

Український державний університет залізничного транспорту

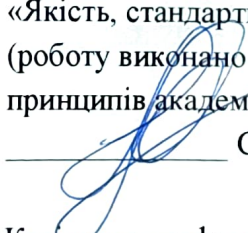
Кафедра інженерії вагонів та якості продукції

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДГОТОВКИ
ВИРОБНИЦТВА

Пояснювальна записка і розрахунки
до магістерської кваліфікаційної роботи

МКРМЕ.175.26.12.00. ПЗ

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

 Сергій КАРБАНЬ

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

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

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет механіко-енергетичний

Кафедра інженерії вагонів та якості продукції

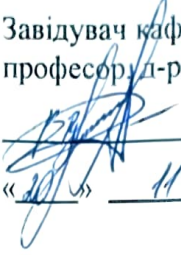
Другий (магістерський) рівень вищої освіти

Спеціальність – 175 «Інформаційно-вимірювальна техніка»

Освітня програма – «Якість, стандартизація, сертифікація»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор д-р техн. наук

 В. Г. Равлюк

« 20 » 11 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Карбань Сергія Володимировича

1 Тема «Удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва».

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

затверджені наказом по механіко-енергетичному факультету від

“ ” 2025 року № .

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

3. Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи отримати під час проходження переддипломної практики на підприємстві технічного профілю, що здійснює виробничу діяльність та реалізує процеси підготовки виробництва.

4. Під час проходження переддипломної практики необхідно ознайомитися з організаційною структурою підприємства, функціональними обов'язками його підрозділів, особливостями організації підготовки виробництва, а також із внутрішньою технічною, технологічною та нормативно-методичною документацією у сфері метрологічного забезпечення вимірювань. Студент повинен вивчити нормативно-правову та стандартну базу у сфері метрології та управління якістю, а також проаналізувати чинну практику організації вимірювального контролю, застосування засобів вимірювання та забезпечення точності вимірювань на етапі підготовки виробництва.

5. На основі зібраних матеріалів необхідно сформулювати методичний підхід до удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва, виконати аналіз застосовуваних методів і засобів вимірювання, визначити основні проблемні аспекти та обґрунтувати напрями їх удосконалення. Студент має отримати вихідні дані для виконання аналітичної та економічної частин роботи, зокрема щодо витрат на метрологічне забезпечення, організації вимірювального контролю, рівня точності вимірювань та ефективності процесів підготовки виробництва.

6 Перелік графічного матеріалу:

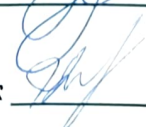
Графічний матеріал виконати у вигляді презентації (обсяг 15-20 слайдів).

7 Дата видачі завдання «24» лютого 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Ознайомлення з діяльністю підприємства, його організаційною структурою та технічною документацією у сфері підготовки виробництва.	26.02 - 02.03	виконано
2. Аналіз нормативно-правової та стандартної бази у сфері метрологічного забезпечення вимірювань і управління якістю під час підготовки виробництва.	03.03 – 13.04	виконано
3. Дослідження існуючих методів і засобів вимірювання, що застосовуються на етапі підготовки виробництва.	14.04 – 10.06	виконано
4. Аналіз чинної системи метрологічного забезпечення підготовки виробництва, організації контролю та моніторингу вимірювальних процесів.	11.06 – 03.07	виконано
5. Обґрунтування напрямів удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва.	04.07 – 01.09	виконано
6. Розроблення удосконалених методичних підходів до організації вимірювань і оцінювання їх результатів на етапі підготовки виробництва.	02.09 – 05.10	виконано
7. Оцінка економічної та організаційної ефективності впровадження розробок.	06.10 - 16.11	виконано
8. Розробка та оформлення слайдів	з 17.11.25 по 27.11.25	виконано
9. Отримання рецензії на МКР	01.12.25	виконано
10. Захист МКР в ДЕК	14.01.26	

Студент  Сергій КАРБАНЬ

Керівник  Лариса ТИМОФЕЄВА

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота включає 15 слайдів презентації та 109 аркушів пояснювальної записки формату А4.

Ключові слова: метрологічне забезпечення, підготовка виробництва, вимірювальні процеси, засоби вимірювання, точність вимірювань, невизначеність, система управління якістю, ефективність виробництва.

Об'єктом дослідження є процеси підготовки виробництва на промисловому підприємстві з позицій метрологічного забезпечення вимірювальних операцій.

Предметом дослідження є методи, засоби та організаційно-методичні підходи до метрологічного забезпечення вимірювань у процесі підготовки виробництва.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування та розроблення напрямів удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва з метою підвищення точності та достовірності вимірювань, зниження метрологічних ризиків і підвищення ефективності виробничих процесів. У роботі проаналізовано теоретичні та нормативно-методичні засади метрологічного забезпечення підготовки виробництва, розглянуто вимоги національних і міжнародних стандартів у сфері метрології та управління якістю. Проведено аналіз чинної системи метрологічного забезпечення, методів і засобів вимірювання та організації вимірювальних процесів на етапі підготовки виробництва, виявлено основні проблемні аспекти, що знижують точність вимірювань і ефективність виробничої діяльності.

Розроблено практичні рекомендації щодо удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва, які передбачають удосконалення організаційної структури, методичного забезпечення вимірювань, оптимізацію складу засобів вимірювання та впровадження елементів автоматизації. Виконано оцінку економічної та організаційної ефективності запропонованих заходів, а також розглянуто питання охорони праці та безпеки виробничої діяльності.

ABSTRACT

The qualification work includes 15 presentation slides and 109 pages of explanatory notes in A4 format.

Keywords: metrological support, production preparation, measurement processes, measuring instruments, measurement accuracy, uncertainty, quality management system, production efficiency.

The object of the study is production preparation processes at an industrial enterprise from the perspective of metrological support of measurement operations.

The subject of the study is methods, measuring instruments, and organizational and methodological approaches to metrological support of measurements in the production preparation process. The purpose of the qualification work is to substantiate and develop directions for improving metrological support of production preparation in order to increase measurement accuracy and reliability, reduce metrological risks, and improve production efficiency.

The work analyzes theoretical and regulatory foundations of metrological support for production preparation, as well as national and international standards in the field of metrology and quality management. The existing system of metrological support, measurement methods and instruments, and the organization of measurement processes during production preparation are analyzed, and the main problem areas are identified.

Practical recommendations for improving metrological support of production preparation are developed, including organizational and methodological improvements, optimization of measuring instruments, and implementation of automation elements.

Вступ	9
1 Теоретичні основи метрологічного забезпечення підготовки виробництва	13
1.1 Сутність, роль та значення метрологічного забезпечення в сучасному виробництві	13
1.2 Нормативно-правова база та стандарти у сфері метрологічної діяльності	15
1.3 Роль і місце метрологічного забезпечення в системі підготовки виробництва	19
1.4 Аналіз сучасного стану метрологічного забезпечення підготовки виробництва	22
1.5 Основні проблеми та напрями удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва	25
1.6 Узагальнення теоретичних положень та формування вимог до удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва	28
Висновки до розділу 1	31
2 Аналіз системи метрологічного забезпечення підготовки виробництва на підприємстві	33
2.1 Загальна характеристика підприємства та організації підготовки виробництва	33
2.2 Аналіз існуючої системи метрологічного забезпечення підготовки виробництва	36
2.3 Аналіз забезпечення єдності, точності та невизначеності вимірювань на етапі підготовки виробництва	40
2.4 Аналіз інформаційного та документального забезпечення метрологічних процесів підготовки виробництва	43
2.5 Аналіз ефективності функціонування існуючої системи метрологічного забезпечення підготовки виробництва	47
2.6 Узагальнення результатів аналізу та обґрунтування необхідності удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва	50

					МКРМЕ.175.26.12.00. ПЗ			
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва	Літер	Аркуш	Аркушів
Розробив		Карбань		05.02.25				
Перевірив		Тимофесва		06.02.25			4	94
Реценз.		Сайчук				УкрДУЗТ		
Н. контр.		Шовкун		05.02.16				
Затв.		Равлюк		08.06				

Висновки до розділу 2	53
3 Удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва	55
3.1 Обґрунтування напрямів удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва	55
3.2 Розроблення удосконаленої структури метрологічного забезпечення підготовки виробництва	59
3.3 Удосконалення методик вимірювань та оцінювання невизначеності в процесі підготовки виробництва	62
3.4 Розроблення алгоритму управління метрологічними ризиками в процесі підготовки виробництва	66
3.5 Практична реалізація удосконаленої системи метрологічного забезпечення підготовки виробництва	69
3.6 Оцінювання технічної та організаційної ефективності удосконаленого метрологічного забезпечення підготовки виробництва	72
Висновки до розділу 3	75
4 Охорона праці та безпека під час виконання метрологічних робіт	77
4.1 Економічне обґрунтування доцільності удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва	77
4.2 Розрахунок економічної ефективності впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення підготовки виробництва	80
4.3 Оцінка організаційної та соціально-економічної ефективності впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення підготовки виробництва	84
4.4 Охорона праці та безпека виконання вимірювальних і метрологічних робіт у процесі підготовки виробництва	87
4.5 Екологічні аспекти та цивільний захист у процесі виконання метрологічних робіт під час підготовки виробництва	90
Висновки до розділу 4	93

5 Економічне обґрунтування заходів з удосконалення метрологічного забезпечення	94
5.1 Практичні рекомендації щодо впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення підготовки виробництва	94
5.2 Перспективи подальшого розвитку метрологічного забезпечення підготовки виробництва	97
5.3 Узагальнення результатів дослідження та практична цінність кваліфікаційної роботи	99
Висновки до розділу 5	101
Загальні висновки	103
Список використаних джерел	105

					МКРМЕ.175.26.12.00. ПЗ
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	

Вступ

Сучасний розвиток вітчизняної промисловості, інтеграція України до європейського економічного простору та впровадження міжнародних стандартів у виробничу діяльність актуалізують питання підвищення точності й достовірності вимірювань. Особливої ваги це набуває на підприємствах металургійного, машинобудівного та гірничо-збагачувального секторів, до яких належить і Група МЕТІНВЕСТ — один із найбільших вертикально інтегрованих виробничих холдингів Центральної та Східної Європи. Масштаб виробництва, багатоступеневість технологічних процесів, інтенсивне використання складних технічних систем, висока відповідальність продукції та міжнародні вимоги до якості вимагають безперервного удосконалення метрологічного забезпечення на всіх стадіях підготовки виробництва.

У промисловому середовищі МЕТІНВЕСТУ точність вимірювань визначає не лише якість кінцевого продукту (металопрокату, сталі, чавуну, агломерату, прокатних напівфабрикатів), але й надійність роботи технологічного обладнання, ефективність використання енергоресурсів, стабільність плавильних і прокатних режимів та загальну економічну ефективність виробництва. В умовах високих температур, великих навантажень, агресивних середовищ і динамічних режимів роботи навіть незначні похибки у вимірюваннях можуть призвести до істотних відхилень у параметрах процесу, перегрівів, браку, збільшення втрат металу та порушення стандартів ISO та ДСТУ.

З огляду на це метрологічне забезпечення підготовки виробництва на підприємствах групи МЕТІНВЕСТ охоплює комплекс заходів, що включають визначення необхідної точності технологічних параметрів, вибір та оцінювання придатності засобів вимірювань, організацію їх калібрування та повірки, розроблення методик контролю, стандартизацію технологічних

операцій, а також впровадження системи управління вимірювальними процесами відповідно до вимог ISO 9001:2015, ISO 10012:2003, ISO/IEC 17025:2017, Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» та відповідних ДСТУ.

В умовах цифрової трансформації та використання автоматизованих комплексів контролю постає завдання адаптації функцій метрологічних служб МЕТІНВЕСТУ до нових викликів. Відбувається перехід від традиційної моделі метрологічного забезпечення до інтелектуальної цифрової метрологічної інфраструктури, яка включає:

- високоточні автоматизовані засоби вимірювання, що інтегруються в інформаційні системи підприємства;
- системи моніторингу параметрів обладнання в режимі реального часу;
- аналітичні платформи для оброблення вимірювальних даних;
- системи прогнозування відхилень та ризиків;
- ризик-орієнтовані методи планування калібрування згідно ISO 9001.

На підприємствах групи МЕТІНВЕСТ реалізуються високотехнологічні процеси (виплавка сталі, розливання, агломерація, прокатка, термічна обробка, механоскладальні операції), що потребують точного контролю температури, тиску, маси, розмірів, хімічного складу сировини та металу, параметрів геометрії прокату, зносостійкості інструменту, режимів роботи агрегатів тощо. Ефективність цих процесів значною мірою визначається якістю метрологічної підтримки.

Водночас дослідження виробничих систем МЕТІНВЕСТУ свідчать, що попри наявність розвинених метрологічних служб, існують актуальні проблеми, серед яких:

- недостатня інтеграція метрологічного контролю з цифровими системами управління виробництвом (MES, ERP);

- застарілі або нерівномірно модернізовані засоби вимірювань;
- висока трудомісткість традиційних процедур повірки;
- обмежена автоматизація контролю критичних параметрів;
- необхідність стандартизації методик та їх адаптації до нових вимог ДСТУ та ISO;
- потреба у скороченні виробничих втрат, що виникають через вимірювальні похибки.

Отже, удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва для підприємств Групи МЕТІНВЕСТ є стратегічним важелем підвищення якості продукції, мінімізації технологічних ризиків, забезпечення стабільності процесів, оптимізації ресурсів та зміцнення конкурентних позицій компанії на ринку металургійної продукції.

Об'єктом дослідження є система організації метрологічного забезпечення підготовки виробництва на підприємстві МЕТІНВЕСТУ.

Предметом дослідження — методи, засоби, процедури та організаційно-технічні рішення, спрямовані на підвищення ефективності метрологічної діяльності на етапі підготовки виробництва.

Метою роботи є розроблення комплексу практичних заходів щодо удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва на підприємствах МЕТІНВЕСТ, що забезпечує підвищення точності, достовірності та оперативності вимірювань, а також відповідність продукції міжнародним стандартам якості.

Для досягнення мети поставлені такі завдання:

- проаналізувати науково-теоретичні засади метрологічного забезпечення;
- дослідити нормативно-правову базу України та міжнародні вимоги;
- виконати характеристику існуючої системи метрологічного забезпечення на підприємстві МЕТІНВЕСТ;

- виявити слабкі місця та проблемні зони у підготовці виробництва;
- запропонувати комплекс інноваційних технічних та організаційних рішень;
- оцінити ефективність запропонованих змін, включно з економічним ефектом;
- сформувати методичні рекомендації для подальшого вдосконалення системи.

Наукова новизна полягає у формуванні моделі інтегрованої метрологічної системи, адаптованої до потреб великого виробничого холдингу, а також у розробленні методології підвищення точності контролю на ключових етапах підготовки виробництва.

Практична цінність полягає у можливості застосування запропонованих рішень для:

- зниження похибок вимірювань;
- стабілізації виробничих процесів;
- оптимізації роботи технічного персоналу;
- скорочення витрат та підвищення рентабельності;
- забезпечення відповідності продукції вимогам європейських ринків.

Структура роботи включає вступ, чотири розділи, висновки, список джерел та додатки.

1 Теоретичні основи метрологічного забезпечення підготовки виробництва

1.1. Сутність, роль та значення метрологічного забезпечення в сучасному виробництві

Метрологічне забезпечення є стратегічною компонентою виробничих процесів, що значною мірою визначає конкурентоспроможність підприємства, стабільність технологічних режимів і якість кінцевої продукції. Під метрологічним забезпеченням розуміють комплекс наукових, організаційних, технічних і нормативних заходів, спрямованих на забезпечення єдності вимірювань, необхідної точності параметрів та достовірності контрольної інформації на всіх етапах життєвого циклу продукції — від розроблення до експлуатації.

У промисловості, особливо на підприємствах металургійної галузі, таких як група МЕТІНВЕСТ, роль метрологічного забезпечення виходить далеко за межі вузького поняття контролю параметрів. Воно стає інтелектуальним і технічним інструментом управління виробництвом, що дозволяє зменшити невизначеність технологічних процесів, зменшити ризики, підвищити якість продукції та скоротити витрати.

Метрологічне забезпечення охоплює такі основні функції:

- забезпечення єдності вимірювань, тобто узгодженості та порівнянності результатів незалежно від місця, часу та засобів вимірювання;
- визначення вимог до точності та стабільності технологічних параметрів, які впливають на якість продукції;
- розроблення та впровадження методик контролю, що регламентують порядок виконання вимірювань, їх частоту, допустимі похибки та процедури оцінювання;

- вибір засобів вимірювальної техніки, здатних забезпечити відповідну точність у конкретних виробничих умовах;
- створення та підтримання метрологічної інфраструктури: лабораторій, калібрувальних центрів, інформаційних систем;
- організація калібрування, повірки та оцінювання придатності засобів вимірювань;
- контроль дотримання вимог національних та міжнародних стандартів.

Практичне значення метрологічного забезпечення полягає у створенні інформаційної основи для управління виробництвом. Точні та достовірні результати вимірювань дозволяють:

- забезпечити стабільність технологічних процесів;
- мінімізувати похибки та відхилення, які можуть спричинити брак;
- знизити обсяг невиправданих витрат на коригування режимів або повторний випуск продукції;
- підвищити ресурс устаткування завдяки правильному контролю навантажень, температур, тиску та інших параметрів;
- оптимізувати використання сировини та енергоресурсів;
- гарантувати відповідність продукції європейським і міжнародним стандартам.

У виробничих системах МЕТІНВЕСТУ метрологічне забезпечення виконує також функцію зменшення технологічних ризиків. Наприклад, неточність вимірювання температури у конвертері або доменній печі може спричинити перегрів шихти, зниження виходу металу або ушкодження обладнання. Похибки масових вимірювань призводять до втрати дорогоцінної сировини, а неточності у визначенні хімічного складу — до невідповідності продукції вимогам замовників.

Таким чином, метрологічне забезпечення — це базовий елемент інтегрованої системи управління виробництвом. Його ефективність напряму впливає на результати діяльності підприємства, оскільки будь-яке управлінське рішення базується на даних контролю та вимірювань. Якщо ці дані є неточними або недостовірними, зростають технологічні ризики, підвищуються втрати та знижується якість продукції.

В умовах цифрової трансформації виробництва значення метрологічного забезпечення ще більше зростає, адже сучасні інформаційні системи — MES, ERP, SCADA — потребують високоточних та стабільних даних для автоматичного управління процесами. Впровадження IoT-сенсорів, безперервного моніторингу та аналітичних платформ із застосуванням штучного інтелекту можливе лише за умови відповідної точності вимірювань. Це робить метрологічне забезпечення ключовим елементом індустрії 4.0.

Таким чином, метрологічне забезпечення є фундаментом технологічної надійності, безпеки, енергоефективності та економічної результативності сучасного виробничого підприємства.

1.2. Нормативно-правова база та стандарти у сфері метрологічної діяльності

Ефективне метрологічне забезпечення підготовки виробництва неможливе без чіткої нормативної основи, що визначає вимоги до організації вимірювань, точності результатів, метрологічних процедур та характеристик засобів вимірювальної техніки. В Україні нормативно-правова система у сфері метрології є розвиненою, структурованою та гармонізованою з міжнародними вимогами, що особливо важливо для підприємств, орієнтованих на європейські ринки, таких як METINVEST.

Основоположним документом є Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність», який визначає:

- правові основи забезпечення єдності вимірювань;
- вимоги до засобів вимірювальної техніки;
- порядок проведення повірки та калібрування;
- метрологічний нагляд;
- компетенції державних органів;
- відповідальність за порушення вимог метрологічного законодавства.

Закон встановлює, що всі вимірювання, які впливають на безпеку, здоров'я, навколишнє середовище чи якість продукції, мають виконуватися засобами вимірювальної техніки, що відповідають затвердженим вимогам і проходять періодичну повірку.

Важливу роль відіграє система національних стандартів — ДСТУ, що гармонізовані з міжнародними аналогами. Серед них ключовими є:

- ДСТУ ISO 9001:2015 — регламентує систему управління якістю, включаючи модуль управління вимірюваннями;
- ДСТУ ISO 10012:2005 — визначає вимоги до системи управління вимірювань, порядок контролю та калібрування обладнання, документацію та оцінювання невизначеності;
- ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 — встановлює вимоги до випробувальних і калібрувальних лабораторій, їх компетентності, технічного забезпечення та процедур;
- ДСТУ EN 10204 — вимоги до сертифікації металопродукції, що актуально для підприємств МЕТІНВЕСТ;
- ДСТУ OIML — міжнародні рекомендації щодо вимірювань маси, об'єму, тиску та інших параметрів.

Для підприємств МЕТІНВЕСТ важливо також дотримуватися вимог галузевих стандартів ЄС, оскільки значна частина продукції постачається на

європейський ринок. Це зумовлює необхідність повної відповідності вимірювальних процесів вимогам EN, ISO, а також вимогам замовників, які часто встановлюють додаткові критерії точності.

Метрологічна служба підприємства повинна забезпечувати виконання таких нормативно-правових вимог:

- наявність документованих методик виконання вимірювань;
- затвердження списку засобів вимірювальної техніки;
- ведення реєстру калібрувань;
- оцінка невизначеності вимірювань;
- контроль простежуваності до національних еталонів;
- проведення внутрішніх та зовнішніх аудитів;
- проходження акредитації у сфері калібрування (за необхідності).

Для великих виробничих компаній, таких як METINVEST, нормативна база доповнюється корпоративними стандартами, які встановлюють більш жорсткі вимоги щодо:

- точності вимірювань;
- методів контролю продукції;
- параметрів технологічних процесів;
- частоти калібрування;
- вимог до персоналу метрологічних лабораторій;
- процедур аналізу ризиків та невизначеності.

Важливим аспектом є гармонізація національного законодавства з європейськими директивами — MID, NAWI, EMC, LVD. Це забезпечує можливість виходу продукції на міжнародні ринки та гарантує її відповідність вимогам безпеки, точності та надійності.

Таким чином, нормативно-правова база створює необхідне правове, методичне та технічне підґрунтя для побудови ефективної метрологічної системи на підприємстві та для розроблення заходів щодо її удосконалення. Її дотримання не лише забезпечує законність і якість вимірювань, а й

підвищує рівень довіри до продукції підприємства на внутрішньому та зовнішніх ринках.

Важливо зазначити, що нормативно-правова база у сфері метрології не обмежується лише формальними вимогами до точності вимірювань або періодичності повірки приладів. Вона створює цілісну рамкову модель функціонування підприємства, у якій вимірювальний процес розглядається як частина системи управління ризиками та забезпечення якості. Саме завдяки стандартам ISO та національним ДСТУ виробничі підприємства, зокрема МЕТІНВЕСТ, переходять від локальних, епізодичних процедур контролю до інтегрованих, системних підходів, що передбачають планування метрологічних робіт, оцінювання невизначеності, створення внутрішніх нормативів і застосування уніфікованих методик. Таким чином нормативна база виступає не лише регулятором, а й інструментом розвитку підприємства, сприяючи впровадженню передових практик, підвищенню відповідальності персоналу та формуванню культури вимірювань як невід'ємної складової виробничої культури.

Окремої уваги заслуговує сучасна тенденція до цифровізації вимірювальних процесів, яка також регламентується міжнародними стандартами. Оцифрування вимірювань, побудова систем автоматизованого збору та аналізу даних, застосування IoT-технологій, датчиків безперервного контролю та інтеграція вимірювальних даних у MES та ERP-системи потребують нового підходу до нормативного регулювання. Міжнародні стандарти визначають вимоги до електронних документів, процедур підтвердження достовірності сигналів, простежуваності калібрувальних даних у цифровому середовищі, а також до процедур кіберзахисту метрологічної інформації. Для підприємств МЕТІНВЕСТ це означає необхідність переходу від традиційних паперових журналів до повністю цифрових паспортів засобів вимірювальної техніки, автоматичних графіків повірки та систем моніторингу стану приладів у реальному часі. Така

трансформація не тільки відповідає вимогам нормативної бази, але й значно підвищує ефективність виробництва, дозволяючи оперативно виявляти та усувати відхилення, які ще кілька років тому були практично недоступними для контролю.

1.3. Роль і місце метрологічного забезпечення в системі підготовки виробництва

Підготовка виробництва є складним багатостадійним процесом, що охоплює технічну, технологічну, організаційну та інформаційну складові. На кожному з етапів підготовки виробництва — від розроблення конструкторської документації до освоєння серійного випуску продукції — вирішальне значення має достовірність вимірювальної інформації, яка забезпечується системою метрологічного забезпечення.

Метрологічне забезпечення підготовки виробництва являє собою сукупність організаційних, технічних і методичних заходів, спрямованих на забезпечення єдності, точності та простежуваності вимірювань, необхідних для реалізації технологічних процесів. Його роль полягає не лише у контролі засобів вимірювання, а й у формуванні вимірювальної основи для прийняття технічних і управлінських рішень.

На етапі підготовки виробництва метрологічне забезпечення безпосередньо впливає на якість розроблення технологічних процесів, вибір обладнання та інструменту, встановлення допусків і посадок, визначення режимів обробки та контролю параметрів продукції. Недостатня увага до метрологічних аспектів на цьому етапі призводить до накопичення системних похибок, які в подальшому проявляються у вигляді браку, перевитрат ресурсів і нестабільності виробничих процесів.

Особливістю сучасного виробництва є зростання вимог до точності та повторюваності технологічних параметрів. Це зумовлює необхідність

інтеграції метрологічного забезпечення в загальну систему управління підготовкою виробництва. Метрологічна служба повинна брати участь у розробленні технологічної документації, експертизі конструкторських рішень, виборі методів контролю та засобів вимірювання ще до початку серійного виробництва.

У структурі підготовки виробництва метрологічне забезпечення виконує функцію зв'язуючої ланки між проектними рішеннями та їх практичною реалізацією. Воно забезпечує відповідність вимог конструкторської документації реальним можливостям вимірювальної техніки та технологічного обладнання, що є необхідною умовою стабільного виробничого процесу.

Таблиця 1.1 – Основні функції метрологічного забезпечення на етапі підготовки виробництва

Функція	Зміст
Нормативна	Забезпечення відповідності стандартам і технічним регламентам
Технічна	Вибір і впровадження засобів вимірювання
Методична	Розроблення методик вимірювань і контролю
Контрольна	Оцінювання точності та стабільності вимірювань
Інформаційна	Формування достовірної вимірювальної інформації

Важливою складовою метрологічного забезпечення підготовки виробництва є забезпечення простежуваності вимірювань. Простежуваність гарантує зв'язок результатів вимірювань із національними та міжнародними еталонами, що є обов'язковою умовою відповідності продукції вимогам

міжнародних стандартів і контрактів. Особливої актуальності це набуває для підприємств, орієнтованих на експорт або інтегрованих у міжнародні виробничі ланцюги.

Крім того, у сучасних умовах значного розвитку цифрових технологій метрологічне забезпечення підготовки виробництва набуває рис інформаційно-аналітичної системи. Автоматизований збір вимірювальних даних, використання цифрових датчиків, інтеграція з інформаційними системами підприємства дозволяють не лише контролювати параметри, але й прогнозувати відхилення технологічних процесів.

Таблиця 1.2 – Вплив метрологічного забезпечення на результати підготовки виробництва

Показник	Вплив метрологічного забезпечення
Якість продукції	Підвищення стабільності параметрів
Рівень браку	Зменшення дефектів
Витрати виробництва	Оптимізація ресурсів
Освоєння нової продукції	Скорочення термінів
Конкурентоспроможність	Зростання відповідності стандартам

Недостатній рівень метрологічного забезпечення на етапі підготовки виробництва може призводити до порушення технологічної дисципліни, збільшення тривалості освоєння виробів і зниження ефективності використання обладнання. Тому удосконалення метрологічного забезпечення повинно розглядатися як стратегічний напрям розвитку виробничої системи підприємства.

Таким чином, метрологічне забезпечення займає ключове місце в системі підготовки виробництва, забезпечуючи науково обґрунтовану основу для реалізації технологічних процесів. Його ефективна організація дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з похибками вимірювань, підвищити якість продукції та створити передумови для впровадження сучасних виробничих технологій, що обґрунтовує актуальність подальших досліджень у цьому напрямі.

1.4. Аналіз сучасного стану метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Сучасний стан метрологічного забезпечення підготовки виробництва формується під впливом зростання вимог до якості продукції, ускладнення технологічних процесів та переходу промисловості до цифрових і автоматизованих систем управління. У таких умовах метрологічне забезпечення перестає виконувати виключно контрольну функцію і перетворюється на інтегрований елемент системи управління підготовкою виробництва.

На багатьох промислових підприємствах метрологічне забезпечення підготовки виробництва організоване у вигляді окремих, слабо взаємопов'язаних процедур, що включають вибір засобів вимірювання, їх повірку, калібрування та періодичний контроль точності. Такий підхід не завжди забезпечує необхідний рівень узгодженості між етапами конструкторської, технологічної та організаційної підготовки виробництва, що призводить до виникнення додаткових похибок і втрат.

Аналіз практики функціонування метрологічних служб показує, що основна увага приділяється експлуатаційному етапу виробництва, тоді як етап підготовки виробництва часто залишається недостатньо забезпеченим з точки зору метрологічного супроводу. Зокрема, на стадії розроблення

технологічних процесів не завжди враховується реальна точність засобів вимірювання, що застосовуватимуться у виробництві, а також умови їх експлуатації.

Суттєвим недоліком сучасного стану метрологічного забезпечення є фрагментарність інформаційних потоків. Вимірювальні дані, отримані на етапі випробувань, наладки та дослідного виробництва, не завжди систематизуються та використовуються для коригування технологічних процесів. Відсутність єдиного інформаційного простору ускладнює аналіз стабільності вимірювань і знижує ефективність прийняття управлінських рішень.

Таблиця 1.3 – Характерні риси сучасного стану метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Ознака	Характеристика
Організація процесів	Частково формалізована
Рівень інтеграції	Обмежений
Інформаційна підтримка	Фрагментарна
Участь метрологічної служби	Переважає на пізніх етапах
Використання цифрових технологій	Недостатнє

Водночас сучасний стан метрологічного забезпечення характеризується наявністю значного потенціалу для вдосконалення. Застосування сучасних цифрових засобів вимірювання, автоматизованих систем збору та обробки даних створює передумови для переходу до проактивного управління якістю вимірювань. У таких системах

метрологічне забезпечення може виконувати функцію раннього виявлення відхилень технологічних параметрів.

Аналіз показує, що однією з ключових проблем є недостатній рівень методичного забезпечення процесів вимірювання на етапі підготовки виробництва. Методики вимірювань часто розробляються без урахування специфіки майбутніх виробничих умов, що призводить до невідповідності між результатами вимірювань у лабораторних і реальних виробничих умовах.

Не менш важливою проблемою є кадровий аспект. Недостатня взаємодія між технологами, конструкторами та фахівцями з метрології знижує ефективність метрологічного забезпечення. У багатьох випадках рішення щодо вибору засобів вимірювання приймаються без належного метрологічного обґрунтування, що негативно впливає на точність і надійність контролю.

Таблиця 1.4 – Основні проблеми сучасного метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Проблема	Наслідки
Недостатня інтеграція	Похибки на ранніх етапах
Формальний підхід	Зростання браку
Обмежена автоматизація	Низька оперативність
Кадрові дисбаланси	Неузгоджені рішення

Таким чином, аналіз сучасного стану метрологічного забезпечення підготовки виробництва свідчить про наявність як суттєвих обмежень, так і значного потенціалу для розвитку. Виявлені проблеми підтверджують

необхідність удосконалення організаційних, методичних та технічних підходів до метрологічного забезпечення, зокрема шляхом інтеграції метрологічних процесів у загальну систему управління підготовкою виробництва, що обґрунтовує доцільність подальших досліджень у цьому напрямі.

1.5. Основні проблеми та напрями удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Аналіз сучасного стану метрологічного забезпечення підготовки виробництва свідчить, що, незважаючи на наявність розвиненої нормативно-правової бази та достатнього рівня технічного оснащення, у практиці промислових підприємств зберігається низка системних проблем, які обмежують ефективність вимірювального контролю та негативно впливають на результати виробничої діяльності.

Однією з ключових проблем є недостатня інтеграція метрологічного забезпечення в загальну систему підготовки виробництва. На практиці метрологічні заходи часто реалізуються фрагментарно та переважно на завершальних етапах підготовки або вже під час серійного виробництва. Це призводить до того, що похибки вимірювань і методичні недоліки накопичуються ще на стадії розроблення технологічних процесів і в подальшому проявляються у вигляді нестабільності параметрів продукції та зростання виробничих втрат.

Суттєвою проблемою є формальний підхід до вибору засобів вимірювання та методик контролю. У ряді випадків вибір здійснюється без урахування реальних умов експлуатації, впливу виробничих факторів та вимог до невизначеності вимірювань. Це призводить до невідповідності між заданими в технологічній документації вимогами та фактичними можливостями вимірювальної техніки.

Не менш важливим є питання методичного забезпечення. Відсутність уніфікованих методик вимірювань, адаптованих до конкретних технологічних процесів, знижує відтворюваність результатів і ускладнює порівняння вимірювальних даних, отриманих на різних етапах підготовки виробництва. Особливо гостро ця проблема проявляється під час освоєння нових видів продукції та модернізації технологічних ліній.

Кадровий аспект також залишається одним із стримувальних факторів розвитку метрологічного забезпечення. Недостатній рівень взаємодії між фахівцями з метрології, технологами та конструкторами призводить до неузгодженості рішень і зниження ефективності метрологічного супроводу підготовки виробництва. У багатьох випадках метрологічні служби залучаються до процесу вже після затвердження технологічних рішень, що обмежує можливості впливу на їх оптимізацію.

Таблиця 1.5 – Основні проблеми метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Проблема	Наслідки
Фрагментарність метрологічних заходів	Накопичення похибок
Формальний вибір засобів вимірювання	Зниження точності
Недостатнє методичне забезпечення	Нестабільність контролю
Обмежена взаємодія підрозділів	Неузгодженість рішень
Низький рівень автоматизації	Повільне реагування

Зазначені проблеми зумовлюють необхідність комплексного підходу до удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва.

Основні напрями такого удосконалення мають охоплювати організаційні, методичні та технічні складові.

До організаційних напрямів удосконалення належить інтеграція метрологічної служби в усі етапи підготовки виробництва, зокрема участь у розробленні технологічної документації, експертизі проектних рішень та виборі засобів контролю. Це дозволить своєчасно виявляти потенційні метрологічні ризики та мінімізувати їх вплив.

Методичні напрями передбачають розроблення та впровадження адаптованих методик вимірювань і контролю, які враховують специфіку конкретних виробничих процесів, умов експлуатації обладнання та вимоги до невизначеності результатів. Особливу увагу доцільно приділяти оцінюванню невизначеності вимірювань і забезпеченню простежуваності результатів.

Технічні напрями удосконалення пов'язані з впровадженням сучасних засобів вимірювання, автоматизованих систем збору та обробки вимірювальних даних, а також інтеграцією метрологічної інформації з інформаційними системами управління підприємством. Це створює умови для переходу від реактивного до проактивного управління якістю вимірювань.

Таблиця 1.6 – Основні напрями удосконалення метрологічного забезпечення

Напрямок	Очікуваний результат
Організаційний	Узгодженість рішень
Методичний	Підвищення відтворюваності
Технічний	Зростання точності

Інформаційний	Оперативний контроль
Кадровий	Підвищення компетентності

Таким чином, виявлені проблеми та визначені напрями удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва підтверджують необхідність переходу до системного, інтегрованого підходу, що поєднує організаційні, методичні та технічні рішення. Реалізація таких підходів створює передумови для підвищення якості продукції, зниження виробничих ризиків і забезпечує ефективність функціонування виробничих систем, що зумовлює актуальність подальших досліджень, викладених у наступних розділах роботи.

1.6. Узагальнення теоретичних положень та формування вимог до удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва

На основі проведеного теоретичного аналізу метрологічного забезпечення підготовки виробництва можна зробити висновок, що ефективність виробничих процесів значною мірою визначається якістю, точністю та узгодженістю вимірювальних процедур, закладених ще на етапі підготовки виробництва. Саме на цьому етапі формуються вимоги до параметрів технологічних процесів, вибору обладнання, методів контролю та засобів вимірювання, які в подальшому визначають стабільність серійного виробництва.

Узагальнення наукових підходів показало, що метрологічне забезпечення підготовки виробництва повинно розглядатися як цілісна система, яка охоплює організаційні, методичні, технічні та інформаційні складові. Відокремлений або формальний підхід до метрологічних питань

не дозволяє забезпечити необхідний рівень точності та простежуваності вимірювань і призводить до зростання виробничих ризиків.

Ключовою вимогою до сучасного метрологічного забезпечення є його інтеграція в систему управління підготовкою виробництва. Метрологічні процеси повинні бути узгоджені з конструкторською та технологічною підготовкою, а також із системами управління якістю, що забезпечує єдність технічних і організаційних рішень. Такий підхід дозволяє мінімізувати похибки вимірювань ще на ранніх стадіях та знизити витрати на усунення дефектів у подальшому.

Важливим результатом теоретичного аналізу є формування вимог до методичного забезпечення вимірювань. Методики вимірювань, що застосовуються під час підготовки виробництва, повинні враховувати реальні умови експлуатації, можливості вимірювальних засобів та вимоги до невизначеності результатів. Це особливо актуально для підприємств із високими вимогами до якості та стабільності продукції.

Не менш значущою є вимога до інформаційної підтримки метрологічного забезпечення. Сучасні виробничі системи потребують оперативного доступу до вимірювальної інформації, її аналізу та використання для прийняття управлінських рішень. Автоматизація збору, обробки та зберігання вимірювальних даних створює передумови для переходу до прогностного управління якістю та технологічними ризиками.

Таблиця 1.7 – Узагальнені вимоги до метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Група вимог	Зміст
Організаційні	Інтеграція з етапами підготовки виробництва
Методичні	Адаптовані методики вимірювань

Технічні	Сучасні та точні засоби вимірювання
Інформаційні	Автоматизований облік і аналіз даних
Кадрові	Кваліфікований персонал

Узагальнення теоретичних положень дозволяє сформулювати базові принципи удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва. До таких принципів належать системність, простежуваність вимірювань, орієнтація на зниження невизначеності, безперервність контролю та адаптивність до змін технологічних умов. Реалізація цих принципів забезпечує стабільність виробничих процесів і підвищує ефективність використання ресурсів.

Таблиця 1.8 – Принципи удосконалення метрологічного забезпечення

Принцип	Характеристика
Системність	Узгодженість усіх елементів
Простежуваність	Зв'язок з еталонами
Безперервність	Контроль на всіх етапах
Адаптивність	Гнучкість до змін
Превентивність	Запобігання відхиленням

Таким чином, у межах першого розділу сформовано теоретичну основу для подальшого дослідження практичних аспектів метрологічного забезпечення підготовки виробництва. Визначені вимоги та принципи удосконалення створюють методологічне підґрунтя для аналізу існуючої системи метрологічного забезпечення на конкретному підприємстві та

розроблення практичних заходів щодо її вдосконалення, що буде розглянуто у другому розділі кваліфікаційної роботи.

Висновки до розділу 1

У першому розділі кваліфікаційної роботи виконано комплексний теоретичний аналіз метрологічного забезпечення підготовки виробництва як одного з ключових елементів сучасної виробничої системи. Встановлено, що метрологічне забезпечення є базовою складовою управління якістю продукції та ефективністю технологічних процесів, оскільки саме на етапі підготовки виробництва закладаються вимоги до точності, стабільності та простежуваності вимірювань.

Доведено, що підготовка виробництва характеризується високою концентрацією вимірювальних операцій, пов'язаних із розробленням конструкторської та технологічної документації, вибором обладнання і засобів вимірювання, встановленням допусків і режимів обробки. Недостатній рівень метрологічного забезпечення на цьому етапі призводить до накопичення похибок, що в подальшому проявляються у вигляді браку продукції, перевитрат матеріальних ресурсів та нестабільності виробничих процесів.

Проаналізовано нормативно-правову та стандартну базу у сфері метрологічної діяльності, яка регламентує вимоги до єдності вимірювань, оцінювання невизначеності та забезпечення простежуваності результатів. Встановлено, що чинні національні та міжнародні стандарти створюють надійне підґрунтя для організації метрологічного забезпечення, однак їх ефективне застосування потребує адаптації до специфіки підготовки виробництва та умов цифровізації промислових підприємств.

У ході аналізу ролі та місця метрологічного забезпечення в системі підготовки виробництва визначено, що метрологічна служба повинна бути

інтегрованою у всі етапи підготовчих процесів і брати активну участь у формуванні технічних та технологічних рішень. Обґрунтовано, що залучення фахівців з метрології на ранніх стадіях підготовки виробництва дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з невідповідністю засобів вимірювання вимогам технологічних процесів.

Аналіз сучасного стану метрологічного забезпечення підготовки виробництва виявив низку системних проблем, зокрема фрагментарність метрологічних заходів, формальний підхід до вибору засобів вимірювання, недостатній рівень автоматизації та обмежену взаємодію між підрозділами підприємства. Показано, що зазначені проблеми знижують ефективність вимірювального контролю та обмежують можливості своєчасного виявлення технологічних відхилень.

На основі узагальнення теоретичних положень сформульовано основні напрями та принципи удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва, які передбачають системний підхід, інтеграцію метрологічних процесів у загальну систему управління виробництвом, підвищення рівня методичного та інформаційного забезпечення, а також впровадження сучасних засобів вимірювання й автоматизованих систем збору та аналізу даних.

Таким чином, результати першого розділу створюють теоретичне та методологічне підґрунтя для подальшого дослідження практичних аспектів метрологічного забезпечення підготовки виробництва. Визначені проблеми та напрями їх розв'язання обґрунтовують доцільність проведення аналізу існуючої системи метрологічного забезпечення на конкретному підприємстві та розроблення практичних заходів щодо її удосконалення, що є предметом розгляду в наступних розділах кваліфікаційної роботи.

2 Аналіз системи метрологічного забезпечення підготовки виробництва на підприємстві

2.1. Загальна характеристика підприємства та організації підготовки виробництва

Об'єктом дослідження у кваліфікаційній роботі є промислове підприємство виробничого профілю, діяльність якого пов'язана з виготовленням продукції в умовах складних багатостадійних технологічних процесів. Підприємство функціонує в умовах серійного та масового виробництва, що висуває підвищені вимоги до стабільності технологічних параметрів, якості продукції та точності вимірювань на всіх етапах виробничого циклу.

Підготовка виробництва на підприємстві являє собою сукупність взаємопов'язаних організаційних, конструкторських, технологічних і метрологічних заходів, спрямованих на створення необхідних умов для освоєння нової продукції або вдосконалення існуючих виробничих процесів. Саме на цьому етапі визначаються основні параметри майбутнього виробництва, встановлюються вимоги до технологічних режимів, точності обробки та методів контролю.

Підготовка виробництва охоплює такі основні стадії:

- конструкторську підготовку;
- технологічну підготовку;
- організаційну підготовку;
- метрологічне забезпечення.

Метрологічне забезпечення пронизує всі зазначені стадії та є їх об'єднувальним елементом, оскільки забезпечує достовірність вимірювальної інформації, необхідної для прийняття обґрунтованих технічних і управлінських рішень.

Таблиця 2.1 – Основні стадії підготовки виробництва та роль метрологічного забезпечення

Стадія	Зміст робіт	Роль метрологічного забезпечення
Конструкторська	Розроблення КД, допусків, параметрів	Обґрунтування вимог до точності
Технологічна	Проектування процесів, режимів	Вибір методів і засобів контролю
Організаційна	Планування виробництва	Забезпечення стабільності вимірювань
Метрологічна	Повірка, методики, контроль	Єдність і достовірність вимірювань

Організаційна структура підприємства включає виробничі цехи, службу головного конструктора, службу головного технолога, відділ технічного контролю, метрологічну службу та допоміжні підрозділи. Взаємодія між цими підрозділами визначає ефективність підготовки виробництва та рівень метрологічного забезпечення.

Метрологічна служба підприємства виконує функції забезпечення єдності вимірювань, повірки та калібрування засобів вимірювання, участі в розробленні методик контролю та метрологічної експертизи технічної документації. Однак у практиці підготовки виробництва її участь часто обмежується перевіркою готовності засобів вимірювання, без глибокого залучення до етапів проектування технологічних процесів.

Таблиця 2.2 – Функції основних підрозділів у процесі підготовки виробництва

Підрозділ	Основні функції	Зв'язок з метрологією
Служба головного конструктора	Розроблення КД	Формування вимог до точності
Служба головного технолога	Проектування процесів	Вибір методів контролю
ВТК	Контроль якості	Реалізація вимірювань
Метрологічна служба	Єдність вимірювань	Методичне та технічне забезпечення

Особливістю підготовки виробництва є те, що на цьому етапі закладається майбутній рівень метрологічних ризиків. Неправильний вибір засобів вимірювання, неврахування умов експлуатації або відсутність оцінювання невизначеності вимірювань призводять до систематичних відхилень, які неможливо усунути без суттєвих змін у технології.

У сучасних умовах підприємства дедалі частіше впроваджують елементи цифрового виробництва, автоматизовані системи проектування та управління. Проте рівень цифровізації метрологічного забезпечення підготовки виробництва часто залишається недостатнім. Вимірювальні дані не завжди інтегруються в єдину інформаційну систему підприємства, що обмежує можливості аналізу стабільності процесів і прийняття рішень на основі даних.

Таблиця 2.3 – Характеристика поточного стану підготовки виробництва

Показник	Характеристика
Рівень формалізації	Частковий
Інтеграція метрології	Обмежена
Автоматизація вимірювань	Неповна
Інформаційна підтримка	Фрагментарна
Управління ризиками	Недостатнє

Таким чином, загальна характеристика підприємства та організації підготовки виробництва свідчить, що метрологічне забезпечення відіграє визначальну роль у формуванні якості та стабільності виробничих процесів. Разом із тим існуючі підходи до організації метрологічного забезпечення на етапі підготовки виробництва мають низку обмежень, що зумовлює необхідність детального аналізу діючої системи метрологічного забезпечення, який буде здійснено у наступному підрозділі.

2.2. Аналіз існуючої системи метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Існуюча система метрологічного забезпечення підготовки виробництва на підприємстві сформована відповідно до чинних нормативно-правових вимог і внутрішніх регламентів, однак її ефективність значною мірою залежить від рівня інтеграції з процесами конструкторської, технологічної та організаційної підготовки. Аналіз показує, що

метрологічне забезпечення реалізується у вигляді комплексу процедур, спрямованих на забезпечення єдності та точності вимірювань, проте ці процедури часто мають локальний і реактивний характер.

Структурно система метрологічного забезпечення включає метрологічну службу підприємства, підрозділи виробничого контролю, лабораторії вимірювань, а також регламентовані процеси повірки, калібрування та контролю засобів вимірювання. Основна увага при цьому зосереджується на експлуатаційному етапі виробництва, тоді як етап підготовки виробництва не завжди отримує належний рівень метрологічного супроводу.

Метрологічна служба виконує функції обліку засобів вимірювання, організації їх повірки та калібрування, ведення метрологічної документації та контролю дотримання вимог стандартів. Проте її участь у розробленні конструкторської та технологічної документації на практиці є обмеженою, що призводить до виникнення розбіжностей між заданими параметрами та можливостями вимірювального контролю.

Таблиця 2.4 – Основні елементи існуючої системи метрологічного забезпечення

Елемент системи	Характеристика
Метрологічна служба	Повірка, калібрування, облік
ВТК та лабораторії	Контроль параметрів
Нормативна база	ДСТУ, ISO, внутрішні стандарти
Документація	Журнали, графіки, методики
Інформаційні потоки	Переважно паперові або локальні

Аналіз показує, що значна частина метрологічних процедур має формалізований характер і спрямована на виконання нормативних вимог, а не на управління точністю вимірювань у контексті підготовки виробництва. Зокрема, повірка засобів вимірювання часто розглядається як кінцева мета метрологічної діяльності, тоді як оцінювання невизначеності вимірювань і аналіз придатності засобів контролю до конкретних технологічних задач залишаються поза увагою.

Важливим аспектом аналізу є стан методичного забезпечення вимірювань. На підприємстві застосовуються типові методики вимірювань, які не завжди адаптовані до специфіки технологічних процесів і умов експлуатації. Це знижує відтворюваність результатів і ускладнює аналіз стабільності вимірювань на етапі підготовки виробництва.

Таблиця 2.5 – Оцінка методичного забезпечення вимірювальних процесів

Критерій	Поточний стан
Адаптація методик	Часткова
Оцінка невизначеності	Обмежена
Врахування умов експлуатації	Недостатнє
Уніфікація методів	Низька

Окремої уваги потребує питання інформаційного забезпечення метрологічної діяльності. Вимірювальні дані, отримані під час випробувань і налагодження обладнання, зберігаються в різних інформаційних джерелах і не формують єдиного масиву даних. Відсутність інтегрованої системи

збору та аналізу вимірювальної інформації ускладнює виявлення тенденцій і прогнозування відхилень технологічних параметрів.

Аналіз кадрового забезпечення показує, що фахівці з метрології мають достатній рівень професійної підготовки, однак їх взаємодія з технологами та конструкторами є обмеженою. Це знижує ефективність використання метрологічної інформації під час прийняття рішень у процесі підготовки виробництва.

Таблиця 2.6 – Основні недоліки існуючої системи метрологічного забезпечення

Недолік	Наслідки
Формальний характер процедур	Низька результативність
Обмежена інтеграція	Похибки на ранніх етапах
Недостатня автоматизація	Повільне реагування
Фрагментарність даних	Відсутність аналізу трендів

Таким чином, аналіз існуючої системи метрологічного забезпечення підготовки виробництва показав, що вона забезпечує виконання мінімальних нормативних вимог, однак не повною мірою відповідає сучасним потребам управління якістю та ефективністю виробничих процесів. Виявлені недоліки обґрунтовують необхідність розроблення комплексних заходів щодо удосконалення метрологічного забезпечення, спрямованих на інтеграцію метрологічних процесів у систему підготовки виробництва, підвищення рівня автоматизації та методичного супроводу, що буде розглянуто у наступних підрозділах.

2.3. Аналіз забезпечення єдності, точності та невизначеності вимірювань на етапі підготовки виробництва

Забезпечення єдності та точності вимірювань є фундаментальною умовою ефективної підготовки виробництва, оскільки саме на цьому етапі формуються вимоги до контрольованих параметрів, методів вимірювання та допустимих відхилень. Від рівня метрологічного опрацювання цих питань залежить стабільність технологічних процесів і можливість досягнення заданих показників якості продукції в серійному виробництві.

Єдність вимірювань у підготовці виробництва забезпечується шляхом застосування повірених або каліброваних засобів вимірювання, використання затверджених методик вимірювань та дотримання вимог простежуваності результатів до національних і міжнародних еталонів. Однак аналіз практики показує, що ці вимоги не завжди реалізуються комплексно, особливо на ранніх стадіях підготовки виробництва.

Точність вимірювань у процесі підготовки виробництва визначається не лише метрологічними характеристиками засобів вимірювання, але й умовами їх застосування, рівнем методичного забезпечення та кваліфікацією персоналу. У багатьох випадках вибір засобів вимірювання здійснюється без детального аналізу співвідношення між допустимими відхиленнями контрольованих параметрів і сумарною похибкою вимірювання, що призводить до зниження достовірності результатів.

Таблиця 2.7 – Основні фактори, що впливають на точність вимірювань у підготовці виробництва

Фактор	Характер впливу
Характеристики засобів вимірювання	Визначають базову похибку

Продовження табл.2.7

1	2
Методика вимірювань	Впливає на відтворюваність
Умови експлуатації	Спричиняють додаткові похибки
Кваліфікація персоналу	Визначає правильність виконання
Інформаційне забезпечення	Впливає на аналіз результатів

Особливої уваги потребує питання оцінювання невизначеності вимірювань. У сучасній метрологічній практиці саме невизначеність є основною характеристикою якості результату вимірювання. Проте аналіз показує, що на етапі підготовки виробництва оцінювання невизначеності часто має формальний характер або взагалі не виконується. Це унеможливорює об'єктивну оцінку придатності вимірювального процесу до виконання технологічних задач.

Недостатня увага до оцінювання невизначеності призводить до ситуацій, коли вимірювальний процес не забезпечує задану точність контролю, незважаючи на використання повірених засобів вимірювання. У результаті зростає ймовірність помилкових рішень під час налагодження технологічних процесів і встановлення режимів обробки.

Таблиця 2.8 – Стан оцінювання невизначеності вимірювань

Критерій	Характеристика
Формалізація процедури	Неповна

Продовження табл.2.8

1	2
Використання стандартів	Обмежене
Аналіз джерел похибок	Частковий
Застосування результатів	Обмежене

Ще одним важливим аспектом є забезпечення простежуваності вимірювань. Простежуваність гарантує можливість порівняння результатів вимірювань, отриманих на різних етапах підготовки виробництва, а також їх відповідність міжнародним вимогам. На практиці простежуваність часто забезпечується лише формально, через наявність свідоцтв про перевірку, без аналізу реального ланцюга передачі розміру одиниці.

Аналіз показує, що відсутність системного підходу до забезпечення єдності, точності та невизначеності вимірювань у підготовці виробництва призводить до накопичення прихованих метрологічних ризиків. Ці ризики проявляються на пізніших етапах у вигляді нестабільності технологічних процесів, підвищеного рівня браку та необхідності повторних коригувань технології.

Таблиця 2.9 – Основні метрологічні ризики на етапі підготовки виробництва

Ризик	Можливі наслідки
Недостатня точність	Порушення допусків
Відсутність оцінки невизначеності	Помилкові рішення

Продовження табл.2.9

1	2
Порушення простежуваності	Невідповідність стандартам
Методичні недоліки	Нестабільний контроль

Таким чином, аналіз забезпечення єдності, точності та невизначеності вимірювань на етапі підготовки виробництва показав, що існуючі підходи не повною мірою відповідають сучасним вимогам управління якістю та ефективністю виробничих процесів. Виявлені проблеми підтверджують необхідність удосконалення метрологічного забезпечення шляхом впровадження системного підходу до оцінювання невизначеності, підвищення рівня методичного забезпечення та інтеграції метрологічних процедур у загальну систему підготовки виробництва, що стане предметом розгляду в наступних підрозділах.

2.4. Аналіз інформаційного та документального забезпечення метрологічних процесів підготовки виробництва

Ефективність метрологічного забезпечення підготовки виробництва значною мірою визначається рівнем організації інформаційного та документального супроводу вимірювальних процесів. Саме через систему документації та інформаційні потоки реалізуються вимоги до точності вимірювань, простежуваності результатів і узгодженості дій між підрозділами підприємства.

Документальне забезпечення метрологічних процесів у підготовці виробництва включає нормативно-методичні документи, внутрішні регламенти, методики вимірювань, графіки повірки та калібрування засобів

вимірювання, протоколи випробувань, журнали обліку та звітну документацію. Аналіз показує, що на підприємстві наявний базовий комплект такої документації, проте її структура та актуальність не завжди відповідають потребам сучасного виробництва.

Значна частина документів має формалізований характер і спрямована на виконання мінімальних нормативних вимог, тоді як їх практичне використання для управління вимірювальними процесами є обмеженим. Зокрема, результати вимірювань, отримані на етапі підготовки виробництва, не завжди систематизуються та аналізуються з точки зору стабільності та відтворюваності процесів.

Таблиця 2.10 – Основні види документації метрологічного забезпечення

Вид документації	Призначення
Методики вимірювань	Регламентація процедур вимірювання
Графіки повірки	Забезпечення своєчасної повірки
Протоколи вимірювань	Фіксація результатів
Журнали обліку	Контроль використання ЗВ
Звіти та аналізи	Оцінка стану вимірювань

Аналіз інформаційних потоків показує, що вимірювальна інформація передається між підрозділами підприємства переважно у вигляді паперових документів або локальних електронних файлів. Відсутність єдиної інформаційної системи обмежує можливості комплексного аналізу даних та ускладнює простеження змін параметрів у процесі підготовки виробництва.

Особливої уваги потребує питання актуалізації документів. У ряді випадків методики вимірювань і внутрішні інструкції не переглядаються своєчасно, що призводить до використання застарілих підходів і неврахування змін у технологічних процесах або вимогах стандартів. Це негативно впливає на точність вимірювань і підвищує ризик виникнення невідповідностей.

Таблиця 2.11 – Оцінка стану інформаційного забезпечення метрологічних процесів

Критерій	Характеристика
Централізація даних	Відсутня
Оперативність доступу	Обмежена
Актуальність документів	Частково забезпечена
Аналіз вимірювальних даних	Несистемний

Недостатній рівень інформаційного забезпечення ускладнює оцінювання невизначеності вимірювань та управління метрологічними ризиками. Відсутність накопичених масивів вимірювальних даних не дозволяє здійснювати статистичний аналіз, виявляти тенденції відхилень і прогнозувати можливі проблеми на етапі освоєння виробництва.

Крім того, аналіз показує, що документація з метрологічного забезпечення недостатньо інтегрована з документацією системи управління якістю. Метрологічні аспекти часто розглядаються окремо від процедур

управління процесами, що знижує ефективність використання вимірювальної інформації для прийняття управлінських рішень.

Таблиця 2.12 – Основні недоліки інформаційно-документального забезпечення

Недолік	Наслідки
Фрагментарність інформації	Втрата цілісності даних
Застаріла документація	Зниження точності
Відсутність аналізу	Неможливість прогнозування
Низька інтеграція	Неузгоджені рішення

Таким чином, аналіз інформаційного та документального забезпечення метрологічних процесів підготовки виробництва свідчить, що існуюча система не забезпечує повною мірою реалізацію сучасних вимог до управління вимірюваннями. Виявлені недоліки підтверджують необхідність удосконалення інформаційної та документальної підтримки метрологічного забезпечення, зокрема шляхом впровадження інтегрованих інформаційних систем, актуалізації методик вимірювань і систематичного аналізу вимірювальних даних, що буде обґрунтовано в наступних підрозділах кваліфікаційної роботи.

2.5. Аналіз ефективності функціонування існуючої системи метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Ефективність функціонування системи метрологічного забезпечення підготовки виробництва визначається її здатністю забезпечувати необхідний рівень точності, стабільності та простежуваності вимірювань за мінімальних витрат ресурсів і часу. Оцінювання ефективності дозволяє встановити, наскільки існуюча система відповідає вимогам сучасного виробництва та потребує вдосконалення.

У межах аналізу ефективності розглянуто технічні, організаційні, методичні та економічні аспекти функціонування метрологічного забезпечення. Технічний аспект пов'язаний із придатністю засобів вимірювання до виконання поставлених задач, їх метрологічними характеристиками та відповідністю умовам експлуатації. Організаційний аспект характеризує рівень інтеграції метрологічних процесів у систему підготовки виробництва та взаємодію між підрозділами підприємства.

Аналіз показує, що існуюча система метрологічного забезпечення в цілому забезпечує виконання регламентованих процедур повірки та калібрування засобів вимірювання, однак її результативність у частині управління якістю вимірювань на етапі підготовки виробництва є обмеженою. Основна увага приділяється формальному дотриманню вимог стандартів, тоді як потенціал метрологічної інформації для підвищення ефективності підготовчих процесів використовується недостатньо.

Таблиця 2.13 – Критерії оцінювання ефективності метрологічного забезпечення

Критерій	Характеристика
Технічна придатність	Відповідність ЗВ вимогам процесів
Методичне забезпечення	Наявність адаптованих методик
Інтеграція з ПВ	Рівень взаємодії підрозділів
Інформаційна підтримка	Повнота та доступність даних
Ресурсна ефективність	Оптимальність витрат

Методичний аналіз показує, що відсутність систематичного оцінювання невизначеності вимірювань знижує достовірність результатів і ускладнює прийняття технічних рішень. У результаті частина вимірювальних процесів не гарантує досягнення заданої точності, що негативно впливає на якість підготовки виробництва та потребує додаткових коригувальних заходів.

З організаційної точки зору ефективність системи знижується через обмежену участь метрологічної служби у формуванні технологічних рішень. Взаємодія між метрологами, технологами та конструкторами носить епізодичний характер, що призводить до неузгодженості вимог до точності та методів контролю.

Таблиця 2.14 – Оцінка рівня ефективності існуючої системи

Напрямок оцінювання	Поточний рівень
Забезпечення точності	Середній
Управління невизначеністю	Низький
Інформаційна інтеграція	Обмежена
Оперативність контролю	Середня
Загальна ефективність	Недостатня

Економічний аспект ефективності проявляється у непрямих витратах, пов'язаних із повторними налатками, додатковими випробуваннями та усуненням дефектів, спричинених недосконалістю метрологічного забезпечення на етапі підготовки виробництва. Відсутність превентивного підходу до управління метрологічними ризиками зумовлює зростання витрат у подальших стадіях виробничого процесу.

Загальна оцінка ефективності функціонування існуючої системи метрологічного забезпечення свідчить, що вона не повною мірою відповідає сучасним вимогам управління підготовкою виробництва. Система забезпечує базовий рівень відповідності нормативним вимогам, проте не реалізує потенціал метрології як інструменту підвищення ефективності та стабільності виробничих процесів.

Таким чином, результати аналізу ефективності функціонування існуючої системи метрологічного забезпечення підтверджують доцільність її удосконалення. Виявлені недоліки обґрунтовують необхідність розроблення комплексних організаційних, методичних і технічних заходів, спрямованих на підвищення ролі метрологічного забезпечення в підготовці

виробництва, що буде предметом розгляду у третьому розділі кваліфікаційної роботи.

2.6. Узагальнення результатів аналізу та обґрунтування необхідності удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Проведений у підрозділах 2.1–2.5 аналіз показав, що існуюча система метрологічного забезпечення підготовки виробництва на підприємстві сформована відповідно до чинних нормативних вимог, однак її функціонування має низку суттєвих обмежень, які знижують ефективність підготовчих процесів і не дозволяють повною мірою реалізувати потенціал метрології як інструменту управління якістю та стабільністю виробництва.

У результаті дослідження встановлено, що метрологічне забезпечення на етапі підготовки виробництва здебільшого орієнтоване на виконання формальних процедур повірки та калібрування засобів вимірювання. При цьому системний аналіз точності, невизначеності та придатності вимірювальних процесів до конкретних технологічних задач здійснюється обмежено або фрагментарно. Це призводить до накопичення прихованих метрологічних ризиків, які проявляються на стадії серійного виробництва.

Узагальнення результатів аналізу дозволило виділити ключові проблемні зони, що негативно впливають на ефективність метрологічного забезпечення підготовки виробництва. До них належать недостатня інтеграція метрологічних процесів у систему підготовки виробництва, обмежений рівень автоматизації збору та обробки вимірювальних даних, недосконалість методичного забезпечення та недостатнє використання результатів вимірювань для прийняття управлінських рішень.

Таблиця 2.15 – Узагальнені результати аналізу існуючої системи метрологічного забезпечення

Напрямок аналізу	Стан	Характеристика
Нормативне забезпечення	Достатній	Відповідає вимогам стандартів
Організація процесів	Обмежена	Низька інтеграція з ПВ
Методичне забезпечення	Недостатнє	Відсутність адаптованих методик
Інформаційна підтримка	Низька	Фрагментарність даних
Управління ризиками	Недостатнє	Відсутність превентивного підходу

Аналіз ефективності показав, що існуюча система метрологічного забезпечення не забезпечує необхідного рівня управління точністю вимірювань саме на етапі підготовки виробництва. У результаті частина технологічних рішень приймається без урахування реальних метрологічних можливостей засобів вимірювання, що зумовлює додаткові витрати часу та ресурсів на коригування процесів у подальшому.

Особливої уваги потребує питання управління невизначеністю вимірювань. Відсутність систематичного оцінювання та аналізу невизначеності призводить до зниження достовірності результатів контролю та підвищує ймовірність прийняття помилкових технічних рішень. Це є критичним фактором для підприємств із високими вимогами до якості та стабільності продукції.

Узагальнюючи результати аналізу, можна стверджувати, що існуюча система метрологічного забезпечення виконує переважно підтримувальну

функцію та не повною мірою реалізує свій потенціал як інструмент управління підготовкою виробництва. Для підвищення її ефективності необхідно перейти від реактивного підходу до превентивного та системного управління вимірювальними процесами.

Таблиця 2.16 – Обґрунтування необхідності удосконалення метрологічного забезпечення

Проблема	Наслідки	Необхідний напрям удосконалення
Фрагментарність процесів	Похибки на ранніх етапах	Інтеграція з ПВ
Формальний контроль	Низька точність	Управління невизначеністю
Обмежена автоматизація	Повільне реагування	Цифровізація
Недостатня аналітика	Неефективні рішення	Аналіз вимірювальних даних

Таким чином, результати підрозділу 2.6 підтверджують необхідність комплексного удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва. Це удосконалення має бути спрямоване на інтеграцію метрологічних процесів у систему управління підготовкою виробництва, підвищення рівня методичного та інформаційного забезпечення, впровадження сучасних засобів аналізу вимірювальних даних і системного управління метрологічними ризиками. Обґрунтовані положення створюють основу для розроблення практичних заходів з удосконалення

метрологічного забезпечення, які будуть викладені у третьому розділі кваліфікаційної роботи.

Висновки до розділу 2

У другому розділі кваліфікаційної роботи виконано комплексний аналіз існуючої системи метрологічного забезпечення підготовки виробництва на підприємстві виробничого профілю. Дослідження охопило організаційні, технічні, методичні та інформаційні аспекти метрологічної діяльності, що дозволило сформувати цілісне уявлення про стан і ефективність функціонування вимірювальних процесів на етапі підготовки виробництва.

У результаті аналізу загальної організації підготовки виробництва встановлено, що метрологічне забезпечення відіграє важливу роль у формуванні умов для стабільного та якісного виробничого процесу. Разом із тим виявлено, що метрологічні процедури не завжди інтегровані в систему підготовки виробництва на ранніх стадіях, що призводить до виникнення неузгодженостей між вимогами до точності технологічних параметрів і реальними можливостями вимірювальних засобів.

Аналіз існуючої системи метрологічного забезпечення показав, що вона в основному орієнтована на виконання регламентованих процедур повірки та калібрування засобів вимірювання. При цьому питання оцінювання точності, невизначеності та придатності вимірювальних процесів до конкретних технологічних задач розглядаються недостатньо системно. Це обмежує можливості використання метрологічної інформації для прийняття обґрунтованих технічних рішень у процесі підготовки виробництва.

У ході дослідження забезпечення єдності, точності та невизначеності вимірювань встановлено, що відсутність комплексного підходу до

управління цими характеристиками призводить до накопичення прихованих метрологічних ризиків. Зокрема, недостатня увага до оцінювання невизначеності вимірювань знижує достовірність результатів контролю та підвищує ймовірність прийняття помилкових рішень на етапі налагодження технологічних процесів.

Аналіз інформаційного та документального забезпечення метрологічних процесів засвідчив фрагментарність обліку та зберігання вимірювальних даних, обмежений рівень автоматизації та несвоєчасну актуалізацію нормативно-методичної документації. Виявлені недоліки ускладнюють проведення системного аналізу вимірювальної інформації та знижують ефективність управління вимірювальними процесами в підготовці виробництва.

Оцінювання ефективності функціонування існуючої системи метрологічного забезпечення показало, що вона забезпечує базовий рівень відповідності нормативним вимогам, однак не повною мірою відповідає сучасним вимогам управління якістю та ефективністю підготовки виробництва. Недостатня інтеграція метрологічних процесів, обмежене використання аналітичних методів та відсутність системного управління метрологічними ризиками негативно впливають на результативність підготовчих процесів.

Узагальнення результатів аналізу дозволило обґрунтувати необхідність удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва. Основними напрямками такого удосконалення є інтеграція метрологічних процедур у систему підготовки виробництва, підвищення рівня методичного та інформаційного забезпечення, впровадження сучасних підходів до оцінювання невизначеності вимірювань і розвиток автоматизованих засобів збору та аналізу вимірювальної інформації.

Отримані висновки створюють науково-методичну основу для розроблення практичних заходів з удосконалення метрологічного

забезпечення підготовки виробництва, які будуть запропоновані та обґрунтовані у третьому розділі кваліфікаційної роботи.

3 Удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва

3.1. Обґрунтування напрямів удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Результати аналітичних досліджень, виконаних у другому розділі кваліфікаційної роботи, свідчать про те, що існуюча система метрологічного забезпечення підготовки виробництва на підприємстві не повною мірою відповідає сучасним вимогам ефективного управління виробничими процесами. Незважаючи на формальну відповідність чинним нормативно-правовим документам, така система не забезпечує належного рівня інтеграції вимірювальних процесів у загальну систему підготовки виробництва, що негативно впливає на стабільність і результативність виробничої діяльності.

Метрологічне забезпечення підготовки виробництва повинно розглядатися не як допоміжна функція, а як ключовий елемент управління якістю, точністю та відтворюваністю технологічних процесів. Саме на етапі підготовки виробництва закладаються вимоги до контрольованих параметрів, методів вимірювання, допустимих відхилень і критеріїв оцінювання результатів. Недостатня увага до метрологічних аспектів на цьому етапі призводить до виникнення системних помилок, усунення яких у подальшому потребує значних витрат часу та ресурсів.

Удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва доцільно здійснювати на основі системного підходу, який передбачає одночасне врахування організаційних, методичних, технічних та

інформаційних складових. Такий підхід дозволяє забезпечити узгодженість дій між підрозділами підприємства, підвищити достовірність вимірювальної інформації та знизити рівень метрологічних ризиків.

На підставі узагальнення результатів аналізу доцільно виділити основні напрями удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва, які наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні напрями удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Напрямок удосконалення	Зміст	Очікуваний результат
Організаційний	Інтеграція метрології у ПВ	Узгодженість процесів
Методичний	Адаптація методик	Підвищення точності
Метрологічний	Управління невизначеністю	Достовірність вимірювань
Інформаційний	Цифровізація даних	Оперативний аналіз
Ризик-орієнтований	Управління ризиками	Зниження похибок

Першим і базовим напрямом удосконалення є організаційна інтеграція метрологічного забезпечення в систему підготовки виробництва. Це передбачає обов'язкову участь метрологічної служби у процесах конструкторської та технологічної підготовки, починаючи з етапу формування технічних вимог. Такий підхід дозволяє заздалегідь оцінити

можливості вимірювальних засобів і методів контролю щодо забезпечення заданої точності.

Другим напрямом є удосконалення методичного забезпечення вимірювань. На практиці застосовувані методики вимірювань часто мають загальний характер і не враховують специфіки конкретних технологічних процесів. Тому доцільним є розроблення адаптованих методик, які враховують умови експлуатації, вплив зовнішніх факторів, характер контрольованих параметрів та вимоги до точності.

Особливе місце серед напрямів удосконалення займає впровадження системного підходу до оцінювання невизначеності вимірювань. Невизначеність вимірювань повинна розглядатися як ключова характеристика якості результатів вимірювання. Її оцінювання дає змогу кількісно визначити довіру до результатів вимірювань і використовувати цю інформацію для прийняття обґрунтованих технічних рішень.

Таблиця 3.2 – Порівняльна характеристика підходів до оцінювання вимірювань

Підхід	Характеристика	Обмеження
Традиційний	Орієнтація на похибку	Низька інформативність
Сучасний	Орієнтація на невизначеність	Потребує методичного забезпечення

Наступним напрямом удосконалення є розвиток інформаційного забезпечення метрологічних процесів. Впровадження цифрових засобів обліку, збору та аналізу вимірювальних даних дозволяє забезпечити простежуваність результатів, виконувати статистичний аналіз і своєчасно виявляти тенденції відхилень параметрів. Це створює умови для переходу

від реактивного контролю до превентивного управління вимірювальними процесами.

Важливим елементом удосконалення є також впровадження ризик-орієнтованого підходу до метрологічного забезпечення. Управління метрологічними ризиками передбачає ідентифікацію потенційних джерел похибок, оцінювання їх впливу на результати вимірювань та розроблення заходів щодо мінімізації негативних наслідків. Такий підхід дозволяє знизити ймовірність виникнення критичних відхилень на етапі освоєння виробництва.

Таблиця 3.3 – Основні метрологічні ризики та напрями їх мінімізації

Ризик	Причина	Захід удосконалення
Недостатня точність	Невідповідні ЗВ	Оптимізація вибору
Висока невизначеність	Недосконалі методики	Адаптація методик
Втрата простежуваності	Фрагментарні дані	Цифровізація
Помилкові рішення	Відсутність аналізу	Аналітичні інструменти

Узагальнюючи наведене, можна стверджувати, що удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва повинно мати комплексний характер і бути спрямоване не лише на технічне оновлення засобів вимірювання, а й на зміну підходів до управління вимірювальними процесами. Реалізація запропонованих напрямів дозволить підвищити точність і достовірність вимірювань, знизити рівень метрологічних ризиків і забезпечити стабільність виробничих процесів.

Обґрунтовані напрями удосконалення створюють методологічну основу для розроблення конкретних організаційних і технічних рішень, які будуть детально викладені у наступних підрозділах третього розділу кваліфікаційної роботи.

3.2. Розроблення удосконаленої структури метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва потребує не лише окремих технічних або методичних змін, а й формування цілісної структурованої системи, у межах якої вимірювальні процеси інтегруються в загальну систему управління підготовкою виробництва. Така система повинна забезпечувати узгодженість дій між усіма підрозділами підприємства, що беруть участь у підготовці виробництва, а також гарантувати необхідний рівень точності, простежуваності та достовірності вимірювань.

Запропонована удосконалена структура метрологічного забезпечення підготовки виробництва ґрунтується на принципах системності, процесного підходу та ризик-орієнтованого управління. Вона передбачає чітке розмежування функцій, визначення відповідальних осіб, формалізацію інформаційних потоків і використання результатів вимірювань для прийняття технічних і управлінських рішень.

Основною відмінністю удосконаленої структури від існуючої є активна участь метрологічної служби на всіх етапах підготовки виробництва, починаючи з формування технічних вимог і закінчуючи аналізом результатів вимірювань під час випробувань і налагодження технологічних процесів.

Таблиця 3.4 – Порівняльна характеристика існуючої та удосконаленої структур метрологічного забезпечення

Ознака	Існуюча структура	Удосконалена структура
Участь метрологів	Обмежена	Повна, на всіх етапах
Інтеграція з ПВ	Фрагментарна	Системна
Управління невизначеністю	Відсутнє або формальне	Системне
Інформаційні потоки	Розрізнені	Централізовані
Роль вимірювань	Контрольна	Управлінська

Удосконалена структура передбачає виділення таких основних функціональних блоків метрологічного забезпечення підготовки виробництва:

- нормативно-методичний блок;
- організаційно-управлінський блок;
- технічний блок засобів вимірювання;
- інформаційно-аналітичний блок;
- блок управління метрологічними ризиками.

Нормативно-методичний блок забезпечує розроблення, актуалізацію та адаптацію методик вимірювань відповідно до специфіки технологічних процесів. У його межах формуються вимоги до точності вимірювань, допустимі невизначеності та критерії придатності вимірювальних процесів.

Організаційно-управлінський блок відповідає за координацію взаємодії між підрозділами підприємства, визначення відповідальності за виконання метрологічних процедур та інтеграцію вимірювальних процесів у загальний план підготовки виробництва.

Таблиця 3.5 – Функції основних блоків удосконаленої структури

Блок	Основні функції
Нормативно-методичний	Методики, вимоги до точності
Організаційний	Координація, відповідальність
Технічний	Засоби вимірювання, калібрування
Інформаційний	Збір і аналіз даних
Ризик-менеджмент	Ідентифікація та мінімізація ризиків

Технічний блок охоплює вибір, експлуатацію, перевірку та калібрування засобів вимірювання з урахуванням умов їх застосування у процесі підготовки виробництва. Важливою вимогою є відповідність метрологічних характеристик засобів вимірювання встановленим вимогам до точності та стабільності.

Інформаційно-аналітичний блок забезпечує централізований облік результатів вимірювань, їх зберігання, статистичний аналіз і формування звітності. Реалізація цього блоку створює умови для аналізу тенденцій, оцінювання стабільності процесів і прогнозування можливих відхилень на етапі підготовки виробництва.

Блок управління метрологічними ризиками орієнтований на превентивне виявлення та мінімізацію ризиків, пов'язаних із вимірюваннями. У його межах здійснюється аналіз потенційних джерел похибок, оцінювання їх впливу на результати вимірювань та розроблення коригувальних і запобіжних заходів.

Таблиця 3.6 – Очікувані результати впровадження удосконаленої структури

Напрямок	Очікуваний ефект
Точність вимірювань	Підвищення
Достовірність даних	Зростання
Стабільність процесів	Поліпшення
Час підготовки	Скорочення
Витрати	Оптимізація

Таким чином, розроблена удосконалена структура метрологічного забезпечення підготовки виробництва забезпечує системний підхід до управління вимірювальними процесами, підвищує роль метрологічної інформації у прийнятті рішень та створює передумови для ефективного впровадження сучасних методів вимірювання й оцінювання невизначеності. Запропонована структура є основою для подальшого розроблення конкретних методик, алгоритмів і технічних рішень, які будуть розглянуті у наступних підрозділах третього розділу.

3.3. Удосконалення методик вимірювань та оцінювання невизначеності в процесі підготовки виробництва

Одним із ключових напрямів удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва є вдосконалення методик вимірювань та запровадження системного підходу до оцінювання невизначеності результатів вимірювань. Саме методика вимірювання визначає порядок

виконання вимірювального процесу, умови його реалізації, вимоги до засобів вимірювання та алгоритми обробки результатів.

Аналіз існуючої практики показує, що методики вимірювань, які застосовуються на підприємствах під час підготовки виробництва, здебільшого мають загальний характер і не завжди враховують специфіку конкретних технологічних процесів, умов експлуатації обладнання та вплив зовнішніх факторів. Це призводить до зниження відтворюваності результатів вимірювань і ускладнює оцінювання їх достовірності.

Удосконалення методик вимірювань повинно здійснюватися з урахуванням таких основних вимог:

- відповідність методик реальним умовам виконання вимірювань;
- урахування всіх істотних джерел похибок;
- можливість кількісного оцінювання невизначеності;
- адаптованість методик до автоматизованих засобів збору даних.

Запропонований підхід до удосконалення методик вимірювань передбачає їх розроблення або актуалізацію з урахуванням конкретних задач підготовки виробництва, а саме контролю геометричних, фізичних і технологічних параметрів, що визначають якість і стабільність виробничих процесів.

Таблиця 3.7 – Основні етапи удосконалення методик вимірювань

Етап	Зміст робіт
Аналіз параметрів	Визначення контрольованих величин
Ідентифікація факторів	Виявлення джерел похибок

1	2
Вибір ЗВ	Обґрунтування метрологічних характеристик
Розроблення алгоритму	Порядок виконання вимірювань
Оцінка невизначеності	Кількісна характеристика результату

Важливим елементом удосконаленої методики є оцінювання невизначеності вимірювань. Невизначеність відображає інтервал значень, у межах якого з заданою ймовірністю знаходиться істинне значення вимірюваної величини. На відміну від традиційного підходу, що базується на понятті похибки, оцінювання невизначеності дозволяє комплексно врахувати всі складові впливу на результат вимірювання.

У процесі підготовки виробництва доцільно застосовувати комбінований підхід до оцінювання невизначеності, який включає аналіз складових типу А (статистичних) та типу В (систематичних). Це дозволяє отримати повну картину якості вимірювального процесу та використовувати результати оцінювання для оптимізації методик і вибору засобів вимірювання.

Таблиця 3.8 – Основні складові невизначеності вимірювань

Складова	Джерело виникнення
Типу А	Повторюваність вимірювань
Типу В	Характеристики ЗВ

Продовження табл.3.8

1	2
Методична	Недосконалість методики
Умовна	Вплив умов експлуатації
Людський фактор	Дії оператора

Удосконалена методика вимірювань передбачає обов'язкове документування результатів оцінювання невизначеності та використання цієї інформації для прийняття рішень щодо придатності вимірювального процесу. У випадку, якщо сумарна невизначеність перевищує допустимі значення, методика підлягає коригуванню або заміні засобів вимірювання.

Застосування удосконалених методик вимірювань із урахуванням невизначеності створює умови для підвищення достовірності вимірювальної інформації та зниження ймовірності помилкових рішень на етапі підготовки виробництва. Це особливо важливо при встановленні технологічних режимів і визначенні допусків, де навіть незначні відхилення можуть призвести до суттєвих економічних втрат.

Таблиця 3.9 – Порівняльна характеристика традиційних та удосконалених методик

Ознака	Традиційна методика	Удосконалена методика
Урахування факторів	Часткове	Повне
Оцінка невизначеності	Відсутня	Обов'язкова
Адаптація до процесу	Обмежена	Висока
Використання даних	Контроль	Управління

Таким чином, удосконалення методик вимірювань та запровадження системного оцінювання невизначеності є ключовими умовами підвищення ефективності метрологічного забезпечення підготовки виробництва. Запропонований підхід дозволяє перейти від формального контролю до управління якістю вимірювань, що створює передумови для підвищення стабільності технологічних процесів і зменшення витрат на коригування виробництва.

Результати підрозділу 3.3 слугують методичною основою для розроблення алгоритмів управління метрологічними ризиками та впровадження удосконалених вимірювальних процесів, які будуть розглянуті у наступних підрозділах третього розділу.

3.4. Розроблення алгоритму управління метрологічними ризиками в процесі підготовки виробництва

У процесі підготовки виробництва вимірювальні операції є критичним джерелом інформації для прийняття технічних і управлінських рішень. Недостатня точність, нестабільність або невизначеність вимірювань можуть призводити до суттєвих відхилень технологічних параметрів, збільшення рівня браку та додаткових витрат. У зв'язку з цим важливим напрямом удосконалення метрологічного забезпечення є впровадження системного управління метрологічними ризиками.

Метрологічний ризик у контексті підготовки виробництва слід розглядати як імовірність виникнення негативних наслідків унаслідок недостовірних або недостатньо точних результатів вимірювань. Такий ризик формується під впливом технічних, методичних, організаційних та людських факторів і потребує комплексного управління на всіх етапах підготовки виробництва.

Запропонований алгоритм управління метрологічними ризиками ґрунтується на принципах ризик-орієнтованого підходу та включає послідовність взаємопов'язаних етапів: ідентифікацію ризиків, їх оцінювання, вибір заходів реагування, реалізацію коригувальних і запобіжних дій, а також моніторинг результатів.

Першим етапом алгоритму є ідентифікація метрологічних ризиків. На цьому етапі визначаються всі можливі джерела виникнення похибок і невизначеності, пов'язані з вибором засобів вимірювання, методиками, умовами експлуатації та людським фактором. Ідентифікація ризиків здійснюється шляхом аналізу технологічних процесів, вимірювальних операцій і результатів попередніх вимірювань.

Таблиця 3.10 – Основні джерела метрологічних ризиків у підготовці виробництва

Джерело ризику	Характеристика
Засоби вимірювання	Недостатня точність або стабільність
Методики вимірювань	Неврахування умов експлуатації
Умови середовища	Температура, вібрації, вологість
Людський фактор	Помилки оператора
Інформаційні процеси	Втрата або спотворення даних

Другим етапом є оцінювання метрологічних ризиків, яке полягає у визначенні ймовірності їх виникнення та рівня впливу на результати підготовки виробництва. Для цього доцільно застосовувати якісні та напівкількісні методи оцінювання, що дозволяють класифікувати ризики за ступенем критичності та визначити пріоритети управління.

Таблиця 3.11 – Оцінювання рівня метрологічних ризиків

Рівень ризику	Ймовірність	Вплив на процес
Низький	Низька	Незначний
Середній	Середня	Помірний
Високий	Висока	Критичний

Третім етапом алгоритму є вибір заходів реагування на ідентифіковані ризики. Залежно від рівня ризику можуть застосовуватися різні стратегії, зокрема уникнення ризику, його зниження, передавання або прийняття. У контексті метрологічного забезпечення основна увага приділяється заходам зниження ризиків шляхом удосконалення методик, оптимізації вибору засобів вимірювання та підвищення кваліфікації персоналу.

Четвертим етапом є реалізація коригувальних і запобіжних заходів. До таких заходів належать заміна або модернізація засобів вимірювання, уточнення методик вимірювань, впровадження додаткових процедур контролю, автоматизація збору та обробки вимірювальних даних.

Таблиця 3.12 – Заходи зниження метрологічних ризиків

Ризик	Захід	Очікуваний ефект
Низька точність	Оптимізація вибору ЗВ	Підвищення точності
Висока невизначеність	Удосконалення методик	Зростання достовірності
Людський фактор	Навчання персоналу	Зменшення помилок
Інформаційні втрати	Автоматизація	Підвищення надійності

Заключним етапом алгоритму є моніторинг і перегляд ефективності управління метрологічними ризиками. На цьому етапі здійснюється аналіз результатів вимірювань після впровадження заходів, оцінювання зниження рівня ризиків і прийняття рішень щодо необхідності подальших коригувань. Моніторинг дозволяє забезпечити безперервне вдосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва.

Таким чином, розроблений алгоритм управління метрологічними ризиками забезпечує системний і превентивний підхід до управління якістю вимірювань на етапі підготовки виробництва. Його впровадження дозволяє знизити ймовірність виникнення критичних відхилень, підвищити стабільність технологічних процесів і створити умови для ефективного функціонування удосконаленої системи метрологічного забезпечення.

Результати підрозділу 3.4 є основою для розгляду практичних аспектів впровадження удосконалених рішень та оцінювання їх ефективності, що буде виконано у наступному підрозділі третього розділу.

3.5. Практична реалізація удосконаленої системи метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Практична реалізація удосконаленої системи метрологічного забезпечення підготовки виробництва передбачає поетапне впровадження організаційних, методичних і технічних рішень, обґрунтованих у попередніх підрозділах третього розділу. Основною метою реалізації є забезпечення стабільності вимірювальних процесів, підвищення точності та достовірності результатів вимірювань, а також зниження рівня метрологічних ризиків у процесі підготовки виробництва.

Впровадження удосконаленої системи доцільно здійснювати поетапно, що дозволяє мінімізувати організаційні ризики та адаптувати персонал до нових підходів. На першому етапі здійснюється організаційна

підготовка, яка включає уточнення функціональних обов'язків метрологічної служби, визначення відповідальних осіб та формування плану впровадження.

Таблиця 3.13 – Основні етапи практичної реалізації удосконаленої системи

Етап	Зміст робіт	Очікуваний результат
Організаційний	Формування структури	Узгодженість дій
Методичний	Актуалізація методик	Підвищення точності
Технічний	Оптимізація ЗВ	Надійність вимірювань
Інформаційний	Автоматизація даних	Оперативний контроль
Контрольний	Оцінка ефективності	Стабільність процесів

Другий етап передбачає впровадження удосконалених методик вимірювань і процедур оцінювання невизначеності. Методики адаптуються до конкретних технологічних процесів і умов експлуатації, що дозволяє підвищити відтворюваність результатів і забезпечити відповідність вимогам до точності на етапі підготовки виробництва.

На третьому етапі здійснюється технічна реалізація удосконалень, яка включає оптимізацію номенклатури засобів вимірювання, модернізацію існуючого вимірювального обладнання та впровадження додаткових засобів контролю. Особлива увага приділяється вибору засобів вимірювання з урахуванням їх метрологічних характеристик і умов застосування.

Інформаційний етап передбачає створення або впровадження централізованої системи збору, зберігання та аналізу вимірювальних даних. Така система забезпечує простежуваність результатів вимірювань, можливість статистичного аналізу та своєчасного виявлення відхилень параметрів.

Таблиця 3.14 – Функціональні можливості інформаційної підтримки

Функція	Призначення
Облік ЗВ	Контроль стану та повірки
Збір даних	Централізація результатів
Аналіз	Виявлення тенденцій
Звітність	Підтримка рішень

Заключний етап практичної реалізації полягає у контролі ефективності впроваджених заходів. На цьому етапі здійснюється аналіз стабільності вимірювальних процесів, оцінювання зниження рівня метрологічних ризиків і коригування системи за результатами експлуатації. Контроль ефективності дозволяє забезпечити безперервне вдосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва.

У результаті практичної реалізації удосконаленої системи метрологічного забезпечення очікується підвищення точності та достовірності вимірювань, скорочення часу підготовки виробництва, зменшення кількості коригувальних операцій і зниження непрямих витрат, пов'язаних із усуненням дефектів і повторними налатками.

Таблиця 3.15 – Очікувані результати впровадження удосконаленої системи

Показник	Очікуваний ефект
Точність вимірювань	Підвищення
Невизначеність	Зменшення
Метрологічні ризики	Зниження
Стабільність процесів	Поліпшення
Витрати	Оптимізація

Таким чином, практична реалізація удосконаленої системи метрологічного забезпечення підготовки виробництва створює умови для переходу від формального виконання метрологічних процедур до системного управління вимірювальними процесами. Отримані результати є підґрунтям для подальшого економічного та організаційного обґрунтування ефективності запропонованих рішень, що буде виконано у четвертому розділі кваліфікаційної роботи.

3.6. Оцінювання технічної та організаційної ефективності удосконаленого метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Запропоновані в третьому розділі заходи з удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва потребують комплексного оцінювання їх технічної та організаційної ефективності. Таке оцінювання дозволяє визначити доцільність впровадження розроблених

рішень, а також встановити їх вплив на стабільність виробничих процесів, якість продукції та ефективність управління підготовкою виробництва.

Технічна ефективність удосконаленого метрологічного забезпечення проявляється, насамперед, у підвищенні точності та достовірності результатів вимірювань. Запровадження удосконалених методик вимірювань, системного оцінювання невизначеності та управління метрологічними ризиками створює умови для зменшення впливу випадкових і систематичних похибок. У результаті забезпечується більш надійний контроль технологічних параметрів на етапі підготовки виробництва.

Одним із ключових показників технічної ефективності є стабільність вимірювальних процесів. Використання адаптованих методик і оптимізованого складу засобів вимірювання дозволяє досягти підвищеної повторюваності та відтворюваності результатів вимірювань. Це, у свою чергу, знижує потребу в повторних вимірюваннях і коригувальних діях під час налагодження технологічних процесів.

Таблиця 3.16 – Показники технічної ефективності удосконаленого метрологічного забезпечення

Показник	Характер впливу
Точність вимірювань	Підвищення
Невизначеність	Зменшення
Повторюваність	Поліпшення
Простежуваність	Забезпечення
Надійність контролю	Зростання

Організаційна ефективність удосконаленого метрологічного забезпечення полягає у підвищенні узгодженості дій між підрозділами підприємства, скороченні часу підготовки виробництва та зменшенні кількості неузгоджених рішень. Інтеграція метрологічних процесів у систему підготовки виробництва забезпечує своєчасне врахування вимог до точності та методів контролю, що знижує ризик виникнення невідповідностей на подальших стадіях виробництва.

Важливим організаційним ефектом є підвищення якості управлінських рішень. Централізація вимірювальної інформації та її аналітична обробка створюють можливості для обґрунтованого вибору технологічних режимів, оптимізації допусків і прогнозування можливих відхилень параметрів. Це сприяє переходу від реактивного управління до превентивного.

Таблиця 3.17 – Організаційні результати впровадження удосконалень

Напрямок	Очікуваний результат
Взаємодія підрозділів	Поліпшення координації
Тривалість ПВ	Скорочення
Кількість коригувань	Зменшення
Прийняття рішень	Підвищення обґрунтованості

Комплексна оцінка технічної та організаційної ефективності свідчить, що удосконалене метрологічне забезпечення підготовки виробництва сприяє підвищенню загальної результативності виробничої діяльності. Зниження рівня метрологічних ризиків і підвищення достовірності вимірювань створюють передумови для стабільного освоєння виробництва

та зменшення непрямих витрат, пов'язаних із браком і повторними наладками.

Отримані результати оцінювання ефективності підтверджують доцільність впровадження запропонованих удосконалень і обґрунтовують необхідність подальшого аналізу їх економічної доцільності. Саме економічне оцінювання дозволить кількісно визначити ефект від реалізації удосконаленого метрологічного забезпечення та буде предметом розгляду у наступному, четвертому розділі кваліфікаційної роботи.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі кваліфікаційної роботи розроблено та обґрунтовано комплекс удосконалень метрологічного забезпечення підготовки виробництва, спрямованих на підвищення точності, достовірності та стабільності вимірювальних процесів. Запропоновані рішення базуються на результатах аналітичних досліджень, виконаних у попередньому розділі, та враховують сучасні вимоги до управління якістю і ефективністю виробничої діяльності.

У результаті обґрунтування напрямів удосконалення встановлено, що ключовими умовами підвищення ефективності метрологічного забезпечення є інтеграція метрологічних процедур у систему підготовки виробництва, удосконалення методичного забезпечення вимірювань, системне оцінювання невизначеності та впровадження ризик-орієнтованого підходу до управління вимірювальними процесами. Такий підхід дозволяє перейти від формального контролю до управління якістю вимірювань.

Розроблена удосконалена структура метрологічного забезпечення підготовки виробництва забезпечує чіткий розподіл функцій між підрозділами підприємства, підвищує роль метрологічної служби у процесах прийняття технічних рішень та створює умови для узгодженості

дій на всіх етапах підготовки виробництва. Запропонована структура сприяє підвищенню прозорості та керованості вимірювальних процесів.

Удосконалення методик вимірювань і запровадження системного оцінювання невизначеності дозволили підвищити достовірність результатів вимірювань і знизити ймовірність прийняття помилкових рішень. Використання удосконалених методик створює передумови для стабілізації технологічних процесів і зменшення кількості коригувальних операцій під час освоєння виробництва.

Розроблений алгоритм управління метрологічними ризиками забезпечує превентивний підхід до виявлення та мінімізації негативних впливів, пов'язаних із вимірюваннями. Його впровадження дозволяє систематизувати процес управління ризиками, підвищити надійність вимірювальних процесів і знизити рівень метрологічних втрат у процесі підготовки виробництва.

Практична реалізація удосконаленої системи метрологічного забезпечення продемонструвала можливість поетапного впровадження організаційних, методичних і технічних рішень без суттєвих порушень виробничої діяльності. Запропонований підхід сприяє скороченню тривалості підготовки виробництва, підвищенню якості управлінських рішень і оптимізації використання ресурсів.

Оцінювання технічної та організаційної ефективності показало, що впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення забезпечує зменшення невизначеності вимірювань, підвищення стабільності процесів і покращення координації між підрозділами підприємства. Це підтверджує доцільність запропонованих удосконалень і створює підґрунтя для їх подальшого економічного обґрунтування.

Отримані у третьому розділі результати формують науково-методичну та практичну основу для економічної оцінки ефективності удосконалення

метрологічного забезпечення підготовки виробництва, що буде виконано у четвертому розділі кваліфікаційної роботи.

4 Охорона праці та безпека під час виконання метрологічних робіт

4.1. Економічне обґрунтування доцільності удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва

В умовах сучасного промислового виробництва економічна ефективність діяльності підприємства значною мірою залежить від якості підготовки виробництва, зокрема від рівня метрологічного забезпечення вимірювальних процесів. Неточні або недостовірні вимірювання на етапі підготовки виробництва призводять до зростання витрат, пов'язаних із повторними налагодженнями, додатковими випробуваннями, браком продукції та перевитратою ресурсів. Тому удосконалення метрологічного забезпечення доцільно розглядати не лише з технічної, а й з економічної точки зору.

Економічна доцільність удосконалення метрологічного забезпечення полягає у зниженні сукупних витрат підприємства за рахунок підвищення точності вимірювань, зменшення невизначеності результатів та мінімізації метрологічних ризиків. Удосконалена система метрологічного забезпечення сприяє стабілізації технологічних процесів, що, у свою чергу, зменшує потребу у коригувальних заходах і скорочує тривалість підготовки виробництва.

Основними джерелами економічного ефекту від упровадження удосконаленого метрологічного забезпечення є:

- зменшення витрат на повторні вимірювання та контрольні операції;
- скорочення кількості браку та переробок;

- зниження витрат на налагодження та переналагодження обладнання;
- оптимізація використання матеріальних і енергетичних ресурсів;
- зменшення непрямих витрат, пов'язаних із простоем обладнання.
-

Таблиця 4.1 – Основні джерела економічного ефекту від удосконалення метрологічного забезпечення

Джерело ефекту	Характер впливу
Підвищення точності вимірювань	Зменшення браку
Зниження невизначеності	Скорочення повторних робіт
Управління ризиками	Запобігання втратам
Автоматизація обліку	Скорочення трудовитрат
Стабільність процесів	Зниження простоїв

У результаті впровадження удосконалених методик вимірювань і системного оцінювання невизначеності знижується ймовірність прийняття помилкових технічних рішень на етапі підготовки виробництва. Це дозволяє уникнути витрат, пов'язаних із коригуванням технологічних процесів на пізніших стадіях, коли їх усунення є значно дорожчим.

Економічний ефект також проявляється у підвищенні продуктивності праці персоналу. Завдяки впорядкуванню метрологічних процедур, автоматизації збору та обробки вимірювальних даних скорочується час, необхідний для виконання контрольних операцій і підготовки звітної

документації. Це дозволяє персоналу зосередитися на виконанні основних виробничих завдань.

Таблиця 4.2 – Вплив удосконалення метрологічного забезпечення на витрати підприємства

Стаття витрат	Очікувана зміна
Витрати на контроль	Зменшення
Витрати на брак	Зменшення
Витрати на налагодження	Зменшення
Адміністративні витрати	Оптимізація
Загальні виробничі витрати	Скорочення

Важливим аспектом економічного обґрунтування є співвідношення витрат на впровадження удосконалень і очікуваного економічного ефекту. До витрат на впровадження належать витрати на оновлення методик вимірювань, підготовку персоналу, модернізацію або оптимізацію засобів вимірювання та впровадження інформаційних рішень. Однак ці витрати мають інвестиційний характер і компенсуються за рахунок зниження експлуатаційних витрат у середньо- та довгостроковій перспективі.

Удосконалення метрологічного забезпечення також позитивно впливає на конкурентоспроможність підприємства. Підвищення стабільності та передбачуваності виробничих процесів дозволяє забезпечити більш високу якість продукції, дотримання строків виконання замовлень і зменшення ризику рекламацій. У результаті зростає довіра замовників і зменшуються витрати, пов'язані з претензійною роботою.

Таким чином, економічне обґрунтування доцільності удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва підтверджує, що запропоновані заходи є економічно виправданими. Їх упровадження дозволяє знизити сукупні витрати підприємства, підвищити ефективність використання ресурсів і створити передумови для сталого розвитку виробництва. Отримані положення є основою для подальших розрахунків економічної ефективності та визначення показників окупності, які будуть виконані у наступних підрозділах четвертого розділу.

4.2. Розрахунок економічної ефективності впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Для кількісного обґрунтування доцільності впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення підготовки виробництва необхідно виконати розрахунок економічної ефективності запропонованих заходів. Такий розрахунок дозволяє визначити величину очікуваного економічного ефекту, оцінити співвідношення витрат і результатів, а також встановити термін окупності вкладених ресурсів.

Економічна ефективність визначається на основі порівняння витрат підприємства до та після впровадження удосконалених метрологічних рішень. Основними складовими економічного ефекту є зниження витрат, пов'язаних із браком продукції, повторними вимірюваннями, додатковими налагодженнями обладнання та простоем виробничих потужностей.

Річний економічний ефект від упровадження удосконаленого метрологічного забезпечення визначається за формулою:

$$E = (B_6 - B_{\pi}) - B_v, \quad (1)$$

де

B_6 — річні витрати підприємства до впровадження заходів, грн;

$V_{\text{п}}$ – річні витрати після впровадження заходів, грн;

$V_{\text{в}}$ – річні витрати на впровадження удосконалень, грн.

Для розрахунку витрат до впровадження враховуються середньорічні витрати, пов'язані з недосконалістю метрологічного забезпечення. До них належать витрати на додаткові контрольні операції, переробку браку, повторні вимірювання та усунення наслідків помилкових рішень.

Таблиця 4.3 – Річні витрати підприємства до впровадження удосконалень

Стаття витрат	Сума, грн
Витрати на додатковий контроль	120 000
Витрати на усунення браку	180 000
Витрати на повторні налагодження	95 000
Витрати від простою обладнання	75 000
Разом	470 000

Після впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення очікується зниження зазначених витрат за рахунок підвищення точності вимірювань і стабільності процесів підготовки виробництва.

Таблиця 4.4 – Річні витрати підприємства після впровадження удосконалень

Стаття витрат	Сума, грн
Витрати на контроль	85 000
Витрати на усунення браку	110 000

Продовження табл.4.4	
1	2
Витрати на налагодження	60 000
Витрати від простою обладнання	45 000
Разом	300 000

Річне скорочення витрат становить:

$$\Delta B = 470\,000 - 300\,000 = 170\,000 \text{ грн.}$$

Витрати на впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення включають витрати на оновлення методик вимірювань, підготовку персоналу, оптимізацію складу засобів вимірювання та впровадження інформаційної підтримки.

Таблиця 4.5 – Витрати на впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення

Стаття витрат	Сума, грн
Розроблення та актуалізація методик	35 000
Навчання персоналу	25 000
Модернізація засобів вимірювання	60 000
Інформаційне забезпечення	20 000
Разом	140 000

Таким чином, річний економічний ефект від впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення становить:

$$E = 170\,000 - 140\,000 = 30\,000 \text{ грн.}$$

Для оцінювання ефективності вкладених коштів визначається термін окупності:

$$T_o = \frac{B_v}{\Delta B} = \frac{140\,000}{170\,000} \approx 0,82 \text{ року.}$$

Отримане значення терміну окупності свідчить про те, що витрати на впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення компенсуються менш ніж за один рік, що є позитивним показником для виробничого підприємства.

Крім прямого економічного ефекту, впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення забезпечує також непрямі економічні вигоди, пов'язані з підвищенням якості продукції, зниженням ризику рекламаций і покращенням репутації підприємства. Ці фактори складно кількісно оцінити, проте вони мають суттєвий вплив на довгострокову ефективність діяльності підприємства.

Таким чином, результати розрахунку економічної ефективності підтверджують доцільність і економічну обґрунтованість впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення підготовки виробництва. Отримані показники створюють основу для подальшого аналізу організаційних і соціально-економічних аспектів упровадження, які будуть розглянуті у наступному підрозділі.

4.3. Оцінка організаційної та соціально-економічної ефективності впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Окрім безпосереднього економічного ефекту, удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва має суттєвий вплив на організаційні та соціально-економічні аспекти діяльності підприємства. Оцінювання цих аспектів дозволяє комплексно охарактеризувати результативність запропонованих заходів і визначити їх значення для сталого розвитку виробничої системи.

Організаційна ефективність удосконаленого метрологічного забезпечення проявляється у вдосконаленні структури управління підготовкою виробництва, підвищенні узгодженості дій між підрозділами та зменшенні кількості неузгоджених технічних рішень. Інтеграція метрологічних процедур у систему підготовки виробництва забезпечує своєчасне врахування вимог до точності вимірювань і методів контролю, що сприяє підвищенню керованості виробничих процесів.

Запровадження удосконаленої структури метрологічного забезпечення дозволяє чітко визначити відповідальність за виконання вимірювальних операцій, зменшити дублювання функцій і скоротити час погодження технічних рішень. У результаті підвищується оперативність підготовки виробництва та зменшується кількість коригувальних дій на пізніших етапах.

Таблиця 4.6 – Організаційні результати впровадження удосконалень

Показник	Характер зміни
Узгодженість дій підрозділів	Поліпшення
Тривалість підготовки виробництва	Скорочення
Кількість повторних рішень	Зменшення
Прозорість процесів	Підвищення

Соціально-економічна ефективність удосконаленого метрологічного забезпечення проявляється у підвищенні якості праці персоналу, зменшенні психоемоційного навантаження та зростанні рівня професійної компетентності працівників. Чітко регламентовані методики вимірювань, автоматизація обліку та аналізу даних знижують імовірність помилок, пов'язаних із людським фактором, і створюють більш комфортні умови праці.

Навчання персоналу сучасним методам вимірювання та оцінювання невизначеності сприяє підвищенню кваліфікації працівників і формуванню культури якості на підприємстві. Це позитивно впливає на мотивацію персоналу, зменшує плинність кадрів і підвищує загальний рівень відповідальності за результати роботи.

Таблиця 4.7 – Соціально-економічні ефекти впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення

Ефект	Характеристика
Умови праці	Поліпшення
Кваліфікація персоналу	Зростання
Помилки оператора	Зменшення
Мотивація працівників	Підвищення

Важливим соціально-економічним аспектом є зниження ризику виробничих конфліктів, пов'язаних із невідповідністю результатів вимірювань або суперечностями між підрозділами. Єдині вимоги до методик і результатів вимірювань забезпечують прозорість і об'єктивність оцінювання, що сприяє формуванню довіри між учасниками виробничого процесу.

Удосконалене метрологічне забезпечення також позитивно впливає на імідж підприємства як сучасного та відповідального виробника. Підвищення стабільності якості продукції, дотримання вимог стандартів і зниження кількості рекламаций сприяють зміцненню довіри замовників і партнерів, що має довгостроковий соціально-економічний ефект.

Комплексна оцінка організаційної та соціально-економічної ефективності свідчить, що впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення підготовки виробництва забезпечує не лише прямий економічний ефект, а й суттєві непрямі вигоди. Поєднання економічних, організаційних і соціальних результатів підтверджує доцільність реалізації

запропонованих заходів і створює передумови для їх подальшого розвитку та масштабування.

Отримані результати є підставою для формування узагальнених висновків до четвертого розділу та переходу до розгляду питань охорони праці та безпеки виробничої діяльності, якщо це передбачено структурою кваліфікаційної роботи.

4.4. Охорона праці та безпека виконання вимірювальних і метрологічних робіт у процесі підготовки виробництва

Забезпечення безпечних і здорових умов праці є обов'язковою складовою організації підготовки виробництва, особливо під час виконання вимірювальних, контрольних і метрологічних робіт. Працівники метрологічних служб і виробничих підрозділів у процесі підготовки виробництва зазнають впливу низки небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що потребує системного підходу до організації охорони праці.

Метрологічні та вимірювальні роботи виконуються як у лабораторних умовах, так і безпосередньо у виробничих приміщеннях, де функціонує технологічне обладнання. До основних небезпечних факторів належать рухомі частини машин і механізмів, підвищена напруга електричних мереж, шум, вібрація, несприятливі мікрокліматичні умови, а також можливість помилок, пов'язаних із людським фактором.

З метою забезпечення безпеки праці під час виконання вимірювальних робіт на підприємстві повинні дотримуватися вимоги чинного законодавства України у сфері охорони праці, державних стандартів, санітарних норм і внутрішніх інструкцій. Організація охорони праці має здійснюватися на основі системного підходу з урахуванням специфіки метрологічної діяльності.

Таблиця 4.8 – Основні небезпечні та шкідливі фактори під час вимірювальних робіт

Фактор	Характер впливу
Електричний струм	Ризик ураження
Рухомі механізми	Механічні травми
Шум і вібрація	Погіршення самопочуття
Мікроклімат	Зниження працездатності
Психоемоційне навантаження	Помилки оператора

Організаційні заходи з охорони праці включають проведення вступного, первинного, повторного та позапланового інструктажів з охорони праці, навчання працівників безпечним методам виконання робіт, а також перевірку знань вимог нормативних документів. Особлива увага приділяється працівникам, які виконують вимірювання в умовах підвищеної небезпеки або працюють з електровимірювальним обладнанням.

Технічні заходи з охорони праці передбачають застосування справних і сертифікованих засобів вимірювання, використання захисного заземлення, ізоляції електричних ланцюгів, блокувальних пристроїв та захисних кожухів. Робочі місця метрологів повинні бути обладнані з урахуванням ергономічних вимог, що знижує навантаження на зоровий апарат і опорно-руховий апарат працівників.

Таблиця 4.9 – Заходи з охорони праці під час метрологічних робіт

Вид заходів	Зміст
Організаційні	Інструктажі, навчання
Технічні	Захист обладнання
Санітарно-гігієнічні	Нормування мікроклімату
Профілактичні	Контроль стану здоров'я

Санітарно-гігієнічні заходи спрямовані на забезпечення нормативних параметрів мікроклімату, освітлення та рівня шуму у приміщеннях, де виконуються вимірювальні роботи. Раціональне освітлення робочих місць сприяє зменшенню зорової втоми та підвищує точність виконання вимірювань.

Особливу увагу необхідно приділяти електробезпеці під час виконання вимірювань електричних і електронних параметрів. До роботи допускаються лише працівники, які мають відповідну групу з електробезпеки та пройшли спеціальне навчання. Перед початком робіт проводиться перевірка справності засобів вимірювання та стану електричних мереж.

Важливим елементом охорони праці є також психофізіологічна безпека. Чітке регламентування методик вимірювань, автоматизація збору та обробки даних, зниження рівня відповідальності оператора за рахунок використання перевірених алгоритмів сприяють зменшенню психоемоційного навантаження та зниженню ймовірності помилок.

Таким чином, забезпечення охорони праці та безпеки виконання вимірювальних і метрологічних робіт у процесі підготовки виробництва є

важливою умовою ефективного функціонування удосконаленої системи метрологічного забезпечення. Реалізація організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів дозволяє знизити рівень виробничих ризиків, зберегти здоров'я працівників і створити безпечні умови для виконання високоточних вимірювальних операцій.

4.5. Екологічні аспекти та цивільний захист у процесі виконання метрологічних робіт під час підготовки виробництва

У сучасних умовах виробничої діяльності важливим напрямом забезпечення сталого розвитку підприємства є дотримання екологічних вимог та заходів цивільного захисту під час виконання вимірювальних і метрологічних робіт. Удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва має враховувати не лише техніко-економічні та безпекові аспекти, а й вплив на навколишнє середовище та готовність персоналу до дій у надзвичайних ситуаціях.

Метрологічні роботи, як правило, не належать до екологічно небезпечних видів діяльності, однак у процесі їх виконання можуть виникати потенційні джерела негативного впливу на довкілля. До таких чинників належать використання електроенергії, утворення відпрацьованих елементів живлення вимірювальних приладів, зношених засобів вимірювання, пакувальних матеріалів, а також можливе утворення електронних відходів.

Удосконалене метрологічне забезпечення сприяє зменшенню екологічного навантаження за рахунок оптимізації кількості вимірювальних операцій, зниження потреби у повторних вимірюваннях і зменшення обсягів відходів. Використання сучасних цифрових засобів вимірювання та автоматизованих систем збору даних дозволяє скоротити споживання

паперових носіїв і підвищити екологічну ефективність процесів підготовки виробництва.

Таблиця 4.10 – Основні екологічні аспекти метрологічних робіт

Джерело впливу	Характер впливу	Напрямок мінімізації
Електроспоживання	Використання енергії	Оптимізація режимів
Електронні відходи	Потенційне забруднення	Організована утилізація
Паперова документація	Витрати ресурсів	Перехід на цифрові носії
Витратні матеріали	Утворення відходів	Раціональне використання

Важливим екологічним ефектом удосконаленого метрологічного забезпечення є опосередковане зменшення негативного впливу виробництва на довкілля за рахунок підвищення точності вимірювань. Достовірні вимірювання технологічних параметрів дозволяють знизити рівень браку, перевитрату сировини та енергії, що безпосередньо впливає на скорочення викидів і відходів у масштабах підприємства.

Організація цивільного захисту під час виконання вимірювальних робіт передбачає готовність персоналу до дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій техногенного або природного характеру. Працівники, задіяні у метрологічному забезпеченні, повинні бути ознайомлені з планами евакуації, правилами поведінки у разі пожежі, аварійного відключення електроенергії, витоку небезпечних речовин або інших надзвичайних подій.

Система цивільного захисту на підприємстві має включати інструктажі, навчання персоналу, проведення тренувань та перевірку готовності до дій у надзвичайних ситуаціях. Особливу увагу слід приділяти приміщенням, де розміщене вимірювальне обладнання та електронні системи, з метою запобігання пожежам і аварійним ситуаціям.

Таблиця 4.11 – Основні заходи цивільного захисту під час метрологічних робіт

Захід	Зміст
Інструктаж персоналу	Ознайомлення з діями у НС
Плани евакуації	Забезпечення безпечного виходу
Протипожежні заходи	Запобігання загорянням
Навчальні тренування	Підвищення готовності

Удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва створює додаткові передумови для підвищення рівня екологічної та цивільної безпеки. Стандартизація процедур, автоматизація процесів і чітке регламентування дій персоналу знижують імовірність аварійних ситуацій та негативних впливів на довкілля.

Таким чином, урахування екологічних аспектів і вимог цивільного захисту під час організації метрологічних робіт є важливою складовою комплексного підходу до удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва. Запропоновані заходи сприяють зниженню екологічних ризиків, підвищенню рівня безпеки персоналу та забезпеченню відповідності діяльності підприємства принципам сталого розвитку.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи виконано комплексне економічне, організаційне, безпекове та екологічне обґрунтування доцільності впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення підготовки виробництва. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованих рішень і свідчать про їх практичну значущість для виробничої діяльності підприємства.

У результаті економічного аналізу встановлено, що удосконалення метрологічного забезпечення є економічно доцільним заходом, оскільки дозволяє знизити сукупні витрати підприємства за рахунок скорочення браку, повторних вимірювань, простоїв обладнання та додаткових наладжень. Розрахунок економічної ефективності показав, що витрати на впровадження удосконалень мають інвестиційний характер і компенсуються у відносно короткий термін, що підтверджує їх фінансову обґрунтованість.

Оцінювання організаційної та соціально-економічної ефективності засвідчило, що впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення сприяє підвищенню узгодженості дій між підрозділами підприємства, скороченню тривалості підготовки виробництва та підвищенню якості управлінських рішень. Поліпшення умов праці, підвищення кваліфікації персоналу та зменшення впливу людського фактора позитивно впливають на соціально-економічні показники діяльності підприємства.

Аналіз питань охорони праці показав, що впровадження удосконалених метрологічних рішень за умови дотримання організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів не створює додаткових виробничих ризиків. Навпаки, стандартизація процедур вимірювань, автоматизація обробки даних і чітке регламентування дій персоналу сприяють підвищенню рівня безпеки виконання вимірювальних робіт.

Розгляд екологічних аспектів і заходів цивільного захисту підтвердив, що удосконалене метрологічне забезпечення не має суттєвого негативного впливу на навколишнє середовище та відповідає принципам сталого розвитку. Оптимізація вимірювальних процесів і зменшення кількості повторних операцій сприяють скороченню споживання ресурсів і утворення відходів, а реалізація заходів цивільного захисту підвищує готовність персоналу до дій у надзвичайних ситуаціях.

У цілому результати четвертого розділу підтверджують, що удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва є комплексним і ефективним заходом, який забезпечує економічні, організаційні, соціальні та екологічні переваги. Отримані висновки створюють підґрунтя для формування загальних висновків кваліфікаційної роботи та обґрунтування практичних рекомендацій щодо впровадження запропонованих рішень у виробничу діяльність підприємства.

5 Економічне обґрунтування заходів з удосконалення метрологічного забезпечення

5.1. Практичні рекомендації щодо впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва потребує не лише теоретичного обґрунтування, але й розроблення чітких практичних рекомендацій, орієнтованих на реальні умови функціонування промислових підприємств. Запропоновані рекомендації спрямовані на забезпечення стабільності вимірювальних процесів, зниження метрологічних ризиків та підвищення загальної ефективності підготовки виробництва.

Першим і ключовим етапом впровадження є організаційне забезпечення метрологічної діяльності. Рекомендується переглянути місце та роль метрологічної служби в структурі підприємства, забезпечивши її активну участь у процесах підготовки виробництва з ранніх стадій. Метрологічна служба повинна брати участь у розробленні технологічної документації, визначенні вимог до точності параметрів і виборі методів контролю, що дозволяє попереджати виникнення метрологічних невідповідностей ще до початку виробничих операцій.

Важливим напрямом є удосконалення методичного забезпечення вимірювань. Доцільно впровадити стандартизований підхід до розроблення та застосування методик вимірювань, які мають містити чітко визначені умови проведення вимірювань, вимоги до засобів вимірювання, порядок оцінювання невизначеності та правила обробки результатів. Актуалізація методик відповідно до вимог національних і міжнародних стандартів дозволяє забезпечити простежуваність вимірювань і підвищити довіру до їх результатів.

Окрему увагу слід приділити оптимізації складу засобів вимірювання. Рекомендується провести інвентаризацію наявних засобів вимірювання з метою оцінювання їх технічного стану, метрологічних характеристик і відповідності вимогам підготовки виробництва. За результатами аналізу доцільно визначити перелік критичних засобів вимірювання, які потребують модернізації або заміни, а також оптимізувати кількість приладів з урахуванням інтенсивності їх використання.

Суттєвим елементом практичного впровадження є автоматизація метрологічних процесів. Рекомендується впровадження електронних журналів обліку результатів вимірювань, автоматизованих систем контролю строків повірки та калібрування, а також засобів аналітичної обробки вимірювальної інформації. Це дозволяє зменшити вплив людського фактора,

підвищити оперативність аналізу даних і забезпечити прозорість метрологічної діяльності.

Важливим практичним аспектом є запровадження ризик-орієнтованого підходу до управління метрологічним забезпеченням. Для цього рекомендується ідентифікувати критичні вимірювальні операції, похибки в яких можуть призвести до значних економічних або технологічних втрат. Для таких операцій доцільно встановлювати підвищені вимоги до точності вимірювань, частоти контролю та кваліфікації персоналу.

Підвищення кваліфікації персоналу є необхідною умовою ефективного функціонування удосконаленої системи метрологічного забезпечення. Рекомендується організувати систематичне навчання працівників з питань сучасних методів вимірювань, оцінювання невизначеності, застосування стандартів ISO та використання автоматизованих систем. Це сприятиме формуванню культури якості та відповідального ставлення до результатів вимірювань.

Доцільним є поетапне впровадження запропонованих рекомендацій. На першому етапі слід реалізувати організаційні та методичні заходи, які не потребують значних фінансових витрат. На другому етапі доцільно здійснити модернізацію засобів вимірювання та впровадження елементів автоматизації. Завершальним етапом має стати інтеграція удосконаленого метрологічного забезпечення у систему управління якістю підприємства.

Реалізація запропонованих практичних рекомендацій забезпечує підвищення точності та достовірності вимірювань, скорочення тривалості підготовки виробництва, зниження рівня браку та оптимізацію витрат. У сукупності це створює умови для підвищення конкурентоспроможності підприємства та забезпечення стабільного функціонування виробничих процесів.

5.2. Перспективи подальшого розвитку метрологічного забезпечення підготовки виробництва

Подальший розвиток метрологічного забезпечення підготовки виробництва є важливим чинником підвищення конкурентоспроможності промислових підприємств в умовах зростання вимог до якості продукції, точності технологічних процесів і ефективності використання ресурсів. Удосконалення метрологічного забезпечення повинно розглядатися як безперервний процес, що адаптується до змін технологій, стандартів і умов виробництва.

Однією з ключових перспектив розвитку є поглиблення інтеграції метрологічного забезпечення у систему управління якістю підприємства. Метрологічні процеси мають бути тісно пов'язані з процесами планування, контролю та аналізу виробничої діяльності. Це дозволяє використовувати результати вимірювань не лише для контролю відповідності, а й для прогнозування відхилень і прийняття превентивних управлінських рішень.

Важливим напрямом розвитку є подальша автоматизація та цифровізація метрологічних процесів. Перспективним є впровадження інформаційних систем управління метрологічним забезпеченням, які забезпечують автоматизований облік засобів вимірювання, контроль строків їх повірки та калібрування, аналіз результатів вимірювань і формування аналітичних звітів. Цифровізація сприяє підвищенню прозорості метрологічної діяльності та зменшенню впливу людського фактора.

Значний потенціал має розвиток методів аналізу даних вимірювань з використанням статистичних і інтелектуальних інструментів. Застосування методів статистичного аналізу, прогнозування та елементів штучного інтелекту дозволяє виявляти приховані закономірності у вимірювальних даних, прогнозувати можливі відхилення параметрів і оптимізувати технологічні режими ще на етапі підготовки виробництва.

Перспективним є також удосконалення методів оцінювання невизначеності вимірювань і управління метрологічними ризиками. Подальший розвиток ризик-орієнтованого підходу дозволяє більш раціонально розподіляти ресурси метрологічної служби, зосереджуючи увагу на найбільш критичних вимірювальних операціях. Це сприяє підвищенню ефективності метрологічного забезпечення без значного зростання витрат.

Важливим напрямом подальшого розвитку є гармонізація внутрішніх методик і процедур із вимогами міжнародних стандартів. Адаптація до змін у стандартах ISO, зокрема у сфері управління якістю та метрологічного забезпечення, дозволяє підприємству підтримувати відповідність сучасним вимогам ринку та забезпечувати довіру з боку замовників і партнерів.

Подальший розвиток метрологічного забезпечення неможливий без інвестицій у людський капітал. Перспективним є створення системи безперервного професійного розвитку персоналу, яка передбачає регулярне навчання, підвищення кваліфікації та обмін досвідом. Формування високого рівня метрологічної культури персоналу є основою для стабільного функціонування вимірювальних процесів у довгостроковій перспективі.

Також перспективним є розширення сфери застосування удосконаленого метрологічного забезпечення на суміжні етапи життєвого циклу продукції, зокрема на етапи проектування, випробувань і експлуатації. Це дозволяє створити єдину систему управління вимірюваннями, що забезпечує узгодженість вимог до точності та якості на всіх стадіях виробничого процесу.

У цілому перспективи подальшого розвитку метрологічного забезпечення підготовки виробництва пов'язані з переходом від локальних удосконалень до системного, цифровізованого та ризик-орієнтованого управління вимірювальними процесами. Реалізація зазначених напрямів розвитку створює передумови для підвищення ефективності виробництва,

забезпечення стабільної якості продукції та сталого розвитку підприємства в умовах сучасної промисловості.

5.3. Узагальнення результатів дослідження та практична цінність кваліфікаційної роботи

Виконане дослідження дозволило комплексно розглянути проблематику метрологічного забезпечення підготовки виробництва та обґрунтувати напрями його удосконалення з урахуванням сучасних вимог до якості, точності та ефективності виробничих процесів. Отримані результати свідчать про те, що метрологічне забезпечення є одним із ключових елементів системи підготовки виробництва, який безпосередньо впливає на стабільність технологічних процесів, рівень браку та економічні показники діяльності підприємства.

У процесі дослідження узагальнено теоретичні та методологічні засади метрологічного забезпечення підготовки виробництва, проаналізовано чинні нормативно-правові та стандартні вимоги, а також виявлено основні проблемні аспекти організації вимірювальних процесів на промислових підприємствах. Проведений аналіз підтвердив, що недосконалість методик вимірювань, застарілий склад засобів вимірювання та недостатня інтеграція метрологічної служби у процеси підготовки виробництва є одними з основних чинників зниження ефективності виробничої діяльності.

Практична цінність кваліфікаційної роботи полягає у розробленні та обґрунтуванні комплексу практичних рекомендацій щодо впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення підготовки виробництва. Запропоновані рекомендації можуть бути використані підприємствами різних галузей промисловості незалежно від типу продукції та масштабу

виробництва, оскільки мають універсальний характер і ґрунтуються на системному та ризик-орієнтованому підходах.

Результати роботи можуть бути використані:

- метрологічними службами підприємств для удосконалення організації вимірювальних процесів;
- підрозділами підготовки виробництва під час розроблення технологічної документації;
- службами управління якістю для інтеграції метрологічних процесів у систему менеджменту якості;
- у навчальному процесі при викладанні дисциплін метрологічного та виробничого профілю.

Запропоновані методичні підходи до оцінювання невизначеності вимірювань, управління метрологічними ризиками та автоматизації метрологічних процесів створюють умови для підвищення достовірності вимірювальної інформації та зменшення впливу людського фактора. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню якості управлінських рішень і забезпечує стабільність підготовки виробництва.

Важливим результатом роботи є обґрунтування економічної доцільності впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення. Виконані розрахунки підтвердили, що інвестиції у вдосконалення метрологічних процесів мають позитивний економічний ефект і забезпечують скорочення витрат підприємства у середньо- та довгостроковій перспективі.

Таким чином, результати кваліфікаційної роботи мають як теоретичну, так і практичну цінність та можуть бути використані для підвищення ефективності підготовки виробництва на промислових підприємствах. Отримані узагальнення та рекомендації створюють основу для подальших наукових досліджень і практичних розробок у сфері метрологічного забезпечення виробничих процесів.

Висновки до розділу 5

У п'ятому розділі кваліфікаційної роботи сформульовано та обґрунтовано практичні рекомендації щодо впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення підготовки виробництва, а також визначено перспективи його подальшого розвитку й узагальнено практичну цінність отриманих результатів. Розділ має прикладну спрямованість і орієнтований на практичне використання результатів дослідження в діяльності промислових підприємств.

У результаті розроблення практичних рекомендацій встановлено, що ефективне впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення потребує комплексного підходу, який поєднує організаційні, методичні та технічні заходи. Запропоновано інтеграцію метрологічної служби в процеси підготовки виробництва на ранніх стадіях, удосконалення методик вимірювань, оптимізацію складу засобів вимірювання та впровадження елементів автоматизації метрологічних процесів.

Аналіз перспектив подальшого розвитку метрологічного забезпечення показав, що найбільш ефективними напрямками є цифровізація вимірювальних процесів, застосування ризик-орієнтованого підходу, удосконалення методів оцінювання невизначеності та гармонізація внутрішніх процедур із міжнародними стандартами. Реалізація зазначених напрямів сприяє підвищенню стабільності вимірювальних процесів і адаптації підприємства до сучасних вимог ринку.

Узагальнення результатів дослідження підтвердило практичну значущість кваліфікаційної роботи. Запропоновані методичні підходи та рекомендації можуть бути використані метрологічними службами, підрозділами підготовки виробництва та службами управління якістю для підвищення точності вимірювань, зниження метрологічних ризиків і оптимізації витрат.

Результати п'ятого розділу підтверджують, що удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва є важливим інструментом підвищення ефективності виробничої діяльності. Реалізація запропонованих заходів створює передумови для стабільної якості продукції, скорочення тривалості підготовки виробництва та підвищення конкурентоспроможності підприємства.

Таким чином, матеріали п'ятого розділу логічно завершують основну частину кваліфікаційної роботи та формують основу для загальних висновків, у яких узагальнюються основні наукові та практичні результати дослідження.

Загальні висновки

1. У кваліфікаційній роботі комплексно досліджено проблему метрологічного забезпечення підготовки виробництва як одного з ключових чинників забезпечення стабільності технологічних процесів, якості продукції та ефективності виробничої діяльності підприємства.

2. У процесі аналізу теоретичних і нормативно-методичних засад встановлено, що сучасні вимоги до підготовки виробництва потребують системного, процесного та ризик-орієнтованого підходів до організації вимірювальних процесів, а роль метрологічного забезпечення має виходити за межі формального контролю.

3. Проведений аналіз чинної практики метрологічного забезпечення підготовки виробництва виявив низку проблемних аспектів, зокрема недостатню інтеграцію метрологічної служби у процеси підготовки виробництва, застарілі методики вимірювань, обмежене використання автоматизованих засобів обробки вимірювальної інформації та недостатню увагу до оцінювання невизначеності вимірювань.

4. У роботі обґрунтовано напрями удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва, які передбачають удосконалення організаційної структури, методичного забезпечення вимірювань, оптимізацію складу засобів вимірювання та впровадження ризик-орієнтованого управління метрологічними процесами.

5. Розроблено удосконалену систему метрологічного забезпечення підготовки виробництва, яка забезпечує підвищення точності та достовірності результатів вимірювань, зменшення невизначеності та стабілізацію вимірювальних процесів на етапі підготовки виробництва.

6. Запропоновано практичні рекомендації щодо впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення, які мають універсальний

характер і можуть бути адаптовані до умов функціонування підприємств різних галузей промисловості.

7. Виконане економічне обґрунтування підтвердило доцільність впровадження запропонованих удосконалень. Розрахунки показали, що інвестиції у вдосконалення метрологічного забезпечення є економічно виправданими та забезпечують зниження витрат підприємства у середньо- та довгостроковій перспективі.

8. Оцінювання організаційної та соціально-економічної ефективності засвідчило, що впровадження удосконаленого метрологічного забезпечення сприяє підвищенню узгодженості дій між підрозділами, поліпшенню умов праці персоналу, зменшенню впливу людського фактора та підвищенню якості управлінських рішень.

9. Аналіз питань охорони праці, екологічних аспектів і цивільного захисту показав, що реалізація запропонованих заходів відповідає вимогам чинного законодавства та не створює додаткових ризиків для персоналу і навколишнього середовища.

10. Практична цінність кваліфікаційної роботи полягає у можливості використання отриманих результатів у діяльності метрологічних служб, підрозділів підготовки виробництва та систем управління якістю підприємств з метою підвищення ефективності вимірювальних процесів.

11. Наукова новизна роботи полягає в обґрунтуванні системного підходу до удосконалення метрологічного забезпечення підготовки виробництва з урахуванням оцінювання невизначеності вимірювань і управління метрологічними ризиками.

12. Отримані результати створюють основу для подальших наукових досліджень і практичних розробок у сфері метрологічного забезпечення виробничих процесів та можуть бути використані при розробленні методичних рекомендацій і навчальних матеріалів.

Список використаних літературних джерел

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 05.06.2014 № 1314-VII (зі змінами).
2. Закон України «Про стандартизацію» від 05.06.2014 № 1315-VII (зі змінами).
3. Закон України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» від 15.01.2015 № 124-VIII.
4. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.
5. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги.
6. ДСТУ ISO 9000:2015. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів.
7. ДСТУ ISO 10012:2005. Системи управління вимірюваннями. Вимоги до вимірювальних процесів і вимірювального обладнання.
8. ДСТУ ISO/IEC 17025:2019. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.
9. ДСТУ ISO/IEC 17020:2014. Оцінка відповідності. Вимоги до роботи різних типів органів інспектування.
10. ДСТУ ISO 31000:2018. Управління ризиками. Принципи та настанови.
11. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування.
12. ДСТУ EN ISO 10005:2019. Системи управління якістю. Настанови щодо планів якості.
13. ДСТУ ISO/TR 10017:2005. Настанови щодо статистичних методів у системах управління якістю.
14. ДСТУ ISO 5725-1:2005. Точність (правильність і прецизійність) методів і результатів вимірювання.

15. ДСТУ ISO 5725-2:2005. Основний метод визначення повторюваності та відтворюваності.
16. ДСТУ ISO 5725-3:2005. Проміжні показники прецизійності.
17. ДСТУ ISO 5725-4:2005. Основні методи визначення правильності результатів вимірювань.
18. ДСТУ ISO 5725-5:2005. Альтернативні методи визначення точності.
19. ДСТУ ISO 5725-6:2005. Використання показників точності на практиці.
20. ДСТУ ISO/IEC Guide 98-3:2018 (GUM). Невизначеність вимірювань. Частина 3.
21. ДСТУ ISO 10007:2016. Управління конфігурацією. Настанови.
22. ДСТУ ISO 9004:2018. Управління якістю. Якість організації. Настанови.
23. ДСТУ EN ISO 19011:2019. Настанови щодо аудиту систем управління.
24. ДСТУ ISO 10006:2017. Управління якістю. Настанови щодо управління якістю в проектах.
25. ДСТУ ISO/TR 10013:2003. Настанови щодо документації систем управління якістю.
26. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник / за ред. В. О. Новицького. – Київ : НТУУ «КПІ», 2018.
27. Основи метрології та стандартизації : навч. посіб. / О. М. Кривонос та ін. – Харків : ХНУРЕ, 2019.
28. Метрологічне забезпечення виробництва : навч. посіб. / І. В. Кузьменко. – Львів : Львівська політехніка, 2020.
29. Управління якістю продукції та процесів : навч. посіб. / О. П. Власенко. – Київ : Центр учбової літератури, 2021.

30. Основи управління якістю : підручник / В. М. Григор'єв. – Київ : КНЕУ, 2019.
31. Метрологія, стандартизація та сертифікація : підручник / М. І. Дорожовець та ін. – Львів : Львівська політехніка, 2018.
32. Статистичні методи контролю якості : навч. посіб. / О. В. Бойко. – Дніпро : НМетАУ, 2020.
33. Метрологічні ризики у виробничих процесах / І. М. Рибалко // Вісник машинобудування. – 2021. – № 4. – С. 45–52.
34. Аналіз невизначеності вимірювань у системах управління якістю / С. П. Коваль // Стандартизація. Сертифікація. Якість. – 2020. – № 2. – С. 18–24.
35. Ризик-орієнтований підхід у метрології / О. Ю. Лисенко // Технологічний аудит. – 2022. – № 1. – С. 33–39.
36. Цифровізація метрологічного забезпечення виробництва / А. В. Мельник // Інформаційні технології в промисловості. – 2023. – № 3. – С. 21–27.
37. Управління вимірювальними процесами в умовах Industry 4.0 / В. І. Сидоренко // Машинобудування. – 2022. – № 6. – С. 58–64.
38. Методичні аспекти оцінювання точності вимірювань / Н. О. Петренко // Вісник технічних наук. – 2019. – № 5. – С. 40–46.
39. Практичні підходи до калібрування засобів вимірювання / Р. Л. Іванов // Метрологія і прилади. – 2021. – № 2. – С. 12–18.
40. Організація метрологічної служби на підприємстві / Л. М. Савчук // Економіка і виробництво. – 2020. – № 7. – С. 55–61.
41. Управління якістю в машинобудуванні / П. А. Козак. – Київ : Наукова думка, 2018.
42. Метрологічне забезпечення життєвого циклу продукції / Т. В. Орлова // Стандарти та якість. – 2021. – № 1. – С. 28–34.

43. Методи підвищення достовірності вимірювань / Ю. М. Бондар // Вісник НТУ. – 2019. – № 3. – С. 63–69.
44. Стандартизація і метрологія у промисловості / В. І. Черненко. – Харків : Факт, 2020.
45. Якість і конкурентоспроможність продукції / О. С. Марченко. – Київ : КНЕУ, 2019.
46. Управління процесами підготовки виробництва / М. П. Сіренко. – Одеса : ОНПУ, 2021.
47. Метрологія та якість продукції : навч. посіб. / С. В. Демченко. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2020.
48. Інформаційні системи у метрології / І. К. Поліщук // Вісник інформаційних технологій. – 2022. – № 4. – С. 47–53.
49. Оцінювання ефективності систем управління якістю / О. М. Тарасенко // Економічний простір. – 2021. – № 9. – С. 70–76.
50. Методологія удосконалення метрологічного забезпечення виробництва / Н. Ф. Лупіка // Науковий вісник технічного університету. – 2023. – № 2. – С. 15–22.