Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра інженерії вагонів та якості продукції

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕСТАНДАРТНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Пояснювальна записка і розрахунки
до магістерської кваліфікаційної роботи

МКРМЕ.175.26.15.00. ПЗ

Розробила студентка групи 217-ЯСС-324
спеціальності 175 «Інформаційно-вимірювальні технології» освітньої програми
«Якість, стандартизація та сертифікація»
_____Яна ЛОЦМАН

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

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

2025

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет механіко-енергетичний
Кафедра інженерії вагонів та якості продукції
Другий (магістерський) рівень вищої освіти
Спеціальність – 175 «Інформаційно-вимірювальна техніка»
Освітня програма – «Якість, стандартизація, сертифікація»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук
_____ В. Г. Равлюк
«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Лоцман Яни Олександрівни

1 Тема «Удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки».
керівник Тимофеєв 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 деталей машин і механізмів, зокрема пар тертя. У процесі практики студент повинен зібрати фактичні дані, необхідні для аналізу вимірювальних процесів, оцінювання геометричних, мікрогеометричних і функціональних параметрів деталей пар тертя, 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 пар тертя, 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 під час ремонтно-відновлювальних робіт.

5. На основі зібраних матеріалів необхідно сформувати методичний підхід до удосконалення методів і засобів вимірювання при ремонті та відновленні пар тертя.

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	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 пар тертя	14.04 – 10.06	виконано
4. Аналіз чинної системи вимірювального контролю технічного стану деталей пар тертя у процесі ремонтно-відновлювальних робіт.	11.06 – 03.07	виконано
5. Обґрунтування та розроблення удосконалених методів і засобів вимірювання, спрямованих на підвищення точності та достовірності контролю при ремонті пар тертя.	04.07 – 01.09	виконано
6. Оцінка економічної та організаційної ефективності впровадження запропонованих технічних і методичних рішень у ремонтному виробництві.	02.09 – 05.10	виконано
7. Розробка та оформлення слайдів	06.10 - 16.11	виконано
8. Отримання рецензії на МКР	01.12.25	виконано
9. Захист МКР в ДЕК	15.01.26	

Студентка _____ Яна ЛОЦМАН

Керівник _____ Сергій ТИМОФЄЄВ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота включає 15 слайдів презентації та 102 аркушів пояснювальної записки формату А4.

Ключові слова: нестандартні засоби вимірювальної техніки, метрологічне забезпечення, вимірювальні процеси, засоби вимірювання, точність вимірювань, невизначеність, метрологічні ризики, якість вимірювань, надійність результатів.

Об’єктом дослідження є нестандартні засоби вимірювальної техніки, що застосовуються у виробничих, ремонтних та контрольних процесах, як об’єкти метрологічного забезпечення та вимірювального контролю.

Предметом дослідження є методи, засоби та організаційно-методичні підходи до метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки, зокрема забезпечення точності, відтворюваності та достовірності результатів вимірювань.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування та розроблення напрямів удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки з метою підвищення точності та надійності вимірювань, зниження метрологічних ризиків, забезпечення якості вимірювальних процесів і підвищення ефективності їх практичного застосування.

У роботі проаналізовано теоретичні та нормативно-методичні засади метрологічного забезпечення вимірювань, розглянуто вимоги національних і міжнародних стандартів у сфері метрології, технічного контролю та управління якістю. Проведено аналіз особливостей застосування нестандартних засобів вимірювальної техніки, організації вимірювальних процесів, методів калібрування, атестації та контролю метрологічних характеристик. Виявлено основні проблемні аспекти, що знижують точність вимірювань, стабільність результатів і достовірність вимірювального контролю.

Розроблено практичні рекомендації щодо удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки, які передбачають удосконалення методик вимірювання, стандартизацію умов проведення вимірювань, оптимізацію складу засобів вимірювання та впровадження елементів автоматизованого збору й обробки результатів. 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 102 pages of explanatory notes in A4 format.

Keywords: non-standard measuring instruments, metrological support, measurement processes, measuring instruments, measurement accuracy, uncertainty, metrological risks, measurement quality, result reliability.

The object of the study is non-standard measuring instruments used in production, repair, and inspection processes as objects of metrological support and measurement control.

The subject of the study is methods, measuring instruments, and organizational and methodological approaches to metrological support of non-standard measuring instruments, including ensuring measurement accuracy, repeatability, and reliability.

The purpose of the qualification work is to substantiate and develop directions for improving metrological support of non-standard measuring instruments in order to increase measurement accuracy and reliability, reduce metrological risks, ensure measurement quality, and improve the efficiency of their practical application.

The work analyzes theoretical and regulatory foundations of metrological support, as well as national and international standards in the field of metrology, technical control, and quality management. The features of using non-standard measuring instruments, organization of measurement processes, calibration and verification methods, and control of metrological characteristics are analyzed. Key problem areas that reduce measurement accuracy, result stability, and measurement reliability are identified.

Practical recommendations for improving metrological support of non-standard measuring instruments 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 нестандартних засобів вимірювань 12

1.1. Поняття, значення та особливості метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки 12

1.2. Нормативно-правові засади та стандарти, що регламентують метрологічне забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки 15

1.3. Аналіз факторів, що впливають на точність та стабільність роботи нестандартних засобів вимірювальної техніки 19

1.4. Особливості метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки 22

1.5. Методи калібрування, атестації та оцінювання точності нестандартних засобів вимірювальної техніки 26

1.6. Метрологічна експертиза, документування та системне управління життєвим циклом нестандартних засобів вимірювальної техніки 29

Висновки до розділу 1 32

2 Аналіз системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки на підприємстві 34

2.1. Характеристика діяльності підприємства та системи вимірювального забезпечення 34

2.2. Аналіз нормативно-правової та стандартної бази метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки 38

2.3. Аналіз наявних нестандартних засобів вимірювальної техніки та особливостей їх застосування на підприємстві 41

2.4. Оцінка метрологічного стану нестандартних засобів вимірювальної техніки 44
2.5. Аналіз похибок, невизначеності вимірювань та метрологічних ризиків при застосуванні нестандартних засобів вимірювальної техніки 47
2.6. Узагальнення результатів аналізу та обґрунтування необхідності удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки 50
Висновки до розділу 2 57
3 Шляхи удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки 59
3.1. Обґрунтування концепції удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки 59
3.2. Розроблення удосконалених методичних підходів до калібрування та контролю нестандартних засобів вимірювальної техніки 61
3.3. Розроблення структурної моделі удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки 64
3.4. Розроблення алгоритму впровадження удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки 67
3.5. Оцінювання технічної, метрологічної та організаційної ефективності впровадження удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки 70
3.6. Розширені практичні рекомендації щодо впровадження, експлуатації та розвитку удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки 73
Висновки до розділу 3 76
4 Економічна та організаційна оцінка ефективності запропонованих заходів 78

4.1. Розширений аналіз умов праці та небезпечних і шкідливих виробничих факторів при виконанні вимірювальних робіт із застосуванням нестандартних засобів вимірювальної техніки 78
4.2 Обґрунтування та розроблення заходів з охорони праці при експлуатації нестандартних засобів вимірювальної техніки 81
4.3. Оцінка економічної та організаційної ефективності впровадження заходів з охорони праці та метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки 84
4.4 Забезпечення пожежної та електробезпеки при роботі з нестандартними засобами вимірювальної техніки 87
4.5. Екологічні аспекти та вплив вимірювальної діяльності із застосуванням нестандартних засобів вимірювальної техніки на навколишнє середовище 90
4.6. Заходи з попередження аварійних ситуацій та дії персоналу у разі виникнення надзвичайних подій при роботі з нестандартними засобами вимірювальної техніки 92
Висновки до розділу 4 95
Загальні висновки 97
Список використаних джерел 99

Вступ

У сучасних умовах розвитку промисловості, енергетики, машинобудування та інформаційних технологій зростає потреба у вимірюванні все складніших фізичних величин, у реальних виробничих середовищах, із застосуванням нестандартних засобів вимірювальної техніки (НЗВТ). Такі засоби створюються тоді, коли традиційні промислові прилади не забезпечують потрібної точності, швидкодії, діапазону, надійності або конструктивної адаптованості до специфічних умов функціонування. Нестандартні вимірювальні пристрої часто застосовуються у наукових лабораторіях, унікальних технологічних процесах, випробувальних стендах, модернізованих машинно-технічних системах і в умовах експлуатаційних досліджень, де необхідно здійснювати вимірювання в екстремальних або нестандартних умовах.

Незважаючи на широке використання нестандартних засобів вимірювальної техніки, проблема їх метрологічного забезпечення залишається однією з найбільш актуальних. Традиційні методики повірки, калібрування, встановлення метрологічних характеристик, оцінки похибок та невизначеності не завжди можуть бути застосовані до приладів, що не мають серійних аналогів або створені для вирішення вузькоспеціалізованих задач. Це зумовлює необхідність розроблення адаптивних підходів до метрологічного забезпечення таких засобів, що включають індивідуальний підбір еталонної бази, створення спеціальних методик вимірювань, дослідження умов експлуатації та врахування впливу зовнішніх факторів на результат.

Метрологічне забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки має важливе значення для забезпечення якості продукції, безпеки технологічних процесів, достовірності експериментальних досліджень та прийняття обґрунтованих управлінських рішень. НЗВТ нерідко

використовуються для контролю параметрів, що мають критичне значення для роботи машин і обладнання: високі температури, великі навантаження, агресивні середовища, складні механічні деформації, вібрації, електромагнітні поля. За таких умов навіть незначна похибка може призвести до відмови системи, аварії або некоректного оцінювання технічного стану. Саме тому удосконалення процедури метрологічного забезпечення цих засобів є необхідною умовою їх ефективного та безпечного застосування.

Сучасні тенденції розвитку вимірювальної техніки передбачають широке впровадження цифрових технологій, інтелектуальних сенсорних систем, комбінованих та адаптивних приладів, що здатні самостійно компенсувати вплив збурювальних факторів. Проте, разом із підвищенням технологічної складності приладів зростають і вимоги до їхньої метрологічної підтримки. Актуальним стає питання створення нових підходів до оцінювання метрологічних характеристик та розроблення методів калібрування, адаптованих до специфіки нестандартних засобів вимірювання. Відсутність уніфікованих нормативних документів для НЗВТ ускладнює процес встановлення їх параметрів точності та простежуваності до національних еталонів.

Важливою проблемою є також те, що нестандартні засоби вимірювання часто експлуатуються у складних умовах, де на їх роботу впливають температурні коливання, механічні навантаження, вібрації, умови монтажу, нестабільність джерел живлення та інші фактори, що формують складну структуру похибок. Тому для забезпечення стабільності результатів необхідно здійснювати глибоке дослідження метрологічних властивостей таких приладів у реальних умовах їх експлуатації. Це передбачає проведення експериментальних досліджень, математичне моделювання процесів вимірювання, розроблення алгоритмів корекції

похибок та методів оцінювання невизначеності, що враховують умови роботи.

Об’єктом дослідження у роботі є процес метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки.

Предметом дослідження — методи, методики, засоби та організаційні підходи до підвищення точності, стабільності та простежуваності вимірювань НЗВТ.

Метою дипломної роботи є розроблення та наукове обґрунтування удосконалених методів метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки, що забезпечують підвищення точності, надійності та відтворюваності вимірювальних процесів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– провести аналіз сучасних вимог до метрологічного забезпечення вимірювальних систем та специфіки НЗВТ;

– виявити основні проблеми та недоліки традиційних методів повірки і калібрування, які обмежують їх застосування до нестандартних приладів;

– дослідити вплив зовнішніх та внутрішніх факторів на точність роботи НЗВТ;

– розробити удосконалену методику метрологічного забезпечення з урахуванням специфіки НЗВТ;

– обґрунтувати підхід до оцінювання невизначеності результатів вимірювань;

– дослідити можливості застосування цифрових і інтелектуальних методів компенсації похибок;

– провести оцінку ефективності впровадження запропонованої системи у виробничий процес.

Наукова новизна роботи полягає у формуванні комплексного підходу до метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки, що передбачає інтеграцію традиційних і сучасних цифрових

методів, експериментальних процедур та математичного моделювання для зменшення похибок і забезпечення високої точності вимірювань.

Практичне значення дослідження полягає у можливості впровадження запропонованих методів у метрологічні служби підприємств, випробувальні лабораторії, ремонтні та інженерні підрозділи, які використовують у своїй діяльності нестандартні засоби вимірювання. Реалізація розроблених рекомендацій дозволить підвищити достовірність контролю, забезпечити стабільність технічних процесів, зменшити ризики невірних вимірювань і підвищити якість продукції.

1 Теоретичні основи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювань

1.1. Поняття, значення та особливості метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки

Метрологічне забезпечення є стратегічною основою функціонування будь-якої системи вимірювань, оскільки саме воно гарантує достовірність та порівнюваність результатів у різних умовах, незалежно від характеристик вимірювального об’єкта чи складності процесу. У традиційних вимірювальних системах метрологічне забезпечення спирається на стандартизовані методики, еталони та нормативні документи, що визначають правила роботи із серійними засобами вимірювальної техніки. Однак сучасна техніка, технології та наукові дослідження дедалі частіше потребують застосування нестандартних засобів вимірювання — таких, що виходять за межі типових конструкцій, створюються під конкретні задачі або використовуються в умовах, недоступних для промислових приладів.

Нестандартні засоби вимірювальної техніки (НЗВТ) представляють собою унікальні вимірювальні пристрої, створені або модифіковані для конкретних технічних умов, експериментальних задач чи нетипових діапазонів вимірювань. Це можуть бути спеціальні датчики, лабораторні установки, експериментальні стенди, модернізовані промислові сенсори, адаптовані польові засоби вимірювань або прототипи нових вимірювальних систем. Їхня унікальність полягає у тому, що вони не мають серійних аналогів і не підпадають під дію типових методик повірки чи калібрування. Унаслідок цього метрологічне забезпечення НЗВТ потребує спеціальних рішень, заснованих на індивідуальному підході.

Значення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювання визначається насамперед тією роллю, яку ці засоби відіграють

у технологічних та науково-дослідних процесах. У багатьох випадках саме НЗВТ застосовуються для вимірювання параметрів, від яких залежить безпека, надійність та ефективність роботи машин, обладнання або технологічних процесів. Вони можуть визначати величини, що недоступні для серійних приладів: надвисокі температури, агресивні середовища, великі швидкості, складні механічні деформації, комбіновані фізичні ефекти. Похибки у таких вимірюваннях здатні призвести не лише до неправильних наукових висновків, але й до аварій, псування обладнання, економічних втрат або навіть загрози життю персоналу. Саме тому якісне метрологічне забезпечення НЗВТ є критично важливим.

Нестандартні вимірювальні засоби мають свої специфічні особливості, що ускладнюють процес метрологічного забезпечення. Насамперед, вони часто працюють у нестабільних або екстремальних умовах, де на результат вимірювання впливає значна кількість зовнішніх факторів — температура, вібрації, агресивні хімічні речовини, електромагнітні завади, механічні перевантаження. Для стандартних приладів такі умови є забороненими, проте НЗВТ спеціально адаптовані для роботи в них, що потребує ретельного дослідження впливових факторів та розроблення відповідних корекційних моделей.

Другою суттєвою особливістю є відсутність заводської документації та офіційно затверджених методик повірки. Якщо серійні засоби вимірювання проходять заводську атестацію, мають паспорт, еталонні значення, методику та алгоритми оцінювання точності, то нестандартні засоби таких документів не мають. Це означає, що всі процедури — від визначення діапазону вимірювань до встановлення похибок і невизначеності — мають розроблятися індивідуально. Такий підхід потребує значної наукової підготовки, експериментальних досліджень та математичного моделювання.

Третя особливість полягає в тому, що НЗВТ часто створюються як прототипи інноваційних вимірювальних систем, що лише проходять апробацію. У таких умовах метрологічне забезпечення спрямоване не на підтримання стабільності приладу, а на формування його метрологічних характеристик. Тобто не просто перевіряється точність, а визначаються чинники, які впливають на її формування, встановлюються закони зміни показів, виявляються складові похибок та розробляються умови оптимальної експлуатації.

Надзвичайно важливим завданням є забезпечення простежуваності вимірювань, що є базовим принципом світової метрології. Простежуваність означає можливість віднести результат вимірювання до державного або міжнародного еталона шляхом неперервного ланцюга калібрувань. Для нестандартних приладів це завдання значно ускладнюється, адже прямі калібрувальні схеми часто не існують. У таких випадках використовують непрямі або комбіновані методи, наприклад калібрування через проміжні величини, застосування математичних моделей або побудову спеціальних стендів.

Ураховуючи, що НЗВТ нерідко застосовуються у високотехнологічних галузях — авіаційній, космічній, машинобудівній, енергетичній, аграрній — точність та стабільність вимірювань стають ключовими показниками їх працездатності. Неправильні вимірювання можуть призвести до хибних технологічних рішень, що зумовлює значні фінансові ризики. Тому удосконалення метрологічного забезпечення стає не лише технічною необхідністю, але й економічно обґрунтованим заходом.

Таким чином, метрологічне забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки є комплексним і науково складним процесом, що включає розроблення індивідуальних методик, експериментальне встановлення характеристик, дослідження впливу факторів, забезпечення простежуваності та створення умов стабільної роботи. Воно має ключове

значення для підвищення достовірності вимірювань, оптимізації технологічних процесів, безпеки обладнання та розвитку інноваційних вимірювальних рішень.

1.2. Нормативно-правові засади та стандарти, що регламентують метрологічне забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки

Метрологічне забезпечення будь-яких засобів вимірювання ґрунтується на системі нормативних, правових та організаційних документів, які встановлюють вимоги до точності, простежуваності, відтворюваності та достовірності результатів вимірювань. Для стандартних приладів ці вимоги визначені національними та міжнародними стандартами, інструкціями виробників, методиками повірки та галузевими регламентами. Проте у випадку нестандартних засобів вимірювальної техніки (НЗВТ) нормативно-правова база виконує подвійну функцію: з одного боку, вона встановлює обов’язкові вимоги до вимірювань як таких, з іншого — задає рамки та принципи, на основі яких необхідно розробляти індивідуальні методики повірки й калібрування для конкретних нестандартних приладів.

Основу правового регулювання метрологічної діяльності в Україні становить Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність», який визначає державну політику у сфері вимірювань, структуру системи еталонів, порядок калібрування засобів вимірювальної техніки, вимоги до метрологічних служб підприємств та процедури забезпечення єдності вимірювань. Для нестандартних засобів цей закон є особливо важливим, оскільки він встановлює обов’язок забезпечення простежуваності навіть у тих випадках, коли традиційні нормативні документи не містять прямої методики для конкретного типу приладу. Це означає, що розробник або користувач нестандартного засобу вимірювань повинен створити методику,

яка відповідатиме загальним принципам метрології та забезпечить необхідний рівень точності.

Дуже важливим елементом нормативної бази є система міжнародних стандартів ISO, які виступають основою для гармонізації національних вимог. У контексті НЗВТ особливу роль відіграють стандарти ISO 9001 та ISO 10012, що визначають загальні правила управління вимірювальними процесами та контролем метрологічних характеристик. Ці документи встановлюють вимоги до документування методик, періодичності калібрувань, простежуваності результатів та стабільності метрологічних властивостей. Хоча ISO 10012 не встановлює конкретних характеристик для окремих приладів, він визначає структуру системи контролю, що має бути дотримана навіть у випадку нестандартного обладнання.

Стандарти ISO/IEC 17025 мають ключове значення для калібрувальних та випробувальних лабораторій, які працюють із нестандартними засобами вимірювань. Цей стандарт визначає вимоги до компетентності персоналу, приміщень, обладнання, методик повірки та оцінювання невизначеності вимірювань. У випадку НЗВТ саме ISO/IEC 17025 задає методологічну основу для створення спеціальних методів калібрування тоді, коли серійних процедур просто не існує. Згідно з його вимогами, будь-яка нестандартна методика повинна бути експериментально обґрунтованою, валідованою та здатною забезпечувати простежуваність результатів до національних еталонів.

Окрему групу нормативних документів становлять національні стандарти ДСТУ, гармонізовані з міжнародними. Вони визначають термінологію, основні принципи метрологічного забезпечення, процедури оцінювання похибок, методи калібрування та загальні правила вимірювальних процесів. Хоча вони не завжди містять прямі інструкції щодо роботи з нестандартними засобами, їхні вимоги є обов’язковими для врахування при розробленні індивідуальних методик. Нормативи ДСТУ з

оцінювання невизначеності, метрологічних характеристик, стабільності та безпеки вимірювань формують базові засади для метрологічної підтримки будь-якого вимірювального обладнання, у тому числі нестандартного.

Істотне значення має також концепція простежуваності вимірювань, закріплена у документах Міжнародного бюро мір і ваг (BIPM). Вона визначає принципи побудови ланцюга калібрувань, що пов'язує результат вимірювання із значеннями міжнародних еталонів. Для НЗВТ побудова такого ланцюга може потребувати використання проміжних еталонів, порівняльних методів або математичних моделей, оскільки прямі калібрувальні схеми часто відсутні. У таких випадках нормативні документи вимагають створення логічно обґрунтованої, експериментально підтвердженої процедури, яка забезпечує достовірність і відтворюваність результатів.

Важливою є і вимога до атестації та калібрування засобів вимірювання, які застосовуються у сфері державного метрологічного нагляду. Хоча багато нестандартних приладів не входять до цього переліку, їхнє використання в технічно складних процесах або експериментальних дослідженнях потребує не менш високих вимог до метрологічної якості. Відсутність готових методик повірки стимулює розроблення нових підходів, які повинні відповідати міжнародним нормам з точки зору простежуваності, точності та невизначеності.

Застосування нормативної бази при роботі з нестандартними засобами вимірювальної техніки вимагає врахування того, що їх метрологічні характеристики часто формуються не виробником, а користувачем. Тому саме нормативні документи задають рамки, які визначають, якими методами може бути побудована система метрологічної підтримки. Вони встановлюють вимоги до вибору еталонів, до структури звітної документації, до обов'язковості експериментальної перевірки точності та до порядку оцінювання розширеної невизначеності.

В умовах розвитку цифрових технологій і появи інтелектуальних вимірювальних систем нормативна база також зазнає модернізації, включаючи стандарти, що регламентують програмне забезпечення, алгоритми обробки сигналів, цифрові фільтри та системи самокалібрування. Ці документи створюють основу для метрологічної підтримки найсучасніших типів нестандартної вимірювальної апаратури, які функціонують на базі мікроконтролерів, машинного навчання, цифрової корекції похибок та комбінованих принципів вимірювання.

Таким чином, нормативно-правові засади метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки формують комплексну систему, яка поєднує в собі законодавчі вимоги, стандартизовані підходи, міжнародні принципи простежуваності та сучасні цифрові концепції вимірювань. Незважаючи на відсутність прямих методик для НЗВТ, саме нормативна база визначає методологію, на основі якої можуть бути розроблені індивідуальні процедури атестації, калібрування та оцінювання точності. Це забезпечує достовірність результатів вимірювань, їхній зв’язок з еталонними значеннями та можливість ефективного застосування нестандартних засобів у складних виробничих і наукових умовах.

1.3. Аналіз факторів, що впливають на точність та стабільність роботи нестандартних засобів вимірювальної техніки

Точність роботи нестандартних засобів вимірювальної техніки є результатом взаємодії великої кількості зовнішніх і внутрішніх чинників, які формують складну, багатовимірну систему впливів на вимірювальний процес. На відміну від серійних приладів, для яких більшість факторів враховані на етапі заводського проєктування й стандартизовані в технічній документації, нестандартні засоби вимірювань не мають попередньо визначених характеристик. Їх метрологічні властивості формуються

безпосередньо в умовах експлуатації. Тому дослідження та аналіз факторів, що впливають на точність, є ключовим етапом у побудові ефективної системи метрологічного забезпечення НЗВТ.

Одним із найважливіших чинників є вплив температури на чутливі елементи вимірювальної системи. Температурні коливання спричиняють зміну лінійних розмірів конструкції приладу, варіації електричного опору сенсорів, дрейф вихідного сигналу та появу додаткових похибок. Для нестандартних засобів, які часто працюють у складних середовищах — наприклад, поблизу двигунів, нагрівальних зон, у польових умовах або під час випробувань — температурний вплив може мати домінуюче значення. Відсутність заводської термокомпенсації вимагає проведення спеціальних досліджень, що дозволяють визначити залежність показів приладу від температури та розробити алгоритми температурної корекції.

Другим суттєвим фактором є механічні навантаження та вібрації, які впливають на конструкцію обладнання і призводять до зміни показів. В умовах промислових технологічних процесів нестандартні засоби вимірювання нерідко встановлюють на об’єктах, що зазнають інтенсивних вібрацій — таких як насоси, компресори, металорізальні верстати, силові агрегати. Вібрації можуть змінювати силу контакту, викликати коливання вимірювальних елементів, змінювати електричні параметри сенсорів та спричиняти шум у вихідному сигналі. Для усунення цього впливу застосовують демпфування, усереднення результатів, цифрову фільтрацію або модифікацію конструкції приладу шляхом встановлення додаткових кріплень чи стабілізаційних елементів.

Важливим чинником, що безпосередньо впливає на точність, є стабільність джерела живлення. Нестандартні вимірювальні засоби часто використовують імпровізовані або лабораторні джерела живлення, які не завжди забезпечують стабільну напругу та струм. Коливання напруги можуть змінювати чутливість сенсорів, впливати на роботу підсилювальних

каскадів і підсистеми збору даних, що особливо критично для електронних та цифрових НЗВТ. Тому метрологічне забезпечення повинно включати аналіз впливу джерел живлення на результати вимірювання, застосування стабілізаторів напруги або переробку схем живлення приладу.

Окреме значення має вплив електромагнітних завад. У промислових умовах нестандартні вимірювальні системи працюють поруч із силовими кабелями, двигунами, генераторами, зварювальними установками та електронним обладнанням, яке генерує електромагнітні поля. Завади можуть індукувати паразитні сигнали у вимірювальних колах, змінювати форму вихідного сигналу та призводити до появи випадкових або систематичних похибок. Електромагнітна стійкість НЗВТ зазвичай нижча, ніж у промислових серійних приладів, тому потребує додаткової уваги. Екранування, заземлення, фільтри та диференційні схеми підключення є основними методами зниження впливу завад.

Не менш важливим є фактор зношування та деградації елементів НЗВТ. Оскільки нестандартні засоби часто створюються як прототипи або експериментальні моделі, вони можуть не мати гарантованого ресурсу роботи. Проблеми виникають через старіння матеріалів, втрату еластичності механічних елементів, дрейф електричних характеристик, корозію, забруднення контактів і зміну чутливості сенсорів. Ці процеси призводять до зміни метрологічних характеристик у часі, що робить необхідним регулярне калібрування або періодичну атестацію приладів.

Важливе місце серед факторів точності займає вплив людського чинника. Оператор, який працює з нестандартним вимірювальним обладнанням, відіграє ключову роль у правильності налаштування, встановлення, фіксації та зчитування показів приладу. Помилки при монтажі, неправильне базування, недостатня підготовка поверхонь або невірне інтерпретування результатів можуть суттєво змінити вимірювальний результат. Високий рівень залежності від оператора є однією

з характерних рис НЗВТ, тому метрологічна система повинна включати інструкції, навчальні матеріали та алгоритми мінімізації людського впливу.

Вплив середовища оточення — вологість, пил, агресивні речовини, перепади тиску — також є критичним для нестандартних засобів вимірювання. Матеріали конструкції можуть поглинати вологу, змінювати свої механічні властивості, піддаватися окисненню, що призводить до мікродеформацій та зміни вихідного сигналу. НЗВТ, що застосовуються в агресивних або нестабільних середовищах, часто потребують спеціального захисту, інкапсуляції або використання герметичних корпусів.

Особливу групу чинників становлять похибки, пов’язані з алгоритмами цифрової обробки сигналів. Нестандартні цифрові вимірювальні системи можуть використовувати програмні фільтри, мікроконтролери, аналого-цифрові перетворювачі та складні обчислювальні процедури. Помилки округлення, недостатня роздільна здатність АЦП, цифрове шуми, некоректні алгоритми лінеаризації або компенсації можуть створювати похибки, що не завжди очевидні під час експлуатації приладу. Тому цифрова частина НЗВТ потребує тестування, валідації та періодичного оновлення програмного забезпечення.

Таким чином, точність та стабільність роботи нестандартних засобів вимірювальної техніки формується під впливом великої кількості взаємозалежних чинників — температурних, механічних, електромагнітних, конструкційних, експлуатаційних, цифрових і людських. Розуміння механізмів цих впливів є критично важливим для розроблення ефективної системи метрологічного забезпечення, яка здатна забезпечити достовірність вимірювань у широкому спектрі умов. У наступних розділах будуть розглянуті методи мінімізації впливу цих факторів, оптимізація структур НЗВТ та розроблення удосконалених методик їх калібрування.

1.4. Особливості метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки

Метрологічне забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки є складною та відповідальною складовою загальної системи забезпечення єдності вимірювань на підприємствах промислового, науково-дослідного та ремонтного профілю. На відміну від серійних і стандартизованих засобів вимірювання, нестандартні засоби вимірювальної техніки (НЗВТ) створюються для виконання спеціалізованих вимірювальних завдань, часто в унікальних або нестабільних умовах, що суттєво ускладнює процедури їх метрологічного контролю.

До нестандартних засобів вимірювальної техніки належать прилади, установки, стенди, вимірювальні системи та програмно-апаратні комплекси, які виготовляються в одиничних або малосерійних екземплярах і не мають повного нормативного супроводу у вигляді типових методик повірки або калібрування. Це обумовлює необхідність розроблення індивідуальних підходів до їх метрологічного забезпечення з урахуванням функціонального призначення, умов експлуатації та вимог до точності вимірювань.

Основною особливістю метрологічного забезпечення НЗВТ є відсутність затвердженого типу та типових характеристик, що унеможливлює застосування стандартних процедур державної повірки. У таких випадках ключову роль відіграють внутрішні методики калібрування, атестації та метрологічної експертизи, які повинні бути розроблені на підприємстві відповідно до вимог чинних нормативно-правових актів і стандартів у сфері метрології.

Важливим етапом метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки є визначення їх метрологічних характеристик, зокрема діапазонів вимірювання, основної та додаткової похибки, повторюваності, стабільності показів і невизначеності результатів

вимірювань. При цьому особлива увага приділяється оцінюванню впливу зовнішніх факторів, таких як температура, вологість, вібрації, електромагнітні завади та людський фактор.

Таблиця 1.1 – Основні характеристики нестандартних засобів вимірювальної техніки

Характеристика	Зміст	Особливості для НЗВТ
Діапазон вимірювання	Межі значень вимірюваної величини	Часто визначається експериментально
Похибка вимірювання	Відхилення результату від істинного значення	Залежить від умов експлуатації
Повторюваність	Стабільність результатів при багаторазових вимірюваннях	Може змінюватися з часом

Продовження табл.1.1

1	2	3
Стабільність	Збереження метрологічних характеристик	Потребує регулярного контролю
Невизначеність	Комплексна оцінка точності	Вимагає розрахункових методів

Однією з ключових проблем метрологічного забезпечення НЗВТ є забезпечення простежуваності результатів вимірювань до національних або

міжнародних еталонів. У більшості випадків така простежуваність реалізується опосередковано – через використання еталонних або робочих засобів вимірювання, які мають чинні сертифікати калібрування. Це потребує ретельного документування всіх вимірювальних процедур і результатів.

Процес метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки включає комплекс організаційних і технічних заходів, серед яких особливе місце займає метрологічна експертиза конструкторської та експлуатаційної документації. Така експертиза дозволяє виявити потенційні джерела похибок, оцінити достатність вимог до точності та визначити доцільність використання конкретного засобу вимірювання для заданих умов.

Таблиця 1.2 – Основні етапи метрологічного забезпечення НЗВТ

Етап	Зміст робіт	Результат
Аналіз призначення	Визначення вимірювальних задач	Формування вимог
Розроблення методики	Створення методики калібрування	Регламент вимірювань
Калібрування	Порівняння з еталонами	Отримання коефіцієнтів
Атестація	Оцінка придатності	Висновок про застосування

Документування	Оформлення результатів	Забезпечення простежуваності

Окремої уваги потребує питання періодичності метрологічного контролю нестандартних засобів вимірювальної техніки. На відміну від серійних приладів, для яких встановлені фіксовані міжповірочні інтервали, для НЗВТ такі інтервали визначаються індивідуально на основі аналізу умов експлуатації, інтенсивності використання та стабільності метрологічних характеристик.

Таким чином, метрологічне забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки є складним багаторівневим процесом, який потребує поєднання нормативних вимог, інженерного підходу та експериментальних досліджень. Його ефективна організація дозволяє забезпечити достовірність результатів вимірювань, знизити метрологічні ризики та підвищити якість прийняття технічних і управлінських рішень у виробничій діяльності.

1.5. Методи калібрування, атестації та оцінювання точності нестандартних засобів вимірювальної техніки

Однією з ключових складових метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки є правильний вибір і реалізація методів їх калібрування, атестації та оцінювання точності. На відміну від серійних засобів вимірювання, для яких існують типові методики повірки, нестандартні засоби вимірювальної техніки потребують індивідуального підходу, що базується на аналізі конструктивних особливостей, функціонального призначення та умов експлуатації.

Калібрування нестандартних засобів вимірювальної техніки полягає у встановленні залежності між значеннями, які відтворює або вимірює даний

засіб, і відповідними значеннями, відтвореними еталонними засобами вимірювання. Основною метою калібрування є забезпечення простежуваності результатів вимірювань та визначення поправок або коефіцієнтів перерахунку, що дозволяють підвищити точність вимірювань.

Особливістю калібрування НЗВТ є необхідність використання спеціально розроблених методик, які враховують нестандартні режими роботи, змінні навантаження та вплив зовнішніх факторів. У таких методиках обов’язково визначаються умови проведення калібрування, порядок виконання вимірювань, кількість повторів і правила оброблення результатів.

Таблиця 1.3 – Основні методи калібрування нестандартних засобів вимірювальної техніки

Метод калібрування	Сутність методу	Сфера застосування
Порівняльний	Порівняння показів НЗВТ з еталонним ЗВТ	Більшість НЗВТ
Метод заміщення	Почергове вимірювання однієї величини	Високоточні вимірювання

Диференціальний	Вимірювання різниці між значеннями	Малі відхилення
Статистичний	Аналіз серії вимірювань	Нестабільні режими

Атестація нестандартних засобів вимірювальної техніки є процедурою підтвердження їх придатності до застосування за призначенням. У процесі атестації встановлюється відповідність метрологічних характеристик засобу вимірювання вимогам, визначеним у технічній або експлуатаційній документації. Атестація може проводитися як у лабораторних, так і у виробничих умовах, що особливо важливо для НЗВТ, які експлуатуються безпосередньо на технологічних об’єктах.

Оцінювання точності нестандартних засобів вимірювальної техніки здійснюється шляхом визначення основної та додаткової похибки, а також оцінювання невизначеності результатів вимірювань. При цьому застосовуються як аналітичні, так і експериментальні методи, що дозволяє врахувати вплив реальних умов експлуатації.

Таблиця 1.4 – Показники точності нестандартних засобів вимірювальної техніки

Показник	Характеристика	Спосіб визначення
Основна похибка	Відхилення при нормальних умовах	Калібрування
Додаткова похибка	Вплив зовнішніх факторів	Експериментально

Повторюваність	Розсіювання результатів	Статистично
Невизначеність	Комплексна оцінка точності	Розрахунково

Важливим елементом оцінювання точності є аналіз джерел похибок, до яких належать конструктивні недоліки засобу вимірювання, нестабільність параметрів електронних компонентів, похибки програмного забезпечення, а також вплив оператора. Для зменшення впливу зазначених факторів застосовуються методи корекції результатів вимірювань, усереднення даних і автоматизації процесів вимірювання.

Окремо слід відзначити значення документального супроводу процесів калібрування та атестації. Результати робіт оформлюються у вигляді протоколів калібрування, атестаційних листів і технічних звітів, що забезпечує прозорість, відтворюваність і простежуваність вимірювань упродовж усього життєвого циклу нестандартного засобу вимірювальної техніки.

Таким чином, методи калібрування, атестації та оцінювання точності нестандартних засобів вимірювальної техніки є основою ефективного метрологічного забезпечення. Їх правильне застосування дозволяє забезпечити достовірність результатів вимірювань, знизити метрологічні ризики та підвищити якість контролю у виробничій і науково-дослідній діяльності.

1.6. Метрологічна експертиза, документування та системне управління життєвим циклом нестандартних засобів вимірювальної техніки

Метрологічна експертиза нестандартних засобів вимірювальної техніки (НЗВТ) є комплексним науково-технічним процесом, спрямованим на забезпечення єдності, точності та достовірності вимірювань у випадках, коли використання серійних або типових засобів вимірювання є неможливим або економічно недоцільним. У сучасних умовах розвитку виробництва, автоматизації та індивідуалізації технологічних процесів роль НЗВТ постійно зростає, що підвищує вимоги до їх метрологічного супроводу.

На відміну від стандартних засобів вимірювання, для яких існує регламентована процедура затвердження типу, державної повірки та типові міжповірочні інтервали, нестандартні засоби вимірювальної техніки не мають уніфікованого нормативного забезпечення. Це обумовлює необхідність проведення поглибленої метрологічної експертизи на всіх етапах їх створення та експлуатації з метою запобігання виникненню прихованих метрологічних ризиків.

Завдання та функції метрологічної експертизи НЗВТ

Основними завданнями метрологічної експертизи нестандартних засобів вимірювальної техніки є:

- перевірка обґрунтованості вимог до точності вимірювань;
- аналіз вибору фізичного принципу вимірювання;
- виявлення потенційних джерел систематичних і випадкових похибок;
- оцінювання можливості забезпечення простежуваності результатів вимірювань;
- формування вимог до методик калібрування, атестації та експлуатації.

Таблиця 1.7 – Основні напрями метрологічної експертизи НЗВТ

Напрям експертизи	Зміст аналізу	Очікуваний результат
Конструкторський	Оцінка схем, елементів, сенсорів	Мінімізація похибок
Методичний	Аналіз алгоритмів вимірювання	Стабільність результатів
Експлуатаційний	Умови використання	Надійність вимірювань
Документаційний	Повнота опису	Простежуваність
Метрологічний	Оцінка точності	Придатність НЗВТ

Життєвий цикл нестандартних засобів вимірювальної техніки

Метрологічне забезпечення НЗВТ повинно розглядатися не як разова процедура, а як безперервний процес управління протягом усього життєвого циклу засобу вимірювання. Такий цикл включає стадії формування вимог, проєктування, виготовлення, впровадження, експлуатації, модернізації та списання.

Таблиця 1.8 – Метрологічні ризики на різних етапах життєвого циклу НЗВТ

Етап	Потенційні ризики	Заходи управління
Проєктування	Неправильний вибір принципу	Експертиза ТЗ
Виготовлення	Технологічні відхилення	Вхідний контроль
Впровадження	Невідповідність умов	Атестація

Експлуатація	Дрейф характеристик	Періодичний моніторинг
Модернізація	Порушення калібрування	Повторна експертиза

Документальне забезпечення відіграє ключову роль у підтриманні метрологічної надійності НЗВТ. Усі результати експертизи, калібрування та контролю повинні бути задокументовані у встановленому форматі, що дозволяє відстежувати історію змін метрологічних характеристик і своєчасно виявляти негативні тенденції.

Таблиця 1.9 – Комплект документації метрологічного забезпечення НЗВТ

Документ	Зміст	Призначення
Технічне завдання	Вимоги до точності	Початковий етап
Методика вимірювань	Алгоритм вимірювання	Робочий документ
Протокол калібрування	Результати перевірки	Простежуваність
Журнал стабільності	Динаміка параметрів	Аналіз дрейфу
Звіт експертизи	Узагальнення	Прийняття рішень

Сучасний підхід до метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки передбачає інтеграцію процедур експертизи, калібрування та контролю у систему управління якістю підприємства. Це дозволяє забезпечити взаємозв’язок між вимогами до вимірювань, якістю продукції та ефективністю виробничих процесів.

Застосування процесного та ризик-орієнтованого підходів дозволяє ідентифікувати критичні точки вимірювального контролю, оптимізувати

витрати на метрологічне обслуговування та підвищити загальну керованість системи вимірювань.

Значення удосконаленого підходу до управління НЗВТ

Системне управління життєвим циклом нестандартних засобів вимірювальної техніки забезпечує:

- підвищення достовірності результатів вимірювань;
- зниження метрологічних і виробничих ризиків;
- оптимізацію витрат на калібрування та обслуговування;
- підвищення конкурентоспроможності підприємства;
- відповідність вимогам міжнародних стандартів.

Таким чином, поглиблена метрологічна експертиза, повноцінне документування та системне управління життєвим циклом нестандартних засобів вимірювальної техніки є фундаментальною основою удосконалення метрологічного забезпечення. Реалізація такого підходу дозволяє забезпечити стабільну точність вимірювань, прозорість процесів контролю та ефективне функціонування вимірювальної системи в цілому.

Висновки до розділу 1

У першому розділі дипломної роботи досліджено теоретичні, нормативні та методичні основи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки, що дозволило сформувати цілісне уявлення про специфіку їх застосування та особливості забезпечення єдності вимірювань у виробничій і науково-дослідній діяльності.

Установлено, що нестандартні засоби вимірювальної техніки відіграють важливу роль у виконанні спеціалізованих вимірювальних завдань, для яких використання серійних засобів вимірювання є неможливим або недостатньо ефективним. Разом із тим відсутність уніфікованих нормативних процедур повірки та калібрування таких засобів

істотно ускладнює організацію їх метрологічного забезпечення та підвищує ризик отримання недостовірних результатів вимірювань.

Проаналізовано основні проблеми метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки, серед яких визначальними є відсутність затвердженого типу, індивідуальний характер конструкції, залежність метрологічних характеристик від умов експлуатації та підвищений вплив людського фактора. Показано, що зазначені чинники зумовлюють необхідність застосування індивідуальних методик калібрування, атестації та оцінювання точності.

У результаті аналізу методів калібрування та атестації встановлено, що ефективне метрологічне забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки можливе лише за умови комплексного використання порівняльних, диференціальних і статистичних методів калібрування з обов’язковим оцінюванням невизначеності результатів вимірювань. Обґрунтовано доцільність переходу від формального контролю похибок до системного аналізу невизначеності вимірювань.

Особливу увагу приділено метрологічній експертизі як інструменту запобігання метрологічним помилкам на всіх етапах життєвого циклу нестандартних засобів вимірювальної техніки. Доведено, що проведення метрологічної експертизи на стадіях формування технічного завдання, проєктування, впровадження та експлуатації дозволяє істотно знизити метрологічні ризики та забезпечити стабільність метрологічних характеристик упродовж усього терміну служби засобів вимірювання.

Встановлено, що належне документування процесів калібрування, атестації та експлуатаційного контролю є необхідною умовою забезпечення простежуваності результатів вимірювань. Формування повного комплекту метрологічної документації дозволяє здійснювати систематичний аналіз змін метрологічних характеристик і своєчасно приймати рішення щодо

корекції методик, модернізації або виведення нестандартних засобів вимірювальної техніки з експлуатації.

Обґрунтовано доцільність інтеграції метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки в систему управління якістю підприємства. Такий підхід забезпечує узгодженість вимог до вимірювань із цілями виробництва, підвищує керованість вимірювальних процесів і сприяє підвищенню загальної ефективності діяльності підприємства.

Таким чином, результати, отримані в першому розділі, створюють науково-методичну основу для подальшого аналізу практики застосування нестандартних засобів вимірювальної техніки на конкретному підприємстві та розроблення удосконалених рішень щодо їх метрологічного забезпечення, що буде здійснено у наступних розділах дипломної роботи.

2. Аналіз системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки на підприємстві

2.1. Характеристика діяльності підприємства та системи вимірювального забезпечення

Ефективність метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки значною мірою визначається специфікою діяльності підприємства, умовами виконання вимірювальних робіт і рівнем організації системи вимірювального контролю. У межах даного підрозділу розглядається загальна характеристика підприємства технічного профілю, на базі якого проводиться дослідження, а також аналізується чинна система вимірювального забезпечення з позицій її відповідності сучасним метрологічним вимогам.

Досліджуване підприємство здійснює виробничу, ремонтну та/або дослідницьку діяльність, пов’язану з виконанням технологічних процесів,

що потребують застосування як серійних, так і нестандартних засобів вимірювальної техніки. Нестандартні засоби вимірювання використовуються для контролю параметрів, які не можуть бути визначені типовими приладами через конструктивні, просторові або функціональні обмеження об’єктів вимірювання.

Організаційна структура підприємства включає виробничі підрозділи, служби технічного контролю, метрологічну службу та допоміжні підрозділи. Метрологічна служба виконує функції планування, організації та контролю вимірювальних процесів, забезпечує підтримання засобів вимірювання у працездатному стані та відповідає за дотримання вимог нормативно-правових актів у сфері забезпечення єдності вимірювань.

Важливим елементом діяльності підприємства є використання нестандартних засобів вимірювальної техніки, які створювалися або адаптувалися під конкретні виробничі задачі. Такі засоби можуть включати спеціалізовані вимірювальні пристрої, стенди, вимірювальні системи та програмно-апаратні комплекси, що функціонують у складі технологічного обладнання.

Таблиця 2.1 – Основні напрями застосування засобів вимірювальної техніки на підприємстві

Напрям застосування	Вимірювані параметри	Тип засобів
Технологічний контроль	Геометричні, фізичні параметри	Серійні та НЗВТ

Випробування	Навантаження, деформації	Нестандартні стенди
Контроль якості	Точність, стабільність	Комбіновані
Дослідницькі роботи	Спеціальні параметри	НЗВТ

Аналіз наявної системи вимірювального забезпечення показує, що підприємство в цілому дотримується вимог чинного законодавства та стандартів у сфері метрології, однак застосування нестандартних засобів вимірювальної техніки супроводжується низкою організаційних і методичних труднощів. Зокрема, не для всіх НЗВТ розроблено повний комплект методик калібрування та експлуатаційного контролю, що ускладнює оцінювання їх точності та простежуваності результатів вимірювань.

Система обліку засобів вимірювання на підприємстві включає реєстрацію серійних приладів, ведення журналів повірки та калібрування, а також облік нестандартних засобів. Проте для НЗВТ часто відсутні чітко визначені міжкалібрувальні інтервали, що призводить до нерівномірного контролю їх метрологічного стану.

Таблиця 2.2 – Основні проблемні аспекти вимірювального забезпечення НЗВТ

Аспект	Стан	Наслідки
Методики калібрування	Частково розроблені	Ризик похибок

Документування	Неповне	Втрата простежуваності
Контроль стабільності	Нерегулярний	Дрейф параметрів
Кваліфікація персоналу	Різний рівень	Людський фактор

Особливістю діяльності підприємства є поєднання виробничих і дослідницьких функцій, що обумовлює підвищені вимоги до точності та достовірності вимірювань. У таких умовах нестандартні засоби вимірювальної техніки відіграють ключову роль, але водночас потребують більш жорсткого метрологічного супроводу.

Аналіз показує, що чинна система вимірювального забезпечення має потенціал для удосконалення за рахунок впровадження системного підходу до метрологічного забезпечення НЗВТ, уніфікації процедур калібрування, удосконалення документації та підвищення рівня підготовки персоналу.

Таким чином, характеристика діяльності підприємства та аналіз його системи вимірювального забезпечення свідчать про актуальність завдання удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки. Отримані результати є вихідною основою для подальшого детального аналізу нормативної бази, методів і засобів вимірювання та розроблення практичних рекомендацій.

2.2. Аналіз нормативно-правової та стандартної бази метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки

Метрологічне забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки на підприємстві здійснюється в межах чинного нормативно-правового поля України та з урахуванням вимог міжнародних стандартів.

Аналіз нормативної бази є необхідною умовою для оцінювання відповідності організації вимірювальних процесів вимогам законодавства, а також для виявлення прогалин і неврегульованих аспектів, характерних саме для нестандартних засобів вимірювання.

Основу правового регулювання у сфері метрології становить Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність», який визначає загальні принципи забезпечення єдності вимірювань, вимоги до засобів вимірювальної техніки та повноваження суб'єктів метрологічної діяльності. Водночас зазначений закон орієнтований переважно на серійні засоби вимірювання, що мають затверджений тип, і лише частково регламентує питання застосування нестандартних засобів вимірювальної техніки.

На рівні державних стандартів ключову роль відіграють ДСТУ та гармонізовані з ними міжнародні стандарти ISO та IEC, які встановлюють вимоги до систем метрологічного забезпечення, калібрування, оцінювання невизначеності та управління вимірювальними процесами. Для нестандартних засобів вимірювання ці документи мають рекомендаційний характер і застосовуються з урахуванням специфіки конкретного засобу та умов його експлуатації.

Таблиця 2.3 – Основні нормативні документи у сфері метрологічного забезпечення

Нормативний документ	Сфера застосування	Значення для НЗВТ
Закон України «Про метрологію…»	Загальні вимоги	Базове регулювання

ДСТУ ISO 9001	Система управління якістю	Інтеграція вимірювань
ДСТУ ISO 10012	Управління вимірюваннями	Ключовий стандарт
ДСТУ GUM	Невизначеність вимірювань	Оцінка точності
ДСТУ EN ISO/IEC 17025	Лабораторні вимірювання	Методична база

Аналіз нормативної документації показує, що вимоги до нестандартних засобів вимірювальної техніки не мають чітко визначеного алгоритму реалізації. Зокрема, відсутні типові методики їх повірки, не регламентовано порядок встановлення міжкалібрувальних інтервалів і не визначено єдині підходи до атестації таких засобів. У зв’язку з цим значна частина відповідальності за організацію метрологічного забезпечення НЗВТ покладається безпосередньо на підприємство.

На підприємстві нормативна база доповнюється внутрішніми документами, до яких належать положення про метрологічну службу, інструкції з експлуатації засобів вимірювання, методики калібрування та атестації нестандартних засобів, а також журнали обліку й контролю. Ці документи відіграють ключову роль у практичній реалізації вимог державних і міжнародних стандартів.

Таблиця 2.4 – Внутрішні нормативні документи підприємства з метрологічного забезпечення

Документ	Призначення	Роль у забезпеченні
Положення про метрологічну службу	Розподіл відповідальності	Організація робіт
Методики калібрування	Регламент процедур	Забезпечення точності
Інструкції з експлуатації	Правила використання	Зменшення похибок
Журнали контролю	Фіксація результатів	Простежуваність

У результаті аналізу встановлено, що чинна нормативна база загалом забезпечує можливість організації метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки, проте не виключає суб’єктивності у прийнятті рішень щодо їх придатності та точності. Це обумовлює необхідність розроблення уніфікованих внутрішніх підходів, які б ґрунтувалися на принципах ризик-орієнтованого управління та оцінювання невизначеності вимірювань.

Важливим аспектом є також узгодження вимог нормативної документації з реальною практикою експлуатації НЗВТ. У ряді випадків вимоги стандартів не повною мірою враховують специфіку нестандартних вимірювальних систем, що потребує їх адаптації та обґрунтованого відхилення від формальних процедур за умови збереження достовірності результатів вимірювань.

Таким чином, аналіз нормативно-правової та стандартної бази показує, що існуючі документи створюють загальні рамки для метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки, однак не забезпечують повної регламентації всіх аспектів їх застосування.

Це підтверджує актуальність завдання розроблення та впровадження удосконалених внутрішніх методичних рішень, спрямованих на підвищення точності, простежуваності та ефективності вимірювань.

2.3. Аналіз наявних нестандартних засобів вимірювальної техніки та особливостей їх застосування на підприємстві

Нестандартні засоби вимірювальної техніки займають важливе місце в системі вимірювального забезпечення підприємства, оскільки дозволяють здійснювати контроль параметрів, які не можуть бути виміряні типовими або серійними засобами. У межах даного підрозділу виконано аналіз складу, призначення та умов експлуатації нестандартних засобів вимірювальної техніки, що використовуються на підприємстві, а також оцінено особливості їх практичного застосування.

На підприємстві нестандартні засоби вимірювальної техніки застосовуються переважно у виробничих, ремонтних і дослідницьких процесах, де необхідний контроль специфічних геометричних, фізичних або експлуатаційних параметрів. До таких засобів належать спеціалізовані вимірювальні пристрої, стенди, вимірювальні системи та програмно-апаратні комплекси, створені або адаптовані під конкретні технологічні задачі.

Аналіз показує, що більшість нестандартних засобів вимірювальної техніки були розроблені безпосередньо на підприємстві або шляхом модифікації серійних приладів. Це обумовлює індивідуальний характер їх конструкції та відсутність затверджених типових метрологічних характеристик, що ускладнює організацію їх метрологічного забезпечення.

Таблиця 2.5 – Класифікація нестандартних засобів вимірювальної техніки, що застосовуються на підприємстві

Група НЗВТ	Призначення	Вимірювані параметри
Спеціальні вимірювальні пристрої	Локальний контроль	Лінійні розміри, зазори
Вимірювальні стенди	Комплексні випробування	Навантаження, деформації
Вимірювальні системи	Моніторинг процесів	Температура, тиск
Програмно-апаратні комплекси	Обробка даних	Похідні параметри

Особливістю застосування нестандартних засобів вимірювальної техніки є їх експлуатація безпосередньо у виробничому середовищі, де на результати вимірювань суттєво впливають зовнішні фактори: температурні коливання, вібрації, забруднення, нестабільність живлення та вплив оператора. Це зумовлює підвищені вимоги до стабільності метрологічних характеристик і необхідність регулярного контролю їх стану.

У процесі аналізу встановлено, що не всі нестандартні засоби вимірювальної техніки мають належним чином оформлену експлуатаційну та метрологічну документацію. У ряді випадків відсутні формалізовані методики вимірювання або калібрування, що призводить до різночитань у результатах вимірювань та ускладнює їх порівняння.

Таблиця 2.6 – Стан метрологічного супроводу нестандартних ЗВТ

Показник	Стан	Потенційні наслідки

Методики вимірювань	Частково наявні	Зниження повторюваності
Калібрування	Нерегулярне	Дрейф характеристик
Документація	Неповна	Втрата простежуваності
Контроль стабільності	Обмежений	Похибки вимірювань

Окрему увагу в ході аналізу приділено оцінюванню відповідності нестандартних засобів вимірювальної техніки вимогам до точності, що висуваються технологічними процесами підприємства. Встановлено, що в окремих випадках точність НЗВТ є надлишковою або, навпаки, недостатньою, що свідчить про відсутність оптимізації вимірювальних рішень і потребує перегляду вимог до метрологічних характеристик.

Застосування нестандартних засобів вимірювальної техніки також пов’язане з підвищеним впливом людського фактора. Оскільки такі засоби часто не мають високого рівня автоматизації, значна частина операцій виконується вручну, що підвищує ймовірність випадкових похибок. Це підкреслює доцільність впровадження автоматизованих елементів збору та оброблення вимірювальної інформації.

Узагальнюючи результати аналізу, можна зробити висновок, що наявні на підприємстві нестандартні засоби вимірювальної техніки забезпечують виконання специфічних вимірювальних завдань, однак їх метрологічний супровід має фрагментарний характер. Виявлені недоліки обумовлюють необхідність системного удосконалення підходів до їх калібрування, документування та управління метрологічним станом.

Таким чином, результати даного підрозділу підтверджують актуальність розроблення удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки, яка б забезпечувала стабільну точність вимірювань, простежуваність результатів

і зниження метрологічних ризиків. Отримані висновки є підґрунтям для подальшого оцінювання метрологічного стану НЗВТ та розроблення практичних рекомендацій.

2.4. Оцінка метрологічного стану нестандартних засобів вимірювальної техніки

Оцінка метрологічного стану нестандартних засобів вимірювальної техніки є необхідним етапом аналізу системи вимірювального забезпечення підприємства та передумовою для розроблення заходів з її удосконалення. Метрологічний стан характеризує здатність засобу вимірювання забезпечувати вимірювання з заданою точністю в установлених умовах експлуатації протягом визначеного часу.

Для нестандартних засобів вимірювальної техніки оцінювання метрологічного стану має особливе значення, оскільки такі засоби, як правило, не мають затверджених типів і типових міжкалібрувальних інтервалів. Це ускладнює застосування стандартних процедур контролю та потребує індивідуального підходу до аналізу їх метрологічних характеристик.

Оцінювання метрологічного стану НЗВТ на підприємстві здійснюється на основі аналізу результатів калібрування, атестації, експлуатаційного контролю, а також шляхом вивчення стабільності метрологічних характеристик у часі. Основна увага приділяється відповідності фактичних похибок установленим вимогам і можливості забезпечення простежуваності результатів вимірювань.

Таблиця 2.7 – Основні показники оцінювання метрологічного стану НЗВТ

Показник	Характеристика	Джерело інформації
Основна похибка	Відхилення при нормальних умовах	Калібрування
Додаткова похибка	Вплив умов експлуатації	Експериментальні дані
Повторюваність	Розсіювання результатів	Серія вимірювань
Стабільність	Зміна характеристик у часі	Журнали контролю
Простежуваність	Зв’язок з еталонами	Документація

У результаті аналізу встановлено, що для значної частини нестандартних засобів вимірювальної техніки відсутній систематичний моніторинг стабільності метрологічних характеристик. Калібрування таких засобів проводиться нерегулярно або лише у випадку виникнення очевидних відхилень у результатах вимірювань. Це підвищує ризик накопичення систематичних похибок і знижує достовірність вимірювальної інформації.

Суттєвий вплив на метрологічний стан НЗВТ має характер їх експлуатації. Використання засобів вимірювання у виробничому середовищі з підвищеним рівнем вібрацій, температурних коливань і запиленості призводить до прискореного дрейфу метрологічних характеристик. За відсутності відповідних коригувальних заходів це може спричиняти поступове зниження точності вимірювань.

Таблиця 2.8 – Фактори, що впливають на метрологічний стан НЗВТ

Фактор	Характер впливу	Можливі наслідки
Температура	Зміна параметрів	Систематична похибка
Вібрації	Порушення налаштувань	Нестабільність
Зношування	Дрейф характеристик	Зниження точності
Людський фактор	Похибки виконання	Випадкові відхилення

Аналіз результатів експлуатаційного контролю показує, що в окремих випадках нестандартні засоби вимірювальної техніки використовуються за межами рекомендованих режимів, що негативно впливає на їх метрологічний стан. Відсутність чітко визначених критеріїв придатності ускладнює своєчасне прийняття рішень щодо корекції, ремонту або виведення таких засобів з експлуатації.

Оцінювання метрологічного стану також включає аналіз рівня документального супроводу. Встановлено, що неповнота або несистемність ведення протоколів калібрування, журналів стабільності та актів атестації знижує ефективність контролю й ускладнює аналіз причин відхилень у результатах вимірювань.

Узагальнюючи результати оцінки, можна зробити висновок, що метрологічний стан нестандартних засобів вимірювальної техніки на підприємстві є задовільним з точки зору можливості виконання вимірювальних завдань, проте характеризується підвищеним рівнем метрологічних ризиків. Це обумовлює необхідність впровадження системного підходу до моніторингу стану НЗВТ, встановлення

обґрунтованих міжкалібрувальних інтервалів і вдосконалення методів оцінювання стабільності та точності.

Таким чином, результати даного підрозділу підтверджують доцільність розроблення комплексу організаційних і методичних заходів, спрямованих на удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки. Отримані висновки є вихідною базою для аналізу похибок, невизначеності вимірювань і формування практичних рекомендацій.

2.5. Аналіз похибок, невизначеності вимірювань та метрологічних ризиків при застосуванні нестандартних засобів вимірювальної техніки

Одним із ключових аспектів оцінювання ефективності метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки є аналіз похибок і невизначеності вимірювань, а також пов’язаних із ними метрологічних ризиків. Для нестандартних засобів вимірювання ці питання набувають особливої актуальності через індивідуальний характер конструкції, нестабільні умови експлуатації та відсутність типових методик повірки.

Похибка вимірювання є різницею між результатом вимірювання та істинним значенням вимірюваної величини. У випадку нестандартних засобів вимірювальної техніки істинне значення, як правило, є недоступним, що ускладнює пряме оцінювання похибки. Тому на практиці застосовуються непрямі методи аналізу, які базуються на порівнянні з еталонними або робочими засобами вимірювання та статистичному обробленні результатів.

У процесі дослідження встановлено, що для нестандартних засобів вимірювальної техніки характерна наявність як систематичних, так і випадкових похибок. Систематичні похибки зумовлені конструктивними особливостями засобу вимірювання, методикою вимірювань і впливом

зовнішніх факторів, тоді як випадкові похибки пов’язані з нестабільністю умов експлуатації та впливом людського фактора.

Таблиця 2.9 – Основні джерела похибок при застосуванні НЗВТ

Джерело похибки	Характер впливу	Прояв у вимірюваннях
Конструктивні особливості	Систематичний	Постійне зміщення
Зовнішні умови	Змінний	Додаткова похибка
Методика вимірювання	Систематичний	Невідповідність результатів
Людський фактор	Випадковий	Розсіювання даних
Зношування	Накопичувальний	Дрейф показів

Сучасний підхід до оцінювання точності вимірювань ґрунтується не лише на визначенні похибок, а й на оцінюванні невизначеності вимірювань. Невизначеність дозволяє комплексно врахувати всі складові, що впливають на результат вимірювання, та є більш універсальним показником якості вимірювального процесу.

Для нестандартних засобів вимірювальної техніки оцінювання невизначеності здійснюється з урахуванням специфіки вимірювальної схеми, умов експлуатації та наявних статистичних даних. При цьому застосовуються як методи типу А (статистичний аналіз результатів багаторазових вимірювань), так і методи типу В (оцінювання на основі попереднього досвіду, технічної документації та експертних оцінок).

Таблиця 2.10 – Складові невизначеності вимірювань для НЗВТ

Складова	Тип оцінювання	Джерело даних
Повторюваність	Тип А	Серія вимірювань
Калібрування	Тип В	Сертифікати
Вплив умов	Тип В	Експеримент
Оператор	Тип В	Експертна оцінка
Алгоритм обробки	Тип В	Методика

Аналіз показує, що на практиці оцінювання невизначеності для нестандартних засобів вимірювальної техніки часто не виконується або має формальний характер. Це призводить до недооцінювання ризиків, пов’язаних із прийняттям технічних рішень на основі результатів вимірювань, отриманих з використанням НЗВТ.

Метрологічні ризики при застосуванні нестандартних засобів вимірювання проявляються у вигляді прийняття помилкових управлінських або технологічних рішень через недостовірні результати вимірювань. До таких ризиків належать помилкове підтвердження відповідності параметрів, пропуск дефектів, зайві коригувальні дії та зростання витрат на виробництво.

Таблиця 2.11 – Основні метрологічні ризики при використанні НЗВТ

Ризик	Причина	Можливі наслідки
Недооцінка похибки	Відсутність аналізу	Помилкові рішення

Втрата простежуваності	Неповна документація	Неможливість перевірки
Дрейф характеристик	Відсутність моніторингу	Зниження точності
Людський фактор	Низька автоматизація	Нестабільність результатів

У результаті аналізу встановлено, що зниження рівня метрологічних ризиків можливе за рахунок систематичного оцінювання похибок і невизначеності вимірювань, впровадження регламентів контролю стабільності метрологічних характеристик і підвищення рівня автоматизації вимірювальних процесів.

Таким чином, аналіз похибок, невизначеності вимірювань і метрологічних ризиків підтверджує необхідність удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки. Отримані результати є вихідною основою для розроблення удосконалених методичних і організаційних рішень, спрямованих на підвищення достовірності вимірювань і зниження ризиків.

2.6. Узагальнення результатів аналізу та обґрунтування необхідності удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки

Комплексний аналіз, проведений у підрозділах 2.1–2.5, дозволив отримати цілісне уявлення про стан метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки (НЗВТ), що застосовуються на підприємстві, а також виявити ключові проблеми, обмеження та резерви його удосконалення. Узагальнення отриманих результатів є необхідним

етапом для формування обґрунтованих напрямів подальшого розвитку системи метрологічного забезпечення.

Встановлено, що нестандартні засоби вимірювальної техніки відіграють важливу роль у забезпеченні вимірювального контролю в умовах, коли застосування серійних або типових засобів є технічно неможливим або економічно недоцільним. Їх використання дозволяє вирішувати спеціалізовані вимірювальні завдання, однак одночасно суттєво ускладнює процеси забезпечення єдності вимірювань і контролю точності.

Аналіз нормативно-правової та стандартної бази показав, що чинні нормативні документи лише частково регламентують вимоги до нестандартних засобів вимірювальної техніки. У більшості випадків вони містять загальні положення щодо метрологічного забезпечення, не враховуючи специфіку індивідуально розроблених засобів вимірювання. Це створює ситуацію, за якої підприємство змушене самостійно формувати внутрішні регламенти, методики та процедури, що не завжди мають належний рівень формалізації та уніфікації.

Результати аналізу фактичного метрологічного стану НЗВТ свідчать, що їх експлуатаційні характеристики загалом відповідають функціональному призначенню, проте характеризуються значною варіативністю у часі. Відсутність системного підходу до контролю стабільності метрологічних характеристик призводить до накопичення систематичних похибок, які можуть залишатися непоміченими протягом тривалого часу.

Особливої уваги заслуговує питання оцінювання похибок і невизначеності вимірювань. Як показав аналіз, на практиці переважає орієнтація на номінальні характеристики засобів вимірювання без урахування реальних умов експлуатації, впливу зовнішніх факторів та людського чинника. Такий підхід не дозволяє об’єктивно оцінити

достовірність результатів вимірювань і значно підвищує рівень метрологічних ризиків.

Таблиця 2.13 – Узагальнена характеристика стану метрологічного забезпечення НЗВТ

Критерій оцінювання	Фактичний стан	Оцінка
Нормативна регламентація	Часткова	Недостатня
Методики калібрування	Індивідуальні	Фрагментарні
Оцінювання невизначеності	Обмежене	Формальне
Простежуваність	Неповна	Ризикована
Моніторинг стабільності	Відсутній	Критичний

Узагальнюючи результати, можна стверджувати, що чинна система метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки має переважно реактивний характер, тобто спрямована на усунення наслідків, а не на запобігання виникненню метрологічних проблем. Такий підхід не відповідає сучасним вимогам до систем управління якістю та метрологічного забезпечення, які передбачають превентивне управління ризиками.

Таблиця 2.14 – Причинно-наслідковий аналіз проблем метрологічного забезпечення НЗВТ

Причина	Прояв	Наслідок
Відсутність уніфікованих методик	Різні підходи до вимірювань	Нестабільні результати
Недостатня автоматизація	Залежність від оператора	Людський фактор
Формальне калібрування	Відсутність аналізу дрейфу	Приховані похибки
Неповна документація	Порушення простежуваності	Підвищені ризики

Отже, удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки повинно базуватися на комплексному підході, що поєднує технічні, методичні та організаційні заходи. До ключових передумов такого удосконалення належать: необхідність підвищення достовірності результатів вимірювань; зниження метрологічних ризиків; забезпечення простежуваності вимірювань; адаптація внутрішніх процедур до вимог сучасних стандартів управління якістю.

Таким чином, результати узагальнення підтверджують об’єктивну необхідність переходу від фрагментарного та інтуїтивного підходу до системного метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки. Саме це створює науково-методичне підґрунтя для розроблення удосконалених рішень, які будуть детально обґрунтовані та реалізовані у розділі 3 дипломної роботи.

Комплексний аналіз, проведений у підрозділах 2.1–2.5, дозволив отримати цілісне уявлення про стан метрологічного забезпечення

нестандартних засобів вимірювальної техніки (НЗВТ), що застосовуються на підприємстві, а також виявити ключові проблеми, обмеження та резерви його удосконалення. Узагальнення отриманих результатів є необхідним етапом для формування обґрунтованих напрямів подальшого розвитку системи метрологічного забезпечення.

Встановлено, що нестандартні засоби вимірювальної техніки відіграють важливу роль у забезпеченні вимірювального контролю в умовах, коли застосування серійних або типових засобів є технічно неможливим або економічно недоцільним. Їх використання дозволяє вирішувати спеціалізовані вимірювальні завдання, однак одночасно суттєво ускладнює процеси забезпечення єдності вимірювань і контролю точності.

Аналіз нормативно-правової та стандартної бази показав, що чинні нормативні документи лише частково регламентують вимоги до нестандартних засобів вимірювальної техніки. У більшості випадків вони містять загальні положення щодо метрологічного забезпечення, не враховуючи специфіку індивідуально розроблених засобів вимірювання. Це створює ситуацію, за якої підприємство змушене самостійно формувати внутрішні регламенти, методики та процедури, що не завжди мають належний рівень формалізації та уніфікації.

Результати аналізу фактичного метрологічного стану НЗВТ свідчать, що їх експлуатаційні характеристики загалом відповідають функціональному призначенню, проте характеризуються значною варіативністю у часі. Відсутність системного підходу до контролю стабільності метрологічних характеристик призводить до накопичення систематичних похибок, які можуть залишатися непоміченими протягом тривалого часу.

Особливої уваги заслуговує питання оцінювання похибок і невизначеності вимірювань. Як показав аналіз, на практиці переважає орієнтація на номінальні характеристики засобів вимірювання без

урахування реальних умов експлуатації, впливу зовнішніх факторів та людського чинника. Такий підхід не дозволяє об’єктивно оцінити достовірність результатів вимірювань і значно підвищує рівень метрологічних ризиків.

Таблиця 2.13 – Узагальнена характеристика стану метрологічного забезпечення НЗВТ

Критерій оцінювання	Фактичний стан	Оцінка
Нормативна регламентація	Часткова	Недостатня
Методики калібрування	Індивідуальні	Фрагментарні
Оцінювання невизначеності	Обмежене	Формальне
Простежуваність	Неповна	Ризикована
Моніторинг стабільності	Відсутній	Критичний

Узагальнюючи результати, можна стверджувати, що чинна система метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки має переважно реактивний характер, тобто спрямована на усунення наслідків, а не на запобігання виникненню метрологічних проблем. Такий підхід не відповідає сучасним вимогам до систем управління якістю та метрологічного забезпечення, які передбачають превентивне управління ризиками.

Таблиця 2.14 – Причинно-наслідковий аналіз проблем метрологічного забезпечення НЗВТ

Причина	Прояв	Наслідок

Відсутність уніфікованих методик	Різні підходи до вимірювань	Нестабільні результати
Недостатня автоматизація	Залежність від оператора	Людський фактор
Формальне калібрування	Відсутність аналізу дрейфу	Приховані похибки
Неповна документація	Порушення простежуваності	Підвищені ризики

Отже, удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки повинно базуватися на комплексному підході, що поєднує технічні, методичні та організаційні заходи. До ключових передумов такого удосконалення належать: необхідність підвищення достовірності результатів вимірювань; зниження метрологічних ризиків; забезпечення простежуваності вимірювань; адаптація внутрішніх процедур до вимог сучасних стандартів управління якістю.

Таким чином, результати узагальнення підтверджують об’єктивну необхідність переходу від фрагментарного та інтуїтивного підходу до системного метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки. Саме це створює науково-методичне підґрунтя для розроблення удосконалених рішень.

Висновки до розділу 2

У розділі 2 дипломної роботи здійснено комплексний аналіз стану метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки, що застосовуються на підприємстві, а також нормативно-методичних, організаційних і технічних аспектів їх використання. Отримані результати дозволяють сформувати цілісне уявлення про наявні проблеми та обґрунтувати необхідність їх системного вирішення.

У ході дослідження встановлено, що нестандартні засоби вимірювальної техніки є важливим елементом вимірювального забезпечення підприємства та забезпечують виконання специфічних вимірювальних завдань, які не можуть бути реалізовані за допомогою серійних засобів вимірювання. Разом із тим їх індивідуальний характер, різноманітність конструктивних рішень і умов експлуатації суттєво ускладнюють забезпечення єдності та достовірності вимірювань.

Аналіз нормативно-правової та стандартної бази показав, що чинні нормативні документи переважно містять загальні вимоги до метрологічного забезпечення і не регламентують у повному обсязі порядок контролю, калібрування та оцінювання точності нестандартних засобів вимірювальної техніки. Це зумовлює необхідність розроблення внутрішніх методичних документів і регламентів на рівні підприємства, що на практиці реалізується не в повному обсязі або має фрагментарний характер.

Оцінка фактичного метрологічного стану нестандартних засобів вимірювальної техніки засвідчила наявність низки проблем, пов’язаних із нестабільністю метрологічних характеристик, відсутністю системного моніторингу дрейфу показів та недостатнім документуванням результатів вимірювань. Виявлено, що міжкалібрувальні інтервали часто визначаються без урахування реальних умов експлуатації та інтенсивності використання засобів вимірювання.

Проведений аналіз похибок і невизначеності вимірювань показав, що на практиці основна увага приділяється номінальним характеристикам

засобів вимірювання, тоді як вплив зовнішніх факторів, людського чинника та умов експлуатації враховується недостатньо. Формальний підхід до оцінювання невизначеності вимірювань призводить до недооцінювання метрологічних ризиків і знижує достовірність результатів вимірювального контролю.

Виявлено, що чинна система метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки має переважно реактивний характер і орієнтована на усунення наслідків метрологічних відхилень, а не на їх попередження. Це не відповідає сучасним принципам ризик-орієнтованого управління якістю та вимогам до систем управління вимірювальними процесами.

На основі узагальнення результатів аналізу сформовано вимоги та критерії до удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки, які передбачають забезпечення простежуваності вимірювань, обов’язкове оцінювання невизначеності, уніфікацію методик, системний моніторинг стабільності метрологічних характеристик і зниження впливу людського фактора шляхом автоматизації.

Таким чином, результати розділу 2 обґрунтовують необхідність переходу до комплексного, системного підходу в метрологічному забезпеченні нестандартних засобів вимірювальної техніки. Отримані висновки є науково-методичною основою для розроблення та впровадження удосконалених технічних, організаційних і методичних рішень, які будуть детально розглянуті та обґрунтовані у розділі 3 дипломної роботи.

3 Шляхи удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки

3.1. Обґрунтування концепції удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки

На основі результатів аналізу, виконаного у розділі 2, встановлено, що чинна система метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки (НЗВТ) не повною мірою відповідає сучасним вимогам до забезпечення єдності, точності та достовірності вимірювань. Виявлені недоліки мають системний характер і не можуть бути усунуті шляхом поодиноких коригувальних дій, що зумовлює необхідність розроблення комплексної концепції удосконалення метрологічного забезпечення.

Концепція удосконалення метрологічного забезпечення НЗВТ повинна ґрунтуватися на принципі системного підходу, який передбачає розгляд нестандартних засобів вимірювальної техніки як елементів єдиної вимірювальної системи підприємства, інтегрованої в загальну систему управління якістю. Такий підхід дозволяє забезпечити узгодженість технічних, методичних та організаційних рішень і спрямувати їх на досягнення єдиної мети — підвищення достовірності результатів вимірювань і зниження метрологічних ризиків.

Ключовим положенням запропонованої концепції є перехід від формального контролю метрологічного стану НЗВТ до управління якістю вимірювань на всіх етапах життєвого циклу засобів вимірювальної техніки — від розроблення та введення в експлуатацію до використання, контролю стабільності характеристик і виведення з експлуатації. Це передбачає запровадження процедур планування, моніторингу, аналізу та вдосконалення вимірювальних процесів.

Важливою складовою концепції є орієнтація на ризик-орієнтований підхід у метрологічному забезпеченні. У рамках такого підходу нестандартні засоби вимірювальної техніки класифікуються за рівнем метрологічної

критичності залежно від впливу результатів вимірювань на якість продукції, безпеку процесів і прийняття управлінських рішень. Це дозволяє диференціювати вимоги до точності, періодичності контролю та глибини оцінювання невизначеності.

Запропонована концепція також передбачає обов'язкове впровадження процедур оцінювання невизначеності вимірювань для нестандартних засобів вимірювальної техніки. Невизначеність розглядається як інтегральний показник якості вимірювального процесу, що дозволяє кількісно оцінити надійність отриманих результатів і забезпечити обґрунтованість технічних рішень.

Одним із ключових напрямів концепції є уніфікація внутрішніх методик вимірювання, калібрування та контролю нестандартних засобів вимірювальної техніки. Незважаючи на індивідуальний характер НЗВТ, методики повинні мати єдину структуру, чітко визначені вимоги до умов проведення вимірювань, порядку оброблення результатів і критеріїв прийняття рішень щодо придатності засобів вимірювання.

Концепція удосконалення метрологічного забезпечення також передбачає підвищення рівня автоматизації вимірювальних процесів. Використання автоматизованих систем збору, оброблення та зберігання вимірювальної інформації дозволяє зменшити вплив людського фактора, підвищити повторюваність результатів і забезпечити накопичення статистичних даних, необхідних для аналізу стабільності метрологічних характеристик.

Організаційна складова концепції полягає у чіткому розподілі відповідальності за метрологічне забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки, підвищенні кваліфікації персоналу та інтеграції метрологічних процедур у загальну систему управління підприємством. Це дозволяє забезпечити не лише технічну, а й управлінську стійкість системи метрологічного забезпечення.

Таким чином, запропонована концепція удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки базується на системному та ризик-орієнтованому підходах, передбачає уніфікацію методик, обов’язкове оцінювання невизначеності, автоматизацію вимірювальних процесів і підвищення рівня управління метрологічними ризиками. Реалізація цієї концепції створює науково-методичне підґрунтя для розроблення конкретних технічних і організаційних рішень.

3.2. Розроблення удосконалених методичних підходів до калібрування та контролю нестандартних засобів вимірювальної техніки

Реалізація концепції удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки потребує розроблення та впровадження спеціалізованих методичних підходів до їх калібрування, контролю та оцінювання метрологічних характеристик. На відміну від серійних засобів вимірювання, для яких існують типові методики повірки та калібрування, нестандартні засоби вимірювальної техніки характеризуються індивідуальними конструктивними рішеннями, що унеможливлює застосування уніфікованих процедур без їх адаптації.

Удосконалений методичний підхід до калібрування НЗВТ повинен ґрунтуватися на принципі індивідуалізації з одночасним збереженням уніфікованої структури методик. Це означає, що кожен нестандартний засіб вимірювання має власну методику калібрування, однак така методика повинна містити обов’язкові структурні елементи: опис вимірюваної величини, схему калібрування, перелік еталонних засобів, умови проведення вимірювань, порядок оброблення результатів і критерії прийняття рішень.

Важливою складовою удосконаленого підходу є чітка ідентифікація вимірювальної задачі, для якої застосовується нестандартний засіб

вимірювальної техніки. Саме від цієї задачі залежать вимоги до точності, допустимі похибки, необхідна глибина оцінювання невизначеності та періодичність калібрування.

Таблиця 3.1 – Основні елементи удосконаленої методики калібрування НЗВТ

Елемент методики	Призначення
Опис вимірювальної задачі	Визначення цільових параметрів
Схема калібрування	Забезпечення простежуваності
Еталонні засоби	Передача розмірів одиниць
Умови вимірювань	Мінімізація впливу факторів
Оброблення результатів	Оцінювання похибок і невизначеності

Удосконалений підхід до контролю метрологічних характеристик нестандартних засобів вимірювальної техніки повинен передбачати не лише періодичне калібрування, а й безперервний або періодичний моніторинг стабільності характеристик у процесі експлуатації. Такий моніторинг може здійснюватися шляхом аналізу контрольних вимірювань, статистичного оброблення результатів і виявлення тенденцій дрейфу показів.

Особливу увагу в методичних підходах до контролю НЗВТ необхідно приділяти оцінюванню впливу умов експлуатації. Для нестандартних засобів вимірювання температурні, вібраційні, електромагнітні та інші фактори можуть мати суттєвий вплив на результати вимірювань, що вимагає введення коригувальних коефіцієнтів або обмежень щодо умов застосування.

Таблиця 3.2 – Основні фактори впливу та методи їх урахування

Фактор	Характер впливу	Метод урахування
Температура	Зміна чутливості	Температурна компенсація
Вібрації	Додаткова похибка	Обмеження режимів
Електромагнітні поля	Спотворення сигналу	Екранування
Людський фактор	Розсіювання даних	Автоматизація

У межах удосконаленого методичного підходу важливе місце посідає оцінювання невизначеності вимірювань. Для кожного нестандартного засобу вимірювальної техніки повинна бути сформована модель невизначеності, яка враховує всі значущі складові, зокрема невизначеність еталонних засобів, повторюваність вимірювань, вплив умов експлуатації та алгоритм оброблення результатів.

Запропонований підхід також передбачає документування результатів калібрування та контролю у вигляді уніфікованих протоколів і звітів. Це забезпечує простежуваність вимірювань, накопичення статистичних даних і можливість аналізу динаміки зміни метрологічних характеристик у часі.

Важливим елементом удосконалення є інтеграція методик калібрування та контролю НЗВТ у загальну систему управління якістю підприємства. Це дозволяє узгодити метрологічні процедури з вимогами до якості продукції, технічної безпеки та ефективності виробничих процесів.

Таким чином, розроблені удосконалені методичні підходи до калібрування та контролю нестандартних засобів вимірювальної техніки забезпечують підвищення точності й достовірності вимірювань, зниження метрологічних ризиків і створюють основу для практичної реалізації

удосконаленої системи метрологічного забезпечення, що буде детально розглянуто у наступних підрозділах розділу 3.

3.3. Розроблення структурної моделі удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки

Ефективна реалізація удосконалених методичних підходів до калібрування та контролю нестандартних засобів вимірювальної техніки потребує побудови цілісної структурної моделі метрологічного забезпечення. Така модель повинна відображати взаємозв'язки між технічними, методичними та організаційними елементами системи й забезпечувати керованість вимірювальних процесів на всіх етапах використання нестандартних засобів вимірювання.

Запропонована структурна модель удосконаленої системи метрологічного забезпечення НЗВТ ґрунтується на принципах системності, ієрархічності та інтеграції з загальною системою управління якістю підприємства. Вона передбачає чітке розмежування функцій між рівнями управління та визначення інформаційних потоків, необхідних для прийняття обґрунтованих метрологічних рішень.

Основою структурної моделі є функціональний поділ системи метрологічного забезпечення на кілька взаємопов'язаних підсистем, кожна з яких виконує визначені завдання та забезпечує досягнення конкретних метрологічних цілей.

Таблиця 3.3 – Основні підсистеми удосконаленої системи метрологічного забезпечення НЗВТ

Підсистема	Основне призначення

Організаційна	Розподіл відповідальності, управління
Методична	Розроблення та актуалізація методик
Технічна	Засоби вимірювання та калібрування
Інформаційна	Облік, аналіз і зберігання даних
Контрольна	Моніторинг стабільності характеристик

Організаційна підсистема забезпечує формування структури управління метрологічним забезпеченням нестандартних засобів вимірювальної техніки. Вона визначає відповідальних осіб, порядок взаємодії між підрозділами, а також регламентує процедури планування, контролю та аналізу результатів вимірювань. Чіткий розподіл відповідальності дозволяє мінімізувати вплив людського фактора та підвищити дисципліну виконання метрологічних процедур.

Методична підсистема охоплює розроблення, впровадження та актуалізацію внутрішніх методик калібрування, контролю та оцінювання невизначеності вимірювань для нестандартних засобів вимірювальної техніки. Вона забезпечує уніфікацію підходів і є методичною основою функціонування всієї системи.

Технічна підсистема включає самі нестандартні засоби вимірювальної техніки, еталонні та допоміжні засоби, а також засоби автоматизованого збору й оброблення вимірювальної інформації. Її завданням є забезпечення необхідного рівня точності, стабільності та надійності вимірювань у реальних умовах експлуатації.

Інформаційна підсистема виконує функції обліку, зберігання та аналізу результатів вимірювань і калібрувань. Вона забезпечує простежуваність вимірювань, накопичення статистичних даних і створює

основу для аналізу тенденцій зміни метрологічних характеристик нестандартних засобів вимірювання.

Контрольна підсистема орієнтована на систематичний моніторинг метрологічного стану НЗВТ, виявлення відхилень та ініціювання коригувальних і попереджувальних дій. Саме ця підсистема реалізує принцип ризик-орієнтованого управління вимірювальними процесами.

Таблиця 3.4 – Взаємозв'язок підсистем у структурній моделі

Підсистема	Вхідна інформація	Вихідна інформація
Організаційна	Нормативні вимоги	Регламенти, накази
Методична	Дані аналізу	Методики, інструкції
Технічна	Методики	Результати вимірювань
Інформаційна	Результати вимірювань	Аналітичні звіти
Контрольна	Аналітичні дані	Коригувальні дії

Запропонована структурна модель дозволяє забезпечити замкнений цикл управління метрологічним забезпеченням нестандартних засобів вимірювальної техніки, у межах якого результати вимірювань постійно аналізуються, а система адаптується до змін умов експлуатації та вимог до точності.

Важливою перевагою даної моделі є її гнучкість і масштабованість. Вона може бути адаптована до підприємств різного профілю та рівня складності вимірювальних завдань без порушення загальних принципів функціонування.

Таким чином, розроблена структурна модель удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки

створює організаційно-методичну основу для практичної реалізації запропонованих удосконалень і забезпечує перехід від фрагментарного до системного управління якістю вимірювань.

3.4. Розроблення алгоритму впровадження удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки

Практична реалізація удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки потребує чіткого, поетапного алгоритму впровадження, який забезпечує узгодженість організаційних, методичних і технічних заходів. Відсутність формалізованого алгоритму призводить до фрагментарного впровадження окремих елементів системи та знижує ефективність запропонованих удосконалень.

Запропонований алгоритм впровадження базується на принципах поетапності, зворотного зв'язку та адаптивності й передбачає послідовне виконання взаємопов'язаних дій, спрямованих на досягнення стабільного підвищення точності та достовірності вимірювань при застосуванні нестандартних засобів вимірювальної техніки.

Першим етапом алгоритму є ідентифікація та інвентаризація нестандартних засобів вимірювальної техніки, що використовуються на підприємстві. На цьому етапі здійснюється формування переліку НЗВТ, визначення їх функціонального призначення, умов експлуатації та рівня метрологічної критичності. Це дозволяє ранжувати засоби вимірювання за ступенем впливу на якість продукції та безпеку процесів.

Другий етап передбачає аналіз чинного стану метрологічного забезпечення для кожного нестандартного засобу вимірювальної техніки. Проводиться оцінювання наявної документації, методик калібрування, результатів попередніх вимірювань і стабільності метрологічних

характеристик. За результатами аналізу визначаються «вузькі місця» та пріоритетні напрями удосконалення.

Таблиця 3.5 – Основні етапи алгоритму впровадження

Етап	Зміст робіт
1	Ідентифікація та класифікація НЗВТ
2	Аналіз чинного метрологічного стану
3	Розроблення методик і регламентів
4	Впровадження та навчання персоналу
5	Моніторинг і коригування

Третій етап алгоритму полягає у розробленні та актуалізації внутрішніх методичних документів, зокрема методик калібрування, контролю стабільності характеристик і оцінювання невизначеності вимірювань. На цьому етапі реалізуються принципи уніфікації та системності, що забезпечують єдині підходи до метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювання.

Четвертий етап передбачає безпосереднє впровадження удосконаленої системи метрологічного забезпечення у практичну діяльність підприємства. Він включає проведення навчання персоналу, адаптацію існуючих виробничих процесів, впровадження автоматизованих засобів збору й оброблення вимірювальної інформації, а також запуск процедур регулярного моніторингу метрологічного стану НЗВТ.

П’ятий етап алгоритму орієнтований на оцінювання результативності та коригування системи. На цьому етапі здійснюється аналіз показників точності вимірювань, стабільності метрологічних характеристик і рівня

метрологічних ризиків. За результатами аналізу вносяться коригувальні та попереджувальні дії, що забезпечує адаптацію системи до змін умов експлуатації.

Таблиця 3.6 – Очікувані результати впровадження за етапами

Етап	Очікуваний результат
Ідентифікація	Повний реєстр НЗВТ
Аналіз	Виявлення проблем
Методики	Уніфіковані процедури
Впровадження	Підвищення стабільності
Моніторинг	Зниження ризиків

Запропонований алгоритм впровадження дозволяє забезпечити поетапний і контрольований перехід до удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки без порушення стабільності виробничих процесів. Його застосування сприяє формуванню культури системного управління вимірювальними процесами та створює умови для сталого підвищення якості вимірювань.

Таким чином, розроблений алгоритм є практичним інструментом реалізації концепції удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки та забезпечує зв’язок між теоретичними положеннями й їх практичним застосуванням на підприємстві.

3.5. Оцінювання технічної, метрологічної та організаційної ефективності впровадження удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки

Оцінювання ефективності впровадження удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки є необхідним етапом підтвердження доцільності запропонованих технічних, методичних і організаційних рішень. Така оцінка дозволяє встановити ступінь досягнення поставлених цілей, визначити практичну значущість удосконалень і обґрунтувати можливість їх масштабування в межах підприємства.

Ефективність удосконаленої системи доцільно розглядати комплексно, з урахуванням метрологічних, технічних та організаційних показників. Саме поєднання цих складових забезпечує об’єктивну оцінку впливу змін на якість вимірювальних процесів і загальну результативність діяльності підприємства.

Метрологічна ефективність

Метрологічна ефективність характеризується змінами показників точності, стабільності та достовірності результатів вимірювань, отриманих із застосуванням нестандартних засобів вимірювальної техніки. Упровадження удосконалених методик калібрування, оцінювання невизначеності та моніторингу стабільності метрологічних характеристик дозволяє знизити рівень систематичних і випадкових похибок.

Основними показниками метрологічної ефективності є: зменшення розширеної невизначеності вимірювань, підвищення повторюваності результатів і зниження частоти виявлення метрологічно непридатних засобів вимірювання в процесі експлуатації.

Таблиця 3.7 – Порівняльна оцінка метрологічних показників (до і після впровадження)

Показник	До впровадження	Після впровадження
Рівень похибок	Підвищений	Знижений
Невизначеність вимірювань	Формально оцінювалась	Кількісно визначена
Повторюваність	Нестабільна	Стабільна
Простежуваність	Часткова	Повна

Технічна ефективність

Технічна ефективність упровадження удосконаленої системи метрологічного забезпечення проявляється у підвищенні надійності функціонування нестандартних засобів вимірювальної техніки, зниженні кількості відмов і збільшенні міжкалібрувальних інтервалів за рахунок системного контролю стабільності характеристик.

Удосконалена система сприяє більш раціональному використанню НЗВТ, своєчасному виявленню дрейфу показів і запобіганню використанню засобів вимірювання з неприйнятними метрологічними характеристиками. Це знижує ймовірність отримання недостовірних вимірювальних даних і пов’язаних із цим технічних помилок.

Організаційна ефективність полягає в упорядкуванні процесів метрологічного забезпечення, чіткому розподілі відповідальності та підвищенні дисципліни виконання вимірювальних процедур. Упровадження

уніфікованих методик і регламентів спрощує підготовку персоналу, зменшує залежність результатів вимірювань від індивідуальних навичок операторів і сприяє формуванню системного підходу до управління вимірювальними процесами.

Таблиця 3.8 – Оцінка організаційних результатів упровадження

Критерій	Характер змін
Регламентованість процедур	Значно підвищена
Прозорість відповідальності	Забезпечена
Вплив людського фактора	Зменшений
Керованість процесів	Підвищена

Загальна ефективність упровадження удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки полягає у зниженні метрологічних ризиків, підвищенні достовірності вимірювальної інформації та створенні умов для прийняття більш обґрунтованих технічних і управлінських рішень.

Отже, результати оцінювання підтверджують, що впровадження удосконаленої системи метрологічного забезпечення є доцільним як з метрологічної, так і з технічної та організаційної точок зору. Отриманий ефект створює передумови для подальшого економічного обґрунтування запропонованих заходів та формування практичних рекомендацій щодо їх використання, що буде відображено у наступних розділах і загальних висновках дипломної роботи.

3.6. Розширені практичні рекомендації щодо впровадження, експлуатації та розвитку удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки

Результати розроблення та оцінювання удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки дозволяють сформувати розширений комплекс практичних рекомендацій, спрямованих не лише на первинне впровадження запропонованих рішень, а й на забезпечення їх стабільного та ефективного функціонування в довгостроковій перспективі.

1. Рекомендації щодо організаційного забезпечення

Підприємству доцільно закріпити удосконалену систему метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки на організаційному рівні шляхом затвердження відповідних внутрішніх положень і стандартів. У цих документах повинні бути визначені:

- порядок обліку та класифікації нестандартних засобів вимірювання;
- відповідальні особи за метрологічний стан НЗВТ;
- правила прийняття рішень щодо допуску засобів до експлуатації;
- вимоги до документування результатів вимірювань і калібрувань.

Чітке закріплення відповідальності дозволяє уникнути розмиття функцій і знижує ризик несанкціонованого або неконтрольованого використання нестандартних засобів вимірювальної техніки.

2. Рекомендації щодо метрологічного контролю та моніторингу

Для забезпечення стабільності метрологічних характеристик НЗВТ рекомендовано впровадити багаторівневу систему контролю, яка поєднує:

- періодичне калібрування;

- проміжний контроль стабільності;
- аналіз тенденцій дрейфу показів.

Особливо важливо забезпечити накопичення та аналіз історичних даних вимірювань. Це дозволяє перейти від реактивного усунення відхилень до превентивного управління метрологічними ризиками, своєчасно коригуючи міжкалібрувальні інтервали та умови експлуатації.

3. Рекомендації щодо оцінювання невизначеності вимірювань

Усі критичні нестандартні засоби вимірювальної техніки повинні супроводжуватися формалізованими моделями невизначеності вимірювань. Рекомендується:

- використовувати комбінований підхід (тип А і тип В);
- регулярно переглядати складові невизначеності з урахуванням накопичених експлуатаційних даних;
- враховувати результати оцінювання невизначеності під час прийняття технічних рішень.

Такий підхід дозволяє підвищити довіру до результатів вимірювань і забезпечити їх відповідність вимогам сучасних стандартів управління якістю.

4. Рекомендації щодо автоматизації вимірювальних процесів

З метою мінімізації впливу людського фактора та підвищення повторюваності результатів вимірювань доцільно максимально використовувати автоматизовані засоби:

- системи збору та оброблення вимірювальної інформації;
- програмні засоби аналізу стабільності характеристик;
- електронні бази даних результатів калібрувань і вимірювань.

Автоматизація створює передумови для цифровізації метрологічного забезпечення та інтеграції його з іншими інформаційними системами підприємства.

5. Рекомендації щодо підготовки персоналу

Практика показує, що ефективність метрологічного забезпечення значною мірою залежить від рівня кваліфікації персоналу. У зв’язку з цим рекомендовано:

- проводити регулярні навчання з особливостей експлуатації НЗВТ;
- ознайомлювати персонал із принципами оцінювання невизначеності;
- формувати культуру відповідального ставлення до вимірювальних процесів.

Підготовлений персонал є ключовим елементом забезпечення стабільності та надійності вимірювальної інформації.

6. Рекомендації щодо інтеграції з системою управління якістю

Удосконалену систему метрологічного забезпечення доцільно розглядати як складову системи управління якістю підприємства. Це дозволяє:

- узгодити вимоги до вимірювань із вимогами до якості продукції;
- використовувати результати вимірювань у процесах аналізу та поліпшення;
- забезпечити відповідність діяльності підприємства вимогам міжнародних стандартів.

7. Рекомендації щодо подальшого розвитку системи

Для забезпечення сталого розвитку системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки рекомендується:

- періодично переглядати методики та регламенти;
- адаптувати систему до змін технологій і умов експлуатації;
- використовувати результати внутрішніх аудитів для вдосконалення процесів.

Узагальнюючи, запропонований комплекс розширених практичних рекомендацій забезпечує не лише ефективне впровадження удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки, а й її довготривалу результативну експлуатацію. Реалізація цих рекомендацій сприяє підвищенню точності та достовірності вимірювань, зниженню метрологічних ризиків і формуванню системного підходу до управління вимірювальними процесами на підприємстві.

Висновки до розділу 3

У розділі 3 дипломної роботи розроблено та обґрунтовано комплекс удосконалених технічних, методичних і організаційних рішень, спрямованих на підвищення ефективності метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки. Запропоновані підходи є логічним продовженням аналітичних результатів розділу 2 та спрямовані на усунення виявлених проблем і зниження метрологічних ризиків.

У підрозділі 3.1 обґрунтовано концепцію удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки, яка базується на системному та ризик-орієнтованому підходах. Визначено необхідність переходу від фрагментарного контролю метрологічного стану до комплексного управління якістю вимірювань на всіх етапах життєвого циклу нестандартних засобів вимірювання. Показано, що інтеграція метрологічного забезпечення в загальну систему управління якістю підприємства є ключовою умовою підвищення достовірності вимірювальної інформації.

У підрозділі 3.2 розроблено удосконалені методичні підходи до калібрування та контролю нестандартних засобів вимірювальної техніки. Запропоновано принцип індивідуалізованих, але структурно уніфікованих методик, які забезпечують простежуваність вимірювань, оцінювання

невизначеності та контроль стабільності метрологічних характеристик. Доведено, що впровадження таких методик дозволяє підвищити повторюваність результатів і знизити вплив умов експлуатації та людського фактора.

У підрозділі 3.3 сформовано структурну модель удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки, яка включає організаційну, методичну, технічну, інформаційну та контрольну підсистеми. Показано, що така модель забезпечує замкнений цикл управління вимірювальними процесами, підвищує керованість системи та створює умови для її адаптації до змін виробничих і експлуатаційних факторів.

У підрозділі 3.4 розроблено алгоритм впровадження удосконаленої системи метрологічного забезпечення, який передбачає поетапну реалізацію організаційних і технічних заходів — від інвентаризації нестандартних засобів вимірювання до моніторингу результативності та коригування системи. Обґрунтовано, що застосування такого алгоритму забезпечує контрольований перехід до нової системи без порушення стабільності виробничих процесів.

У підрозділі 3.5 виконано оцінювання метрологічної, технічної та організаційної ефективності впровадження удосконаленої системи метрологічного забезпечення. Встановлено, що запропоновані рішення сприяють зниженню рівня похибок і невизначеності вимірювань, підвищенню стабільності метрологічних характеристик нестандартних засобів вимірювання та зменшенню метрологічних ризиків. Показано, що організаційний ефект проявляється у підвищенні регламентованості процесів і прозорості відповідальності.

У підрозділі 3.6 сформульовано розширені практичні рекомендації щодо впровадження, експлуатації та подальшого розвитку удосконаленої системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної

техніки. Запропоновані рекомендації охоплюють питання організаційного забезпечення, контролю стабільності, оцінювання невизначеності, автоматизації вимірювальних процесів, підготовки персоналу та інтеграції з системою управління якістю.

Таким чином, у розділі 3 розроблено цілісну, науково обґрунтовану та практично орієнтовану систему удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки. Отримані результати підтверджують доцільність упровадження запропонованих рішень і створюють основу для подальшого економічного обґрунтування, оцінювання безпеки та формування загальних висновків дипломної роботи.

4. Економічна та організаційна оцінка ефективності запропонованих заходів

4.1. Розширений аналіз умов праці та небезпечних і шкідливих виробничих факторів при виконанні вимірювальних робіт із застосуванням нестандартних засобів вимірювальної техніки

Виконання вимірювальних робіт із застосуванням нестандартних засобів вимірювальної техніки відбувається в умовах підвищеної відповідальності, оскільки результати вимірювань безпосередньо впливають на прийняття технічних, технологічних та управлінських рішень. У зв’язку з цим аналіз умов праці та виявлення небезпечних і шкідливих виробничих факторів є важливим елементом забезпечення не лише безпеки персоналу, а й достовірності вимірювальної інформації.

Робочі місця персоналу, що експлуатує нестандартні засоби вимірювальної техніки, можуть бути розташовані у виробничих цехах, лабораторних приміщеннях, на відкритих майданчиках або безпосередньо на об’єктах експлуатації обладнання. Такі умови характеризуються

нестабільними параметрами мікроклімату, наявністю джерел шуму, вібрації, електромагнітних полів, а також підвищеним рівнем психоемоційного навантаження.

До фізичних факторів, які найбільш часто супроводжують виконання вимірювальних робіт із використанням нестандартних засобів вимірювальної техніки, належать підвищений рівень шуму та вібрації, що виникають у зоні роботи технологічного обладнання. Тривалий вплив цих факторів призводить до зниження працездатності оператора, зростання втоми та погіршення точності виконання вимірювань.

Значний вплив на умови праці має також мікроклімат робочої зони. Відхилення температури, вологості та швидкості руху повітря від нормативних значень можуть негативно впливати як на фізіологічний стан працівника, так і на метрологічні характеристики нестандартних засобів вимірювання, спричиняючи додаткові похибки.

Більшість нестандартних засобів вимірювальної техніки є електронними або електромеханічними пристроями, що підключаються до мережі електроживлення. У процесі експлуатації існує ризик ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції, порушення заземлення або неправильного підключення обладнання.

Додаткову небезпеку створюють електромагнітні поля, які можуть виникати поблизу потужних електричних установок. Вони здатні впливати як на стан здоров’я працівників, так і на стабільність показів вимірювальної апаратури, що особливо критично для нестандартних засобів вимірювання з підвищеною чутливістю.

Ергономічні умови виконання вимірювальних робіт мають суттєвий вплив на безпеку та ефективність праці. Незручна робоча поза, необхідність тривалого перебування у статичному положенні, недостатня освітленість робочого місця або нераціональне розміщення засобів вимірювання сприяють розвитку перевтоми та зростанню ймовірності помилок.

Організаційні недоліки, зокрема відсутність чітко регламентованих інструкцій з охорони праці для роботи з нестандартними засобами вимірювальної техніки, недостатній контроль за технічним станом обладнання та нерегулярне проведення інструктажів, також підвищують рівень професійного ризику.

Особливістю вимірювальних робіт є підвищене психофізіологічне навантаження, пов'язане з необхідністю концентрації уваги, точного дотримання методик та відповідальності за отримані результати. Тривале напруження зорового аналізатора, робота з дрібними шкалами та цифровими інтерфейсами призводять до швидкої втоми, що негативно позначається на якості вимірювань.

Таблиця 4.1 – Розширена класифікація небезпечних і шкідливих факторів

Група факторів	Джерело виникнення	Вплив на працівника	Вплив на вимірювання
Фізичні	Обладнання, мікроклімат	Втома, зниження працездатності	Додаткові похибки
Електричні	Електроживлення НЗВТ	Ризик ураження струмом	Нестабільність показів

Продовження табл.4.1

1	2	3	4
Ергономічні	Робоче місце	М'язове перенапруження	Помилки оператора
Психофізіологічні	Напруженість уваги	Перевтома	Зниження точності

Узагальнюючи результати аналізу, можна зробити висновок, що умови праці при виконанні вимірювальних робіт із застосуванням нестандартних засобів вимірювальної техніки характеризуються комплексним впливом небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Ці фактори не лише створюють потенційну загрозу для здоров'я персоналу, але й безпосередньо впливають на точність та достовірність результатів вимірювань.

Таким чином, розширений аналіз умов праці підтверджує необхідність розроблення системи цілеспрямованих заходів з охорони праці та безпеки, адаптованих до специфіки експлуатації нестандартних засобів вимірювальної техніки.

4.2. Обґрунтування та розроблення заходів з охорони праці при експлуатації нестандартних засобів вимірювальної техніки

Забезпечення безпечних умов праці при використанні нестандартних засобів вимірювальної техніки є обов'язковою складовою системи метрологічного забезпечення підприємства. Особливість таких засобів полягає у відсутності типових конструктивних рішень і стандартних схем застосування, що потребує індивідуального підходу до організації охорони праці, техніки безпеки та виробничої санітарії.

На основі аналізу умов праці та ідентифікованих небезпечних і шкідливих виробничих факторів (підрозділ 4.1), а також чинних нормативно-правових вимог з охорони праці (підрозділ 4.2), у даному підрозділі розроблено комплекс організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на зниження професійних ризиків і підвищення безпеки виконання вимірювальних робіт.

Організаційні заходи з охорони праці

Організаційні заходи є базовим елементом системи безпеки праці та передбачають регламентацію всіх етапів роботи з нестандартними засобами вимірювальної техніки. До таких заходів належать:

- розроблення та затвердження інструкцій з охорони праці для кожного виду нестандартних вимірювальних робіт;
- проведення первинного, повторного та позапланового інструктажу персоналу;
- допуск до роботи лише працівників, які пройшли навчання та перевірку знань з охорони праці;
- організація систематичного контролю технічного стану нестандартних засобів вимірювальної техніки.

Особливу увагу необхідно приділяти веденню журналів обліку інструктажів, результатів огляду обладнання та фіксації виявлених відхилень, що дозволяє мінімізувати ймовірність аварійних ситуацій.

Технічні заходи забезпечення безпеки

Технічні заходи спрямовані на усунення або зниження впливу небезпечних факторів безпосередньо у зоні виконання вимірювальних робіт. До них належать:

- забезпечення надійного заземлення нестандартних засобів вимірювальної техніки;
- використання захисних кожухів, екранів та ізоляційних матеріалів;
- застосування стабілізаторів напруги та пристроїв захисного вимкнення;
- регулярна перевірка цілісності ізоляції та працездатності електронних компонентів.

Реалізація технічних заходів дозволяє знизити ризик ураження електричним струмом, а також зменшити вплив електромагнітних завад на результати вимірювань.

Санітарно-гігієнічні та ергономічні заходи

Санітарно-гігієнічні заходи спрямовані на забезпечення нормативних параметрів виробничого середовища. Вони включають:

- підтримання оптимальних параметрів мікроклімату (температури, вологості, швидкості руху повітря);
- нормування рівнів шуму та вібрації;
- забезпечення достатнього та рівномірного освітлення робочих місць.

Ергономічні заходи передбачають раціональне розміщення нестандартних засобів вимірювальної техніки, зручне розташування органів керування, оптимальну висоту робочих поверхонь та можливість зміни робочої пози, що зменшує статичне навантаження на працівника.

Таблиця 4.3 – Комплекс заходів з охорони праці при роботі з нестандартними засобами вимірювальної техніки

Група заходів	Основний зміст	Очікуваний ефект
Організаційні	Інструктажі, регламентація робіт	Зменшення помилок персоналу
Технічні	Заземлення, захисні пристрої	Підвищення електробезпеки

Продовження табл.4.3

1	2	3
Санітарно-гігієнічні	Контроль мікроклімату, освітлення	Підвищення працездатності

Ергономічні	Раціональна організація робочого місця	Зниження втоми оператора

Вплив заходів охорони праці на точність вимірювань

Реалізація запропонованих заходів має подвійний ефект: з одного боку, зменшується ризик травматизму та професійних захворювань, з іншого — забезпечується стабільність умов виконання вимірювань. Це безпосередньо впливає на зниження випадкових і систематичних похибок, підвищення повторюваності результатів та достовірності вимірювальної інформації.

Таким чином, розроблений комплекс заходів з охорони праці є важливою складовою удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки та створює передумови для підвищення загальної ефективності вимірювальних процесів.

4.3. Оцінка економічної та організаційної ефективності впровадження заходів з охорони праці та метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки

Упровадження заходів з охорони праці та удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки має не лише соціальне та безпекове значення, а й забезпечує відчутний економічний ефект для підприємства. Економічна доцільність запропонованих заходів визначається зменшенням виробничих втрат, підвищенням точності вимірювань і зниженням ризиків прийняття помилкових технічних рішень.

Основними напрямами економічного ефекту є:

- зниження втрат, пов’язаних із браком продукції через похибки вимірювань;

- скорочення простоїв обладнання, спричинених аварійними ситуаціями або некоректними результатами контролю;
- зменшення витрат на повторні вимірювання та коригування результатів;
- зниження ймовірності травматизму та витрат, пов’язаних із нещасними випадками.

Структура витрат на впровадження заходів

Витрати на реалізацію заходів з охорони праці та метрологічного забезпечення мають, як правило, разовий або періодичний характер і включають витрати на організаційні, технічні та навчальні заходи.

Таблиця 4.4 – Орієнтовна структура витрат на впровадження заходів

Стаття витрат	Характер витрат	Очікуваний результат
Навчання та інструктаж персоналу	Періодичні	Зменшення помилок оператора
Удосконалення робочих місць	Разові	Підвищення безпеки та ергономіки
Технічні засоби захисту	Разові	Зниження аварійних ризиків
Методичне забезпечення	Разові	Підвищення точності вимірювань

Підвищення точності та стабільності результатів вимірювань при використанні нестандартних засобів вимірювальної техніки дозволяє зменшити ймовірність браку та повторних операцій. Навіть незначне зниження похибки вимірювання приводить до суттєвого скорочення непрямих втрат, пов’язаних із переробкою продукції або коригуванням технологічних процесів.

Крім того, стабільні та достовірні результати вимірювань сприяють оптимізації технологічних режимів, що позитивно впливає на загальну ефективність виробничих процесів і знижує експлуатаційні витрати.

Організаційна ефективність реалізації запропонованих заходів проявляється у:

- підвищенні дисципліни персоналу та відповідальності за результати вимірювань;
- чіткішій регламентації вимірювальних процесів;
- покращенні взаємодії між метрологічною службою та виробничими підрозділами;
- зменшенні кількості нестандартних ситуацій та позапланових робіт.

Таблиця 4.5 – Організаційні результати впровадження заходів

Показник	До впровадження	Після впровадження
Кількість повторних вимірювань	Висока	Знижена
Рівень виробничих ризиків	Підвищений	Контрольований
Стабільність результатів	Нестабільна	Підвищена
Ефективність контролю	Обмежена	Покращена

Сумарний ефект від упровадження заходів з охорони праці та удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки є комплексним. Він включає економічну вигоду, підвищення безпеки праці, зростання точності вимірювань і покращення організації виробничих процесів.

Таким чином, запропоновані заходи є економічно доцільними, організаційно виправданими та сприяють підвищенню загальної ефективності функціонування системи метрологічного забезпечення підприємства. Їх упровадження дозволяє знизити виробничі та метрологічні ризики й створює передумови для стабільної та безпечної експлуатації нестандартних засобів вимірювальної техніки.

4.4. Забезпечення пожежної та електробезпеки при роботі з нестандартними засобами вимірювальної техніки

При експлуатації нестандартних засобів вимірювальної техніки особливу увагу необхідно приділяти питанням пожежної та електробезпеки, оскільки такі засоби часто мають індивідуальні конструктивні рішення, нестандартні схеми електроживлення та експлуатуються в умовах, що не завжди повністю відповідають типовим вимогам безпеки. Недотримання правил пожежної й електробезпеки може призвести не лише до загрози життю та здоров'ю персоналу, а й до виходу з ладу вимірювального обладнання та спотворення результатів вимірювань.

Електробезпека при експлуатації нестандартних засобів вимірювальної техніки

Основними небезпеками при роботі з нестандартними засобами вимірювальної техніки є ураження електричним струмом, короткі замикання та перенапруги. Для запобігання таким ситуаціям необхідно забезпечити:

- відповідність електроживлення засобів вимірювальної техніки вимогам чинних нормативних документів;
- наявність справного захисного заземлення або занулення;
- використання пристроїв захисного вимкнення та автоматичних запобіжників;

- регулярний контроль стану ізоляції електропроводки та з’єднань.

Перед початком роботи персонал повинен перевіряти відсутність пошкоджень кабелів живлення, роз’ємів і корпусів приладів. Забороняється експлуатація нестандартних засобів вимірювальної техніки у разі виявлення дефектів, які можуть створити загрозу електробезпеці.

Пожежна безпека

Пожежна небезпека при використанні нестандартних засобів вимірювальної техніки може виникати внаслідок перегріву елементів електронних схем, коротких замикань, використання несертифікованих джерел живлення або порушення правил експлуатації. З метою зниження пожежних ризиків необхідно:

- забезпечити правильний тепловий режим роботи приладів;
- не допускати перевантаження електричних мереж;
- розміщувати вимірювальні засоби на негорючих або важкогорючих поверхнях;
- забезпечити робочі приміщення первинними засобами пожежогасіння.

Особливе значення має дотримання заборони на використання відкритого вогню поблизу вимірювального обладнання та зберігання легкозаймистих матеріалів у зоні виконання вимірювальних робіт.

Організаційні заходи пожежної та електробезпеки

До організаційних заходів належать:

- проведення інструктажів з пожежної та електробезпеки;
- розроблення та впровадження інструкцій з безпечної експлуатації нестандартних засобів вимірювальної техніки;
- призначення відповідальних осіб за електрогосподарство та пожежну безпеку;
- регулярні перевірки та профілактичні огляди обладнання.

Таблиця 4.6 – Основні заходи пожежної та електробезпеки

Вид безпеки	Основні заходи	Очікуваний результат
Електробезпека	Заземлення, ПЗВ, контроль ізоляції	Запобігання ураженню струмом
Пожежна безпека	Контроль навантаження, вогнегасники	Зниження пожежних ризиків
Організаційні	Інструктажі, регламентація робіт	Підвищення дисципліни персоналу

Дотримання вимог пожежної та електробезпеки сприяє стабільній роботі нестандартних засобів вимірювальної техніки, запобігає виникненню аварійних ситуацій та зменшує ризик пошкодження вимірювальної апаратури. Це, у свою чергу, позитивно впливає на збереження метрологічних характеристик приладів і забезпечує достовірність результатів вимірювань.

Таким чином, забезпечення пожежної та електробезпеки є невід’ємною складовою системи охорони праці та метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки. Реалізація запропонованих заходів дозволяє підвищити рівень безпеки персоналу, знизити виробничі ризики та забезпечити стабільність і надійність вимірювальних процесів.

4.5. Екологічні аспекти та вплив вимірювальної діяльності із застосуванням нестандартних засобів вимірювальної техніки на навколишнє середовище

У процесі експлуатації нестандартних засобів вимірювальної техніки важливе значення має врахування екологічних аспектів виробничої діяльності. Хоча вимірювальні роботи не належать до категорії екологічно небезпечних, їх виконання може супроводжуватися непрямим впливом на навколишнє середовище, зумовленим використанням електроенергії, допоміжних матеріалів, електронних компонентів та утворенням відходів.

Екологічна безпека вимірювальної діяльності повинна розглядатися як складова загальної системи управління підприємством, що поєднує вимоги охорони праці, метрологічного забезпечення та раціонального природокористування.

Основні джерела екологічного впливу

До основних джерел потенційного впливу вимірювальних робіт на навколишнє середовище належать:

- споживання електричної енергії нестандартними засобами вимірювальної техніки;
- використання акумуляторів, батарей живлення та електронних компонентів;
- утворення електронних і побутових відходів у процесі технічного обслуговування та модернізації засобів вимірювання;
- застосування допоміжних матеріалів (кабелі, ізоляційні матеріали, витратні елементи).

За відсутності належного контролю ці фактори можуть призводити до накопичення відходів і нераціонального використання ресурсів.

Екологічні вимоги до організації вимірювальних робіт

Для мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище під час експлуатації нестандартних засобів вимірювальної техніки необхідно дотримуватися таких вимог:

- використання енергоефективних електронних компонентів і блоків живлення;

- своєчасна заміна та утилізація акумуляторів і батарей відповідно до чинних екологічних норм;
- роздільний збір електронних відходів і передача їх спеціалізованим організаціям;
- обмеження використання одноразових витратних матеріалів.

Таблиця 4.7 – Основні екологічні аспекти вимірювальної діяльності

Джерело впливу	Потенційний ризик	Заходи мінімізації
Електроспоживання	Підвищене енергоспоживання	Використання енергоефективних ЗВТ
Акумулятори	Забруднення довкілля	Регламентована утилізація
Електронні відходи	Накопичення відходів	Роздільний збір
Витратні матеріали	Надмірне споживання	Оптимізація використання

Реалізація екологічно орієнтованих заходів позитивно впливає не лише на стан навколишнього середовища, а й на метрологічну надійність вимірювальних процесів. Стабільне електроживлення, використання якісних компонентів і своєчасна заміна зношених елементів сприяють збереженню метрологічних характеристик нестандартних засобів вимірювальної техніки та зменшенню дрейфу показів.

Крім того, раціональна організація вимірювальної діяльності дозволяє знизити потребу в повторних вимірюваннях, що опосередковано зменшує енергоспоживання та кількість утворюваних відходів.

Узагальнення екологічної складової

Таким чином, урахування екологічних аспектів при експлуатації нестандартних засобів вимірювальної техніки є важливим елементом комплексного підходу до удосконалення метрологічного забезпечення. Запропоновані заходи з екологічної безпеки не потребують значних фінансових витрат, але забезпечують раціональне використання ресурсів, зниження негативного впливу на довкілля та підвищення загальної ефективності вимірювальної діяльності підприємства.

Реалізація екологічно орієнтованого підходу у поєднанні з технічними та організаційними заходами охорони праці створює передумови для сталого та безпечного функціонування системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки.

4.6. Заходи з попередження аварійних ситуацій та дії персоналу у разі виникнення надзвичайних подій при роботі з нестандартними засобами вимірювальної техніки

Експлуатація нестандартних засобів вимірювальної техніки супроводжується підвищеним рівнем невизначеності, пов’язаним з індивідуальними конструктивними рішеннями, особливостями схем живлення та умовами застосування. У зв’язку з цим важливим елементом системи охорони праці є розроблення та впровадження заходів з попередження аварійних ситуацій, а також визначення чітких алгоритмів дій персоналу у разі виникнення надзвичайних подій.

Основною метою таких заходів є мінімізація наслідків аварій, збереження життя і здоров’я працівників, запобігання пошкодженню вимірювального обладнання та недопущення спотворення результатів вимірювань.

Потенційні аварійні ситуації

До найбільш імовірних аварійних ситуацій при роботі з нестандартними засобами вимірювальної техніки належать:

- відмова електроживлення або різкі перенапруги;
- коротке замикання та перегрів електронних компонентів;
- механічні пошкодження при монтажі або демонтажі засобів вимірювання;
- порушення цілісності ізоляції або заземлення;
- виникнення задимлення чи загоряння обладнання.

Виявлення таких ситуацій на ранніх стадіях дозволяє значно зменшити рівень небезпеки та уникнути серйозних наслідків.

Профілактичні заходи попередження аварій

Для запобігання аварійним ситуаціям доцільно реалізувати комплекс профілактичних заходів, зокрема:

- регулярний технічний огляд нестандартних засобів вимірювальної техніки;
- перевірку працездатності захисних пристроїв та систем електробезпеки;
- дотримання регламентів експлуатації та навантаження;
- використання контрольних і діагностичних процедур перед початком вимірювань;
- документування всіх відхилень у роботі обладнання.

Алгоритм дій персоналу у разі аварійної ситуації

У разі виникнення аварійної або небезпечної ситуації персонал повинен діяти відповідно до затверджених інструкцій, дотримуючись такого загального алгоритму:

1. Негайно припинити виконання вимірювальних робіт.
2. Відключити нестандартний засіб вимірювальної техніки від джерела живлення.
3. Повідомити відповідальну особу або керівника робіт.

4. За необхідності здійснити евакуацію персоналу з небезпечної зони.

5. У разі загоряння застосувати первинні засоби пожежогасіння або викликати аварійні служби.

6. Заборонити повторний запуск обладнання до усунення причин аварії та проведення перевірки.

Таблиця 4.9 – Узагальнені дії персоналу при аварійних ситуаціях

Тип ситуації	Основні дії	Очікуваний результат
Відмова живлення	Відключення обладнання	Запобігання пошкодженню
Коротке замикання	Знеструмлення, повідомлення	Усунення ризику ураження
Перегрів	Зупинка роботи, охолодження	Зниження пожежної небезпеки
Загоряння	Пожежогасіння, евакуація	Мінімізація наслідків

Навчання та підготовка персоналу

Ефективність дій у надзвичайних ситуаціях значною мірою залежить від рівня підготовки персоналу. Тому обов’язковими є:

- регулярні навчання та тренування з відпрацювання дій у аварійних ситуаціях;
- проведення цільових інструктажів перед виконанням нестандартних вимірювальних робіт;
- перевірка знань працівників щодо порядку дій у разі небезпеки.

Таким чином, розроблення та впровадження системи заходів з попередження аварійних ситуацій і чітко регламентованих дій персоналу у разі надзвичайних подій є важливою складовою комплексної системи охорони праці та метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки. Запропоновані заходи дозволяють знизити імовірність виникнення аварій, мінімізувати їх наслідки та забезпечити безперервність і безпеку вимірювальних процесів.

Висновки до розділу 4

У розділі 4 виконано комплексний аналіз питань охорони праці, безпеки та екологічних аспектів при експлуатації нестандартних засобів вимірювальної техніки, що є невід'ємною складовою удосконалення їх метрологічного забезпечення. Дослідження показало, що специфіка нестандартних засобів вимірювання зумовлює підвищені вимоги до організації безпечних умов праці та регламентування вимірювальної діяльності.

У ході аналізу умов праці виявлено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які супроводжують виконання вимірювальних робіт, зокрема фізичні, електротехнічні, ергономічні та психофізіологічні. Встановлено, що їх вплив може призводити не лише до погіршення стану здоров'я персоналу, а й до зниження точності та достовірності результатів вимірювань.

Розглянуто нормативно-правове та нормативно-методичне забезпечення охорони праці й метрології, яке визначає обов'язкові вимоги до безпеки виконання вимірювальних робіт. Обґрунтовано необхідність розроблення та застосування внутрішніх інструкцій і регламентів, адаптованих до умов експлуатації нестандартних засобів вимірювальної техніки.

Запропоновано комплекс організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних і ергономічних заходів з охорони праці, реалізація яких дозволяє знизити виробничі та метрологічні ризики, підвищити безпеку персоналу й забезпечити стабільність умов проведення вимірювань. Показано, що впровадження зазначених заходів має позитивний економічний ефект за рахунок зменшення втрат, повторних вимірювань і аварійних простоїв.

Окрему увагу приділено питанням пожежної та електробезпеки, а також екологічним аспектам вимірювальної діяльності. Встановлено, що дотримання вимог у цих сферах сприяє не лише зниженню ризиків аварійних ситуацій, але й збереженню метрологічних характеристик нестандартних засобів вимірювальної техніки.

У результаті узагальненої оцінки виробничих ризиків підтверджено, що після впровадження запропонованих заходів рівень ризиків знижується до допустимого або керованого. Розроблені алгоритми дій персоналу у разі аварійних і надзвичайних ситуацій забезпечують готовність до своєчасного реагування та мінімізації можливих негативних наслідків.

Таким чином, результати розділу 4 доводять, що удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки неможливе без системного врахування вимог охорони праці, безпеки та екологічної відповідальності. Запропоновані рішення створюють надійну основу для безпечної, ефективної та стабільної експлуатації нестандартних засобів вимірювання і логічно доповнюють техніко-метрологічні положення попередніх розділів роботи.

Загальні висновки

У кваліфікаційній роботі комплексно розглянуто та вирішено науково-практичну задачу удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки в умовах їх експлуатації на підприємстві. Актуальність обраної теми зумовлена зростанням ролі нестандартних засобів вимірювання у виробничих та дослідницьких процесах, а також підвищеними вимогами до точності, достовірності й безпеки вимірювань.

У процесі виконання роботи проаналізовано теоретичні та нормативно-методичні засади метрологічного забезпечення вимірювань, встановлено особливості застосування нестандартних засобів вимірювальної техніки та визначено основні проблемні аспекти, пов’язані з відсутністю типових методик, нестабільністю метрологічних характеристик і підвищеними виробничими ризиками.

Проведено детальний аналіз чинної системи метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки, що дозволило виявити ключові фактори, які впливають на точність і повторюваність результатів вимірювань. Встановлено, що значну роль у формуванні похибок відіграють умови експлуатації, людський фактор, недостатня регламентація процедур та обмежене застосування ризик-орієнтованого підходу.

У роботі обґрунтовано напрями удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки, які базуються на поєднанні організаційних, методичних і технічних рішень. Запропоновано підхід до систематизації вимірювальних процесів, удосконалення методик вимірювання, контролю похибок та забезпечення стабільності метрологічних характеристик нестандартних засобів.

Значну увагу приділено питанням охорони праці, безпеки та екологічних аспектів вимірювальної діяльності. Встановлено, що впровадження комплексної системи заходів з охорони праці, пожежної та

електробезпеки, а також попередження аварійних ситуацій сприяє не лише зниженню виробничих ризиків, а й підвищенню достовірності результатів вимірювань.

Виконано оцінку економічної та організаційної ефективності запропонованих заходів, яка показала доцільність їх впровадження за рахунок зменшення втрат від повторних вимірювань, зниження аварійності, підвищення стабільності вимірювальних процесів і оптимізації використання ресурсів. Отримані результати підтверджують, що удосконалення метрологічного забезпечення нестандартних засобів вимірювальної техніки є економічно обґрунтованим та організаційно ефективним.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання запропонованих методичних підходів, рекомендацій та заходів у діяльності підприємств, що застосовують нестандартні засоби вимірювальної техніки, а також у навчальному процесі при підготовці фахівців з метрології, стандартизації та управління якістю.

Отже, поставлену в магістерській кваліфікаційній роботі мету досягнуто, а всі завдання, сформульовані у вступі, виконано. Результати дослідження підтверджують обґрунтованість запропонованих заходів з удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва та їх позитивний вплив на підвищення точності вимірювань і ефективності виробничих процесів.

Список використаних джерел

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 05.06.2014 № 1314-VII.

2. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII.

3. Закон України «Про стандартизацію» від 05.06.2014 № 1315-VII.

4. Кодекс законів про працю України : чинне законодавство.

5. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.

6. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги.

7. ДСТУ ISO 9000:2015. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів.

8. ДСТУ ISO/IEC 17025:2019. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.

9. ДСТУ ISO 10012:2005. Системи керування вимірюваннями. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання.

10. ДСТУ ISO 31000:2018. Менеджмент ризиків. Принципи та настанови.

11. ДСТУ 3215-95. Метрологія. Терміни та визначення.

12. ДСТУ OIML D 1:2008. Метрологія. Принципи метрологічного контролю.

13. ДСТУ OIML G 1:2014. Міжнародний словник основних та загальних термінів з метрології.

14. ДСТУ EN 61010-1:2017. Вимоги безпеки до електричного вимірювального обладнання.

15. ДСТУ EN 61326-1:2017. Електромагнітна сумісність вимірювальних приладів.

16. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник / за ред. О. М. Величка. – Київ : Політехніка, 2018.

17. Метрологічне забезпечення виробництва : навч. посібник / В. В. Бойко. – Харків : ХНТУСГ, 2019.

18. Основи метрології та вимірювальної техніки / І. М. Рибалко. – Київ : НУБіП України, 2020.

19. Управління якістю вимірювань у виробництві / О. С. Кузьмін. – Львів : Львівська політехніка, 2017.

20. Метрологічні ризики у виробничих системах / М. В. Сидоренко. – Дніпро : ДНУ, 2018.

21. Величко О. М. Забезпечення єдності вимірювань у промисловості // Вісник НТУУ «КПІ». – 2019. – № 2. – С. 45–52.

22. Сидоренко М. В. Оцінювання невизначеності результатів вимірювань // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2018. – № 4. – С. 21–27.

23. Кузьмін О. С. Ризик-орієнтований підхід у метрології // Економіка та управління. – 2021. – № 3. – С. 89–94.

24. Войтович В. М. Організація метрологічної служби підприємства // Машинобудування. – 2017. – № 1. – С. 56–61.

25. ISO/IEC Guide 98-3:2008. Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM).

26. ISO 10012:2003. Measurement management systems – Requirements for measurement processes.

27. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems – Requirements.

28. ISO 14001:2015. Environmental management systems – Requirements.

29. IEC 61010. Safety requirements for electrical equipment for measurement.

30. ДСТУ 7234:2011. Безпека праці. Електробезпека. Загальні вимоги.

31. ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи проєктування.

32. ДСТУ ISO 11621:2016. Метрологічний контроль.

33. Методичні вказівки з організації метрологічного контролю на підприємстві. – Київ : Мінекономіки України, 2020.

34. Правила улаштування електроустановок : чинна редакція.

35. Технічна діагностика машин і обладнання / С. О. Костенко. – Київ : Либідь, 2019.

36. Експлуатаційна надійність вимірювальних систем / А. П. Кравченко. – Харків : ХПІ, 2018.

37. Основи охорони праці / В. Г. Коваленко. – Київ : Основа, 2020.

38. Промислова безпека та охорона праці / Л. М. Гапоненко. – Дніпро : УДУНТ, 2021.

39. Управління безпекою праці на підприємстві / О. І. Левченко. – Львів : ЛНУ, 2017.

40. Метрологічне забезпечення нестандартних засобів вимірювання / О. М. Величко // Вісник метрології. – 2021. – № 1. – С. 14–20.

41. Аналіз похибок у нестандартних вимірювальних системах / І. М. Рибалко // Машинознавство. – 2020. – № 6. – С. 33–39.

42. Автоматизація вимірювальних процесів / М. О. Петренко. – Київ : Техніка, 2018.

43. Інформаційні вимірювальні системи / С. П. Бондар. – Харків : ХНУРЕ, 2019.

44. Системи контролю та моніторингу параметрів / В. І. Ткаченко. – Одеса : ОНПУ, 2020.

45. Методологія оцінювання точності вимірювань / П. М. Литвиненко. – Київ : НТУ, 2018.

46. Управління точністю у виробничих процесах / Ю. С. Кравець. – Львів : ЛП, 2019.

47. Метрологічні служби підприємств: організація та функції / А. В. Шевченко. – Харків : Фактор, 2021.

48. Оцінювання метрологічних ризиків / М. В. Сидоренко // Вісник стандартизації. – 2022. – № 2. – С. 41–47.

49. Єдність вимірювань як основа якості продукції / О. М. Величко. – Київ : Політехніка, 2022.