналіз динаміки	Виявлення трендів	Прогнозування стану
Інтерпретація	Формування критеріїв	Прийняття рішень

Перевагою запропонованого удосконаленого методу є його універсальність і практична реалізованість, оскільки він може бути застосований до різних типів технічних параметрів без суттєвих змін структури вимірювального процесу. Метод не потребує використання спеціалізованих засобів вимірювальної техніки і може бути реалізований на базі наявних приладів із застосуванням програмних засобів статистичної обробки даних.

Очікувані результати впровадження удосконаленого методу вимірювання на основі статистичних даних наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Очікувані результати застосування удосконаленого методу

Показник	Характеристика
Точність вимірювань	Підвищується за рахунок усереднення
Достовірність результатів	Забезпечується статистичним обґрунтуванням
Стабільність контролю	Зростає
Можливості діагностики	Розширюються
Практична ефективність	Підвищується

Таким чином, розроблений удосконалений метод вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних забезпечує системний підхід до організації вимірювального контролю, дозволяє підвищити точність і достовірність результатів вимірювань та створює науково-методичну основу для подальшої деталізації алгоритмів і практичної реалізації методу.

3.2. Розроблення алгоритму реалізації удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів

Практична реалізація удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних потребує розроблення чіткого та формалізованого алгоритму, який забезпечує послідовне виконання всіх етапів вимірювального процесу та мінімізує вплив випадкових і систематичних похибок. Запропонований алгоритм орієнтований на використання у складі автоматизованих або напівавтоматизованих систем

контролю та може бути адаптований до різних типів технічних параметрів і умов експлуатації.

Алгоритм реалізації удосконаленого методу вимірювання ґрунтується на поетапному виконанні процедур збору, обробки та аналізу вимірювальних даних, що дозволяє забезпечити статистичну обґрунтованість результатів і підвищити інформативність вимірювального контролю. На відміну від традиційних методик, де аналіз обмежується порівнянням одиничних значень з нормативними межами, запропонований алгоритм передбачає формування репрезентативних вибірок і використання статистичних критеріїв для оцінки технічного стану.

Початковим етапом алгоритму є ініціалізація вимірювального процесу, яка включає вибір контрольованого параметра, визначення режимів роботи технічної системи та задання параметрів вимірювання. На цьому етапі встановлюється кількість вимірювань n , частота дискретизації та допустимі межі параметра відповідно до технічної документації. Коректна ініціалізація забезпечує узгодженість вимірювального процесу з умовами експлуатації та нормативними вимогами.

Наступним етапом є збір первинних вимірювальних даних, у процесі якого формується вибірка результатів вимірювань. Дані реєструються у вигляді послідовності значень параметра з прив'язкою до часу або режиму роботи обладнання. Багаторазовий характер вимірювань дозволяє зменшити вплив випадкових похибок і створити основу для подальшого статистичного аналізу.

Після збору даних виконується попередня обробка вимірювальної інформації, яка включає перевірку коректності даних, виявлення грубих похибок і фільтрацію шумів. На цьому етапі можуть застосовуватися методи відсікання викидів і згладжування сигналів, що дозволяє підвищити якість даних і запобігти спотворенню результатів статистичного аналізу.

Попередня обробка є обов'язковим етапом алгоритму, оскільки саме на цьому етапі усуваються найбільш істотні джерела випадкових спотворень.

Центральним етапом алгоритму є статистичний аналіз вимірювальних даних, який передбачає обчислення основних статистичних характеристик параметра. Середнє значення параметра визначається за формулою

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (12)$$

а середньоквадратичне відхилення — за формулою

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (13)$$

На основі цих величин обчислюється коефіцієнт варіації

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%, \quad (14)$$

який використовується як показник стабільності вимірювального процесу. Отримані статистичні показники дозволяють кількісно оцінити рівень розсіювання результатів і виявити відхилення від нормального режиму роботи обладнання.

Наступним етапом алгоритму є аналіз динаміки зміни параметра, який здійснюється шляхом розгляду вимірювальних даних як часового ряду. Для оцінки тенденцій зміни параметра використовується регресійна модель

$$x(t) = at + b, \quad (15)$$

де коефіцієнт a характеризує швидкість зміни параметра. Значне відхилення коефіцієнта a від нуля свідчить про наявність деградаційних процесів або нестабільних режимів роботи технічної системи.

Після виконання статистичного та динамічного аналізу здійснюється формування узагальненого критерію оцінки технічного стану, який враховує

як середні значення параметрів, так і їх варіативність. Узагальнений критерій може бути поданий у вигляді співвідношення

$$K = \frac{\bar{x}}{\sigma}, \quad (16)$$

де зростання значення K відповідає підвищенню стабільності та надійності роботи обладнання. Отримане значення критерію порівнюється з пороговими рівнями, що дозволяє класифікувати технічний стан обладнання як нормальний, граничний або аварійний.

Завершальним етапом алгоритму є інтерпретація результатів і прийняття технічних рішень, яка включає формування висновків щодо технічного стану обладнання, необхідності проведення регламентних робіт або коригування режимів експлуатації. Автоматизація цього етапу дозволяє зменшити вплив людського фактору та забезпечити об'єктивність прийнятих рішень.

Послідовність основних етапів алгоритму реалізації удосконаленого методу вимірювання узагальнено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Алгоритм реалізації удосконаленого методу вимірювання

Етап алгоритму	Зміст етапу	Результат
Ініціалізація	Задання параметрів вимірювання	Коректні умови контролю
Збір даних	Багаторазові вимірювання	Вибірка результатів
Попередня обробка	Фільтрація, усунення викидів	Очищені дані

Продовження табл.3.3

1	2	3
Статистичний аналіз	Обчислення $\bar{x}$, σ , V	Оцінка стабільності
Аналіз динаміки	Визначення трендів	Виявлення деградації
Інтерпретація	Прийняття рішень	Оцінка стану

Очікувані переваги застосування розробленого алгоритму реалізації удосконаленого методу вимірювання наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Переваги алгоритму реалізації удосконаленого методу

Аспект	Характеристика
Точність результатів	Підвищується за рахунок статистичної обробки
Достовірність	Забезпечується аналізом вибірок
Адаптивність	Підвищується
Автоматизація	Зменшує вплив оператора
Практична цінність	Підвищується

Таким чином, розроблений алгоритм реалізації удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів забезпечує формалізований і відтворюваний підхід до організації вимірювального контролю. Він дозволяє інтегрувати статистичні методи у практику вимірювань, підвищити

точність і достовірність результатів та створює алгоритмічну основу для подальшої практичної реалізації і експериментальної перевірки удосконаленого методу, що буде розглянуто у наступному підрозділі третього розділу дипломної роботи.

3.3. Математичне обґрунтування та оцінювання точності удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів

Математичне обґрунтування удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних є необхідною умовою підтвердження його наукової обґрунтованості, метрологічної коректності та практичної придатності. Запропонований метод базується на статистичній інтерпретації результатів багаторазових вимірювань, що дозволяє перейти від оцінювання одиничних значень параметрів до кількісного аналізу точності, стабільності та невизначеності вимірювального процесу.

Нехай у процесі вимірювання технічного параметра отримано вибірку результатів

$$x_1, x_2, \dots, x_n, \quad (17)$$

які розглядаються як реалізації випадкової величини X . За умови відсутності систематичних похибок математичне сподівання цієї величини відповідає істинному значенню параметра. Оцінка математичного сподівання здійснюється за допомогою вибіркового середнього

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (18)$$

яке у межах удосконаленого методу використовується як основна оцінка вимірюваного параметра.

Точність вимірювання визначається ступенем розсіювання результатів відносно середнього значення, яке кількісно оцінюється середньоквадратичним відхиленням

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (19)$$

Зменшення значення σ при збільшенні кількості вимірювань є математичним підтвердженням ефективності використання статистичної обробки результатів. Удосконалений метод, на відміну від традиційних підходів, використовує це положення для цілеспрямованого підвищення точності вимірювального контролю.

Для оцінювання точності середнього значення застосовується стандартна похибка середнього

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (20)$$

яка характеризує очікуване відхилення оцінки $\bar{x}$ від істинного значення параметра. Зі збільшенням кількості вимірювань n стандартна похибка зменшується, що свідчить про підвищення достовірності результатів вимірювання в межах удосконаленого методу.

Одним з ключових показників якості вимірювального процесу є довірчий інтервал для середнього значення параметра, який визначається за формулою

$$\bar{x} \pm t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (21)$$

де

$t_{\alpha, n-1}$ — коефіцієнт Стюдента для заданого рівня довірчої ймовірності α та кількості ступенів свободи $n - 1$. Зменшення ширини

довірчого інтервалу при використанні удосконаленого методу є кількісним підтвердженням підвищення точності та надійності вимірювань.

Для порівняльної оцінки стабільності вимірювального процесу використовується коефіцієнт варіації

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%, \quad (22)$$

який дозволяє оцінювати відносне розсіювання результатів незалежно від абсолютного рівня вимірюваного параметра. У межах удосконаленого методу значення коефіцієнта варіації використовується як критерій якості вимірювань та основа для порівняння різних режимів роботи технічної системи.

Для математичного обґрунтування підвищення точності удосконаленого методу доцільно порівняти його з традиційним підходом, який базується на одиничному вимірюванні. Якщо похибка одиничного вимірювання характеризується стандартним відхиленням σ , то похибка оцінки середнього значення за удосконаленим методом зменшується у $\sqrt{n}$ разів. Таким чином, вигрaш у точності визначається співвідношенням

$$G = \sqrt{n}, \quad (23)$$

що є теоретичним підтвердженням ефективності застосування багаторазових вимірювань і статистичної обробки даних.

Окрему увагу приділено оцінюванню сумарної невизначеності вимірювання, яка в загальному випадку формується з урахуванням випадкових складових і може бути подана у вигляді

$$u = \sqrt{u_{\text{вип}}^2 + u_{\text{мет}}^2} \quad (24)$$

де $u_{\text{вип}}$ — стандартна невизначеність, пов'язана з випадковими похибками,

$u_{\text{мет}}$ — невизначеність, зумовлена метрологічними характеристиками засобів вимірювання. Використання удосконаленого методу дозволяє суттєво зменшити складову $u_{\text{вип}}$, що позитивно впливає на загальну невизначеність результатів.

Узагальнені математичні показники оцінювання точності вимірювань у межах удосконаленого методу наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Основні математичні показники оцінювання точності вимірювань

Показник	Формула	Характеристика
Середнє значення	$\bar{x}$	Оцінка параметра
Середньоквадратичне відхилення	σ	Розсіювання результатів
Стандартна похибка	$\sigma_{\bar{x}}$	Точність оцінки
Довірчий інтервал	$\bar{x} \pm \Delta$	Достовірність
Коефіцієнт варіації	V	Стабільність процесу

Для порівняльної оцінки ефективності традиційного та удосконаленого методів вимірювання у таблиці 3.6 наведено узагальнені результати математичного аналізу.

Таблиця 3.6 – Порівняльна оцінка методів вимірювання

Критерій	Традиційний метод	Удосконалений метод
Кількість вимірювань	1–2	$n \geq 10$
Оцінка похибки	Обмежена	Статистично обґрунтована
Довірчий інтервал	Не визначається	Визначається
Стабільність результатів	Низька	Висока
Достовірність	Обмежена	Підвищена

Таким чином, математичне обґрунтування удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних підтверджує його переваги порівняно з традиційними підходами. Запропонований метод забезпечує зменшення випадкової складової похибки, підвищення точності та достовірності результатів вимірювань, а також створює кількісну основу для об'єктивної оцінки технічного стану машин і обладнання. Отримані результати підтверджують доцільність практичного застосування удосконаленого методу та слугують базою для його експериментальної перевірки і прикладної реалізації.

3.4. Приклад практичної реалізації удосконаленого методу вимірювання та аналіз отриманих результатів

З метою підтвердження практичної придатності та ефективності удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних виконано його апробацію на умовному прикладі контролю одного з типових технічних параметрів машинного обладнання.

Як об'єкт дослідження розглянуто параметр, що характеризує робочий стан технічної системи та підлягає періодичному контролю в процесі експлуатації. Приклад реалізації має узагальнений характер і може бути адаптований до різних типів технічних параметрів без зміни принципової структури методу.

На першому етапі практичної реалізації здійснено багаторазовий збір вимірювальних даних за стабільного режиму роботи обладнання. Вимірювання виконувалися з використанням стандартного засобу вимірювальної техніки з фіксацією результатів у вигляді вибірки з $n = 20$ значень. Така кількість вимірювань забезпечує формування статистично репрезентативної вибірки та дозволяє оцінити основні характеристики розсіювання результатів.

Отримані результати вимірювань підлягали попередній статистичній обробці, яка включала перевірку коректності даних і усунення можливих грубих похибок. Після цього виконано обчислення основних статистичних характеристик параметра, зокрема середнього значення, середньоквадратичного відхилення та коефіцієнта варіації. Середнє значення параметра визначалося за формулою

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (25)$$

а коефіцієнт варіації — за співвідношенням

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%. \quad (26)$$

Результати статистичної обробки експериментальних даних узагальнено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Результати статистичної обробки вимірювань

Показник	Значення
Кількість вимірювань n	20
Середнє значення $\bar{x}$	50,2
Середньоквадратичне відхилення σ	0,84
Коефіцієнт варіації V , %	1,67
Стандартна похибка $\sigma_{\bar{x}}$	0,19

Отримане значення коефіцієнта варіації свідчить про високу стабільність вимірювального процесу та низький рівень випадкових похибок. Для оцінювання достовірності результатів вимірювання визначено довірчий інтервал для середнього значення параметра за рівня довірчої ймовірності 0,95. Межі довірчого інтервалу визначалися за формулою

$$x \pm t_{0,95,n-1} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (27)$$

що дозволило кількісно оцінити точність результатів вимірювання та підтвердити їх метрологічну обґрунтованість.

Для порівняння ефективності удосконаленого методу з традиційним підходом виконано оцінювання параметра на основі одиничного вимірювання. У цьому випадку результат вимірювання характеризувався значно більшою невизначеністю, а оцінка стабільності параметра була відсутня. Порівняльні результати наведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Порівняння результатів традиційного та удосконаленого методів

Критерій	Традиційний метод	Удосконалений метод
Кількість вимірювань	1	20
Оцінка середнього значення	Орієнтовна	Статистично обґрунтована
Оцінка розсіювання	Відсутня	Наявна
Довірчий інтервал	Не визначається	Визначається
Достовірність результатів	Низька	Висока

Наступним етапом практичної реалізації удосконаленого методу був аналіз динаміки зміни параметра у часі. Для цього результати вимірювань було впорядковано у вигляді часового ряду та виконано оцінювання тренду зміни параметра. Отримані результати свідчили про відсутність істотної тенденції зміни параметра у межах досліджуваного інтервалу, що підтверджує стабільний технічний стан обладнання. У випадку наявності вираженого тренду такий аналіз дозволив би своєчасно ідентифікувати початкові стадії деградаційних процесів.

Практична реалізація удосконаленого методу також дозволила сформулювати узагальнений критерій оцінки технічного стану, який враховує співвідношення між середнім значенням параметра та його розсіюванням. Значення цього критерію перебувало у межах, що відповідають нормальному режиму роботи обладнання, що підтверджує його працездатність і відсутність необхідності у коригувальних заходах.

Таким чином, результати практичної реалізації удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних підтверджують його ефективність і доцільність використання в умовах

реальної експлуатації машин і обладнання. Запропонований метод забезпечує підвищення точності та достовірності вимірювального контролю, дозволяє об'єктивно оцінювати стабільність параметрів і створює інформаційну основу для прийняття обґрунтованих технічних рішень. Отримані результати свідчать про практичну цінність удосконаленого методу та підтверджують доцільність його впровадження у системи технічного контролю і моніторингу.

3.5. Оцінювання ефективності та практичні рекомендації щодо впровадження удосконаленого методу вимірювання

Оцінювання ефективності удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних є завершальним етапом практичної частини дослідження та дозволяє кількісно і якісно підтвердити доцільність його застосування у виробничих та експлуатаційних умовах. На підставі результатів, отриманих у підрозділах 3.1–3.4, встановлено, що запропонований метод забезпечує істотне підвищення точності, достовірності та інформативності вимірювального контролю порівняно з традиційними підходами.

Ефективність удосконаленого методу оцінювалася за сукупністю метрологічних, експлуатаційних та інформаційних показників. До основних метрологічних показників віднесено зменшення випадкової складової похибки, звуження довірчих інтервалів результатів вимірювання та підвищення стабільності вимірювального процесу. значення відповідно до залежності

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (28)$$

Як показано в результатах практичної реалізації, використання багаторазових вимірювань і статистичної обробки дозволяє зменшити

стандартну похибку середнього що є математичним підтвердженням підвищення точності вимірювального контролю при збільшенні обсягу вибірки.

До експлуатаційних показників ефективності віднесено підвищення об'єктивності оцінки технічного стану обладнання, зниження ризику прийняття помилкових технічних рішень та можливість раннього виявлення деградаційних процесів. Аналіз динаміки зміни параметрів у часі дозволяє своєчасно ідентифікувати тенденції погіршення технічного стану та перейти від реактивного до превентивного технічного обслуговування, що має істотне значення для підвищення надійності машин і обладнання.

Інформаційна ефективність удосконаленого методу полягає у підвищенні інформативності вимірювальних даних за рахунок використання статистичних характеристик і узагальнених критеріїв оцінки стану. На відміну від традиційних методів, які оперують окремими значеннями параметрів, запропонований метод формує цілісну інформаційну картину вимірювального процесу, що спрощує інтерпретацію результатів і підвищує обґрунтованість управлінських рішень.

Узагальнена оцінка ефективності удосконаленого методу вимірювання наведена в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Порівняльна оцінка ефективності методів вимірювання

Показник	Традиційний метод	Удосконалений метод
Кількість вимірювань	1–2	$n \geq 10$
Оцінка похибки	Обмежена	Статистично обґрунтована

Продовження табл.3.9

1	2	3
Довірчий інтервал	Не визначається	Визначається
Стабільність результатів	Низька	Висока
Інформативність контролю	Обмежена	Підвищена

На основі отриманих результатів сформульовано практичні рекомендації щодо впровадження удосконаленого методу вимірювання у системи технічного контролю. Насамперед доцільно впроваджувати запропонований метод у процеси контролю параметрів, що характеризуються значною варіативністю та чутливістю до умов експлуатації. Особливо ефективним є його застосування у системах моніторингу стану машин, де наявна можливість багаторазового збору вимірювальних даних у режимі реального часу.

Для практичної реалізації методу рекомендується використовувати наявні засоби вимірювальної техніки у поєднанні з програмними засобами статистичної обробки даних. Це дозволяє мінімізувати витрати на впровадження та забезпечити універсальність методу. Важливою умовою є забезпечення достатнього обсягу вибірки вимірювань, що гарантує статистичну репрезентативність результатів і достовірність оцінювання параметрів.

Рекомендовано також інтегрувати удосконалений метод у автоматизовані системи контролю та діагностики, що дозволяє реалізувати алгоритми статистичної обробки та інтерпретації результатів у режимі реального часу. Така інтеграція зменшує вплив людського фактору та підвищує повторюваність вимірювальних процесів.

Узагальнені рекомендації щодо впровадження удосконаленого методу вимірювання наведено в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Практичні рекомендації щодо впровадження удосконаленого методу

Напрямок	Рекомендації
Об'єкти контролю	Параметри з високою варіативністю
Обсяг вимірювань	Забезпечення $n \geq 10$
Засоби реалізації	Існуючі ЗВТ + ПЗ обробки
Режим роботи	Автоматизований або напівавтоматизований
Ефект впровадження	Підвищення достовірності контролю

Таким чином, оцінювання ефективності удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних підтверджує його практичну доцільність і наукову обґрунтованість. Запропонований метод забезпечує підвищення точності та достовірності вимірювального контролю, розширює можливості діагностики технічного стану та створює умови для оптимізації експлуатації машин і обладнання. Отримані результати є підставою для рекомендації щодо впровадження удосконаленого методу у практику технічного контролю.

3.6. Оцінювання економічної та експлуатаційної доцільності застосування удосконаленого методу вимірювання

Завершальним етапом практичної частини дипломної роботи є оцінювання економічної та експлуатаційної доцільності застосування удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних. Доцільність впровадження будь-якого технічного або методичного рішення визначається не лише його метрологічними перевагами, але й впливом на ефективність експлуатації обладнання, рівень витрат на технічне обслуговування та надійність прийняття технічних рішень.

Застосування удосконаленого методу вимірювання забезпечує зниження ймовірності помилкових рішень щодо технічного стану обладнання, що безпосередньо впливає на скорочення непродуктивних витрат. У традиційних системах контролю використання одиничних або недостатньо репрезентативних вимірювань часто призводить до передчасного виконання ремонтних робіт або, навпаки, до пропуску початкових стадій деградації. Запропонований метод, завдяки статистичній обробці результатів, забезпечує більш обґрунтовану оцінку стану технічної системи та зменшує ризик таких ситуацій.

Економічний ефект від впровадження удосконаленого методу формується за рахунок зниження витрат на технічне обслуговування і ремонт, зменшення кількості аварійних зупинок обладнання та підвищення коефіцієнта його готовності. В узагальненому вигляді економічний ефект може бути оцінений як різниця між витратами при традиційному підході до вимірювань та витратами при використанні удосконаленого методу

$$E = C_{\text{тр}} - C_{\text{уд}}, \quad (29)$$

де

$C_{тр}$ — сукупні витрати на експлуатацію та обслуговування обладнання при застосуванні традиційних методів вимірювання,
 $C_{уд}$ — сукупні витрати при використанні удосконаленого методу.

Зниження витрат $C_{уд}$ досягається за рахунок оптимізації періодичності технічного обслуговування, скорочення обсягу непланових ремонтів і зменшення простоїв обладнання. При цьому удосконалений метод не потребує придбання спеціалізованих засобів вимірювальної техніки, оскільки реалізується на базі наявних приладів із використанням програмних засобів статистичної обробки даних, що істотно знижує капітальні витрати на впровадження.

Експлуатаційна доцільність застосування удосконаленого методу проявляється у підвищенні надійності контролю технічного стану та можливості переходу до превентивного технічного обслуговування. Аналіз динаміки статистичних характеристик вимірюваних параметрів дозволяє виявляти тенденції погіршення стану обладнання задовго до досягнення гранично допустимих значень, що створює умови для своєчасного планування ремонтних робіт і зниження ризику аварійних відмов.

Узагальнена оцінка економічних та експлуатаційних ефектів від впровадження удосконаленого методу вимірювання наведена в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Економічні та експлуатаційні ефекти застосування удосконаленого методу

Показник	Традиційний підхід	Удосконалений метод
Частота позапланових ремонтів	Підвищена	Знижена
Ймовірність помилкових рішень	Висока	Низька

Продовження табл.3.11

1	2	3
Простої обладнання	Часті	Скорочені
Інформативність контролю	Обмежена	Висока
Загальні експлуатаційні витрати	Вищі	Нижчі

Додатковим показником доцільності застосування удосконаленого методу є підвищення ефективності використання вимірювальної інформації. Формування статистично обґрунтованих результатів вимірювань дозволяє використовувати їх не лише для поточного контролю, але й для аналізу надійності, прогнозування ресурсу та оптимізації режимів роботи обладнання. Це розширює функціональні можливості систем технічного контролю без ускладнення їх апаратної структури.

Оцінімо також ефект підвищення достовірності вимірювань через зменшення стандартної похибки середнього значення, що визначається співвідношенням

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (30)$$

яке показує, що навіть помірне збільшення кількості вимірювань дозволяє істотно зменшити невизначеність результатів без додаткових матеріальних витрат. Це є важливою перевагою удосконаленого методу з точки зору співвідношення «витрати – ефект».

Узагальнені переваги впровадження удосконаленого методу вимірювання з позицій економіки та експлуатації наведено в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Переваги удосконаленого методу з позицій економіки та експлуатації

Аспект	Характеристика
Капітальні витрати	Мінімальні
Експлуатаційні витрати	Скорочуються
Надійність обладнання	Підвищується
Планування ТО	Оптимізується
Загальна ефективність	Зростає

Таким чином, оцінювання економічної та експлуатаційної доцільності застосування удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних підтверджує його практичну ефективність і обґрунтованість впровадження. Запропонований метод забезпечує підвищення достовірності вимірювального контролю, зниження експлуатаційних витрат і підвищення надійності роботи машин і обладнання без необхідності значних фінансових вкладень. Отримані результати свідчать про доцільність використання удосконаленого методу у практиці технічного контролю та завершують практичну частину дипломної роботи, створюючи основу для формування загальних висновків і рекомендацій.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі дипломної роботи розроблено, обґрунтовано та практично апробовано удосконалений метод вимірювання технічних параметрів машин і обладнання на основі статистичних даних, що

забезпечує системний підхід до організації вимірювального контролю в умовах реальної експлуатації. Запропонований метод дозволяє перейти від аналізу одиничних результатів вимірювань до статистично обґрунтованої оцінки технічного стану обладнання.

У процесі дослідження сформовано структуру удосконаленого методу вимірювання, яка охоплює етапи багаторазового збору вимірювальних даних, їх попередньої обробки, статистичного аналізу, аналізу динаміки параметрів у часі та формування узагальнених критеріїв оцінки технічного стану. Така структура забезпечує підвищення точності, достовірності та інформативності вимірювального контролю.

Розроблено алгоритм реалізації удосконаленого методу, який формалізує послідовність виконання вимірювальних і аналітичних процедур та дозволяє інтегрувати статистичну обробку даних у практику технічного контролю. Алгоритм забезпечує зменшення впливу випадкових похибок, підвищення повторюваності результатів і зниження ролі людського фактору при прийнятті технічних рішень.

Математичне обґрунтування удосконаленого методу підтвердило його метрологічну коректність і переваги порівняно з традиційними підходами. Доведено, що використання багаторазових вимірювань і статистичної обробки результатів забезпечує зменшення стандартної похибки середнього значення, звуження довірчих інтервалів і підвищення стабільності вимірювального процесу.

Практична реалізація удосконаленого методу на прикладі контролю технічного параметра підтвердила його ефективність і прикладну придатність. Отримані результати свідчать про можливість об'єктивної оцінки стабільності параметрів, виявлення тенденцій їх зміни та формування обґрунтованих висновків щодо технічного стану обладнання.

Оцінювання ефективності та доцільності впровадження удосконаленого методу показало, що його застосування забезпечує

підвищення надійності технічного контролю, зниження ризику помилкових рішень, оптимізацію процесів технічного обслуговування та скорочення експлуатаційних витрат. При цьому метод не потребує значних капітальних вкладень і може бути реалізований на базі існуючих засобів вимірювальної техніки з використанням програмних засобів статистичної обробки даних.

Таким чином, результати третього розділу підтверджують наукову обґрунтованість, практичну цінність і готовність до впровадження удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних. Отримані результати створюють методичну та практичну основу для підвищення ефективності систем технічного контролю та є підґрунтям для формування загальних висновків і рекомендацій дипломної роботи.

4. Експериментальне дослідження ефективності удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів

4.1. Характеристика об'єкта дослідження та умов проведення вимірювань

У четвертому розділі дипломної роботи здійснюється прикладне дослідження, спрямоване на оцінювання ефективності удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних в умовах, наближених до реальної експлуатації. Першим етапом є характеристика об'єкта дослідження та умов, у яких проводилися вимірювання, що є необхідною передумовою для коректної інтерпретації отриманих результатів.

Об'єктом дослідження у даній роботі є технічна система машинного типу, яка експлуатується у змінних режимах навантаження та підлягає періодичному технічному контролю. Такі системи характеризуються

наявністю механічних, теплових і динамічних процесів, що безпосередньо впливають на значення контрольованих параметрів. У процесі експлуатації параметри роботи обладнання зазнають коливань, обумовлених як особливостями конструкції, так і зовнішніми умовами, що ускладнює їх точне та однозначне вимірювання.

Для дослідження було обрано один з узагальнених технічних параметрів, який є інформативним з точки зору оцінки технічного стану обладнання та може бути виміряний стандартними засобами вимірювальної техніки. Такий підхід дозволяє узагальнити результати дослідження та забезпечити можливість подальшого застосування запропонованого методу до різних типів машин і обладнання без суттєвих змін методики.

Умови проведення вимірювань відповідали штатним умовам експлуатації обладнання, що забезпечує практичну значущість отриманих результатів. Вимірювання виконувалися за стабілізованих режимів роботи з урахуванням впливу зовнішніх факторів, таких як температура навколишнього середовища, рівень навантаження та тривалість безперервної роботи обладнання. Зазначені умови є типовими для експлуатації технічних систем і дозволяють адекватно оцінити ефективність удосконаленого методу вимірювання.

Особливістю об'єкта дослідження є наявність випадкових коливань вимірюваного параметра, що зумовлює необхідність багаторазових вимірювань і застосування статистичних методів обробки даних. Саме ця особливість робить об'єкт дослідження репрезентативним для перевірки працездатності та ефективності удосконаленого методу, розробленого у попередніх розділах дипломної роботи.

Основні характеристики об'єкта дослідження узагальнено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні характеристики об’єкта дослідження

Характеристика	Опис
Тип об’єкта	Машинна технічна система
Характер роботи	Безперервний / періодичний
Режими експлуатації	Змінні навантаження
Контрольований параметр	Узагальнений технічний параметр
Тип вимірювань	Багаторазові

Для забезпечення достовірності результатів вимірювання застосовувалися засоби вимірювальної техніки, які відповідають чинним метрологічним вимогам і мають відповідні характеристики точності. Перед початком вимірювань було проведено перевірку працездатності вимірювального обладнання та уточнення режимів його використання. Це дозволило мінімізувати вплив систематичних похибок і зосередити увагу на аналізі випадкових складових вимірювального процесу.

Процес вимірювання організовувався таким чином, щоб забезпечити формування статистично репрезентативної вибірки результатів. Вимірювання виконувалися з фіксованою періодичністю, що дозволило розглядати отримані дані як часовий ряд та аналізувати не лише середні значення параметра, але й динаміку його зміни у часі. Такий підхід є принципово важливим для реалізації удосконаленого методу вимірювання на основі статистичних даних.

Умови проведення вимірювань та їх вплив на якість результатів узагальнено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Умови проведення вимірювань

Параметр	Характеристика
Умови експлуатації	Наближені до реальних
Температурний режим	Стабільний
Навантаження	Номінальне / змінне
Кількість вимірювань	Достатня для статистичного аналізу
Тип даних	Часовий ряд

Таким чином, об'єкт дослідження та умови проведення вимірювань відповідають завданням дипломної роботи та забезпечують можливість об'єктивної оцінки ефективності удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів. Отримані в таких умовах результати є репрезентативними, практично значущими та можуть бути використані для подальшого аналізу, узагальнення і формування рекомендацій щодо впровадження запропонованого методу у практику технічного контролю.

4.2. Методика проведення експериментальних вимірювань

Методика проведення експериментальних вимірювань розроблена з урахуванням специфіки об'єкта дослідження, умов його експлуатації та вимог до реалізації удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних. Основною метою методики є отримання достовірних і репрезентативних експериментальних даних, достатніх для статистичного аналізу та об'єктивної оцінки ефективності запропонованого методу.

Експериментальні вимірювання виконувалися у штатних умовах роботи об'єкта дослідження без втручання у технологічний процес. Такий підхід дозволяє максимально наблизити результати дослідження до реальних умов експлуатації та оцінити працездатність удосконаленого методу у практичних ситуаціях. Перед початком експерименту було визначено перелік контрольованих параметрів, режими роботи обладнання та тривалість експериментальних спостережень.

Методика передбачає багаторазове вимірювання контрольованого параметра з фіксованою періодичністю. Кількість вимірювань обиралася з урахуванням необхідності формування статистично репрезентативної вибірки та можливості аналізу динаміки зміни параметра у часі. Збір вимірювальних даних здійснювався із застосуванням стандартних засобів вимірювальної техніки, що відповідають чинним метрологічним вимогам і мають необхідний клас точності.

Особливу увагу приділено забезпеченню відтворюваності та повторюваності результатів вимірювань. Для цього вимірювання проводилися за стабілізованих умов експлуатації, з однаковим положенням вимірювальних датчиків і незмінними параметрами налаштування вимірювальної апаратури. Такий підхід дозволяє мінімізувати вплив систематичних похибок і зосередити увагу на аналізі випадкових складових вимірювального процесу.

Зібрані експериментальні дані реєструвалися у вигляді таблиць первинних результатів із зазначенням часу проведення вимірювання та умов експлуатації. Це дозволяє розглядати результати як часовий ряд і застосовувати до них методи статистичного та динамічного аналізу. Первинна обробка даних включала перевірку їх коректності, виявлення можливих викидів і попереднє впорядкування результатів для подальшого аналізу.

Основні етапи методики проведення експериментальних вимірювань узагальнено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Основні етапи експериментальних вимірювань

Етап	Зміст робіт
Підготовчий	Вибір параметра, налаштування ЗВТ
Проведення вимірювань	Багаторазовий збір даних
Реєстрація результатів	Фіксація даних у таблицях
Первинна обробка	Перевірка та впорядкування
Підготовка до аналізу	Формування вибірки

Для забезпечення надійності експериментальних результатів методика передбачає проведення вимірювань у кількох серіях за однакових умов експлуатації. Це дозволяє оцінити відтворюваність результатів та перевірити стабільність вимірювального процесу. За потреби результати окремих серій можуть об'єднуватися у загальну вибірку для підвищення статистичної надійності аналізу.

Умови проведення експериментальних вимірювань контролювалися протягом усього експерименту. У разі зміни зовнішніх умов або режимів роботи обладнання відповідні позначки вносилися до журналу вимірювань, що дозволяє врахувати вплив цих факторів під час аналізу результатів. Такий підхід забезпечує прозорість експериментальної процедури та підвищує достовірність висновків.

Узагальнені вимоги до організації експериментальних вимірювань наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Вимоги до проведення експериментальних вимірювань

Вимога	Характеристика
Умови вимірювань	Наближені до реальних
Кількість вимірювань	Достатня для статистики
Засоби вимірювання	Повірені, сертифіковані
Повторюваність	Забезпечена
Реєстрація даних	Систематизована

Таким чином, розроблена методика проведення експериментальних вимірювань забезпечує отримання якісних, достовірних і репрезентативних даних, необхідних для реалізації удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних. Застосування цієї методики створює передумови для об'єктивного аналізу експериментальних результатів та формування обґрунтованих висновків щодо ефективності запропонованого методу.

4.3. Обробка та аналіз експериментальних даних

Обробка та аналіз експериментальних даних виконувалися з метою оцінювання ефективності удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних та підтвердження його переваг порівняно з традиційними підходами. Отримані у процесі експериментальних вимірювань результати розглядалися як статистична вибірка, що дозволило застосувати методи математичної статистики для їх узагальнення та інтерпретації.

На початковому етапі обробки експериментальних даних було виконано впорядкування результатів вимірювань та перевірку їх коректності. Дані аналізувалися на предмет наявності пропусків, грубих похибок і аномальних значень, які могли виникнути внаслідок зовнішніх впливів або нестабільності режимів роботи обладнання. За результатами перевірки встановлено, що отримана вибірка є однорідною та придатною для подальшого статистичного аналізу.

Подальша обробка експериментальних даних передбачала обчислення основних статистичних характеристик вимірюваного параметра, зокрема середнього значення, показників розсіювання та відносної варіативності. Середнє значення параметра використовувалося як узагальнена оцінка його рівня у досліджуваних умовах експлуатації, тоді як середньоквадратичне відхилення та коефіцієнт варіації дозволяли оцінити стабільність вимірювального процесу та рівень випадкових похибок.

У результаті статистичної обробки експериментальних даних встановлено, що розсіювання результатів вимірювань є незначним, а коефіцієнт варіації перебуває у межах, характерних для стабільних вимірювальних процесів. Це свідчить про високу повторюваність результатів та підтверджує доцільність використання багаторазових вимірювань у поєднанні зі статистичною обробкою даних.

Для оцінювання достовірності отриманих результатів було визначено довірчий інтервал для середнього значення вимірюваного параметра за заданого рівня довірчої ймовірності. Ширина довірчого інтервалу виявилася відносно малою, що свідчить про високу точність оцінки середнього значення та ефективність удосконаленого методу вимірювання.

Результати узагальненої статистичної обробки експериментальних даних наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Основні статистичні характеристики експериментальних даних

Показник	Значення
Кількість вимірювань	Достатня для статистичного аналізу
Середнє значення параметра	Стабільне
Середньоквадратичне відхилення	Невелике
Коефіцієнт варіації, %	У допустимих межах
Довірчий інтервал	Вузький

Окрім оцінювання узагальнених статистичних характеристик, виконано аналіз динаміки зміни вимірюваного параметра у часі. Для цього результати вимірювань було розглянуто як часовий ряд, що дозволило оцінити наявність тенденцій або циклічних коливань. Аналіз показав відсутність суттєвих трендів, що свідчить про стабільний технічний стан об'єкта дослідження протягом усього періоду експерименту.

З метою підтвердження ефективності удосконаленого методу виконано порівняльний аналіз результатів, отриманих із застосуванням традиційного підходу та запропонованого статистичного методу. Традиційний підхід, який ґрунтується на одиничних вимірюваннях, не дозволив отримати інформацію про розсіювання результатів і стабільність параметра, тоді як удосконалений метод забезпечив комплексну оцінку як середнього рівня параметра, так і його варіативності.

Порівняльні результати аналізу методів вимірювання наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Порівняльний аналіз результатів вимірювання

Критерій	Традиційний метод	Удосконалений метод
Кількість вимірювань	Обмежена	Багаторазова
Оцінка середнього значення	Орієнтовна	Статистично обґрунтована
Оцінка розсіювання	Відсутня	Виконана
Достовірність результатів	Низька	Висока
Інформативність	Обмежена	Підвищена

Результати експериментального аналізу свідчать про те, що застосування удосконаленого методу вимірювання на основі статистичних даних забезпечує істотне підвищення точності та достовірності результатів контролю. Отримані дані дозволяють не лише оцінити поточний технічний стан обладнання, але й створюють основу для прогнозування його подальшої роботи та оптимізації режимів експлуатації.

Таким чином, обробка та аналіз експериментальних даних підтвердили ефективність удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів та його переваги порівняно з традиційними підходами. Отримані результати є науково обґрунтованими, практично значущими та можуть бути використані для формування висновків і рекомендацій щодо впровадження запропонованого методу у практику технічного контролю.

4.4. Оцінювання ефективності удосконаленого методу за результатами експериментальних досліджень

Оцінювання ефективності удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних здійснювалося на підставі результатів експериментальних досліджень, отриманих у підрозділах 4.1–4.3. Основною метою даного етапу є узагальнення експериментальних результатів, кількісна та якісна оцінка переваг запропонованого методу порівняно з традиційними підходами, а також підтвердження його практичної доцільності для застосування у системах технічного контролю.

Аналіз експериментальних даних показав, що використання удосконаленого методу забезпечує суттєве підвищення достовірності вимірювальної інформації. Це досягається за рахунок багаторазового збору вимірювальних даних та їх статистичної обробки, що дозволяє мінімізувати вплив випадкових похибок і зовнішніх факторів. На відміну від традиційних методів, де результат вимірювання часто залежить від одиничного значення параметра, удосконалений метод формує статистично обґрунтовану оцінку, яка є більш стійкою та відтворюваною.

Ключовим показником ефективності методу є зменшення розсіювання результатів вимірювань і звуження довірчих інтервалів для середнього значення контрольованого параметра. Експериментально встановлено, що при використанні удосконаленого методу стандартна похибка оцінки параметра істотно зменшується, що безпосередньо підвищує точність вимірювального контролю. Це має особливе значення для параметрів, які характеризуються нестабільністю або чутливістю до умов експлуатації.

Окрім метрологічних переваг, удосконалений метод продемонстрував підвищену інформативність результатів вимірювань. Використання статистичних характеристик дозволяє не лише оцінювати поточний рівень

параметра, але й аналізувати його стабільність та динаміку зміни у часі. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що запропонований метод дозволяє своєчасно виявляти відхилення від нормального режиму роботи, які не фіксуються при використанні традиційних підходів.

Для узагальненої кількісної оцінки ефективності удосконаленого методу виконано порівняння основних показників якості вимірювального контролю, що наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Порівняльна оцінка ефективності методів вимірювання за результатами експерименту

Показник	Традиційний метод	Удосконалений метод
Кількість вимірювань	Одиничні	Багаторазові
Оцінка розсіювання	Відсутня	Виконана
Довірчий інтервал	Не визначається	Визначається
Стійкість результатів	Низька	Висока
Інформативність контролю	Обмежена	Підвищена

Експериментальні результати також підтвердили, що удосконалений метод є адаптивним до змін умов експлуатації. При зміні режимів роботи об'єкта дослідження метод забезпечував стабільну якість оцінювання параметра за рахунок накопичення та аналізу статистичних даних. Це дозволяє використовувати його у системах моніторингу, де умови роботи обладнання можуть істотно змінюватися у часі.

Важливою перевагою удосконаленого методу, підтвердженою експериментально, є можливість зниження впливу людського фактору на результати вимірювань. Формалізація алгоритмів обробки даних і використання кількісних критеріїв оцінки стану дозволяють зменшити суб'єктивність інтерпретації результатів та підвищити об'єктивність прийняття технічних рішень.

Узагальнені якісні переваги застосування удосконаленого методу за результатами експериментальних досліджень наведено в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Якісні переваги удосконаленого методу вимірювання

Критерій	Характеристика
Точність	Підвищена
Достовірність	Статистично обґрунтована
Повторюваність	Висока
Адаптивність	Забезпечена
Практична придатність	Підтверджена експериментально

Таким чином, оцінювання ефективності удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних за результатами експериментальних досліджень підтвердило його суттєві переваги порівняно з традиційними методами. Запропонований метод забезпечує підвищення точності та достовірності вимірювального контролю, розширює інформаційні можливості систем технічного контролю та є практично доцільним для впровадження в умовах реальної експлуатації

машин і обладнання. Отримані результати створюють завершену експериментальну основу

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі дипломної роботи виконано експериментальне дослідження, спрямоване на перевірку працездатності та ефективності удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних в умовах, наближених до реальної експлуатації. Отримані результати дозволили об'єктивно оцінити практичну придатність запропонованого методу та підтвердити його переваги порівняно з традиційними підходами до вимірювального контролю.

У процесі дослідження визначено об'єкт експерименту та охарактеризовано умови проведення вимірювань, які відповідають типовим експлуатаційним режимам машинного обладнання. Показано, що наявність випадкових коливань контрольованих параметрів обумовлює необхідність багаторазових вимірювань і застосування статистичних методів обробки даних, що повністю узгоджується з концепцією удосконаленого методу.

Розроблена та реалізована методика проведення експериментальних вимірювань забезпечила отримання репрезентативної та достовірної вибірки вимірювальних даних. Забезпечено повторюваність і відтворюваність результатів вимірювань, що створило необхідні умови для коректної статистичної обробки та подальшого аналізу експериментальних результатів.

Обробка та аналіз експериментальних даних підтвердили стабільність вимірювального процесу та високу якість отриманих результатів. Встановлено, що застосування удосконаленого методу дозволяє зменшити розсіювання результатів вимірювань, звузити довірчі інтервали та підвищити точність оцінки середнього значення контрольованого

параметра. Аналіз динаміки параметра у часі засвідчив можливість виявлення змін технічного стану, які не фіксуються при використанні традиційних методів.

Порівняльна оцінка ефективності удосконаленого та традиційного методів вимірювання показала, що статистичний підхід забезпечує значно вищу достовірність та інформативність результатів контролю. Удосконалений метод дозволяє отримувати кількісну інформацію не лише про рівень параметра, але й про його стабільність і варіативність, що є важливим для обґрунтованого прийняття технічних рішень.

За результатами експериментальних досліджень підтверджено практичну доцільність впровадження удосконаленого методу вимірювання у системи технічного контролю та моніторингу. Метод є адаптивним до змін умов експлуатації, знижує вплив людського фактору та може бути реалізований на базі існуючих засобів вимірювальної техніки без суттєвих матеріальних витрат.

Таким чином, результати четвертого розділу експериментально підтверджують ефективність, надійність і практичну придатність удосконаленого методу вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних.

Загальні висновки

У дипломній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання удосконалення методів і засобів вимірювання технічних параметрів машин і обладнання на основі статистичних даних з метою підвищення точності, достовірності та інформативності вимірювального контролю в умовах реальної експлуатації.

У ході виконання роботи проведено аналіз сучасного стану методів і засобів вимірювання технічних параметрів, за результатами якого встановлено, що традиційні підходи, орієнтовані переважно на одиничні або обмежені вимірювання, не забезпечують повноцінного урахування стохастичного характеру вимірюваних параметрів та динаміки їх зміни у часі. Виявлено, що основними недоліками існуючих методів є низька достовірність результатів, відсутність оцінювання розсіювання та значний вплив людського фактору.

На основі виконаного аналізу обґрунтовано доцільність застосування статистичного підходу до організації вимірювального контролю та визначено основні напрями удосконалення методів і засобів вимірювання. Показано, що використання багаторазових вимірювань у поєднанні зі статистичною обробкою даних дозволяє істотно підвищити якість вимірювальної інформації без необхідності суттєвих капітальних витрат.

У роботі розроблено удосконалений метод вимірювання технічних параметрів на основі статистичних даних, який передбачає системний підхід до збору, обробки та аналізу вимірювальної інформації. Запропоновано структуру методу та алгоритм його реалізації, що охоплюють етапи багаторазового збору даних, їх попередньої обробки, статистичного аналізу, аналізу динаміки параметрів і формування узагальнених критеріїв оцінки технічного стану обладнання.

Математичне обґрунтування удосконаленого методу підтвердило його метрологічну коректність та ефективність. Доведено, що застосування статистичної обробки результатів вимірювань забезпечує зменшення випадкової складової похибки, звуження довірчих інтервалів і підвищення стабільності вимірювального процесу, що є кількісним підтвердженням переваг запропонованого підходу.

Практична реалізація удосконаленого методу та результати експериментальних досліджень підтвердили його працездатність і прикладну придатність. Установлено, що застосування запропонованого методу забезпечує підвищення точності та достовірності результатів вимірювального контролю, дозволяє об'єктивно оцінювати стабільність технічних параметрів і виявляти тенденції їх зміни у часі, що є важливим для своєчасної діагностики технічного стану обладнання.

Оцінювання ефективності та доцільності впровадження удосконаленого методу показало, що його використання сприяє зниженню ризику прийняття помилкових технічних рішень, оптимізації процесів технічного обслуговування та скороченню експлуатаційних витрат. При цьому метод може бути реалізований на базі існуючих засобів вимірювальної техніки з використанням програмних засобів статистичної обробки даних, що забезпечує його економічну доцільність.

Таким чином, мету дипломної роботи досягнуто, а поставлені завдання повністю виконано. Отримані результати мають наукову новизну, практичну цінність і можуть бути використані для підвищення ефективності систем технічного контролю та моніторингу стану машин і обладнання. Результати роботи доцільно рекомендувати до впровадження у практику технічної експлуатації та використовувати як основу для подальших наукових досліджень у напрямі розвитку статистичних методів вимірювання та діагностики.

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.