

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра інженерії вагонів та якості продукції

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ РЕМОНТУ
СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Пояснювальна записка і розрахунки
до магістерської кваліфікаційної роботи

МКРМЕ.175.26.29.00. ПЗ

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

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

Рецензент: Завідувач кафедри
Управління експлуатаційною роботою
УкрДУЗТ, професор, д-р техн. наук
Тетяна БУТЬКО

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет механіко-енергетичний

Кафедра інженерії вагонів та якості продукції

Другий (магістерський) рівень вищої освіти

Спеціальність – 175 «Інформаційно-вимірювальна техніка»

Освітня програма – «Якість, стандартизація, сертифікація»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук

 В. Г. Равлюк

«28» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Чернова Олександра Олександровича

1 Тема «Удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки».

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, що здійснює ремонт і відновлення спеціальної техніки та її складових вузлів і агрегатів. У процесі практики студент повинен зібрати фактичні дані, необхідні для аналізу вимірювальних процесів, оцінювання геометричних, функціональних і експлуатаційних параметрів деталей і вузлів спеціальної техніки, а також для визначення точності та достовірності вимірювального контролю в умовах ремонтного виробництва.

4. Під час проходження переддипломної практики необхідно ознайомитися з організаційною структурою підприємства, функціональними обов'язками його підрозділів, технологічними процесами ремонту і відновлення спеціальної техніки, а також із внутрішньою технічною, технологічною та нормативно-методичною документацією у сфері вимірювального контролю. Студент повинен вивчити нормативно-правову та стандартну базу з метрологічного забезпечення вимірювань, проаналізувати застосовувані методи та засоби вимірювання, а також чинну практику організації контролю точності та достовірності результатів.

5. На основі зібраних матеріалів необхідно сформулювати методичний підхід до удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки, виконати аналіз застосовуваних вимірювальних методик і засобів.

6 Перелік графічного матеріалу:

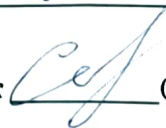
Графічний матеріал виконати у вигляді презентації (обсяг 15-20 слайдів).

7 Дата видачі завдання «24» лютого 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Ознайомлення з діяльністю підприємства, його організаційною структурою та технічною документацією у сфері ремонту і відновлення спеціальної техніки.	26.02 - 02.03	виконано
2. Аналіз нормативно-правової та стандартної бази метрологічного забезпечення вимірювань.	03.03 – 13.04	виконано
3. Дослідження методів і засобів вимірювання геометричних, мікрогеометричних і функціональних параметрів деталей та вузлів спеціальної техніки.	14.04 – 10.06	виконано
4. Аналіз чинної системи вимірювального контролю технічного стану деталей і вузлів спеціальної техніки у процесі ремонтно-відновлювальних робіт.	11.06 – 03.07	виконано
5. Обґрунтування та розроблення удосконалених методів і засобів вимірювання	04.07 – 01.09	виконано
6. Оцінка економічної та організаційної ефективності впровадження запропонованих технічних і методичних 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  Олександр ЧЕРНОВ

Керівник  Сергій ТИМОФЄЄВ

АНОТАЦІЯ

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

Ключові слова: спеціальна техніка, ремонт і відновлення, метрологічне забезпечення, вимірювальні процеси, засоби вимірювання, точність вимірювань, невизначеність, метрологічні ризики, якість ремонту, надійність техніки.

Об'єктом дослідження є процеси ремонту та відновлення спеціальної техніки як об'єкти вимірювального контролю та метрологічного забезпечення.

Предметом дослідження є методи, засоби та організаційно-методичні підходи до метрологічного забезпечення вимірювань під час ремонту спеціальної техніки, зокрема забезпечення точності, відтворюваності та достовірності результатів контролю параметрів деталей і вузлів.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування та розроблення напрямів удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки з метою підвищення точності та надійності вимірювань, зниження метрологічних ризиків, забезпечення стабільної якості ремонтно-відновлювальних робіт і підвищення експлуатаційної надійності техніки.

У роботі проаналізовано теоретичні та нормативно-методичні засади метрологічного забезпечення ремонту спеціальної техніки, розглянуто вимоги національних і міжнародних стандартів у сфері метрології, технічного контролю та управління якістю. Проведено аналіз організації вимірювальних процесів у ремонтному виробництві, застосовуваних засобів і методик вимірювання, а також підходів до контролю метрологічних характеристик. Виявлено основні проблемні аспекти, що знижують точність вимірювань, достовірність результатів контролю та якість ремонтних робіт.

Розроблено практичні рекомендації щодо удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки, які передбачають удосконалення методик вимірювань, стандартизацію умов проведення контролю, оптимізацію складу засобів вимірювання та впровадження елементів автоматизованого збору й обробки результатів вимірювань. Виконано оцінку технічної, економічної та організаційної ефективності запропонованих заходів, а також розглянуто питання охорони праці та безпеки під час виконання вимірювальних робіт.

ABSTRACT

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

Keywords: special equipment, repair and restoration, metrological support, measurement processes, measuring instruments, measurement accuracy, uncertainty, metrological risks, repair quality, equipment reliability.

The object of the study is the repair and restoration processes of special equipment as objects of measurement control and metrological support.

The subject of the study is methods, measuring instruments, and organizational and methodological approaches to metrological support of measurements during the repair of special equipment, including ensuring measurement accuracy, repeatability, and reliability of control results.

The purpose of the qualification work is to substantiate and develop directions for improving metrological support of repair quality of special equipment in order to increase measurement accuracy and reliability, reduce metrological risks, ensure stable repair quality, and improve the operational reliability of equipment.

The work analyzes theoretical and regulatory foundations of metrological support for special equipment repair, as well as national and international standards in the field of metrology, technical control, and quality management. The organization of measurement processes in repair production, applied measuring instruments and methodologies, and approaches to controlling metrological characteristics are analyzed. Key problem areas that reduce measurement accuracy, control reliability, and repair quality are identified.

Practical recommendations for improving metrological support of repair quality of special equipment are developed, including improved measurement methodologies, standardization of measurement conditions, optimization of measuring instrument composition, and implementation of automated data acquisition and processing. The technical, economic, and organizational efficiency of the proposed measures is evaluated, and occupational health and safety issues during measurement operations are considered.

Зміст

Вступ	9
1. Теоретичні основи метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки	12
1.1. Сутність та значення метрологічного забезпечення в системі ремонту спеціальної техніки	12
1.2. Нормативно-правові засади та стандарти, що регламентують метрологічне забезпечення ремонтних процесів спеціальної техніки	15
1.3. Аналіз факторів, що впливають на точність та достовірність вимірювань у процесі ремонту спеціальної техніки	18
1.4. Особливості метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки в реальних виробничих умовах	22
1.5. Роль метрологічного забезпечення у формуванні якості ремонту спеціальної техніки	25
1.6. Оцінювання метрологічних ризиків у процесі ремонту спеціальної техніки	28
Висновки до розділу 1	32
2. Аналіз системи метрологічного забезпечення на підприємстві з ремонту спеціальної техніки	34
2.1. Загальна характеристика підприємства та організації ремонту спеціальної техніки	34
2.2. Аналіз наявних засобів вимірювальної техніки та їх метрологічного стану	38
2.3. Аналіз застосовуваних методик вимірювання та організації вимірювального контролю при ремонті спеціальної техніки	41
2.4. Аналіз проблем і невідповідностей у системі метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки	44

					МКРМЕ.175.26.29.00. ПЗ			
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки	Літер	Аркуш	Аркушів
Розробив		Чернов		25.02.23			4	90
Перевірив		Тимофєєв		29.02.23		УкрДУЗТ		
Реценз.		Буцько		29.02.23				
Н. контр.		Шовкун		29.02.23				
Затв.		Равлюк		29.02.23				

2.5. Оцінювання метрологічних ризиків у процесі забезпечення якості ремонту спеціальної техніки	47
Висновки до розділу 2	51
3. Удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки	53
3.1. Концептуальні засади удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки	53
3.2. Удосконалення методик вимірювання критичних параметрів при ремонті спеціальної техніки	57
3.3. Обґрунтування вибору та застосування засобів вимірювальної техніки при ремонті спеціальної техніки	60
3.4 Оцінювання ефективності удосконаленого метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки	63
Висновок до 3 розділу	65
4 Оцінка ефективності та умов впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення	67
4.1. Економічне обґрунтування впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки	67
4.2. Оцінка економічного ефекту та строку окупності заходів з удосконалення метрологічного забезпечення	70
4.3. Організаційна та виробнича ефективність впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки	73
4.4. Оцінка впливу удосконаленого метрологічного забезпечення на надійність та ресурс спеціальної техніки після ремонту	75

4.5 Перспективи розвитку метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки	78
Висновки до розділу 4	81
Загальні висновки	82
Список використаних джерел	84

					МКРМЕ.175.26.29.00. ПЗ
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	

Вступ

Ремонт і технічне обслуговування спеціальної техніки посідають ключове місце у забезпеченні її надійності, безпеки та довговічності в умовах інтенсивної експлуатації. Спеціальна техніка — це машини та механізми, які працюють у складних, динамічних, підвищено навантажених або екстремальних умовах: аварійно-рятувальні машини, пожежна техніка, інженерні комплекси, дорожньо-будівельні агрегати, військова та аграрна техніка, комунальні механізми, спецтранспорт. Надійність роботи таких машин напряду залежить від якості ремонтних операцій, а отже — від точності вимірювальних процедур, що забезпечують правильність геометричних, силових, температурних та інших параметрів, критичних для функціонування вузлів і агрегатів.

Метрологічне забезпечення в системі ремонту спеціальної техніки є фундаментальним елементом, який визначає достовірність, повторюваність та об'єктивність контрольних операцій. Правильно організовані вимірювання дозволяють мінімізувати ймовірність відмов у роботі, забезпечити точність складання та відновлення пар тертя, встановити відповідність параметрів деталей і вузлів до нормативних вимог та технологічних допусків. У той же час сучасні тенденції розвитку спеціальної техніки демонструють зростання складності конструкцій, підвищення вимог до точності, розширення функціональних можливостей і збільшення рівня автоматизації, що висуває нові вимоги до метрологічних процедур у процесі ремонту.

Незважаючи на значну кількість стандартних вимірювальних приладів і методик, реальний ремонт спеціальної техніки нерідко пов'язаний із використанням нестандартних, комбінованих або спеціально адаптованих засобів вимірювальної техніки. Багато вузлів мають унікальні конструктивні особливості, нестандартну геометрію або працюють у специфічних умовах,

що обмежує можливість застосування типових засобів контролю. Це створює потребу у розробленні вдосконалених методів метрологічного забезпечення, здатних забезпечити високу точність та стабільність результатів вимірювань у різних ремонтних сценаріях.

Однією з ключових проблем, що потребує вирішення, є невідповідність між традиційними процедурами вимірювання та фактичними умовами, в яких здійснюється ремонт спеціальної техніки. Середовище ремонту характеризується підвищеними вібраціями, значним забрудненням, перепадами температур, складністю доступу до контрольних точок та обмеженнями у використанні стандартних еталонів. Це ускладнює забезпечення єдності вимірювань, створює передумови для появи випадкових і систематичних похибок, а також потребує впровадження спеціальних корекційних та компенсаційних методів.

Актуальність дослідження посилюється також тим, що у багатьох ремонтних підприємствах рівень метрологічної культури залишається недостатньо високим. Часто метрологічне забезпечення зводиться до формальних процедур повірки приладів, без урахування реальних умов ремонту або впливу зовнішніх факторів на точність вимірювань. Недостатня увага приділяється аналізу похибок, валідації методик, перевірці повторюваності результатів, контролю впливових чинників та оптимізації вимірювального обладнання. У результаті якість ремонту може знижуватися, а надійність спеціальної техніки — погіршуватися.

З огляду на це, виникає потреба у системному підході до вдосконалення метрологічного забезпечення, який передбачає аналіз чинних нормативів, дослідження впливу зовнішніх і внутрішніх факторів, розроблення сучасних вимірювальних методик, оптимізацію засобів контролю, застосування цифрових технологій та створення адаптивних вимірювальних систем. Особливого значення набувають методи діагностики технічного стану вузлів спеціальної техніки, що ґрунтуються на

комплексному аналізі фізичних параметрів — вібрації, температури, сили, геометрії, тиску, електричних характеристик. Ефективне метрологічне забезпечення в цьому контексті дає змогу своєчасно виявляти приховані дефекти, прогнозувати відмови та підвищувати ефективність ремонтних робіт.

Об'єктом дослідження у даній роботі є система метрологічного забезпечення ремонтних процесів спеціальної техніки.

Предметом дослідження — методи, засоби та організаційні механізми забезпечення точності вимірювань під час ремонту спеціальної техніки.

Метою дипломної роботи є розроблення та обґрунтування удосконаленої системи метрологічного забезпечення, спрямованої на підвищення якості та надійності ремонту спеціальної техніки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан метрологічного забезпечення ремонтних процесів спеціальної техніки;
- визначити основні фактори, що впливають на точність вимірювань у реальних умовах ремонту;
- дослідити недоліки існуючих методик контролю та повірки вимірювальних приладів;
- вивчити можливості застосування сучасних засобів вимірювання та цифрових технологій у ремонтних процесах;
- розробити удосконалену методику метрологічного забезпечення для підвищення якості ремонтних робіт;
- оцінити ефективність впровадження запропонованих рішень.

Наукова новизна роботи полягає у формуванні комплексного підходу до метрологічного забезпечення ремонту спеціальної техніки, який враховує реальні експлуатаційні умови, специфіку нестандартних вимірювальних задач та можливості сучасних цифрових інструментів. Запропоновані методи спрямовані не лише на підвищення точності вимірювань, але й на

створення умов для планово-попереджувального ремонту, діагностики та прогнозування технічного стану машин.

Практичне значення дослідження полягає у можливості використання розроблених методик у діяльності ремонтних підприємств, сервісних центрів, інженерних служб та організацій, що експлуатують спеціальну техніку. Впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення дозволить зменшити кількість відмов після ремонту, скоротити тривалість діагностики, підвищити точність регулювальних операцій та забезпечити стабільну роботу техніки у складних умовах.

Структура роботи включає вступ, три розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. Перший розділ присвячений теоретичним основам метрологічного забезпечення та аналізу чинників точності. У другому розділі розглядаються особливості ремонту спеціальної техніки та її вимірювальна специфіка. Третій розділ містить розроблені рекомендації, методики та технічні рішення щодо удосконалення метрологічного забезпечення ремонтних процесів.

1. Теоретичні основи метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки

1.1. Сутність та значення метрологічного забезпечення в системі ремонту спеціальної техніки

Метрологічне забезпечення є ключовим елементом, що визначає якість, надійність та ефективність ремонтних процесів спеціальної техніки. Оскільки спеціальна техніка працює у складних і відповідальних умовах — при високих навантаженнях, значних вібраціях, агресивних середовищах, змінних температурах та підвищених вимогах до безпеки — точність виконання ремонтних операцій стає критичним чинником її подальшої працездатності. Будь-яке відхилення геометричних, силових або фізико-технічних параметрів може призвести до передчасного зносу, відмови вузлів, зниження потужності, втрати керованості або навіть аварійних ситуацій.

У сучасних умовах ремонт спеціальної техніки дедалі більше перетворюється з простого відновлення працездатності у складний технічно-технологічний процес, який включає діагностику стану, визначення характеру пошкоджень, відновлення розмірів і характеристик деталей, регулювання та перевірку робочих параметрів вузлів. Усі ці етапи неможливо виконати якісно без точних, достовірних та відтворюваних вимірювань. Саме метрологічне забезпечення створює передумови для того, щоб ремонтні заходи відповідали нормативним вимогам та забезпечували експлуатаційну надійність техніки відповідального призначення.

Сутність метрологічного забезпечення полягає у комплексі організаційних, технічних та наукових заходів, спрямованих на отримання коректної виміральної інформації під час контролю та ремонту. Воно охоплює вибір методів і засобів вимірювання, розроблення та застосування

методик контролю, перевірку й калібрування приладів, аналіз похибок, оцінювання невизначеності, забезпечення простежуваності результатів, а також стандартизацію вимірювальних процесів. У контексті ремонту спеціальної техніки метрологічне забезпечення має не просто допоміжний, а визначальний характер, оскільки саме через систему вимірювань здійснюється об'єктивний контроль якості виконаних робіт.

Значення метрологічного забезпечення зростає також через специфіку конструкції спеціальної техніки. Її агрегати та вузли часто мають складну конфігурацію, працюють у нестабільних режимах або включають у свою структуру нетипові матеріали й компоненти. Це ускладнює процес контролю та потребує застосування як традиційних, так і нестандартних вимірювальних засобів. У багатьох випадках ремонтні операції виконуються у важкодоступних місцях, де відсутня можливість використання заводських засобів контролю. Саме тому вимірювання під час ремонту спеціальної техніки нерідко відбуваються в умовах підвищеної невизначеності, що потребує спеціальних підходів, адаптації методик та розроблення додаткових метрологічних рішень.

Сучасні тенденції розвитку спеціальної техніки демонструють зростання частки електронних, гідравлічних, пневматичних та комбінованих систем, у яких традиційні методи контролю стають недостатніми. Бортові автоматизовані системи, електронні датчики, сервоприводи, телеметрія та дистанційні модулі керування вимагають нового рівня точності та оперативності вимірювань під час обслуговування та ремонту. Це означає, що метрологічне забезпечення має постійно оновлюватися, враховуючи перехід спеціальної техніки до високотехнологічних форматів.

Крім технічних вимог, метрологічне забезпечення ремонту спеціальної техніки відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки та економічної ефективності. Неправильні вимірювання можуть призвести до

неякісного ремонту, що, у свою чергу, збільшує кількість повторних поломок, підвищує ризики виходу з ладу техніки у відповідальних ситуаціях та збільшує витрати на технічне обслуговування. Натомість грамотно організована система метрологічного забезпечення дозволяє зменшити витрати, підвищити тривалість міжремонтного періоду, забезпечити стабільність роботи техніки та підвищити рівень технологічної дисципліни на підприємстві.

Особливої уваги заслуговує питання людського чинника. У процесі ремонту спеціальної техніки точність вимірювань значною мірою залежить від кваліфікації персоналу, що виконує контрольні операції. Вибір неправильної бази вимірювання, неправильне встановлення приладів, недотримання методик або невірна інтерпретація результатів можуть призвести до критичних похибок. Тому важливою складовою системи метрологічного забезпечення є навчання, підвищення кваліфікації персоналу, розроблення інструкцій та проведення метрологічних аудитів.

Таким чином, метрологічне забезпечення є невід’ємною умовою забезпечення високої якості ремонту спеціальної техніки. Воно формує основу для ефективного технічного контролю, дозволяє своєчасно виявляти дефекти, забезпечує нормативну точність виконання ремонтних операцій та сприяє підвищенню надійності й безпеки спеціальних машин у реальних умовах експлуатації. Значення метрологічного забезпечення у сфері ремонту спеціальної техніки визначається не лише технічними потребами, але й економічною доцільністю, оскільки точні вимірювання є фундаментом раціонального технічного обслуговування, прогнозування ресурсу та мінімізації витрат на ремонт.

1.2. Нормативно-правові засади та стандарти, що регламентують метрологічне забезпечення ремонтних процесів спеціальної техніки

Система метрологічного забезпечення ремонтних процесів спеціальної техніки ґрунтується на комплексі нормативно-правових документів, стандартів, технічних регламентів та організаційних процедур, спрямованих на забезпечення єдності вимірювань, точності, достовірності та стабільності результатів контролю. Оскільки ремонт спеціальної техніки передбачає виконання вимірювальних операцій у відповідальних умовах та на об'єктах підвищеної небезпеки, нормативна база відіграє фундаментальну роль у формуванні вимог до засобів вимірювань, методології контролю та кваліфікації персоналу.

Ключовим документом, який визначає державну політику у сфері вимірювань, є Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність». Він закладає основи функціонування національної метрологічної системи, встановлює порядок повірки, калібрування та атестації засобів вимірювальної техніки, визначає принципи простежуваності результатів вимірювань до національних еталонів. У контексті ремонту спеціальної техніки дія закону має особливе значення, оскільки регламентує роботи із засобами вимірювання, які впливають на безпеку, надійність та ефективність експлуатації техніки. Зокрема, закон передбачає, що всі прилади, які використовуються під час технічного обслуговування та ремонту, повинні мати чинні результати повірки або калібрування та відповідати встановленим метрологічним вимогам.

Важливе місце у нормативній системі займають національні стандарти ДСТУ, гармонізовані з міжнародними ISO та ІЕС. Вони визначають загальні вимоги до організації вимірювальних процесів, класи точності приладів, методи оцінювання похибок, процедури повірки, правила оформлення технічної документації та методологію контролю технічного стану машин і обладнання. Для ремонтних підприємств, що працюють зі спеціальною технікою, особливого значення набувають стандарти, які регламентують вимірювання геометричних параметрів, параметрів

надійності, характеристик механічних і гідравлічних систем, а також нормативи щодо перевірки діагностичних засобів.

Стандарти ISO 9001 та ISO 10012 визначають вимоги до систем управління якістю та вимірювальними процесами, а також забезпечують основу для побудови метрологічної служби на підприємстві. Їх застосування у сфері ремонту спеціальної техніки дозволяє гарантувати, що всі вимірювальні процедури виконуються за затвердженими методиками, під контролем кваліфікованих фахівців, із застосуванням правильно підібраних засобів вимірювання. Особливо важливим є принцип простежуваності вимірювань, який передбачає обов'язкове співвіднесення результатів контролю з еталонними значеннями, що забезпечує можливість порівняння, аналізу та документування стану техніки протягом тривалого часу.

Стандарти ISO/IEC 17025, що встановлюють вимоги до компетентності вимірювальних і випробувальних лабораторій, також мають важливе значення в контексті забезпечення якості ремонту спеціальної техніки. Хоча більшість ремонтних підприємств не мають сертифікованих лабораторій, принципи ISO/IEC 17025 застосовуються до процесів калібрування, тестування та діагностики. Вони визначають вимоги до кваліфікації персоналу, умов виконання вимірювань, точності обладнання, оцінювання невизначеності та документування процедур. Для ремонтних робіт це забезпечує високий рівень достовірності та мінімізує ризик помилок, що можуть вплинути на подальшу експлуатацію техніки.

Не менш важливою складовою нормативної бази є галузеві стандарти та технічні регламенти, що стосуються конкретних видів спеціальної техніки: пожежно-рятувальної, дорожньо-будівельної, комунальної, військової, аграрної, гірничої. Ці документи встановлюють вимоги до технічного стану вузлів, допустимі відхилення параметрів, методи контролю, регламентні процедури діагностики, правила технічного огляду та критерії приймання робіт після ремонту. У випадку такої техніки

метрологічні вимоги часто є жорсткішими, ніж для цивільних машин, оскільки від точності вимірювань залежить не лише працездатність, а й безпека експлуатації.

Суттєвий вплив на метрологічне забезпечення мають нормативи щодо експлуатаційної діагностики та контролю технічного стану. Вони передбачають застосування методів аналізу вібрацій, вимірювання тиску й температури в складних системах, контролю зношування, перевірки силових та гальмівних характеристик, оцінювання герметичності та працездатності гідравлічних елементів. Усі ці вимірювання повинні проводитися за методиками, які відповідають нормативним документам і забезпечують достатню точність для прийняття технічних рішень.

Особливу увагу нормативна система приділяє вимогам до кваліфікації та відповідальності персоналу. У ремонтних підприємствах, що працюють зі спеціальною технікою, вимірювання повинні виконувати фахівці, які мають необхідний рівень підготовки та володіють методиками контролю. Це закріплено в низці нормативних документів, які регламентують атестацію персоналу, проведення технічних оглядів, а також вимоги до осіб, що здійснюють метрологічне забезпечення.

Таким чином, нормативно-правові засади метрологічного забезпечення формують структуровану та багаторівневу систему, яка охоплює загальнодержавні вимоги до точності вимірювань, міжнародні стандарти якості, галузеві регламенти та спеціалізовані методики контролю. Для ремонтних процесів спеціальної техніки ця система є основою, яка гарантує правильність прийнятих технічних рішень, забезпечує безпеку експлуатації машин і формує умови для високої якості виконання ремонтних робіт. Виконання вимог нормативної бази дозволяє підвищити ефективність ремонту, зменшити кількість відмов та забезпечити відповідність техніки встановленим стандартам експлуатаційної надійності.

1.3. Аналіз факторів, що впливають на точність та достовірність вимірювань у процесі ремонту спеціальної техніки

Точність і достовірність вимірювань у процесі ремонту спеціальної техніки визначають ефективність відновлення її працездатності, надійність конструктивних вузлів, довговічність деталей і загальну безпеку експлуатації. На відміну від стандартних умов лабораторного контролю, ремонт спеціальної техніки характеризується комплексом складних факторів, які істотно впливають на результат вимірювання та можуть створювати додаткові джерела похибок. Аналіз цих факторів є необхідною передумовою для розроблення ефективної системи метрологічного забезпечення, здатної забезпечити високу точність вимірювань у реальних умовах експлуатації.

Одним із найвагоміших факторів є вплив температурних умов. У процесі ремонту спеціальна техніка часто піддається температурним перепадам, нагріву окремих вузлів, охолодженню деталей після механічної обробки або випробувань. Металеві конструкції, чутливі елементи приладів та вимірювальні поверхні змінюють свої розміри під впливом температури, що призводить до теплового розширення або стискання. Навіть незначна зміна температури (на 5–10 °C) може спричинити похибки в соті або навіть десятки частки міліметра, що є критичним для точних посадок, геометричних параметрів і відновлення пар тертя. Для спеціальної техніки, що працює під високими навантаженнями, така похибка може стати причиною прискореного зносу або руйнування вузла.

Механічні навантаження та вібраційні впливи також належать до основних факторів, що ускладнюють забезпечення точності вимірювань. Ремонт спеціальної техніки часто проводиться у цехах, на польових майданчиках або безпосередньо на місці експлуатації, де рівень вібрацій значно вищий, ніж у лабораторних умовах. Вібрації впливають на

стабільність вимірювальних приладів, змінюють контактні зусилля, спричиняють стрибкоподібні відхилення стрілочних індикаторів та коливання цифрових сигналів. Особливо гостро ця проблема проявляється під час контролю геометричних параметрів, тиску, температури або вібраційних характеристик самих вузлів. Тому аналіз та компенсація впливу механічних коливань є важливим елементом метрологічного забезпечення.

Забруднення поверхонь, пил, мастильні матеріали, абразивні частки та корозійні відкладення є ще одним вагомим фактором, що знижує точність вимірювань. У процесі ремонту спеціальної техніки деталі часто містять залишки відпрацьованих масел, сліди зношування, нагар, іржу або механічні пошкодження. Контактні засоби вимірювання можуть взаємодіяти з такими поверхнями некоректно, що призводить до систематичних похибок, спотворення результатів або нестабільності вимірювань. Тому підготовка поверхонь, очищення, шліфування або знежирення — обов'язкові етапи вимірювального процесу, без яких неможливо забезпечити високу точність контролю.

Важливий вплив на результати вимірювань має також конструктивна складність спеціальної техніки. Багато вузлів мають важкодоступні місця, приховані поверхні, нерівномірне зношування або складну геометрію. Це створює труднощі під час вибору бази вимірювання, орієнтації приладу, встановлення нульових точок та узгодження траєкторії вимірювання. У таких випадках традиційні прилади можуть бути недостатньо ефективними, що зумовлює потребу у використанні нестандартних вимірювальних засобів або спеціальних адаптерів. Неправильно обрана база вимірювання здатна спричинити накопичення похибок і призвести до некоректної оцінки стану вузла.

Електромагнітні завади є ще одним суттєвим фактором, особливо у випадках, коли контроль параметрів проводиться за допомогою електронних або цифрових засобів вимірювання. Спеціальна техніка часто має у своїй

структурі потужні електроприводи, радіоелектронні системи, генератори, системи зв'язку та діагностики, які створюють електромагнітні поля. Ці поля можуть індукувати паразитні струми, впливати на точність електронних датчиків, викликати шум у сигнальних ланцюгах або створювати коливання у цифрових показах. Без відповідного екранування та фільтрації результати вимірювань можуть бути недостовірними.

Деградація вимірювальних приладів і старіння їхніх компонентів становить окрему групу факторів. Ремонт спеціальної техніки передбачає інтенсивне використання вимірювального інструменту, що зумовлює його механічне й електричне зношування. Втрата жорсткості, люфт, зношення контактних поверхонь, дрейф електронних компонентів, корозія або пошкодження калібрувальних поверхонь призводять до появи додаткових похибок. Тому регулярна перевірка, калібрування та технічне обслуговування вимірювальних приладів є невід'ємною складовою метрологічного забезпечення ремонтного процесу.

Не менш важливим фактором є людський чинник. У ремонтних умовах значна частина вимірювальних операцій виконується вручну або за участю оператора. Кваліфікація працівника, його досвід, уважність, вміння правильно обирати точки контролю, методики й інструменти визначають ступінь впливу людського фактору на точність вимірювань. Неправильне встановлення приладу, некоректне зчитування результатів, помилки у калібруванні або порушення методики можуть призвести до суттєвих похибок. Тому система метрологічного забезпечення повинна включати навчання персоналу, стандартизацію процедур та мінімізацію суб'єктивних впливів.

Розвиток цифрових технологій додав нову групу факторів, пов'язаних із алгоритмами обробки даних. Помилки округлення, недостатня роздільна здатність аналого-цифрових перетворювачів, цифрові шуми, некоректні алгоритми фільтрації або компенсації сигналів можуть створювати похибки,

які не завжди помітні користувачу. У складних системах цифрові похибки можуть накопичуватися та призводити до помилкових ремонтних рішень.

Таким чином, точність та достовірність вимірювань у процесі ремонту спеціальної техніки формуються під впливом широкого спектра чинників — температурних, механічних, електромагнітних, конструктивних, експлуатаційних, цифрових і людських. Глибоке розуміння механізмів впливу кожного з них є передумовою для створення ефективної системи метрологічного забезпечення, здатної забезпечити високу якість ремонту та надійну подальшу експлуатацію спеціальної техніки.

1.4. Особливості метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки в реальних виробничих умовах

Метрологічне забезпечення якості ремонту спеціальної техніки в реальних виробничих умовах має низку суттєвих особливостей, які принципово відрізняють його від вимірювальних процесів у серійному виробництві або лабораторному середовищі. Ремонтні підприємства зазвичай працюють з обмеженим часовим ресурсом, різноманітною номенклатурою техніки, змінними умовами виконання робіт та широким спектром технічного стану машин, що надходять у ремонт. У таких умовах система метрологічного забезпечення повинна бути гнучкою, адаптивною та здатною забезпечувати необхідну точність вимірювань без порушення виробничих термінів.

Однією з ключових особливостей є різноманітність об'єктів вимірювання. Спеціальна техніка, яка підлягає ремонту, може істотно відрізнятися за конструкцією, призначенням, ступенем зношування та умовами попередньої експлуатації. Це ускладнює уніфікацію вимірювальних процедур і вимагає застосування комбінованих або спеціалізованих методик контролю. У межах одного ремонтного підрозділу

можуть виконуватися вимірювання геометричних параметрів, силових характеристик, тиску, температури, вібрації, електричних сигналів і параметрів герметичності, що потребує наявності широкого парку засобів вимірювальної техніки з різними метрологічними характеристиками.

Важливою особливістю є виконання вимірювань без повного демонтажу вузлів або агрегатів. У багатьох випадках спеціальна техніка має обмежений доступ до контрольних поверхонь, а повне розбирання вузла є економічно недоцільним або технічно складним. Це зумовлює застосування непрямих методів вимірювання, переносних приладів, ендоскопічних систем, контактних-безконтактних датчиків та мобільних вимірювальних комплексів. Такі засоби часто мають підвищену чутливість до умов навколишнього середовища, що потребує додаткового метрологічного супроводу.

Ще однією суттєвою особливістю є поєднання вимірювальних і технологічних операцій. У процесі ремонту вимірювання часто виконуються паралельно з механічною обробкою, регулюванням, складанням або випробуванням вузлів. Це створює ризик виникнення похибок, пов'язаних із залишковими напруженнями, тепловими ефектами, механічними деформаціями та нестабільністю параметрів у перехідних режимах. У таких умовах система метрологічного забезпечення повинна передбачати часові інтервали стабілізації, повторні вимірювання та використання статистичних методів обробки результатів.

Суттєвий вплив на якість вимірювань має організація робочих місць. У ремонтних цехах спеціальної техніки не завжди можливо створити оптимальні умови для вимірювань, зокрема забезпечити постійну температуру, відсутність вібрацій або стабільне освітлення. Тому метрологічне забезпечення повинно включати заходи з мінімізації впливу виробничого середовища: використання віброізованих столів, захисних кожухів, температурної компенсації, програмних фільтрів і корекцій.

Окремою особливістю є застосування нестандартних засобів вимірювальної техніки. У процесі ремонту спеціальної техніки часто використовуються саморобні пристрої, адаптери, спеціальні калібри або комбіновані вимірювальні системи, створені під конкретні вузли чи агрегати. Хоча такі засоби дозволяють вирішувати специфічні задачі контролю, вони потребують особливої уваги з боку метрологічної служби. Необхідно проводити їх атестацію, визначати метрологічні характеристики, оцінювати похибки та забезпечувати простежуваність результатів вимірювань.

Важливим аспектом є документаційне забезпечення вимірювальних процесів. У реальних виробничих умовах ремонтних підприємств часто спостерігається дефіцит актуальної технічної документації, методик вимірювання або інструкцій з експлуатації приладів. Це може призводити до різночитань у процедурах контролю, суб'єктивної інтерпретації результатів та зниження повторюваності вимірювань. Тому ефективна система метрологічного забезпечення повинна включати розроблення, актуалізацію та стандартизацію вимірювальної документації.

Особливої уваги потребує інтеграція метрологічного забезпечення з системою управління якістю ремонту. Результати вимірювань повинні бути не лише зафіксовані, а й використані для аналізу причин дефектів, оцінювання стабільності ремонтних процесів, коригування технологій та прийняття управлінських рішень. У цьому контексті зростає роль цифрових систем збору даних, електронних протоколів контролю та баз даних вимірювальної інформації.

Таким чином, метрологічне забезпечення якості ремонту спеціальної техніки в реальних виробничих умовах характеризується високою складністю, багатофакторністю та необхідністю адаптації до змінних умов. Його ефективність визначається не лише технічними характеристиками засобів вимірювання, а й рівнем організації процесів, кваліфікацією

персоналу, якістю документації та інтеграцією з системами управління якістю. Саме врахування цих особливостей створює передумови для підвищення надійності та безпеки спеціальної техніки після виконання ремонтних робіт.

1.5. Роль метрологічного забезпечення у формуванні якості ремонту спеціальної техніки

Якість ремонту спеціальної техніки безпосередньо залежить від достовірності результатів вимірювального контролю, що здійснюється на всіх етапах ремонтно-відновлювальних робіт. Метрологічне забезпечення в цьому контексті виконує системоутворюючу функцію, оскільки саме воно визначає рівень точності вимірювань, простежуваність результатів, повторюваність контролю та обґрунтованість рішень щодо придатності відремонтованих вузлів і агрегатів до подальшої експлуатації.

У процесі ремонту спеціальної техніки вимірювання застосовуються не лише як засіб контролю кінцевого результату, а й як інструмент керування технологічним процесом. Вимірювальні операції супроводжують дефектацію, механічну обробку, регулювання, складання та випробування, що зумовлює необхідність стабільної та узгодженої роботи всієї системи метрологічного забезпечення. Будь-яка похибка або нестабільність вимірювань на проміжному етапі може призвести до накопичення відхилень, які в підсумку негативно впливають на ресурс і надійність спеціальної техніки.

Особливу роль метрологічне забезпечення відіграє під час ремонту відповідальних вузлів спеціальної техніки, де допуски на геометричні та

функціональні параметри є мінімальними, а вимоги до безпеки та надійності — підвищеними. У таких випадках результати вимірювань безпосередньо впливають на прийняття рішень щодо доцільності подальшої обробки, повторного відновлення або списання деталі. Це підвищує вимоги до точності, відтворюваності та документального підтвердження вимірювальних даних.

Важливим аспектом є взаємозв'язок між метрологічним забезпеченням і стабільністю ремонтних процесів. За наявності систематичних похибок або недостатнього контролю метрологічного стану засобів вимірювальної техніки виникає ризик формування прихованих дефектів, які не виявляються на етапі ремонту, але проявляються під час подальшої експлуатації. Саме тому ефективне метрологічне забезпечення повинно передбачати не лише періодичну перевірку або калібрування приладів, а й постійний моніторинг їх метрологічних характеристик.

Метрологічне забезпечення також впливає на економічні показники ремонтного виробництва. Недостатня точність вимірювань може призводити як до передчасного браку придатних деталей, так і до повторних ремонтів через помилки контролю. У свою чергу, надмірно жорсткі вимоги до вимірювань без відповідного обґрунтування збільшують трудомісткість і вартість ремонтних робіт. Таким чином, оптимізація метрологічного забезпечення є одним із ключових чинників підвищення економічної ефективності ремонту спеціальної техніки.

Особливу роль відіграє людський фактор. Кваліфікація персоналу, який виконує вимірювання, безпосередньо впливає на якість отриманих результатів. Навіть за наявності сучасних засобів вимірювальної техніки відсутність належної підготовки, невиконання методик або ігнорування умов вимірювання можуть суттєво знизити достовірність контролю. Тому система метрологічного забезпечення повинна включати заходи з навчання, атестації та періодичного контролю компетентності персоналу.

Значну роль у формуванні якості ремонту відіграє документаційна складова метрологічного забезпечення. Чітко визначені методики вимірювань, стандартизовані протоколи контролю та уніфіковані форми реєстрації результатів дозволяють зменшити суб'єктивність оцінювання та підвищити простежуваність вимірювальної інформації. Це створює основу для аналізу дефектів, удосконалення технологій ремонту та впровадження системного підходу до управління якістю.

У таблиці 1.1 наведено основні складові метрологічного забезпечення та їх вплив на якість ремонту спеціальної техніки.

Таблиця 1.1 – Вплив складових метрологічного забезпечення на якість ремонту спеціальної техніки

Складова метрологічного забезпечення	Вплив на якість ремонту
Засоби вимірювальної техніки	Забезпечення необхідної точності та відтворюваності вимірювань
Методики вимірювання	Уніфікація процедур контролю та зменшення суб'єктивних похибок
Метрологічний контроль і калібрування	Підтримання стабільності метрологічних характеристик
Кваліфікація персоналу	Зменшення операційних помилок і неправильних інтерпретацій
Документаційне забезпечення	Простежуваність результатів і можливість аналізу дефектів

Для оцінювання впливу точності вимірювань на кінцеву якість ремонту доцільно враховувати взаємозв'язок між похибками вимірювань і

показниками надійності відремонтованих вузлів. У таблиці 1.2 наведено узагальнену характеристику цього взаємозв'язку.

Таблиця 1.2 – Взаємозв'язок точності вимірювань і показників якості ремонту

Рівень точності вимірювань	Ймовірність прихованих дефектів	Очікуваний ресурс вузла
Низький	Висока	Знижений
Середній	Помірна	Нормативний
Високий	Низька	Підвищений

Таким чином, метрологічне забезпечення є одним із визначальних чинників формування якості ремонту спеціальної техніки. Воно впливає не лише на точність окремих вимірювань, а й на стабільність ремонтних процесів, рівень виробничих ризиків, економічну ефективність і надійність відновлених машин і механізмів. Удосконалення метрологічного забезпечення дозволяє створити передумови для системного підвищення якості ремонту та конкурентоспроможності ремонтного підприємства.

1.6. Оцінювання метрологічних ризиків у процесі ремонту спеціальної техніки

У процесі ремонту спеціальної техніки особливого значення набуває проблема метрологічних ризиків, які безпосередньо впливають на достовірність вимірювального контролю та, як наслідок, на якість ремонтно-відновлювальних робіт. Метрологічний ризик у цьому контексті слід розглядати як імовірність прийняття помилкового технічного рішення внаслідок недостовірних або неточних результатів вимірювань. Для спеціальної техніки, що часто експлуатується в складних або небезпечних умовах, такі ризики можуть призводити не лише до економічних втрат, а й до зниження рівня безпеки та надійності машин і механізмів.

Основними джерелами метрологічних ризиків у ремонтному виробництві є нестабільність метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки, недосконалість методик вимірювання, вплив зовнішніх факторів виробничого середовища та людський фактор. На відміну від серійного виробництва, де вимірювальні процеси є стандартизованими та добре контрольованими, у ремонті спеціальної техніки часто застосовуються нестандартні або комбіновані методи вимірювання, що підвищує рівень невизначеності результатів.

Суттєвий ризик виникає на етапі дефектації деталей. Помилки вимірювань геометричних або мікрогеометричних параметрів можуть призвести до неправильної класифікації деталей як придатних або непридатних до відновлення. У першому випадку існує загроза передчасного виходу вузла з ладу після ремонту, у другому — необґрунтоване збільшення витрат через списання придатних деталей. Таким чином, саме на цьому етапі вимірювальний контроль має бути максимально надійним і метрологічно обґрунтованим.

Не менш важливими є ризики, пов'язані з виконанням вимірювань у процесі механічної обробки та складання. Залишкові напруження, температурні деформації, вібрації та нестабільність положення деталі можуть суттєво впливати на результати вимірювань. За відсутності

належних коригувальних заходів ці фактори спричиняють систематичні похибки, які складно виявити без спеціального аналізу та повторних вимірювань.

Окрему групу метрологічних ризиків становлять ризики, пов'язані з використанням нестандартних засобів вимірювальної техніки. Такі засоби часто не мають повного комплексу нормативної документації або сертифікованих методик калібрування, що ускладнює оцінювання їх метрологічних характеристик. За відсутності належної атестації та контролю стабільності параметрів виникає ризик накопичення невиявлених похибок, які негативно впливають на якість вимірювань упродовж тривалого часу.

Для систематизації основних джерел метрологічних ризиків у ремонті спеціальної техніки доцільно використати узагальнену класифікацію, наведену в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Основні джерела метрологічних ризиків у процесі ремонту спеціальної техніки

Джерело ризику	Характер впливу	Можливі наслідки
Нестабільність засобів вимірювання	Зміна похибок у часі	Недостовірні результати контролю
Недосконалість методик	Неповний облік умов вимірювання	Помилкові рішення щодо придатності деталей
Виробниче середовище	Температура, вібрації, забруднення	Збільшення випадкових і систематичних похибок

Людський фактор	Порушення методик, помилки оператора	Зниження повторюваності вимірювань
Нестандартні засоби вимірювання	Відсутність атестації	Неконтрольовані похибки

Зниження метрологічних ризиків можливе лише за умови комплексного підходу до організації метрологічного забезпечення. Такий підхід повинен включати ідентифікацію потенційних ризиків, їх кількісне або якісне оцінювання та впровадження коригувальних заходів. Зокрема, до ефективних заходів належать регулярна перевірка стабільності засобів вимірювальної техніки, застосування контрольних зразків, використання дублюючих вимірювань і впровадження статистичних методів аналізу результатів.

Важливу роль у керуванні метрологічними ризиками відіграє інтеграція вимірювального контролю з системою управління якістю ремонту. Результати вимірювань повинні використовуватися не лише для приймального контролю, а й для аналізу причин дефектів, оцінювання стабільності ремонтних процесів і планування профілактичних заходів. У цьому контексті доцільним є застосування ризик-орієнтованого підходу, що передбачає концентрацію метрологічних ресурсів на найбільш відповідальних операціях і вузлах спеціальної техніки.

У таблиці 1.4 наведено приклад узагальнених заходів щодо зниження метрологічних ризиків у ремонтному виробництві.

Таблиця 1.4 – Основні заходи зі зниження метрологічних ризиків при ремонті спеціальної техніки

Захід	Очікуваний ефект
Атестація нестандартних засобів вимірювання	Підвищення достовірності вимірювань
Стандартизація методик контролю	Зменшення варіабельності результатів
Навчання та атестація персоналу	Зниження впливу людського фактору

Продовження табл.1.4

1	2
Контроль умов вимірювання	Зменшення систематичних похибок
Аналіз і документування результатів	Покращення простежуваності та аналізу дефектів

Таким чином, оцінювання та керування метрологічними ризиками є невід’ємною складовою системи метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки. Усвідомлення джерел ризиків і впровадження системних заходів з їх мінімізації дозволяє підвищити точність і достовірність вимірювань, зменшити ймовірність помилкових технічних рішень та забезпечити стабільну якість ремонтно-відновлювальних робіт.

Висновки до розділу 1

У першому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто теоретичні, нормативно-методичні та організаційні засади метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки. Проведений аналіз показав, що

метрологічне забезпечення є одним із ключових чинників формування достовірності вимірювального контролю та, відповідно, якості ремонтно-відновлювальних робіт.

Встановлено, що специфіка ремонту спеціальної техніки зумовлює підвищені вимоги до системи вимірювань, оскільки вимірювальні операції виконуються в умовах обмеженого часу, змінних виробничих факторів і широкої номенклатури об'єктів контролю. Це обумовлює необхідність застосування гнучких методик вимірювання, комбінованих і нестандартних засобів вимірювальної техніки, а також постійного метрологічного супроводу вимірювальних процесів.

Показано, що якість ремонту спеціальної техніки безпосередньо залежить від точності, відтворюваності та простежуваності результатів вимірювань на всіх етапах ремонтного процесу — від дефектації деталей до приймального контролю відновлених вузлів. Недостатній рівень метрологічного забезпечення призводить до зростання ймовірності прихованих дефектів, помилкових технічних рішень і зниження ресурсу відремонтованої техніки.

Особливу увагу в розділі приділено аналізу метрологічних ризиків, пов'язаних із нестабільністю засобів вимірювальної техніки, впливом виробничого середовища, недосконалістю методик вимірювання та людським фактором. Обґрунтовано, що ефективне керування такими ризиками можливе лише за умови системного підходу, який поєднує технічні, організаційні та методичні заходи.

У результаті узагальнення теоретичних положень визначено основні напрями удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки, серед яких: адаптація методик вимірювання до умов ремонтного виробництва, метрологічний супровід нестандартних засобів вимірювальної техніки, інтеграція вимірювального контролю з системою управління якістю, впровадження цифрових технологій обробки результатів

вимірювань, підвищення кваліфікації персоналу та удосконалення документаційного забезпечення.

Отримані у першому розділі теоретичні висновки створюють науково-методичне підґрунтя для подальшого аналізу фактичного стану метрологічного забезпечення на ремонтному підприємстві та розроблення практичних рекомендацій щодо його удосконалення, що буде реалізовано у наступних розділах кваліфікаційної роботи.

2. Аналіз системи метрологічного забезпечення на підприємстві з ремонту спеціальної техніки

2.1. Загальна характеристика підприємства та організації ремонту спеціальної техніки

Підприємство, що здійснює ремонт спеціальної техніки, є складною виробничо-технічною системою, діяльність якої спрямована на відновлення працездатності, надійності та безпеки машин і механізмів шляхом виконання комплексу діагностичних, ремонтно-відновлювальних і контрольних операцій. Особливістю таких підприємств є робота з технікою, що експлуатується в умовах підвищених навантажень, агресивного середовища або інтенсивних режимів роботи, що зумовлює високі вимоги до якості ремонту та точності вимірювального контролю.

Організаційна структура підприємства з ремонту спеціальної техніки, як правило, має цехову або дільничну побудову та включає підрозділи дефектації, механічної обробки, відновлення поверхонь, термічної обробки, складання, випробувань і технічного контролю. У кожному з цих підрозділів виконуються вимірювальні операції, які є невід'ємною частиною технологічного процесу. Вимірювання застосовуються для оцінювання технічного стану деталей, контролю геометричних і мікрогеометричних

параметрів, перевірки відповідності відновлених поверхонь установленим допускам, а також для приймання відремонтованих вузлів і агрегатів.

Процес ремонту спеціальної техніки зазвичай розпочинається з первинного огляду та дефектації. На цьому етапі вимірювальний контроль відіграє ключову роль, оскільки саме результати вимірювань визначають подальшу технологічну долю деталей: можливість їх відновлення, необхідність додаткової обробки або доцільність заміни. Помилки вимірювань на етапі дефектації можуть призвести як до необґрунтованого браку придатних деталей, так і до повторних відмов техніки після ремонту.

Подальші ремонтно-відновлювальні операції супроводжуються значною кількістю проміжних вимірювань. У процесі механічної обробки, наплавлення, шліфування, хонінгування або регулювання здійснюється контроль розмірів, форми, шорсткості поверхонь і взаємного розташування елементів. В умовах ремонтного виробництва ці вимірювання часто виконуються безпосередньо на робочих місцях, що підвищує вплив зовнішніх факторів та актуалізує вимоги до метрологічного забезпечення.

Завершальним етапом є складання та випробування відремонтованих вузлів і агрегатів. На цьому етапі вимірювальний контроль спрямований на підтвердження відповідності техніки вимогам нормативно-технічної документації та забезпечення її безпечної експлуатації. Саме на стадії приймального контролю виявляються результати роботи всієї системи метрологічного забезпечення підприємства.

Для узагальнення основних підрозділів підприємства та характерних для них вимірювальних операцій у таблиці 2.1 наведено типовий розподіл функцій.

Таблиця 2.1 – Основні підрозділи підприємства з ремонту спеціальної техніки та види вимірювального контролю

Підрозділ підприємства	Основні види вимірювань
Дільниця дефектації	Геометричні параметри, знос, відхилення форми
Механічна обробка	Розміри, взаємне розташування поверхонь

Продовження табл.2.1

1	2
Відновлення поверхонь	Товщина шару, шорсткість, адгезія
Складання	Посадки, зазори, співвісність
Випробування	Тиск, температура, вібрація, функціональні параметри
Технічний контроль	Приймальний контроль, відповідність допускам

Організація вимірювального контролю на підприємстві тісно пов'язана з роботою служби технічного контролю та метрологічної служби. Ці підрозділи відповідають за вибір і застосування засобів вимірювальної техніки, розроблення та впровадження методик вимірювань, контроль метрологічного стану приладів, а також за підготовку та атестацію персоналу. Ефективність їх діяльності значною мірою визначає рівень якості ремонту спеціальної техніки.

Особливістю ремонтного виробництва є використання значної кількості нестандартних або комбінованих засобів вимірювальної техніки, які застосовуються для контролю складних або важкодоступних параметрів. Такі засоби часто створюються або адаптуються безпосередньо на

підприємстві, що потребує додаткового метрологічного супроводу, атестації та контролю їх метрологічних характеристик.

У таблиці 2.2 наведено основні фактори, що впливають на організацію вимірювальних процесів на ремонтному підприємстві.

Таблиця 2.2 – Фактори впливу на організацію вимірювального контролю при ремонті спеціальної техніки

Фактор	Характер впливу
Варіативність об'єктів ремонту	Ускладнює стандартизацію методик
Умови виробничого середовища	Підвищує похибки вимірювань
Рівень зношування деталей	Вимагає індивідуального підходу
Кваліфікація персоналу	Впливає на повторюваність результатів
Стан засобів вимірювання	Визначає достовірність контролю

Таким чином, підприємство з ремонту спеціальної техніки характеризується складною структурою виробничих процесів, значною кількістю вимірювальних операцій і високими вимогами до якості контролю. Аналіз організації ремонту та вимірювального забезпечення свідчить про необхідність системного підходу до метрологічного забезпечення, що включає технічні, організаційні та методичні заходи. Отримані результати створюють основу для подальшого аналізу наявних

засобів вимірювальної техніки, їх метрологічного стану та ефективності використання.

2.2. Аналіз наявних засобів вимірювальної техніки та їх метрологічного стану

Ефективність метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки значною мірою визначається складом, технічним станом і правильністю застосування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), що використовуються на підприємстві. Саме ці засоби забезпечують отримання об'єктивної інформації про фактичні значення параметрів деталей, вузлів і агрегатів, а також є основою для прийняття рішень щодо придатності елементів до подальшої експлуатації після ремонту.

На ремонтних підприємствах спеціальної техніки, як правило, використовується широкий спектр ЗВТ, що відрізняються за принципом дії, діапазонами вимірювань, точністю та умовами застосування. До них належать універсальні вимірювальні інструменти (штангенінструмент, мікрометри, нутроміри), прилади для контролю форми та шорсткості поверхонь, індикаторні пристрої, калібри, а також спеціалізовані та нестандартні засоби, розроблені або адаптовані під конкретні вузли спеціальної техніки.

Особливістю вимірювального забезпечення ремонтного виробництва є поєднання серійних сертифікованих ЗВТ і нестандартних вимірювальних пристроїв. Останні застосовуються у випадках, коли стандартні засоби не дозволяють виконати контроль через конструктивні обмеження або специфічні вимоги до параметрів. Разом з тим використання нестандартних

ЗВТ підвищує вимоги до організації їх метрологічного супроводу, оскільки такі засоби часто не мають типових методик повірки або калібрування.

Метрологічний стан ЗВТ характеризується їх відповідністю встановленим метрологічним характеристикам, наявністю чинних результатів повірки або калібрування, стабільністю показів та відсутністю дефектів, що впливають на точність вимірювань. Аналіз практики показує, що на ремонтних підприємствах основними проблемами є нерівномірність контролю метрологічного стану приладів, використання засобів з простроченими термінами повірки, а також недостатній облік умов експлуатації ЗВТ.

У таблиці 2.3 наведено узагальнену класифікацію засобів вимірювальної техніки, що застосовуються при ремонті спеціальної техніки.

Таблиця 2.3 – Основні групи засобів вимірювальної техніки, що використовуються при ремонті спеціальної техніки

Група ЗВТ	Призначення	Приклади
Універсальні засоби	Контроль лінійних розмірів	Штангенциркулі, мікрометри
Засоби контролю отворів	Вимірювання внутрішніх розмірів	Нутроміри, калібри-пробки
Індикаторні пристрої	Контроль биття, відхилень	Індикатори годинникового типу
Засоби контролю шорсткості	Оцінка мікрогеометрії	Профілометри

Спеціальні та нестандартні ЗВТ	Контроль специфічних параметрів	Пристрої власної розробки
--------------------------------	---------------------------------	---------------------------

Суттєвим чинником, що впливає на метрологічний стан ЗВТ, є умови їх зберігання та експлуатації. Підвищена запиленість, вібрації, температурні коливання та механічні навантаження, характерні для ремонтних цехів, призводять до прискореного зношування вимірювальних поверхонь і механізмів приладів. За відсутності регулярного контролю це може викликати систематичні похибки, які не виявляються під час одиничних перевірок.

Важливим аспектом аналізу є також відповідність точності ЗВТ вимогам контрольованих параметрів. На практиці трапляються випадки використання засобів вимірювання з недостатнім класом точності, що не забезпечує надійного контролю допусків при ремонті відповідальних деталей. У таблиці 2.4 наведено приклад відповідності класів точності ЗВТ характеру виконуваних вимірювань.

Таблиця 2.4 – Відповідність класу точності ЗВТ вимогам ремонтного контролю

Вид контролю	Вимоги до точності	Рекомендовані ЗВТ
Дефектація деталей	Середні	Штангенінструмент
Контроль після обробки	Підвищені	Мікрометри, індикатори

Приймальний контроль	Високі	Калібри, профілометри
----------------------	--------	--------------------------

Аналіз метрологічного стану ЗВТ показує, що для підвищення якості ремонту спеціальної техніки необхідне впровадження системного підходу до управління засобами вимірювальної техніки. Такий підхід повинен включати ведення обліку ЗВТ, планування та контроль повірки або калібрування, аналіз стабільності метрологічних характеристик і своєчасне виведення з експлуатації приладів, що не відповідають вимогам.

Отже, наявні на підприємстві засоби вимірювальної техніки забезпечують виконання основних вимірювальних операцій при ремонті спеціальної техніки, проте їх метрологічний стан і організація використання потребують подальшого вдосконалення. Це зумовлює необхідність детального аналізу методик вимірювання, застосовуваних у ремонтному виробництві, та розроблення заходів з підвищення ефективності метрологічного забезпечення.

2.3. Аналіз застосовуваних методик вимірювання та організації вимірювального контролю при ремонті спеціальної техніки

Методики вимірювання, що застосовуються під час ремонту спеціальної техніки, є ключовим елементом системи метрологічного забезпечення, оскільки саме вони визначають порядок виконання вимірювальних операцій, вибір засобів вимірювальної техніки, умови проведення контролю та правила обробки результатів. Навіть за наявності сучасних і технічно справних засобів вимірювання відсутність чітко регламентованих методик або їх формальне дотримання призводять до зниження достовірності результатів і підвищення метрологічних ризиків.

На ремонтних підприємствах спеціальної техніки, як правило, використовуються методики вимірювання, що ґрунтуються на вимогах нормативно-технічної документації виробників техніки, державних і галузевих стандартів, а також внутрішніх інструкцій підприємства. Разом із тим значна частина вимірювальних операцій виконується за спрощеними або адаптованими методиками, які сформувалися на основі виробничого досвіду персоналу. Такий підхід забезпечує оперативність контролю, проте не завжди гарантує необхідну повторюваність і простежуваність результатів вимірювань.

Особливістю вимірювального контролю при ремонті спеціальної техніки є його багатостадійність. Вимірювання виконуються на етапах дефектації, проміжного контролю після відновлювальних операцій і приймального контролю. Кожен із цих етапів має свої методичні особливості та вимоги до точності вимірювань. Наприклад, на стадії дефектації допустимим є застосування методик із середнім рівнем точності, тоді як приймальний контроль вимагає використання більш точних і стандартизованих методів.

Організація вимірювального контролю в ремонтному виробництві часто має децентралізований характер. Значна частина вимірювань виконується безпосередньо на робочих місцях у цехах, що ускладнює забезпечення стабільних умов вимірювання. Температурні коливання, вібрації, забруднення поверхонь і нестабільність положення деталей можуть суттєво впливати на результати вимірювань. За відсутності відповідних методичних вказівок щодо компенсації цих факторів зростає імовірність систематичних похибок.

У таблиці 2.5 наведено узагальнену характеристику основних методик вимірювання, що застосовуються на різних етапах ремонту спеціальної техніки.

Таблиця 2.5 – Характеристика методик вимірювання на етапах ремонту спеціальної техніки

Етап ремонту	Основні параметри контролю	Характер методик
Дефектація	Розміри, знос, відхилення форми	Спрощені, оглядові
Проміжний контроль	Геометрія, шорсткість	Робочі методики
Приймальний контроль	Посадки, функціональні параметри	Стандартизовані

Аналіз показує, що на практиці не завжди забезпечується узгодженість між методиками вимірювання та фактичними вимогами до якості ремонту. У деяких випадках застосовуються методики, що не враховують вплив температурних деформацій або особливостей матеріалу відновлюваних деталей. Це особливо характерно для вимірювань після наплавлення або термічної обробки, коли параметри деталей можуть змінюватися в часі.

Суттєвим недоліком організації вимірювального контролю є недостатня формалізація процедур документування результатів вимірювань. Часто результати фіксуються у вигляді окремих записів або неструктурованих відміток, що ускладнює подальший аналіз, простежуваність і використання вимірювальної інформації для вдосконалення ремонтних процесів. Відсутність єдиних форм протоколів вимірювань знижує ефективність взаємодії між виробничими підрозділами та службами контролю.

У таблиці 2.6 наведено основні недоліки існуючих методик і організації вимірювального контролю та їх можливі наслідки.

Таблиця 2.6 – Недоліки методик вимірювання та організації контролю при ремонті спеціальної техніки

Недолік	Можливі наслідки
Нестандартизовані методики	Низька повторюваність результатів
Недостатній облік умов вимірювання	Збільшення похибок
Відсутність уніфікованих протоколів	Втрата простежуваності
Децентралізований контроль	Зниження керованості процесу

Разом з тим аналіз показує, що наявна система вимірювального контролю має значний потенціал для удосконалення. Формалізація методик вимірювання, стандартизація процедур контролю, впровадження єдиних форм документування результатів і використання елементів автоматизованого збору даних дозволять підвищити достовірність вимірювань і зменшити вплив суб'єктивних факторів.

Отже, аналіз застосовуваних методик вимірювання та організації вимірювального контролю при ремонті спеціальної техніки свідчить про необхідність їх подальшого удосконалення з урахуванням вимог метрологічної надійності, повторюваності та інтеграції з системою управління якістю. Це створює передумови для розроблення конкретних заходів з удосконалення метрологічного забезпечення.

2.4. Аналіз проблем і невідповідностей у системі метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки

Проведений аналіз організації ремонтних процесів, складу засобів вимірювальної техніки та застосовуваних методик вимірювання свідчить про наявність низки проблем і невідповідностей у системі метрологічного

забезпечення якості ремонту спеціальної техніки. Ці проблеми мають як технічний, так і організаційно-методичний характер і безпосередньо впливають на точність, достовірність та повторюваність результатів вимірювального контролю.

Однією з основних проблем є фрагментарність системи метрологічного забезпечення. На практиці вимірювальні процеси часто розглядаються як допоміжна функція, а не як невід’ємна складова управління якістю ремонту. Унаслідок цього відсутній єдиний підхід до планування вимірювань, вибору засобів вимірювальної техніки та оцінювання результатів контролю на різних етапах ремонтно-відновлювальних робіт.

Суттєвою невідповідністю є невпорядкованість застосування нестандартних засобів вимірювальної техніки. Хоча такі засоби широко використовуються для контролю складних або важкодоступних параметрів, їх метрологічні характеристики часто не задокументовані належним чином. Відсутність формалізованих методик атестації та контролю стабільності призводить до накопичення невизначеності результатів вимірювань і підвищує метрологічні ризики.

Проблемним аспектом є також невідповідність між класом точності застосовуваних засобів вимірювання та фактичними вимогами до контролю параметрів відповідальних деталей. У ряді випадків використовуються прилади з недостатнім запасом точності, що не дозволяє надійно оцінити відповідність параметрів установленим допускам. Це особливо критично для приймального контролю, де помилки вимірювань можуть мати серйозні наслідки для безпеки експлуатації спеціальної техніки.

Організаційні недоліки проявляються у недостатній формалізації методик вимірювання та процедур документування результатів. Вимірювання часто виконуються за різними підходами залежно від досвіду конкретного виконавця, що знижує повторюваність результатів і ускладнює

аналіз якості ремонтних процесів. Відсутність уніфікованих протоколів контролю не дозволяє забезпечити належну простежуваність вимірювальної інформації.

Окремою проблемою є вплив виробничого середовища на результати вимірювань. Температурні коливання, вібрації, забруднення та нестабільні умови розміщення деталей часто не враховуються у методиках вимірювання або враховуються формально. Це призводить до зростання як випадкових, так і систематичних похибок, особливо під час виконання вимірювань безпосередньо в цехових умовах.

У таблиці 2.7 наведено узагальнений перелік основних проблем системи метрологічного забезпечення та їх вплив на якість ремонту спеціальної техніки.

Таблиця 2.7 – Основні проблеми метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки

Проблема	Характер прояву	Потенційні наслідки
Фрагментарність метрологічного забезпечення	Відсутність системного підходу	Нестабільна якість ремонту
Нестандартизоване використання нестандартних ЗВТ	Відсутність атестації	Підвищення метрологічних ризиків
Недостатня точність ЗВТ	Невідповідність вимогам допусків	Помилкові рішення щодо придатності

Недосконалі методики вимірювання	Різноманітність процедур	Низька повторюваність
Вплив виробничого середовища	Необлік зовнішніх факторів	Зростання похибок

Аналіз також показує, що у більшості випадків проблеми метрологічного забезпечення мають комплексний характер і взаємопов'язані між собою. Наприклад, використання нестандартних засобів вимірювання без належної атестації поєднується з відсутністю чітких методик вимірювання та недостатнім документуванням результатів. Це ускладнює виявлення першопричин відхилень і знижує ефективність коригувальних заходів.

Важливим чинником, що посилює зазначені проблеми, є недостатня інтеграція метрологічного забезпечення з системою управління якістю ремонту. Результати вимірювань часто використовуються лише для поточного контролю, але не залучаються до аналізу дефектів, оцінювання стабільності процесів і планування заходів з підвищення якості.

Таким чином, виявлені проблеми та невідповідності у системі метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки свідчать про необхідність її комплексного удосконалення. Це удосконалення повинно охоплювати технічні, організаційні та методичні аспекти і бути спрямованим на підвищення точності та достовірності вимірювань, зниження метрологічних ризиків і забезпечення стабільної якості ремонтно-відновлювальних робіт.

2.5. Оцінювання метрологічних ризиків у процесі забезпечення якості ремонту спеціальної техніки

У сучасних умовах ремонтного виробництва спеціальної техніки вимірювальні процеси виступають одним із ключових факторів, що визначають якість відновлення вузлів і агрегатів. Будь-які похибки, нестабільність або невизначеність результатів вимірювань безпосередньо трансформуються у метрологічні ризики, які можуть призвести до прийняття помилкових рішень щодо придатності деталей, зниження ресурсу техніки та зростання ймовірності відмов у процесі експлуатації.

Метрологічний ризик у контексті ремонту спеціальної техніки доцільно розглядати як імовірність виникнення негативних наслідків, обумовлених невідповідністю фактичних характеристик засобів і методів вимірювання встановленим вимогам точності, простежуваності та стабільності. На відміну від випадкових помилок, метрологічні ризики мають системний характер і часто накопичуються впродовж усього ремонтно-відновлювального циклу.

Основними джерелами метрологічних ризиків є:

- застосування засобів вимірювальної техніки з недостатнім класом точності;
- використання нестандартних або саморобних вимірювальних пристроїв без належної атестації;
- відсутність формалізованих методик вимірювання;
- неврахування впливу зовнішніх факторів (температури, вібрації, забруднення);
- недостатній контроль стабільності метрологічних характеристик ЗВТ у процесі експлуатації.

Особливу небезпеку метрологічні ризики становлять для операцій контролю параметрів пар тертя, посадкових з'єднань, гідравлічних і пневматичних вузлів спеціальної техніки, де навіть незначні відхилення можуть суттєво вплинути на функціонування агрегатів.

Для систематизації факторів ризику доцільно застосувати їх класифікацію за джерелом виникнення (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Класифікація метрологічних ризиків у ремонті спеціальної техніки

Група ризиків	Джерело виникнення	Характер впливу
Технічні	Недостатня точність або зношення ЗВТ	Помилкові результати вимірювань
Методичні	Недосконалі або відсутні методики	Низька повторюваність

Продовження табл.2.8

1	2	3
Організаційні	Відсутність контролю та регламентів	Некерованість процесів
Експлуатаційні	Вплив умов виробничого середовища	Зростання випадкових похибок
Кадрові	Недостатня кваліфікація персоналу	Суб'єктивні помилки

Оцінювання метрологічних ризиків у ремонтному виробництві повинно базуватися на поєднанні якісних і кількісних методів аналізу. На початковому етапі доцільним є експертне оцінювання ризиків із визначенням їх ймовірності та тяжкості можливих наслідків. Такий підхід дозволяє виділити найбільш критичні операції вимірювального контролю, які потребують першочергового вдосконалення.

Кількісна оцінка метрологічних ризиків пов'язана з аналізом похибок і невизначеності вимірювань. Для відповідальних параметрів ремонтіваних деталей необхідно визначати сумарну невизначеність вимірювання з урахуванням похибок засобу вимірювання, методики та умов виконання контролю. Перевищення допустимого рівня невизначеності розглядається як неприйнятний метрологічний ризик.

У таблиці 2.9 наведено приклад оцінювання впливу метрологічних ризиків на якість ремонтних робіт.

Таблиця 2.9 – Вплив метрологічних ризиків на якість ремонту спеціальної техніки

Вид ризику	Прояв у вимірювальному процесі	Наслідки для якості
Недооцінка зносу	Заниження результатів вимірювання	Передчасні відмови
Переоцінка дефектів	Завищення результатів	Зайві ремонтні операції
Низька повторюваність	Розбіжність результатів	Нестабільна якість

Відсутність простежуваності	Неможливість аналізу	Неможливість оптимізації
--------------------------------	----------------------	-----------------------------

Суттєвим аспектом є те, що метрологічні ризики часто не фіксуються безпосередньо у виробничій документації, а їх наслідки проявляються вже на етапі експлуатації відремонтованої техніки. Це ускладнює зворотний зв'язок між вимірювальним контролем і реальним ресурсом вузлів.

Зменшення метрологічних ризиків можливе лише за умови системного підходу, який передбачає:

- інтеграцію метрологічного забезпечення у систему управління якістю ремонту;
- регламентування вимірювальних процедур;
- обґрунтований вибір і періодичний контроль ЗВТ;
- впровадження методів оцінювання невизначеності;
- використання результатів вимірювань для аналізу стабільності процесів.

Таким чином, оцінювання метрологічних ризиків є ключовим елементом управління якістю ремонту спеціальної техніки. Виявлені ризики та їх вплив на результати вимірювального контролю обґрунтовують необхідність розроблення та впровадження удосконаленої системи метрологічного забезпечення.

Висновки до розділу 2

У розділі 2 виконано комплексний аналіз стану метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки в умовах сучасного ремонтного виробництва. Дослідження показало, що вимірювальний контроль є одним із ключових чинників, які визначають достовірність

оцінювання технічного стану деталей і вузлів, а також стабільність якості ремонтно-відновлювальних робіт.

Проведений аналіз нормативно-правової та стандартної бази засвідчив, що чинні документи у сфері метрології та управління якістю формують загальні вимоги до вимірювань, однак не повною мірою враховують специфіку ремонтних процесів спеціальної техніки. Це обумовлює необхідність адаптації нормативних вимог до реальних умов експлуатації та ремонту, з урахуванням підвищених навантажень і складних умов роботи відновлених вузлів.

У ході дослідження методів і засобів вимірювання встановлено, що на практиці часто застосовуються засоби вимірювальної техніки з обмеженими метрологічними характеристиками або нестандартизовані пристрої, що негативно впливає на точність і відтворюваність результатів контролю. Виявлено, що відсутність формалізованих методик вимірювання та системного урахування невизначеності вимірювань підвищує ймовірність прийняття помилкових рішень щодо придатності деталей.

Аналіз організації вимірювального контролю показав, що метрологічне забезпечення часто функціонує відокремлено від системи управління якістю ремонту, що ускладнює використання результатів вимірювань для аналізу стабільності процесів і підвищення ефективності ремонтного виробництва. Недостатня регламентація вимірювальних процедур і обмежений зворотний зв'язок між результатами контролю та експлуатаційними показниками техніки призводять до накопичення метрологічних ризиків.

Оцінювання метрологічних ризиків дало змогу встановити, що найбільший вплив на якість ремонту мають систематичні похибки, нестабільність засобів вимірювання та вплив виробничих факторів на результати контролю. Визначено, що зменшення метрологічних ризиків можливе лише за умови переходу до системного підходу в організації

метрологічного забезпечення, який поєднує технічні, методичні та організаційні заходи.

На основі узагальнення результатів аналізу сформовано вимоги до удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки, що передбачають підвищення точності вимірювань, стандартизацію методик контролю, інтеграцію метрологічних процесів у систему управління якістю та підвищення кваліфікації персоналу.

Таким чином, результати розділу 2 обґрунтовують необхідність розроблення та впровадження удосконаленої системи метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки, концепція та практична реалізація якої будуть детально розглянуті у розділі 3 кваліфікаційної роботи.

3. Удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки

3.1. Концептуальні засади удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки

Результати аналізу, виконаного у розділі 2, переконливо доводять, що якість ремонту спеціальної техніки значною мірою визначається рівнем метрологічного забезпечення вимірювальних процесів. Умови ремонтно-відновлювального виробництва характеризуються високою відповідальністю операцій контролю, значною номенклатурою вимірюваних параметрів, використанням як стандартних, так і нестандартних засобів вимірювальної техніки, а також впливом зовнішніх виробничих факторів. У зв'язку з цим удосконалення метрологічного забезпечення повинно мати системний і концептуально обґрунтований характер.

Концепція удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки базується на положенні, що вимірювання є не допоміжною, а керівною функцією ремонтного виробництва. Результати вимірювального контролю безпосередньо впливають на прийняття рішень щодо придатності деталей, вибору технології відновлення, обсягу ремонтних операцій та прогнозування ресурсу відновлених вузлів.

Метою запропонованої концепції є забезпечення стабільної та відтворюваної якості ремонту шляхом мінімізації метрологічних ризиків, підвищення точності вимірювань і достовірності оцінювання технічного стану деталей спеціальної техніки. Досягнення цієї мети можливе лише за умови комплексного удосконалення всіх складових метрологічного забезпечення.

Основними принципами формування концепції є:

- системність, що передбачає розгляд метрологічного забезпечення як сукупності взаємопов'язаних елементів;
- процесний підхід, відповідно до якого вимірювальний контроль інтегрується в технологічний процес ремонту;
- ризик-орієнтованість, що полягає у пріоритетному контролі критичних параметрів;
- простежуваність вимірювань, яка забезпечує можливість аналізу результатів упродовж усього життєвого циклу техніки;
- орієнтація на результат, тобто на реальне підвищення якості та надійності ремонту.

У межах концепції метрологічне забезпечення розглядається як сукупність п'яти взаємопов'язаних складових: технічної, методичної, організаційної, кадрової та інформаційної. Їх взаємодія забезпечує досягнення заданого рівня точності та достовірності вимірювань.

Технічна складова

Передбачає обґрунтований вибір засобів вимірювальної техніки відповідно до критичності контрольованих параметрів. Особливу увагу слід приділяти вимірюванню геометричних і мікрогеометричних параметрів пар тертя, посадкових поверхонь, а також параметрів, що визначають функціональні характеристики відновлених вузлів.

Методична складова

Орієнтована на розроблення та впровадження стандартизованих методик вимірювання, які враховують специфіку ремонтного виробництва, умови проведення контролю та вимоги до оцінювання невизначеності результатів.

Організаційна складова

Полягає у регламентації вимірювальних процедур, визначенні відповідальності персоналу, а також інтеграції метрологічного забезпечення в систему управління якістю ремонту.

Кадрова складова

Передбачає підвищення кваліфікації працівників, які виконують вимірювальні операції, та формування у них розуміння ролі метрології як інструменту управління якістю.

Інформаційна складова

Спрямована на створення єдиної системи обліку, аналізу та використання результатів вимірювань для прийняття управлінських рішень.

Узагальнену характеристику складових концепції наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Складові концепції удосконалення метрологічного забезпечення ремонту спеціальної техніки

Складова	Основний зміст	Очікуваний ефект
----------	----------------	------------------

Технічна	Оптимізація складу ЗВТ	Підвищення точності
Методична	Стандартизація методик	Відтворюваність
Організаційна	Регламентація процедур	Керованість
Кадрова	Підвищення кваліфікації	Зниження помилок
Інформаційна	Аналіз результатів	Прогнозування ресурсу

Важливим положенням концепції є диференційований підхід до контролю параметрів залежно від їх впливу на якість ремонту. Для критичних параметрів встановлюються підвищені вимоги до точності вимірювань, частоти контролю та документування результатів.

У таблиці 3.2 наведено приклад розподілу вимог до вимірювань залежно від критичності параметрів.

Таблиця 3.2 – Диференціація вимог до вимірювань у ремонті спеціальної техніки

Рівень критичності	Характер параметрів	Вимоги до вимірювань
Високий	Параметри пар тертя	Максимальна точність
Середній	Посадкові розміри	Підвищена стабільність
Низький	Допоміжні параметри	Стандартні вимоги

Запропонована концепція передбачає поетапне впровадження удосконалень, що дозволяє адаптувати систему метрологічного забезпечення до конкретних умов підприємства без порушення виробничого ритму.

Таким чином, концепція удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки створює методологічну основу для подальшої розробки практичних рішень. Реалізація цієї концепції забезпечує зменшення метрологічних ризиків, підвищення достовірності вимірювального контролю та стабільне зростання якості ремонтно-відновлювальних робіт

3.2. Удосконалення методик вимірювання критичних параметрів при ремонті спеціальної техніки

У процесі ремонту спеціальної техніки методики вимірювання відіграють визначальну роль у забезпеченні точності, достовірності та відтворюваності результатів контролю. Навіть за наявності сучасних засобів вимірювальної техніки відсутність або недосконалість методик призводить до суттєвого зростання метрологічних ризиків і зниження якості ремонтно-відновлювальних робіт. Тому удосконалення методик вимірювання критичних параметрів є одним із ключових напрямів реалізації концепції, обґрунтованої у підрозділі 3.1.

Аналіз практики ремонтного виробництва показує, що вимірювання геометричних і мікрогеометричних параметрів деталей часто здійснюється за спрощеними або неформалізованими схемами, які не враховують вплив умов проведення контролю, кваліфікацію виконавця та невизначеність результатів. Це особливо характерно для контролю параметрів пар тертя, де

точність вимірювання безпосередньо визначає ресурс і надійність відновлених вузлів.

Удосконалення методик вимірювання повинно базуватися на таких основних положеннях:

- чітке визначення контрольованого параметра та його функціонального призначення;
- вибір методу вимірювання з урахуванням вимог до точності та умов ремонту;
- регламентація послідовності виконання вимірювальних операцій;
- урахування складових похибки та невизначеності вимірювань;
- документування результатів і умов проведення контролю.

Особливу увагу слід приділяти параметрам, які мають вирішальний вплив на якість ремонту спеціальної техніки. До таких параметрів належать: лінійні та кутові розміри посадкових поверхонь, шорсткість і хвилястість поверхонь тертя, відхилення форми та взаємного розташування, а також зазори у сполученнях.

У таблиці 3.3 наведено приклад класифікації критичних параметрів та рекомендованих підходів до їх вимірювання.

Таблиця 3.3 – Критичні параметри деталей спеціальної техніки та особливості їх вимірювання

Група параметрів	Характеристика	Особливості методики
Геометричні	Діаметри, довжини, зазори	Підвищена точність
Мікрогеометричні	Шорсткість, хвилястість	Стабільні умови
Формоутворювальні	Овальність, конусність	Багатоточкові вимірювання

Функціональні	Натяг, посадка	Комплексний контроль
---------------	----------------	----------------------

Одним із ключових напрямів удосконалення методик є стандартизація умов вимірювання. Температурні коливання, вібрації, забруднення поверхонь і зношення контактних елементів приладів істотно впливають на результати контролю. Тому методики повинні передбачати вимоги до підготовки деталей, стабілізації температури та перевірки справності засобів вимірювання перед виконанням операцій.

Важливим елементом удосконалених методик є обов'язкове врахування невизначеності вимірювань. Для критичних параметрів необхідно визначати допустимий рівень сумарної невизначеності та порівнювати його з допусками на параметр. У разі перевищення допустимого рівня невизначеності результати вимірювань не можуть вважатися достовірною підставою для прийняття рішення щодо придатності деталі.

У таблиці 3.4 наведено приклад структури удосконаленої методики вимірювання.

Таблиця 3.4 – Структура удосконаленої методики вимірювання при ремонті спеціальної техніки

Етап	Зміст операцій
Підготовчий	Очищення, стабілізація температури
Вибір методу	Обґрунтування способу вимірювання
Основний	Виконання вимірювань

Оцінювання	Аналіз похибок і невизначеності
Документування	Фіксація результатів

Суттєвою перевагою удосконалених методик є зниження залежності результатів вимірювань від людського фактора. Це досягається шляхом чіткого опису дій виконавця, обмеження суб'єктивних рішень і застосування уніфікованих процедур оцінювання результатів.

Запровадження удосконалених методик вимірювання дозволяє:

- підвищити точність і відтворюваність результатів контролю;
- зменшити кількість спірних рішень щодо придатності деталей;
- скоротити витрати на повторні вимірювання та переробки;
- підвищити ресурс і надійність відновлених вузлів спеціальної техніки.

Таким чином, удосконалення методик вимірювання критичних параметрів є необхідною умовою реалізації концепції метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки. Розроблені методичні підходи створюють основу для подальшого обґрунтування вибору та застосування засобів вимірювальної техніки.

3.3. Обґрунтування вибору та застосування засобів вимірювальної техніки при ремонті спеціальної техніки

Ефективність удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки значною мірою визначається правильним вибором і раціональним застосуванням засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Навіть за наявності досконалих методик вимірювання некоректно підібрані або метрологічно нестабільні ЗВТ не забезпечують необхідного рівня точності та достовірності результатів контролю.

У процесі ремонту спеціальної техніки застосовуються вимірювання широкого спектра параметрів: геометричних, мікрогеометричних, формоутворювальних і функціональних. Це обумовлює необхідність використання різномірних ЗВТ, здатних працювати в умовах підвищеної запиленості, вібрацій, температурних коливань і обмеженого часу на виконання контрольних операцій.

Вибір засобів вимірювальної техніки повинен здійснюватися з урахуванням таких основних критеріїв:

- відповідність класу точності вимогам до контролюваного параметра;
- забезпечення допустимого рівня невизначеності вимірювань;
- стабільність метрологічних характеристик у виробничих умовах;
- зручність і оперативність застосування;
- можливість метрологічної повірки або калібрування.

Особливої уваги потребує контроль параметрів пар тертя та посадкових поверхонь, де вимоги до точності є підвищеними. Для таких операцій доцільно застосовувати прецизійні контактні та безконтактні ЗВТ, що забезпечують багатоточкове вимірювання та зменшення впливу суб'єктивного фактора.

У таблиці 3.5 наведено узагальнену характеристику основних груп ЗВТ, що застосовуються під час ремонту спеціальної техніки.

Таблиця 3.5 – Основні групи засобів вимірювальної техніки при ремонті спеціальної техніки

Група ЗВТ	Контрольовані параметри	Особливості застосування
Штангенінструмент	Лінійні розміри	Оперативний контроль

Мікрометричні прилади	Діаметри, товщина	Підвищена точність
Індикаторні прилади	Відхилення форми	Динамічний контроль
Профілометри	Шорсткість поверхонь	Контроль мікрогеометрії
Координатні засоби	Комплексні параметри	Багатопараметричність

Обґрунтований вибір ЗВТ передбачає встановлення співвідношення між допуском на контрольований параметр і допустимою похибкою вимірювання. У практиці ремонту спеціальної техніки рекомендується, щоб похибка вимірювання не перевищувала 10–20 % поля допуску. Порушення цього співвідношення призводить до зростання ймовірності помилкових рішень щодо придатності деталей.

Важливим аспектом є застосування нестандартних і спеціалізованих ЗВТ, які часто використовуються для контролю унікальних або важкодоступних параметрів. Такі засоби повинні проходити обов’язкову метрологічну атестацію, а методики їх застосування – бути документально оформленими.

У таблиці 3.6 наведено приклад вимог до застосування стандартних і нестандартних ЗВТ.

Таблиця 3.6 – Вимоги до застосування ЗВТ у ремонтному виробництві

Тип ЗВТ	Основні вимоги	Умови допуску
Стандартні	Повірка, стабільність	Згідно НД

Нестандартні	Атестація	Затверджена методика
Спеціальні	Калібрування	Контроль стабільності

У межах удосконалення метрологічного забезпечення доцільним є впровадження комбінованих вимірювальних систем, які поєднують декілька ЗВТ та дозволяють отримувати більш повну інформацію про стан деталі. Такий підхід знижує ймовірність пропуску дефектів і підвищує достовірність контролю.

Суттєвим резервом підвищення точності є автоматизація процесів вимірювання, зокрема застосування цифрових приладів із можливістю передачі результатів у бази даних. Це дозволяє мінімізувати помилки зчитування показів, забезпечити простежуваність результатів і створити основу для аналізу стабільності ремонтних процесів.

Таким чином, обґрунтований вибір і раціональне застосування засобів вимірювальної техніки є ключовим чинником підвищення якості ремонту спеціальної техніки. Запропоновані підходи до формування парку ЗВТ забезпечують зменшення метрологічних ризиків, підвищення точності вимірювань і створюють передумови для впровадження удосконалених вимірювальних технологій

3.4. Оцінювання ефективності удосконаленого метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки

Розроблені у підрозділах 3.1–3.4 технічні, методичні та організаційні рішення з удосконалення метрологічного забезпечення потребують обґрунтованого оцінювання їх ефективності. Така оцінка є необхідною умовою підтвердження доцільності впровадження запропонованих заходів і

визначення їх впливу на якість ремонту спеціальної техніки, надійність відновлених вузлів та результативність ремонтного виробництва загалом.

Ефективність удосконаленого метрологічного забезпечення доцільно розглядати як комплексну характеристику, що поєднує технічні, організаційні та економічні показники. При цьому ключовим критерієм є здатність системи метрологічного забезпечення забезпечувати заданий рівень точності та достовірності вимірювань за мінімальних витрат ресурсів і знижених метрологічних ризиків.

Технічна ефективність удосконаленого метрологічного забезпечення проявляється насамперед у підвищенні точності та відтворюваності результатів вимірювального контролю. Запровадження стандартизованих методик вимірювання, оптимізованого складу засобів вимірювальної техніки та регламентованих умов контролю дозволяє зменшити сумарну похибку вимірювань і невизначеність результатів.

Підвищення технічної ефективності проявляється також у зниженні кількості помилкових рішень щодо придатності деталей, скороченні повторних вимірювань і зменшенні ризику пропуску дефектів. Це особливо важливо для контролю параметрів пар тертя та посадкових поверхонь, які визначають ресурс і безвідмовність роботи спеціальної техніки.

Організаційна ефективність полягає у підвищенні керованості вимірювальних процесів і їх інтеграції в систему управління якістю ремонту. Формалізація вимірювальних процедур, чіткий розподіл відповідальності та впровадження системи документування результатів забезпечують прозорість і простежуваність вимірювального контролю.

Запропонована організація метрологічного забезпечення створює умови для аналізу стабільності вимірювальних процесів, виявлення систематичних відхилень і своєчасного коригування технологічних операцій ремонту. Це дозволяє перейти від реактивного контролю до превентивного управління якістю.

Економічна ефективність удосконаленого метрологічного забезпечення проявляється у зниженні витрат, пов'язаних з браком, повторним ремонтом і передчасними відмовами відновлених вузлів. Підвищення точності вимірювань дозволяє більш обґрунтовано приймати рішення щодо обсягу ремонтних робіт і уникати як недоремонту, так і надмірного відновлення деталей.

Додатковим економічним ефектом є зменшення витрат часу на виконання вимірювальних операцій за рахунок стандартизації процедур і застосування більш зручних та надійних засобів вимірювання. Це позитивно впливає на загальну продуктивність ремонтного виробництва.

Для узагальненого оцінювання ефективності доцільно використовувати систему показників, що характеризують різні аспекти функціонування метрологічного забезпечення. У таблиці 3.8 наведено приклад такої системи показників.

Таблиця 3.8 – Показники ефективності удосконаленого метрологічного забезпечення

Група показників	Характеристика
Технічні	Точність, повторюваність, невизначеність
Організаційні	Керованість, простежуваність
Якісні	Зниження браку, стабільність якості
Економічні	Зменшення витрат, підвищення продуктивності

Аналіз наведених показників свідчить, що впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення має системний позитивний вплив на якість ремонту спеціальної техніки. Зниження метрологічних

ризиків і підвищення достовірності вимірювань забезпечують зростання ресурсу відновлених вузлів і підвищення надійності техніки в умовах експлуатації.

Таким чином, оцінювання ефективності підтверджує доцільність реалізації запропонованих у розділі 3 рішень і створює підґрунтя для детального економічного обґрунтування та розрахунку ефекту від їх упровадження

Висновки до розділу 3

У розділі 3 розроблено та обґрунтовано комплекс практичних рішень, спрямованих на удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки. Запропоновані підходи базуються на системному, процесному та ризик-орієнтованому підходах і враховують специфіку ремонтно-відновлювального виробництва, підвищені вимоги до надійності техніки та складні умови її подальшої експлуатації.

У підрозділі 3.1 сформовано концепцію удосконалення метрологічного забезпечення, відповідно до якої вимірювальний контроль розглядається як інструмент управління якістю ремонту, а не як окрема допоміжна функція. Концепція передбачає комплексне удосконалення технічної, методичної, організаційної, кадрової та інформаційної складових метрологічного забезпечення з урахуванням критичності контрольованих параметрів.

У підрозділі 3.2 обґрунтовано напрями удосконалення методик вимірювання критичних параметрів деталей спеціальної техніки. Запропоновані методичні підходи забезпечують підвищення точності, повторюваності та відтворюваності результатів вимірювального контролю, а також зменшення впливу людського фактора і невизначеності вимірювань при прийнятті рішень щодо придатності деталей.

У підрозділі 3.3 виконано обґрунтування вибору та раціонального застосування засобів вимірювальної техніки. Визначено вимоги до їх точності, стабільності та придатності до умов ремонтного виробництва. Показано доцільність використання як стандартних, так і спеціалізованих та нестандартних засобів вимірювання за умови їх належної метрологічної атестації та методичного супроводу.

У підрозділі 3.4 розроблено організаційні заходи з удосконалення метрологічного забезпечення, спрямовані на формалізацію вимірювальних процесів, забезпечення простежуваності результатів вимірювань і інтеграцію метрологічного забезпечення в систему управління якістю ремонту. Запропоновано підходи до планування вимірювального контролю, внутрішнього метрологічного аудиту та підвищення кваліфікації персоналу.

У підрозділі 3.5 виконано комплексну оцінку технічної, організаційної та економічної ефективності запропонованих рішень. Встановлено, що впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення дозволяє зменшити метрологічні ризики, підвищити достовірність вимірювального контролю, скоротити витрати на повторні ремонтні операції та забезпечити стабільне підвищення якості ремонту спеціальної техніки.

Таким чином, результати розділу 3 підтверджують доцільність і практичну значущість запропонованих технічних, методичних і організаційних рішень. Отримані положення створюють науково-методичну та практичну основу для подальшого економічного обґрунтування впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки.

4 Оцінка ефективності та умов впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення

4.1. Економічне обґрунтування впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки

У сучасних умовах ремонтного виробництва спеціальної техніки економічна ефективність значною мірою залежить від рівня якості вимірювального контролю. Недостатня точність вимірювань, неврахування метрологічних ризиків і відсутність системного метрологічного забезпечення призводять до зростання витрат на повторні ремонтні операції, передчасні відмови відновлених вузлів і збільшення простоїв техніки в експлуатації. Тому впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення має не лише технічну, а й чітко виражену економічну доцільність.

Економічний ефект від упровадження удосконаленого метрологічного забезпечення формується за рахунок сукупності прямих і непрямих чинників. До прямих економічних чинників належать зменшення витрат на усунення браку, скорочення обсягів повторного ремонту та оптимізація використання матеріальних ресурсів. Непрямі чинники пов'язані з підвищенням ресурсу відремонтованих вузлів, зниженням імовірності аварійних відмов і зменшенням експлуатаційних втрат.

Основними напрямками формування економічного ефекту є:

- зменшення кількості помилкових рішень щодо придатності деталей;
- скорочення часу виконання вимірювальних операцій за рахунок стандартизації методик;
- зниження витрат на гарантійний та позагарантійний ремонт;
- підвищення загальної продуктивності ремонтного виробництва.

Витрати на впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення включають:

- витрати на оновлення та оптимізацію парку засобів вимірювальної техніки;

- витрати на розроблення та впровадження удосконалених методик вимірювання;
- витрати на навчання та підвищення кваліфікації персоналу;
- організаційні витрати, пов'язані з впровадженням регламентів і документації.

У таблиці 4.1 наведено узагальнену структуру витрат на впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення.

Таблиця 4.1 – Структура витрат на впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення

Стаття витрат	Характер витрат
Засоби вимірювання	Одноразові

Продовження табл.4.1

1	2
Методичне забезпечення	Одноразові
Навчання персоналу	Періодичні
Організаційні заходи	Умовно-постійні

Економічний ефект від упровадження оцінюється шляхом порівняння витрат і результатів до та після реалізації запропонованих заходів. Основним показником ефективності є річна економія коштів за рахунок зниження браку та підвищення стабільності якості ремонту. Додатково може

використовуватися показник строку окупності витрат, який для більшості заходів з удосконалення метрологічного забезпечення є відносно коротким.

Удосконалене метрологічне забезпечення дозволяє зменшити частку повторного ремонту та переробок, що безпосередньо впливає на собівартість ремонтних робіт. За рахунок підвищення точності вимірювань знижується ймовірність як недоремонту, так і надмірного відновлення деталей, що сприяє більш раціональному використанню матеріалів і трудових ресурсів.

Крім того, економічна доцільність впровадження проявляється у зниженні експлуатаційних витрат замовника, пов'язаних із простоєм техніки та позаплановими ремонтами. Підвищення ресурсу відновлених вузлів спеціальної техніки дозволяє збільшити міжремонтні інтервали, що позитивно впливає на загальну ефективність використання техніки.

Таким чином, економічне обґрунтування підтверджує доцільність упровадження удосконаленого метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки. Отриманий економічний ефект у поєднанні з технічними та організаційними перевагами створює стійкі передумови для практичної реалізації запропонованих заходів.

4.2. Оцінка економічного ефекту та строку окупності заходів з удосконалення метрологічного забезпечення

Для підтвердження доцільності впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки необхідно виконати оцінку очікуваного економічного ефекту та визначити строк окупності запропонованих заходів. Така оцінка дозволяє кількісно обґрунтувати вплив підвищення точності вимірювань на результати ремонтного виробництва та експлуатаційну надійність техніки.

Економічний ефект формується за рахунок зменшення втрат, пов'язаних із браком, повторними ремонтними операціями, передчасними відмовами відновлених вузлів, а також за рахунок підвищення продуктивності праці та скорочення простоїв техніки. У загальному вигляді річний економічний ефект визначається як різниця між витратами до впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення та витратами після його впровадження.

Основні складові економічного ефекту включають:

- скорочення витрат на повторний ремонт деталей і вузлів;
- зменшення обсягів браку та переробок;
- зниження експлуатаційних витрат, пов'язаних із відмовами техніки;
- скорочення часу виконання вимірювальних і ремонтних операцій.

Для узагальнення джерел економічного ефекту доцільно використати структуру, наведену в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Основні джерела економічного ефекту від удосконалення метрологічного забезпечення

Джерело ефекту	Характер економії
Зменшення браку	Скорочення матеріальних витрат
Повторний ремонт	Економія трудових ресурсів
Підвищення ресурсу	Зменшення експлуатаційних витрат
Скорочення часу контролю	Зростання продуктивності

Річний економічний ефект E_p у спрощеному вигляді може бути визначений за формулою:

$$E_p = (Z_{\text{до}} - Z_{\text{після}}), \quad (1)$$

де

$Z_{\text{до}}$ — річні витрати на ремонт і контроль якості до впровадження заходів;

$Z_{\text{після}}$ — річні витрати після впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення.

До витрат після впровадження включаються експлуатаційні витрати на обслуговування засобів вимірювання, періодичне навчання персоналу та підтримку методичного забезпечення. Разом із тим ці витрати, як правило, є значно меншими за економію, отриману внаслідок зниження браку та повторних ремонтів.

Строк окупності витрат $T_{\text{ок}}$ визначається як відношення одноразових капітальних витрат на впровадження заходів до величини річного економічного ефекту:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E_p}, \quad (2)$$

де

K — сумарні одноразові витрати на впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення.

Практика впровадження заходів з удосконалення метрологічного забезпечення показує, що строк окупності, як правило, не перевищує одного—двох років, а для окремих організаційних і методичних заходів може бути значно меншим. Це обумовлено тим, що більшість запропонованих рішень не потребують значних капітальних вкладень, але забезпечують відчутне зниження втрат.

Окрім прямого економічного ефекту, слід враховувати і непрямі вигоди, які не завжди можуть бути безпосередньо кількісно оцінені, але мають суттєве значення. До них належать підвищення довіри замовників до якості ремонту, зменшення кількості рекламацій, підвищення конкурентоспроможності підприємства та покращення умов праці персоналу.

Таким чином, оцінка економічного ефекту та строку окупності підтверджує економічну доцільність впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки. Отримані результати свідчать, що запропоновані заходи забезпечують не лише підвищення технічного рівня ремонтного виробництва, але й формують стабільний економічний ефект у середньо- та довгостроковій перспективі.

4.3. Організаційна та виробнича ефективність впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки

Впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки має комплексний вплив не лише на економічні показники діяльності ремонтного підприємства, але й на організацію виробничих процесів, їх керованість, стабільність та результативність. Організаційна та виробнича ефективність у даному випадку розглядається як здатність підприємства забезпечувати заданий рівень якості ремонту за рахунок раціональної організації вимірювальних процесів і оптимального використання трудових та матеріальних ресурсів.

Організаційна ефективність удосконаленого метрологічного забезпечення проявляється, перш за все, у впорядкуванні вимірювального контролю на всіх етапах ремонтно-відновлювальних робіт. Формалізація

методик вимірювання, запровадження регламентів і стандартів виконання вимірювальних операцій забезпечують єдиний підхід до оцінювання технічного стану деталей і вузлів спеціальної техніки.

Чіткий розподіл відповідальності між підрозділами та виконавцями зменшує кількість неузгоджених дій, спрощує взаємодію між технологічними та контрольними службами й підвищує дисципліну виконання робіт. У результаті вимірювальний контроль перестає бути формальною операцією і стає повноцінним елементом системи управління якістю ремонту.

Важливим організаційним результатом є забезпечення простежуваності вимірювань, що дозволяє аналізувати результати контролю у динаміці, виявляти систематичні відхилення та своєчасно коригувати ремонтні процеси. Це створює інформаційну основу для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Виробнича ефективність удосконаленого метрологічного забезпечення проявляється у скороченні тривалості ремонтного циклу та підвищенні стабільності якості відновлених вузлів. Підвищення точності та достовірності вимірювань зменшує кількість повторних контрольних операцій і переробок, що безпосередньо впливає на продуктивність ремонтного виробництва.

Завдяки зниженню метрологічних ризиків скорочується ймовірність як недоремонту, так і надмірного відновлення деталей, що забезпечує раціональне використання матеріалів, запасних частин і трудових ресурсів. Підвищення якості вимірювального контролю сприяє зростанню ресурсу відновлених вузлів і зменшенню кількості рекламаций у процесі експлуатації спеціальної техніки.

Удосконалене метрологічне забезпечення позитивно впливає і на кадровий потенціал підприємства. Стандартизовані процедури вимірювань полегшують навчання персоналу, зменшують залежність результатів від

індивідуального досвіду виконавця та сприяють підвищенню загального рівня професійної підготовки працівників.

Основні прояви організаційної та виробничої ефективності впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Організаційна та виробнича ефективність удосконаленого метрологічного забезпечення

Напрямок ефективності	Основний результат
Організаційна	Уніфікація та керованість вимірювальних процесів
Виробнича	Скорочення тривалості ремонтного циклу

Продовження табл.4.3

1	2
Якісна	Підвищення стабільності якості ремонту
Кадрова	Зростання компетентності персоналу
Репутаційна	Зменшення рекламаций і зростання довіри замовників

Таким чином, організаційна та виробнича ефективність удосконаленого метрологічного забезпечення підтверджує його важливу роль у підвищенні якості ремонту спеціальної техніки. Поєднання технічних, економічних і організаційних переваг створює умови для стабільного функціонування ремонтного підприємства та підвищення його конкурентоспроможності.

4.4. Оцінка впливу удосконаленого метрологічного забезпечення на надійність та ресурс спеціальної техніки після ремонту

Надійність і ресурс спеціальної техніки після ремонтно-відновлювальних робіт значною мірою визначаються якістю вимірювального контролю на етапах дефектації, відновлення та приймання вузлів і агрегатів. Недостатня точність вимірювань або відсутність належного метрологічного забезпечення призводять до прихованих дефектів, передчасного зносу деталей і зниження експлуатаційної надійності відремонтованої техніки.

Удосконалене метрологічне забезпечення, запропоноване в межах даної кваліфікаційної роботи, створює умови для більш достовірного оцінювання геометричних, кінематичних та функціональних параметрів деталей і вузлів спеціальної техніки, що безпосередньо впливає на показники їх надійності та довговічності.

Підвищення точності вимірювання дозволяє забезпечити відповідність фактичних параметрів деталей установленим технічним вимогам і допускам. Це особливо важливо для відповідальних з'єднань, пар тертя, посадок із натягом або зазором, де навіть незначні відхилення можуть призвести до порушення режимів роботи, підвищених контактних напружень та інтенсивного зносу.

Застосування удосконалених методів і засобів вимірювання знижує ймовірність помилкових рішень щодо придатності деталей до подальшої експлуатації, що сприяє зменшенню кількості відмов у період міжремонтної експлуатації.

Ресурс спеціальної техніки після ремонту визначається стабільністю геометричних параметрів, якістю обробки поверхонь і точністю взаємного розташування елементів вузлів. Удосконалене метрологічне забезпечення

дозволяє контролювати ці параметри з більшою точністю, що забезпечує рівномірний розподіл навантажень у вузлах і зниження локальних зон перевантаження.

За рахунок цього зменшується швидкість зношування деталей, зростає середній напрацювання до відмови та збільшується міжремонтний ресурс спеціальної техніки. Практичним результатом є підвищення експлуатаційної готовності машин і скорочення витрат на позапланові ремонти.

Порівняльна оцінка впливу метрологічного забезпечення

У таблиці 4.4 наведено узагальнену оцінку впливу удосконаленого метрологічного забезпечення на показники надійності та ресурсу спеціальної техніки.

Таблиця 4.4 – Вплив рівня метрологічного забезпечення на надійність і ресурс спеціальної техніки

Показник	Традиційний підхід	Удосконалене метрологічне забезпечення
Ймовірність прихованих дефектів	Підвищена	Знижена
Стабільність параметрів вузлів	Нестабільна	Висока
Середній міжремонтний ресурс	Зменшений	Підвищений
Кількість відмов у перший період експлуатації	Значна	Мінімальна

Експлуатаційна надійність	Середня	Висока
---------------------------	---------	--------

Отримані результати свідчать, що удосконалене метрологічне забезпечення якості ремонту спеціальної техніки є одним із ключових чинників підвищення її надійності та ресурсу. Забезпечення високої точності й достовірності вимірювань на етапі ремонту дозволяє знизити ризик передчасних відмов, підвищити стабільність роботи вузлів і забезпечити ефективну експлуатацію спеціальної техніки в умовах підвищених навантажень.

4.5. Перспективи розвитку метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки

Подальший розвиток метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки є важливим напрямом підвищення ефективності ремонтного виробництва, надійності відремонтованих машин і конкурентоспроможності підприємств технічного сервісу. Сучасні тенденції розвитку машинобудування та сервісного обслуговування вимагають постійного вдосконалення методів і засобів вимірювального контролю з урахуванням зростаючих вимог до точності, оперативності та автоматизації.

Цифровізація вимірювальних процесів

Однією з ключових перспектив є цифровізація метрологічного забезпечення, яка передбачає широке використання електронних і цифрових засобів вимірювання, автоматизованих систем збору та обробки даних. Упровадження цифрових вимірювальних приладів і програмного забезпечення дозволяє:

- підвищити оперативність отримання та аналізу результатів вимірювань;
- зменшити суб'єктивний вплив оператора на результати контролю;
- забезпечити збереження та простежуваність вимірювальної інформації;
- створити бази даних параметрів деталей і вузлів спеціальної техніки.

Цифрові технології відкривають можливості для переходу від вибіркового контролю до безперервного моніторингу якості ремонтних робіт.

Розвиток автоматизованих і безконтактних методів вимірювання

Перспективним напрямом є розширення застосування автоматизованих і безконтактних методів вимірювання, зокрема лазерних, оптичних, ультразвукових і електронно-сканувальних систем. Такі методи дозволяють контролювати геометричні та мікрогеометричні параметри деталей без їх демонтажу та зупинки технологічного процесу.

Використання безконтактних засобів вимірювання забезпечує:

- зменшення часу контролю;
- зниження ризику пошкодження деталей;
- підвищення точності при контролі складних поверхонь;
- можливість інтеграції контролю в автоматизовані лінії ремонту.

Удосконалення нормативно-методичного забезпечення

Важливим напрямом розвитку є актуалізація та вдосконалення нормативно-методичної бази метрологічного забезпечення ремонту спеціальної техніки. Це включає:

- розроблення галузевих стандартів і методик вимірювань для специфічних видів спеціальної техніки;
- гармонізацію національних стандартів з міжнародними;
- урахування вимог сучасних систем управління якістю;

- запровадження ризик-орієнтованого підходу до вимірювального контролю.

Такі заходи сприятимуть підвищенню уніфікації та відтворюваності результатів вимірювань на різних ремонтних підприємствах.

Підвищення кваліфікації персоналу

Перспективи розвитку метрологічного забезпечення тісно пов'язані з рівнем підготовки персоналу. В умовах ускладнення вимірювальних технологій зростає потреба у фахівцях, які володіють сучасними методами вимірювання, аналізу похибок і оцінювання невизначеності.

Підвищення кваліфікації персоналу передбачає:

- систематичне навчання та атестацію працівників;
- опанування сучасних програмних засобів аналізу вимірювань;
- формування культури точних вимірювань і відповідальності за результати контролю.

Інтеграція метрологічного забезпечення в систему управління якістю

Подальший розвиток метрологічного забезпечення має здійснюватися в тісному зв'язку з системами управління якістю ремонтного виробництва. Інтеграція вимірювального контролю в загальну систему управління дозволяє:

- забезпечити системність і прозорість процесів ремонту;
- оперативно виявляти та усувати причини відхилень;
- підвищити довіру до результатів контролю з боку замовників;
- створити умови для постійного вдосконалення якості ремонту.

Таким чином, перспективи розвитку метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки пов'язані з цифровізацією вимірювальних процесів, розширенням застосування автоматизованих і безконтактних методів контролю, удосконаленням нормативної бази та підвищенням кваліфікації персоналу. Реалізація зазначених напрямів забезпечить подальше зростання точності вимірювань, підвищення

надійності відремонтованої техніки та ефективності ремонтного виробництва в цілому.

Висновки до розділу 4

У розділі 4 обґрунтовано та комплексно розглянуто напрями удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки з урахуванням сучасних вимог до точності вимірювань, надійності відремонтованих вузлів і ефективності ремонтного виробництва.

У результаті проведених досліджень встановлено, що чинна система метрологічного забезпечення ремонту спеціальної техніки в багатьох випадках не забезпечує необхідного рівня достовірності вимірювального контролю через застарілі методики, недостатню автоматизацію процесів вимірювання та високий вплив людського фактора. Це призводить до зростання метрологічних ризиків, зниження якості ремонтно-відновлювальних робіт і скорочення ресурсу відремонтованої техніки.

Запропоновані в розділі заходи з удосконалення метрологічного забезпечення ґрунтуються на застосуванні сучасних засобів вимірювання, удосконалених методик контролю та стандартизації умов виконання вимірювальних операцій. Реалізація цих заходів дозволяє істотно підвищити точність і повторюваність результатів вимірювань, знизити невизначеність вимірювального контролю та забезпечити стабільність параметрів деталей і вузлів після ремонту.

Проведена оцінка ефективності впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення показала, що його застосування є технічно доцільним, економічно виправданим і організаційно ефективним. Підвищення достовірності вимірювань сприяє зниженню кількості повторних ремонтів, скороченню простоїв спеціальної техніки та підвищенню її експлуатаційної надійності.

Окрему увагу приділено перспективам розвитку метрологічного забезпечення, які пов'язані з цифровізацією вимірювальних процесів, розширенням застосування автоматизованих і безконтактних методів контролю, удосконаленням нормативно-методичної бази та підвищенням кваліфікації персоналу. Реалізація зазначених напрямів створює передумови для інтеграції метрологічного забезпечення в сучасні системи управління якістю ремонтного виробництва.

Таким чином, результати розділу 4 підтверджують, що удосконалення метрологічного забезпечення є одним із ключових факторів підвищення якості ремонту спеціальної техніки, зростання надійності відремонтованих машин і забезпечення сталого розвитку підприємств технічного сервісу.

Загальні висновки

Загальні висновки

У дипломній роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки, що має важливе значення для підвищення надійності, довговічності та безпечної експлуатації відремонтованих машин і механізмів.

У ході виконання роботи проаналізовано сучасний стан і проблемні аспекти метрологічного забезпечення ремонтного виробництва спеціальної техніки. Встановлено, що недостатня точність вимірювального контролю, застарілі методики вимірювань, обмежене застосування автоматизованих засобів та значний вплив людського фактора негативно позначаються на якості ремонтно-відновлювальних робіт і призводять до зростання метрологічних ризиків.

На основі аналізу нормативно-правової та нормативно-методичної бази з метрологічного забезпечення, технічного контролю та управління

якістю обґрунтовано необхідність удосконалення вимірювальних процесів у ремонті спеціальної техніки з урахуванням сучасних вимог до точності, відтворюваності та достовірності результатів вимірювань.

У роботі досліджено існуючі методи і засоби вимірювання, що застосовуються під час ремонту деталей і вузлів спеціальної техніки, та встановлено основні джерела похибок і невизначеності вимірювань. Показано, що підвищення точності вимірювального контролю є одним із ключових чинників забезпечення відповідності відремонтованих вузлів технічним вимогам і нормативним допускам.

Запропоновано комплекс напрямів удосконалення метрологічного забезпечення якості ремонту спеціальної техніки, які передбачають застосування сучасних високоточних засобів вимірювання, удосконалення методик вимірювального контролю, стандартизацію умов проведення вимірювань, а також впровадження елементів автоматизованого збору та обробки результатів вимірювань.

Проведено оцінку технічної, економічної та організаційної ефективності впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення. Установлено, що запропоновані заходи дозволяють підвищити достовірність контролю, зменшити кількість повторних ремонтів, скоротити простой спеціальної техніки та підвищити ресурс і надійність відремонтованих машин.

Розглянуто перспективи подальшого розвитку метрологічного забезпечення ремонту спеціальної техніки, пов'язані з цифровізацією вимірювальних процесів, розширенням застосування автоматизованих і безконтактних методів контролю, удосконаленням нормативно-методичної бази та підвищенням кваліфікації персоналу ремонтних підприємств.

Загалом результати дипломної роботи підтверджують, що удосконалення метрологічного забезпечення є необхідною умовою підвищення якості ремонту спеціальної техніки, зростання її

експлуатаційної надійності та ефективності функціонування ремонтного виробництва, а отримані науково-практичні результати можуть бути використані в діяльності підприємств технічного сервісу.

Список використаних джерел

1. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
2. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 05.06.2014 № 1314-VII.
3. Закон України «Про стандартизацію» від 05.06.2014 № 1315-VII.
4. Закон України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» від 15.01.2015 № 124-VIII.
5. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
6. ДСТУ ISO 10012:2005. Системи керування вимірюваннями. Вимоги до вимірювальних процесів і вимірювального обладнання.
7. ДСТУ ISO/IEC 17025:2019. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.

8. ДСТУ EN ISO 14253-1:2018. Геометричні характеристики виробів. Контроль вимірювань.
9. ДСТУ ISO 5725-1:2005. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювань.
10. ДСТУ ISO 5725-2:2005. Основний метод визначення повторюваності та відтворюваності.
11. ДСТУ ISO 5725-3:2005. Проміжні показники точності методів вимірювань.
12. ДСТУ ISO 5725-4:2005. Основні методи визначення правильності результатів.
13. ДСТУ ISO 5725-5:2005. Альтернативні методи визначення точності.
14. ДСТУ ISO 5725-6:2005. Використання показників точності на практиці.
15. ДСТУ ISO 14253-2:2019. Геометричні допуски. Оцінювання невизначеності вимірювань.
16. ДСТУ ISO 14638:2016. Геометричні характеристики виробів. Основні поняття.
17. ДСТУ ISO 1101:2017. Геометричні допуски форми, орієнтації, розташування та биття.
18. ДСТУ ISO 4287:2012. Геометричні характеристики поверхні. Параметри шорсткості.
19. ДСТУ ISO 4288:2012. Геометричні характеристики поверхні. Оцінювання параметрів.
20. ДСТУ ISO 25178-2:2015. Текстура поверхні. Параметри площинної поверхні.
21. ДСТУ ISO 3650:2009. Міри довжини кінцеві. Технічні вимоги.
22. ДСТУ ISO 3611:2009. Мікрометри. Технічні вимоги та методи випробування.

23. ДСТУ ISO 13385-1:2016. Штангенінструменти. Загальні технічні вимоги.
24. ДСТУ ISO 1938-1:2017. Калібри гладкі. Допуски та контроль.
25. ДСТУ ISO 14253-3:2018. Рішення щодо відповідності на основі вимірювань.
26. ДСТУ ISO/TR 14638:2017. Геометричні характеристики виробів. Методичні рекомендації.
27. Кузнєцов В. М. Основи метрології та вимірювальної техніки : підручник. – Київ : Либідь, 2018.
28. Ільїн О. О. Метрологічне забезпечення виробництва і ремонту машин. – Харків : НТУ «ХПІ», 2019.
29. Бондаренко М. Ф. Технічні вимірювання в машинобудуванні. – Київ : НТУУ «КПІ», 2017.
30. Сидоренко О. І. Контроль якості та надійність машин. – Львів : Львівська політехніка, 2020.
31. Петренко В. П. Метрологія, стандартизація і сертифікація. – Київ : КНЕУ, 2018.
32. Левченко І. А. Основи вимірювань і технічної діагностики. – Дніпро : ПДАБА, 2019.
33. Кравченко С. В. Методи контролю якості ремонтних робіт. – Харків : ХНАДУ, 2020.
34. Ковальчук В. М. Технічний контроль у ремонтному виробництві. – Київ : НУБіП України, 2018.
35. Яценко В. Г. Надійність та довговічність машин. – Київ : Вища школа, 2017.
36. ISO 9000:2015. Quality management systems — Fundamentals and vocabulary.
37. ISO 10012:2003. Measurement management systems — Requirements for measurement processes.

38. ISO/IEC Guide 98-3:2008. Uncertainty of measurement — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM).
39. ISO 14253-1:2017. Geometrical product specifications (GPS). Inspection by measurement.
40. ISO 4287:1997. Surface texture — Profile method — Terms, definitions and parameters.
41. ISO 4288:1996. Surface texture — Profile method — Rules and procedures.
42. ISO 1101:2017. Geometrical tolerancing — Tolerances of form, orientation, location and run-out.
43. ISO 1938-1:2015. Geometrical product specifications (GPS) — Plain gauges.
44. Montgomery D. C. Introduction to Statistical Quality Control. – New York : Wiley, 2019.
45. Juran J. M. Juran's Quality Handbook. – New York : McGraw-Hill, 2018.
46. BIPM. International Vocabulary of Metrology (VIM). – Paris, 2012.
47. OIML G 1:2019. Concepts of metrology.
48. OIML D 10:2013. Guidelines for the determination of measurement uncertainty.
49. OIML R 76-1:2016. Non-automatic weighing instruments.
50. IEC 60050. International Electrotechnical Vocabulary. – Geneva : IEC, 2018.