

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра Інженерія вагонів та якість продукції

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЯКОСТІ КОНТРОЛЮ ВІДНОВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ

Пояснювальна записка і розрахунки
до кваліфікаційної роботи магістра

МКРМЕ.175.26.21.00. ПЗ

Розробив:

здобувач групи 217-ЯСС-324

спеціальності 175 «Інформаційно-
вимірювальні технології»

(роботу виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)



Олександр СОЛОНЧУК

Керівник:

доктор технічних наук, професор

Едвін ГЕВОРКЯН

Рецензент:

доцент, кандидат технічних наук,
доцент кафедри ЕТЕМ

Володимир НЕРУБАЦЬКИЙ

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет «Механіко-енергетичний»

Кафедра «Інженерія вагонів та якість продукції»

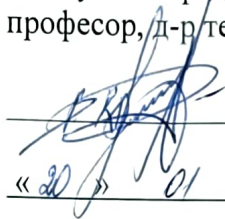
Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр

Спеціальність: 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

Освітня програма: Якість, стандартизація та сертифікація

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІВ та ЯП,
професор, д-р техн. наук



Василь РАВЛЮК

« 20 » 01 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу магістра

Солончуку Олександру Петровичу

1. Тема: «Вдосконалення якості контролю відновлених деталей» керівник: Геворкян Едвін Спартаківич затверджена розпорядженням по механіко-енергетичному факультету від «24» лютого 2025 року № 21/25.
2. Строк подання студентом роботи «30» грудня 2025 року
3. Вихідні дані до роботи: нормативно-правові акти України та міжнародні стандарти у сфері технічного регулювання, промислової безпеки та контролю якості; стандарти, що регламентують методи контролю якості та приймання відновлених деталей; наукова та технічна література з питань технологій відновлення деталей, неруйнівного контролю, механічних випробувань та метрологічного забезпечення якості; виробничо-технічна документація, карти відновлення, журнали контролю, статистичні дані щодо браку та надійності ремонту у підрозділах ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ»; а також результати практичних спостережень, аналізу методів контролю та досліджень, виконаних під час переддипломної практики.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Вступ; 1 Теоретичні основи контролю якості та надійності технічних елементів; 2 Аналіз сучасних методів контролю та методик відновлення деталей на прикладі ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ»; 3 Розробка науково-обґрунтованої Стандартної Операційної Процедури (СОП) контролю відновлених деталей; 4 Оцінка ефективності та перспективи впровадження СОП; Загальні висновки; Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових):
 1 Актуальність; 2 Життєвий цикл технічного елемента; 3 Системний підхід до управління життєвим циклом; 4 Технологічне обладнання: вузли, що підлягають відновленню; 5 Класифікація дефектів; 6 Основні процедури контролю технічного стану деталей у газорозподільних системах; 7 Ключові методики відновлення; 8 Вимоги до руйнівного та неруйнівного контролю після відновлення технічних елементів; 9 Фактори, що знижують точність контролю; 10 Інтеграція неруйнівного контролю в стандартизовану операційну систему; 11 Необхідність обґрунтування потреби у стандартизації процедур; 12 Вимоги СОП до оснащення та прийняття рішень; 13 Блок-схема алгоритму контролю відновлених деталей; 14 Загальні висновки.

6. Дата видачі завдання 06.10.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз теоретичних основ контролю якості та надійності технічних елементів	06.10 - 10.10	виконано
2	Дослідження існуючих підходів до контролю та технологій відновлення деталей у виробничій практиці ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ»	06.10 – 28.10	виконано
3	Ідентифікація критичних факторів точності та формування обмежень діючих процедур контролю	29.10 – 02.11	виконано
4	Розроблення СОП контролю відновлених деталей і визначення її впливу на підвищення достовірності контролю	03.11 – 16.11	виконано
5	Формулювання висновків роботи	01.12– 06.12	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу	07.12-15.12	виконано
7	Перевірка МКР на плагіат	16.12– 20.12	виконано
8	Нормоконтроль та отримання рецензії на магістерську роботу	21.12 – 30.12	виконано
9	Підписання роботи керівником	21.12 – 30.12	виконано
10	Підписання роботи завідувачем кафедри	21.12 – 30.12	виконано
11	Підготовка до захисту роботи	31.12 – 11.01.26	виконано
12	Захист кваліфікаційної роботи	12.01 – 17.01.26	

Магістрант



Олександр СОЛОНЧУК

Керівник роботи



Едвін ГЕВОРКЯН

АНОТАЦІЯ

Солончук О.П. Кваліфікаційна магістерська робота другого (магістерського) рівня вищої освіти на тему: «**Вдосконалення якості контролю відновлених деталей**» містить 17 слайдів презентації та 95 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включають 12 рисунків, 13 таблиць та 41 використаних джерел.

Ключові слова: МЕТРОЛОГІЧНА НАДІЙНІСТЬ, ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ПРОЦЕДУР, НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ.

Об'єкт дослідження – технологічний процес контролю відновлених деталей газового обладнання.

Предмет дослідження – методи, організаційні підходи та засоби контролю, що забезпечують достовірність оцінки технічного стану відновлених деталей та їх відповідність нормативним вимогам.

Метою роботи є вдосконалення процедур контролю відновлених деталей газового обладнання через розробку та впровадження стандартної операційної процедури, що забезпечує підвищення точності та достовірності оцінки їх технічного стану.

Робота спрямована на підвищення метрологічної надійності контролю відновлених деталей ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ». Ідентифіковано чинники похибки оцінювання стану систем та обґрунтовано застосування неруйнівного контролю. Головним результатом є стандартна операційна процедура (СОП), що уніфікує діагностику та підвищує достовірність даних. Практичне значення полягає у впровадженні методики, яка гарантує простежуваність вимірювань та мінімізує ризики відмов об'єктів критичної інфраструктури.

ABSTRACT

Solonchuk O.P. Master's qualification work of the second (master's) level of higher education on the topic: “**Improving the Quality of Control of Repaired Components**” contains 17 slides of the presentation and 95 pages of the explanatory note in A4 format, including 12 figures, 13 tables, and 41 references.

Keywords: METROLOGICAL RELIABILITY, REFURBISHMENT OF PARTS, STANDARDIZATION OF PROCEDURES, NON-DESTRUCTIVE CONTROL

Object of research – the technological process of controlling repaired gas equipment components.

Subject of research – methods, organizational approaches, and control tools that ensure the reliability of the assessment of the technical condition of repaired components and their compliance with regulatory requirements.

The aim of the work is to improve the control procedures for restored gas equipment parts by developing and implementing a standard operating procedure (SOP) to enhance the accuracy and reliability of their technical assessment.

The thesis improves the metrological reliability of control for reconditioned parts at "GAZMEREZHI". Factors affecting assessment errors were identified, and the use of non-destructive testing was justified. The main result is a standard operating procedure (SOP) that unifies diagnostics and increases data reliability. The practical value lies in implementing a methodology that ensures measurement traceability and minimizes operational failure risks for critical infrastructure.

Вступ	6
1 Теоретичні основи контролю якості та надійності технічних елементів	9
1.1 Поняття якості, надійності та працездатності технічних елементів	9
1.2 Типові дефекти та порушення стану деталей після відновлення	21
1.3 Методи технічного та неруйнівного контролю	26
1.4 Фактори, що впливають на точність оцінювання та достовірність результатів	31
2. Аналіз сучасних методів контролю та методик відновлення деталей на прикладі ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ»	37
2.1 Характеристика існуючих процедур контролю деталей у газорозподільних системах	37
2.2 Методики відновлення ключових деталей газового обладнання	43
2.3 Ідентифікація факторів, що знижують точність контролю відновлених деталей	48
2.4. Обґрунтування потреби у стандартизації процедур контролю	55
3 Розробка стандартної операційної процедури контролю відновлених деталей	59
3.1 Обґрунтування впровадження СОП	59
3.2 Цілі та структура СОП	61
3.3 Вимоги до виконання процедур та технічного оснащення	67
3.4. Порядок проведення контролю та документування результатів	65
4 Оцінка ефективності та перспективи впровадження стандартної операційної системи (СОП)	72
4.1 Методичні підходи до оцінки ефективності запропонованої СОП	72
4.2 Визначення потенційного впливу на достовірність контролю та шляхи підвищення надійності системи	76
4.3 Рекомендації щодо впровадження та подальшого розвитку СОП у виробничій та ремонтній практиці ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ»	79
Загальні висновки	84
Список використаних джерел	86
Додатки	90

					МКРМЕ.175.26.21.00. ПЗ				
Зм.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Вдосконалення якості контролю відновлених деталей	Літера	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Солончук								
Перев.	Геворкян			27.06.24			5	95	
Н. контр.	Шовкун			29.06.24		УкрДУЗТ			
Затв.	Равлюк			30.06.24					

Вступ

Актуальність теми. В умовах сучасного розвитку газорозподільних систем, підвищення вимог до безпеки та надійності їх експлуатації, а також у контексті військових дій на території України, що створюють додаткові ризики для енергетичної інфраструктури, контроль технічного стану деталей і вузлів газового обладнання набуває особливої актуальності. Надійність і безперебійність роботи газорозподільних систем у кризових умовах потребують застосування ефективних процедур контролю та високої точності оцінки стану обладнання.

Використання відновлених деталей є одним із ключових напрямів підвищення надійності газового обладнання. Воно дозволяє продовжити термін експлуатації елементів системи, знизити витрати на придбання нових комплектуючих та мінімізувати негативний вплив на довкілля. Проте ефективність їх застосування залежить від точності та якості контролю, що забезпечує своєчасне виявлення дефектів, оцінку працездатності та прогнозування надійності деталей.

Підвищення якості контролю відновлених деталей має не лише технічне, а й економічне та соціальне значення. Надійне газопостачання безпосередньо впливає на життєдіяльність населення та роботу підприємств, особливо в умовах обмежених ресурсів та підвищеного навантаження на енергетичну інфраструктуру через військові дії. Недосконалість контрольних процедур може призвести до аварій, втрати ресурсів, простоїв у роботі та додаткових витрат на ремонт або заміну обладнання.

Сучасні відновлені деталі мають специфічні властивості, що впливають на точність оцінки їх стану і підвищують вимоги до методів контролю. Відсутність стандартизованих та науково обґрунтованих процедур перевірки може призводити до суб'єктивної оцінки технічного стану та зниження експлуатаційної надійності. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки

ефективної системи контролю, яка враховує особливості відновлених деталей, забезпечує достовірність оцінки та підтримує стабільну роботу обладнання навіть у складних кризових умовах.

Обґрунтування теми. Сучасні умови експлуатації газорозподільних систем вимагають удосконалення процедур контролю технічного стану деталей і вузлів. Відновлені деталі мають особливі властивості, що впливають на точність оцінки їх стану. Існуючі методи контролю не завжди враховують ці особливості і не забезпечують достатньої стандартизації процедур, що підвищує ризики зниження надійності обладнання та ймовірність аварій. Тому необхідні науково обґрунтовані, стандартизовані процедури контролю, які підвищують достовірність оцінки стану деталей і оптимізують процес перевірки відповідно до сучасних вимог систем управління якістю.

Метою роботи є вдосконалення процедур контролю відновлених деталей газового обладнання через розробку та впровадження стандартної операційної процедури, що забезпечує підвищення точності та достовірності оцінки їх технічного стану.

Для досягнення цієї мети у роботі вирішено комплекс завдань:

- провести аналіз теоретичних основ контролю та надійності технічних елементів;
- дослідити сучасні методи контролю та методики відновлення деталей на прикладі виробничих процесів ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ»;
- ідентифікувати фактори, що впливають на точність оцінки та обмеження існуючих процедур;
- розробити структуру та зміст стандартної операційної процедури (СОП) контролю відновлених деталей;
- Оцінити потенційний вплив розробленої процедури на підвищення точності та достовірності контролю відновлених деталей.

Об'єктом дослідження є технологічний процес контролю відновлених деталей газового обладнання

Предмет дослідження — методи, організаційні підходи та засоби контролю, що забезпечують достовірність оцінки технічного стану відновлених деталей та їх відповідність нормативним вимогам.

Методи дослідження. У роботі застосовувався комплекс методів стандартизації та уніфікації для забезпечення достовірності результатів. Використовувався системний аналіз нормативних документів і стандартів, порівняльний аналіз методик вимірювань і відновлення деталей. Застосовано статистичні методи аналізування якості для обґрунтування висновків..

Наукова новизна роботи полягає у комплексному підході до аналізу і вдосконалення контролю відновлених деталей газового обладнання. У роботі запропоновано методологію розробки стандартної операційної процедури, яка інтегрує сучасні методики неруйнівного контролю, стандартизацію процедур та організаційні підходи до перевірки деталей. Розробка структурованої стандартної операційної процедури дозволяє забезпечити уніфікацію процедур і підвищити достовірність оцінки технічного стану відновлених деталей. Визначено фактори, що впливають на точність і достовірність оцінки технічного стану, і запропоновано ефективні заходи щодо їх мінімізації.

Практична цінність роботи полягає у можливості застосування розробленої стандартної операційної процедури у виробничо-ремонтних процесах підприємств газорозподільної сфери, зокрема на прикладі ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ». Впровадження процедури дозволяє підвищити надійність контролю, зменшити вплив людського фактору, оптимізувати витрати на технічне обслуговування та ремонт деталей, а також забезпечити відповідність сучасним вимогам систем управління якістю.

Апробація результатів роботи. Основні положення магістерської роботи були висвітлені у тезах доповіді «Підвищення ефективності системи відновлення деталей на основі вдосконалення контролю якості» на 85-студентській науково-технічній конференції УкрДУЗТ (10-11 грудня 2025р.) [41].

1 Теоретичні основи контролю якості та надійності технічних елементів

1.1 Поняття якості, надійності та працездатності технічних елементів

Теоретичні основи контролю якості та надійності ґрунтуються на системному підході до управління життєвим циклом технічних об'єктів, який охоплює етапи проєктування, виготовлення, експлуатації, технічного обслуговування, відновлення та списання обладнання [1]. На кожному з цих етапів застосовуються методи контролю, спрямовані на забезпечення відповідності фактичних технічних параметрів виробу встановленим нормам. Такий контроль дозволяє своєчасно виявляти відхилення, запобігати виникненню відмов, аварій і деградації конструкційних матеріалів, а також забезпечувати стабільність функціонування обладнання протягом усього періоду експлуатації.

У газорозподільних системах контроль технічного стану вузлів і деталей має особливо важливе значення, оскільки саме він визначає рівень безпеки, надійності та енергоефективності всього комплексу. Будь-яка відмова, навіть незначна, може призвести до витоків газу, порушення регулювання тиску, роботи критичних елементів інфраструктури та, як наслідок, до створення аварійно небезпечних ситуацій. У цьому контексті контроль якості відновлених деталей стає невід'ємною складовою експлуатаційної безпеки: після ремонту або нанесення відновлювальних покриттів вони повинні відповідати тим самим вимогам, що й нові вироби. Це, своєю чергою, потребує розроблення чітких, структурованих та стандартизованих процедур контролю, що виключають суб'єктивність та знижують вплив людського чинника.

Надійність як наукова дисципліна вивчає закономірності виникнення відмов, процеси старіння матеріалів, вплив експлуатаційних навантажень, а також методи прогнозування технічного ресурсу [4]. Для відновлених деталей рівень надійності залежить не лише від властивостей вихідного матеріалу, а й від

якості виконаних ремонтних робіт: технології нанесення покриттів, режимів термообробки, точності механічної обробки, стабільності технологічних параметрів. Таким чином, дефект відновлення може мати такий самий критичний вплив, як і дефект виробництва.

Контроль якості є фундаментом забезпечення надійності, оскільки він дозволяє:

- виявити початкові та приховані дефекти;
- оцінити фактичний ступінь зношування матеріалу;
- встановити доцільність подальшої експлуатації деталі;
- мінімізувати імовірність відмови під час реальних навантажень;
- забезпечити відповідність вимогам стандартів, норм і технічних регламентів.

Як показано на рисунку 1.1 ці три поняття утворюють взаємопов'язану систему, у якій контроль якості виступає початковою ланкою, надійність — інтегральною характеристикою технічного стану, а працездатність — кінцевим результатом, що визначає здатність обладнання виконувати необхідні функції.



Рисунок 1.1 - Взаємозв'язок якості, надійності та працездатності

У практиці технічного контролю поєднуються детерміновані методи (вимірювання, неруйнівний контроль, випробування) та імовірнісні підходи (статистичний аналіз, моделювання ризиків, прогнозування ресурсу), що забезпечує комплексність та об'єктивність оцінювання стану обладнання [2].

У роботі розглянуто ключові теоретичні поняття якості, надійності та працездатності з метою формування наукової основи для подальшої розробки стандартизованої операційної процедури (СОП) контролю відновлених деталей, яка дозволить уніфікувати процес оцінювання та підвищити точність прийняття рішень щодо їх придатності до експлуатації.

На рисунку 1.2 – «Узагальнена схема життєвого циклу технічного елемента та місце контролю» подано структуру контролю як ключового елементу безпеки та довговічності технічних систем.

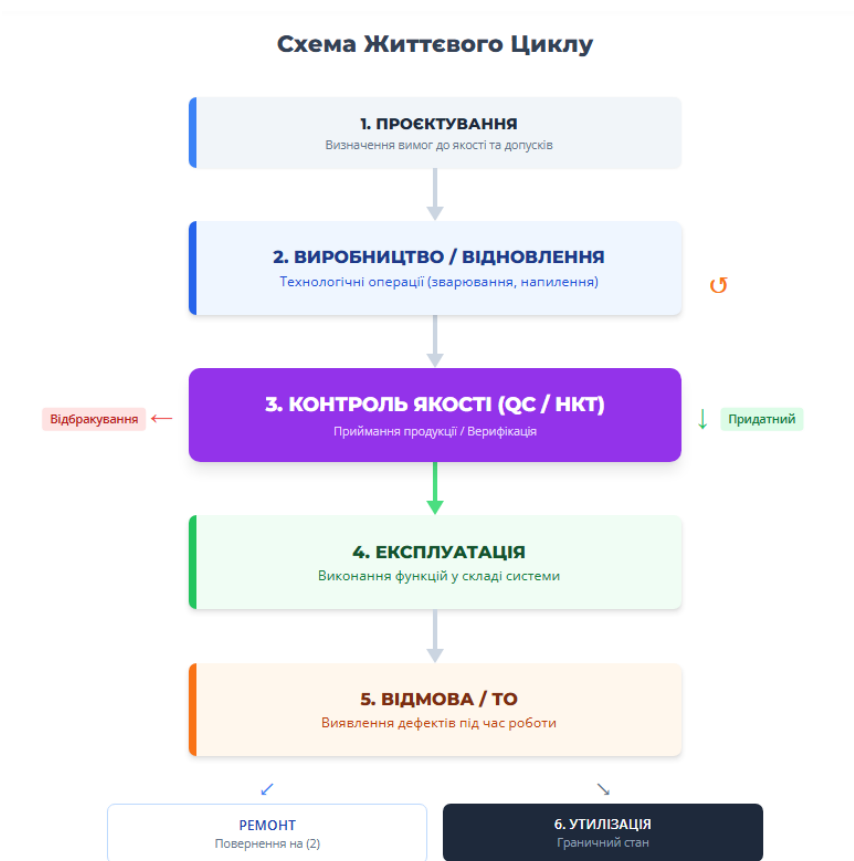


Рисунок 1.2 – Узагальнена схема життєвого циклу технічного елемента та місце контролю

Сучасні підходи до забезпечення якості все частіше базуються на методах статистичного управління процесами (SPC) — технології, що дозволяє здійснювати контроль і коригування виробничих або ремонтних процесів на основі статистичного аналізу змін параметрів у часі. SPC передбачає регулярний моніторинг ключових характеристик процесу (геометричні параметри, властивості матеріалів, параметри обробки) і застосування контрольних карт, які дозволяють чітко виявити моменти виходу параметрів за допустимі межі. Таким чином зменшується варіативність технологічних параметрів й підвищується стабільність відновлювальних та ремонтних операцій [6; 11; 12].

Основним інструментом SPC є контрольні карти (наприклад, X-bar chart та R-chart), які дозволяють наглядно відстежувати середні значення, розмахи або дисперсії вибірок із виробничого або ремонтного процесу у динаміці. При регулярному застосуванні таких карт можна своєчасно виявляти відхилення від стабільного стану процесу, визначати тренди, реактивно вживати коригуючих заходів до формування браку, що суттєво підвищує якість кінцевого виробу або відновленої деталі [7].

У контексті відновлення деталей газового обладнання застосування SPC дає змогу зменшити технологічні ризики — наприклад, контроль стану покриттів, точності обробки, термообробки, щоб гарантувати, що відновлена деталь відповідає вимогам. Це важливо тому, що відновлення часто вводить додаткову змінність до властивостей виробів (металургія, геометрія, внутрішні напруження), і лише статистичний контроль дає змогу тривалий час підтримувати стабільну якість.

Кінцевою метою такої системи контролю є досягнення такого рівня якості відновлених деталей, який гарантуватиме їхню працездатність і надійність у реальних умовах експлуатації, з урахуванням стандартів безпеки, ресурсності і ефективності. SPC таким чином стає не лише інструментом контролю, а й засобом превентивного управління якістю та ризиками експлуатації.

1.1.1 Якість технічних елементів

Якість технічного елемента (деталі) визначається як сукупність його властивостей, що забезпечують здатність виробу виконувати задані функції відповідно до вимог нормативно-технічної документації, робочих креслень та умов експлуатації [1, 2, 4].

Для оцінювання якості технічних елементів важливим є аналіз їхніх функціональних властивостей, стабільності параметрів у процесі експлуатації та відповідності встановленим нормам. У практиці контролю та відновлення деталей активно застосовуються структуровані методики оцінювання властивостей матеріалів, геометричних параметрів та поверхневих характеристик. Ці підходи дозволяють систематизувати процес прийняття рішень щодо придатності виробу, вибору оптимальної технології ремонту та підтвердження відповідності отриманих результатів вимогам нормативної документації [18. 24].

Згідно з сучасними методичними рекомендаціями з оцінювання якості технічних виробів, комплексний контроль має містити декілька взаємопов'язаних етапів:

- ідентифікацію критичних характеристик, які визначають працездатність елемента;
- вимірювання вихідних параметрів із застосуванням засобів контролю, що пройшли метрологічну перевірку;
- визначення відхилень від нормативів, встановлених у технічних умовах та стандартах;
- оцінювання впливу дефектів на працездатність виробу, з урахуванням режимів експлуатації та допустимих навантажень [18].

У процесі відновлення деталей системи «ГАЗМЕРЕЖІ» зазначені принципи дозволяють забезпечити не лише формальну відповідність ремонтуваного елемента технічній документації, але й підтвердити його реальну

здатність працювати у складних експлуатаційних умовах. Особливе значення має контроль геометричної точності, стану робочих поверхонь, мікротвердості, шорсткості та залишкових напружень, оскільки саме ці параметри визначають довговічність та надійність відновлених елементів.

Використання структурованих методів оцінювання якості дозволяє:

- об'єктивно порівнювати стан деталі до і після відновлення;
- прогнозувати міжремонтний ресурс;
- забезпечувати відтворюваність вимірювань у будь-яких філіях чи виробничих дільницях;
- мінімізувати ризики виходу обладнання з ладу через приховані дефекти або відхилення.

Таким чином, застосування послідовних процедур контролю, рекомендованих у навчальних посібниках і нормативно-технічних документах, створює основу для підвищення якості ремонтних робіт, стабільності процесів та надійності усієї інженерної інфраструктури підприємства [17].

Для відновлених деталей у контексті діяльності Харківської міської філії «ГАЗМЕРЕЖІ» якість означає не лише усунення дефектів чи зношування, а повне відтворення або покращення початкових експлуатаційних характеристик, що підтверджує можливість їх подальшої безпечної роботи протягом нормативного міжремонтного інтервалу.

Якість деталей, що підлягають відновленню, завжди оцінюється у двох ключових аспектах [14]:

➤ Якість проєктування

Це відповідність конструкції, матеріалу, геометрії та експлуатаційних параметрів первинним вимогам до безпеки, надійності, технологічності й довговічності [4].

У процесі відновлення цей аспект охоплює:

- аналіз вихідної конструкторської документації для визначення припустимого обсягу відновлювальних робіт;

- вибір адекватної технології відновлення (електродугове наплавлення, електронно-променеве наплавлення, газотермічне напилення, комбіновані технології);
- вибір ремонтних матеріалів, механічні та фізико-хімічні властивості яких повинні відповідати або перевищувати властивості основного матеріалу;
- уточнення експлуатаційних режимів, що впливають на оцінку можливості відновлення (температура, циклічні навантаження, дія газового середовища, корозійні фактори).

На цьому етапі відбувається визначення: чи є відновлення доцільним, економічно обґрунтованим та безпечним у довгостроковій перспективі.

➤ Якість відповідності

Це ступінь відповідності фактично відновленої деталі встановленим технічним умовам, допускам, параметрам шорсткості, структурним характеристикам і вимогам державних стандартів [4, 6].

У контексті відновлення цей етап включає:

- контроль геометричних параметрів після механо-обробки та остаточного шліфування;
- оцінку якості покриттів (пористість, адгезія, мікроструктура, твердість, залишкові напруження);
- дефектоскопію відновлених поверхонь (ультразвукову, капілярну, вихроструміву);
- твердомірні, мікроструктурні та ресурсні випробування, що підтверджують стабільність властивостей;
- метрологічне забезпечення вимірювань, яке гарантує об'єктивність отриманих результатів [15].

Якість відповідності є підсумковою оцінкою того, чи відновлений елемент повністю відповідає вимогам експлуатації та може бути введений у роботу без додаткових обмежень.

➤ Значення якості для газорозподільних систем [11]

У системах газорозподілу якість відновлених технічних елементів має особливе значення з огляду на:

- високий рівень відповідальності обладнання, що працює під тиском та у вибухонебезпечних умовах;
- жорсткі нормативні вимоги щодо безпеки (ДСТУ, галузеві стандарти);
- необхідність забезпечення безперебійного функціонування інфраструктури;
- ризики газових витоків, аварійних ситуацій і технологічних простоїв.

Тому система контролю якості у філії «ГАЗМЕРЕЖІ» має бути комплексною, стандартизованою і включати поєднання традиційних вимірювальних методів та сучасних методів неруйнівного контролю, прогнозування ресурсу й оцінки ризиків.

➤ Групи показників якості технічних елементів [21]

Контроль якості відновлених елементів ґрунтується на оцінці їхніх показників за такими ключовими групами:

- Показники призначення (Функціональність):
 - Точність геометричних параметрів: Виконання квалітетів точності (IT7, IT8) для забезпечення правильних посадок та співвісності. Це мінімізує вібрації та прискорює знос.
 - Пропускна здатність/продуктивність: Відсутність внутрішніх дефектів або зменшення перерізу, що впливають на гідравлічні чи газові характеристики (наприклад, у клапанах, засувках, регуляторах).
- Показники надійності (Довгострокова робота):
 - Безвідмовність: Ймовірність того, що деталь не вийде з ладу протягом заданого часу (напрацювання). Виявлення прихованих дефектів є ключем до забезпечення безвідмовності.
 - Довговічність: Здатність зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування.

Відновлення критичних поверхонь та їхнє зміцнення (наприклад, термообробкою) є основними шляхами підвищення довговічності.

- Показники технологічності (ефективність відновлення):
 - Трудомісткість контролю та ремонту: Визначає економічну доцільність відновлення.
 - Можливість повторного відновлення: Визначається залишковою товщиною стінок та відсутністю незворотних структурних змін у матеріалі після попередніх ремонтних циклів.
- Показники безпеки та екологічності (Регуляторні вимоги):
 - Герметичність та стійкість до тиску: Критично важливі для газових мереж. Відновлені деталі повинні пройти випробування на герметичність згідно з галузевими нормами, що мінімізує ризики витоків та аварійних ситуацій.
 - Екологічні нормативи: Вимоги до матеріалів, що контактують з робочим середовищем, та відсутність шкідливих виділень.

➤ Зв'язок якості, надійності та працездатності

Згідно з ДСТУ 2860-94 [4]:

- Працездатний стан — це стан деталі, у якому вона здатна виконувати задані функції із значеннями параметрів, встановленими вимогами нормативно-технічної документації. Підтвердження цього стану є основним завданням контролю.
- Надійність — це властивість деталі зберігати працездатність протягом заданого проміжку часу або напрацювання. Це інтегральний показник, який можна забезпечити лише за умови виконання всіх критеріїв якості відповідності.

➤ Градація працездатності та граничний стан

Для обґрунтування рішення про відновлення або утилізацію деталей має пройти градацію:

1. Справний стан (працездатний): усі параметри деталі відповідають встановленим нормам РД (як нові).

2. Несправний стан (Непрацездатний): деталь не відповідає хоча б одному параметру, але підлягає відновленню.

3. Граничний стан: стан деталі, при якому її подальша експлуатація є неприпустимою, або відновлення економічно недоцільним через високий ступінь зносу, наявність незворотних структурних пошкоджень або несумісність з вимогами безпеки.

Оцінка настання граничного стану ґрунтується на:

- Фактичному зносі: перевищення допустимих граничних розмірів, встановлених РД.
- Виявленні критичних дефектів: наявність внутрішніх або поверхневих дефектів (тріщин, корозії), які неможливо усунути без порушення цілісності конструкції.

5. Оцінка залишкового ресурсу

Після успішного відновлення та фінального контролю якості, деталь отримує залишковий (відновлений) ресурс. Цей ресурс визначається:

1. Технологією відновлення: ресурс, який може забезпечити використаний ремонтний матеріал та метод (наприклад, ресурс після плазмового напилення).

2. Фактичним станом основного металу: підтверджується металографією та товщиною стінок після усунення дефектів.

Висновок: Операційна процедура контролю якості є ключовим інструментом для забезпечення відновленим технічним елементам Харківської міської філії "ГАЗМЕРЕЖІ" необхідної якості, що, своєю чергою, гарантує їхню працездатність та високу надійність в експлуатації.

Практичне застосування методів контролю (зокрема НКТ) та відповідальність відділів детально розглядається в наступних розділах цієї Операційної Процедури.

1.1.2. Надійність технічних елементів

Надійність — це здатність технічної системи зберігати працездатний стан протягом певного часу в заданих умовах експлуатації [4]. Надійність має імовірнісний характер, оскільки пов'язана з випадковими чинниками, такими як умови навантаження, якість поверхонь, зміна властивостей матеріалу у часі (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 - Складові надійності:

Складова	Визначення	Значення для відновлених деталей
Безвідмовність	Здатність працювати без відмов	Визначає ризик ранніх повторних дефектів
Довговічність	Час до досягнення граничного стану	Залежить від міцності покриттів, точності механічної обробки
Ремонтопридатність	Здатність швидко відновлювати працездатність	Впливає на вибір технології відновлення
Збережуваність	Здатність зберігати властивості під час зберігання	Актуальна для складів запасних частин

Ключові математичні показники надійності:

- ймовірність безвідмовної роботи — $R(t)$
- інтенсивність відмов — $\lambda(t)$ середній час безвідмовної роботи (MTBF)

Для моделювання надійності застосовують експоненційний, нормальний, логнормальний, вейбулівський розподіли [3].

➤ Працездатність технічних елементів

Працездатність — це стан виробу, за якого він здатний виконувати задані функції відповідно до нормативних вимог. Це дискретна характеристика ("працездатний" або "непрацездатний"), яка оцінюється під час контролю, оглядів та випробувань.

Взаємозв'язок понять (рисунк1.3):

- якість → початкові властивості;
- надійність → збереження властивостей у часі;
- працездатність → факт відповідності на момент контролю.

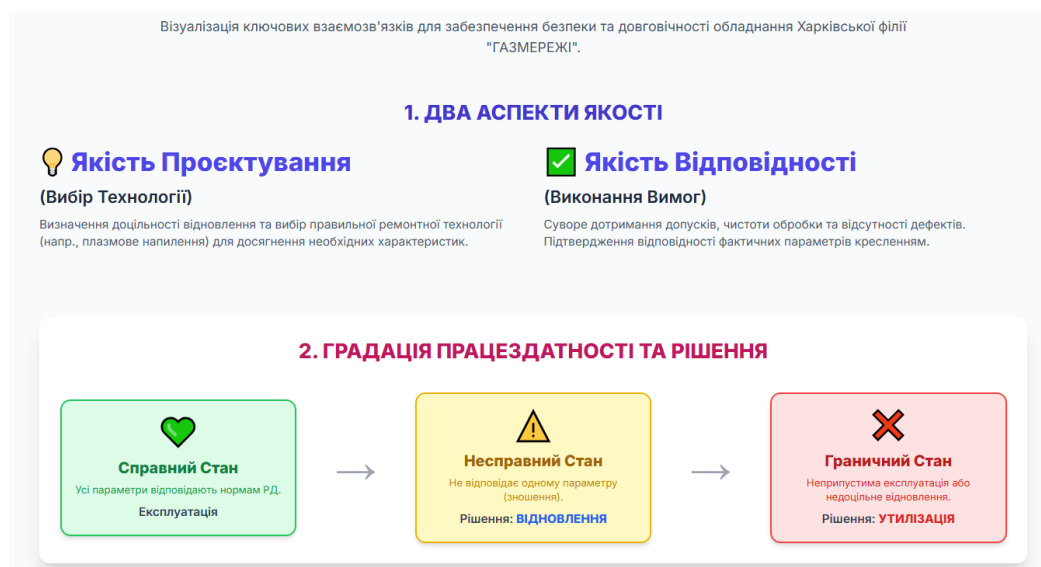


Рисунок 1.3 – Цикл якості, працездатності та ресурсу відновлених елементів

- . Показники якості та надійності

Для оцінки технічного стану деталей застосовують такі групи показників:

- геометричні: допуски, відхилення форми;
- механічні: твердість, межа міцності, мікроструктура;

- поверхневі: шорсткість, наявність дефектів;
- імовірнісні: $R(t)$, $\lambda(t)$, MTBF.

У межах підрозділу розглянуто фундаментальні поняття контролю якості, надійності та працездатності технічних елементів, що є основою для подальших розрахунків та розроблення стандартизованої операційної процедури контролю відновлених деталей. Встановлено, що якість визначає первинні властивості елемента, надійність характеризує стабільність цих властивостей у часі, а працездатність відображає їх фактичне проявлення у процесі експлуатації. Комплексне застосування методів контролю та прогнозування надійності забезпечує підвищення безпеки та довговічності обладнання, особливо у газорозподільних системах.

1.2 Типові дефекти та порушення стану деталей після відновлення

Процес відновлення деталей, незважаючи на застосування сучасних технологій та методів контролю, супроводжується ризиком виникнення низки дефектів, які можуть негативно впливати на експлуатаційну надійність та ресурс виробу.

Дефекти можуть виникати як на етапі підготовки поверхні, так і під час нанесення покриття, механічної обробки чи термообробки. Їх своєчасне виявлення є критично важливим для забезпечення необхідного рівня якості та відповідності відновлених деталей вимогам технічної документації [31].

Типові дефекти поділяються на:

- поверхневі,
- внутрішні,
- геометричні,
- структурні та матеріалознавчі,

- технологічні, пов'язані з порушенням технологічних параметрів процесу.

До поверхневих дефектів належать порушення, які виникають на зовнішніх шарах матеріалу й здатні погіршити механічні властивості та довговічність вузла(рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 — Основні види поверхневих дефектів після відновлення

Основні види поверхневих дефектів (таблиця 1.2):

1. Тріщини (термічні, втомні, корозійні)
2. Пори та раковини
3. Задири та риски після механічної обробки
4. Нерівномірність або відшарування покриття
5. Підвищена шорсткість поверхні

Таблиця 1.2- — Поширені поверхневі дефекти після відновлення

Вид дефекту	Причина виникнення	Наслідки	Методи виявлення
Тріщини	Перегрів, залишкові напруження, дефекти шва	Руйнування в експлуатації	Візуальний контроль, МПК, капілярний метод
Пори	Неправильне наплення, забруднення поверхні	Зниження міцності, відшарування	УЗК, рентген, шліф-аналіз
Відшарування покриття	Погана адгезія, низька підготовка	Втрата відновного шару	Візуальний контроль, акустичні методи
Підвищена шорсткість	Невірний режим шліфування	Прискорений знос	Профілографія, мікроскопія

➤ Геометричні дефекти

Геометричні відхилення виникають переважно через неточності механічної обробки або неправильне базування деталі при її закріпленні в обладнанні (рисунок 1.5)



Рисунок 1.5 — Схема основних геометричних відхилень та дефекти поверхні і суцільності

Приклади геометричних дефектів (таблиця 1.3):

- відхилення діаметра;
- непаралельність;
- неперпендикулярність;
- овальність і конусність;
- биття посадкових поверхонь;
- невідповідність допусків на форму та розташування.

Таблиця 1.3 — Геометричні дефекти після відновлення

Дефект	Причина	Вплив на працездатність	Контроль
Овальність	Деформації або нерівномірна обробка	Порушення посадок, підвищений знос	ІЧ-вимірювання, мікрометри
Конусність	Нерівномірне зняття матеріалу	Неправильне спряження	Координатний контроль
Биття	Неправильне центрування в патроні	Вібрації, шум, швидкий знос	Індикатори ІЧТ
Перекис площин	Похибки фіксації	Порушення рівномірності навантаження	Плоскопаралельні прилади

➤ **Внутрішні дефекти та матеріалознавчі порушення**

Внутрішні дефекти часто не видно візуально, але істотно впливають на міцність і довговічність (рисунки 1.2., 1.3)

Основні внутрішні дефекти:

- мікротріщини в структурі;
- пористість у товщі наплавленого шару;
- неметалеві включення;
- непровари та неповне сплавлення;
- нерівномірність структури після термообробки.

➤ Технологічні дефекти

Ця група дефектів пов'язана з порушенням технологічних параметрів процесів (таблиця 1.4):

- неправильна температура наплавлення або напилення;
- недостатнє очищення поверхні;
- зміна режимів шліфування;
- невірно вибрані матеріали;
- відхилення режимів термообробки.

Таблиця 1.4 — Технологічні дефекти та фактори їх утворення

Дефект	Невиконана умова	Вплив	Методи попередження
Перегрів матеріалу	Перевищення температури	Тріщини, зміна структури	Контроль температури
Погана адгезія покриття	Недостатнє очищення	Відшарування	Піскострум, обезжирення
Напливи й подрізи	Неправильний режим наплавлення	Концентрація напружень	Оптимізація режимів
Припалювання при шліфуванні	Низьке охолодження	Перегрів, мікротріщини	Використання МОР (мастильно-охолоджувальна рідина)

Під час відновлення деталей виникає широкий спектр поверхневих, геометричних, внутрішніх та технологічних дефектів, що значно впливають на ресурс і надійність технічних елементів. Систематизація цих дефектів та застосування ефективних методів контролю дозволяє своєчасно виявляти небезпечні порушення стану матеріалу та забезпечувати відповідність відновлених деталей вимогам нормативної документації. Комплексний контроль, що включає візуальні, вимірювальні та неруйнівні методи, є ключовим фактором гарантування високої якості й безпечної експлуатації обладнання.

1.3 Методи технічного та неруйнівного контролю

У цьому підрозділі розглядаються основні методи технічного та неруйнівного контролю (НК), які використовуються для перевірки якості та стану деталей — як нових, так і відновлених. Для кожного методу подано опис принципу, перелік дефектів, які він дозволяє виявляти, приклади застосування, а також наведено ілюстрації реальних приладів [32-35].

Класифікація методів контролю:

Методи контролю деталей можна умовно об'єднати у такі групи:

- Класичні вимірювальні та візуальні методи — лінійні/габаритні вимірювання, шорсткомір, твердоміри, візуальний та оптичний контроль;
- Неруйнівний контроль (НК) — методи, що дозволяють виявляти дефекти без розбирання чи пошкодження виробу: ультразвуковий (УЗК), магнітопорошковий (МПК), вихрострумний (ЕДК), капілярний (КПК), радіографічний (РК), толинометрія, контроль залишкових напружень тощо;
- Методи функціонального та ресурсного тестування — навантажувальні випробування, теплові цикли, тести на витривалість, циклічні навантаження.

У контексті відновлених деталей особливе значення мають методи НК, оскільки вони дають змогу виявити приховані дефекти, які неможливо виявити простим оком чи лінійними вимірюваннями.

➤ Ультразвуковий контроль (УЗК)

Принцип методу:

Ультразвуковий контроль базується на пропусканні через матеріал високочастотних звукових хвиль і аналізі сигналів, які відбиваються від меж різномірностей (тріщин, пор, включень тощо) або від внутрішніх дефектів. За часом затримки та амплітудою сигналів визначають наявність, положення та приблизні розміри дефектів [32].

Переваги та сфера застосування:

- Дає змогу виявити підповерхневі та глибинні дефекти, у тому числі тріщини, раковини, несплавлення.
- Можливість контролювати товщину стінок, корозійне зношування та залишкову товщину металу — критично для деталей газового обладнання.
- Застосовується до зварних з'єднань, труб, корпусів, складної форми.

Обмеження:

- Потребує доброго контакту з поверхнею та підготовки поверхні (шліфування, очищення).
- При значній корозії або неоднорідності матеріалу — знижується чутливість.
- Вимагає кваліфікованого оператора для правильної інтерпретації сигналів.

Приклади приладів (рисунок 1.6):

- Ультразвуковий дефектоскоп УД4-76 — універсальний прилад для контролю товщини, зварних швів та одностороннього доступу.
- Український дефектоскоп УД3701 — портативний прилад із високою точністю вимірювань, зручний для ремонтних діляниць.



Рисунок 1.6 – Прилади ультразвукового контролю

- Магнітопорошковий та вихрострумний контроль (МПК / ЕДК)

Принципи методів [35]:

- Магнітопорошковий контроль (МПК) — поверхневий і підповерхневий контроль феромагнітних матеріалів, де після намагнічування металу магнітний порошок або суспензія виявляє дефекти (тріщини, підповерхневі порушення) шляхом концентрації магнітного потоку.
- Вихрострумний контроль (ЕДК) — використання змінного магнітного поля або вихрових струмів для виявлення дефектів у провідних матеріалах, а також для контролю товщини покриттів, зношування, корозії.

Сфера застосування:

- МПК — для сталевих деталей, корпусів, клапанів, зварних швів, де потрібно виявити поверхневі або підповерхневі тріщини, шлакові включення, непровари.
- ЕДК — для тонкостінних деталей, труб, деталей з немагнітних або легованих сплавів, де необхідний контроль без демонтажу.

Переваги та обмеження

- Методи відносно недорогі, швидкі, зручні для серійного контролю.
- МПК ефективний саме для феромагнітних матеріалів; ЕДК — для провідних металів незалежно від магнітності.
- Обидва методи чутливі переважно до дефектів, розташованих близько до поверхні; погіршують ефективність при складній геометрії або грубому покритті.

Приклад приладу (рисунок 1.7):

Магнітопорошковий дефектоскоп МПД-17П — популярне рішення для контролю поверхневих та підповерхневих дефектів у сталевих деталях.

Суть методів:

- Капілярний контроль (КПК) — застосування проникної рідини або барвника, який проникає через тріщини, після чого надлишок видаляють, а дефект проявляють візуально. Ефективний для поверхневих тріщин, волосовин.
- Візуальний і оптичний контроль — огляд поверхні, швів, покриттів для виявлення задирів, підрізів, нерівностей, відшарувань.



Рисунок 1.7 – Прилади магнітопорошкового та вихрострумowego контролю

➤ Капілярний, візуальний, шорсткометричний і лінійний контроль

- Шорсткометрія, твердомір, лінійні та габаритні вимірювання — перевірка допусків, розмірів, чистоти обробки та стану поверхні, які можуть впливати на герметичність, посадки, механічну взаємодію деталей.

Переваги та обмеження:

- Простота, відносно невисока вартість, швидкість.
- Ефективні для деталей з добре обробленою поверхнею, при контролі кінцевої геометрії, шорсткості, стану покриттів.
- Приховані дефекти, внутрішні порожнини або неспайки таким чином виявити не вдасться — потрібні методи НК.

1.2.1 Комбінований підхід та вибір методів контролю

У промисловій практиці часто застосовують комбінований підхід — поєднання декількох методів контролю залежно від виду деталі, матеріалу, історії відновлення, умов експлуатації. Наприклад, для відновленої деталі газорозподільного обладнання доцільно (таблиця 1.5):

- провести ультразвуковий або вихрострумовий контроль на виявлення внутрішніх дефектів;
- виконати магнітопорошковий або капілярний контроль для поверхневих тріщин;
- зробити геометричні та шорсткометричні заміри;
- при критичних вузлах — ресурсні або навантажувальні випробування.

Таблиця 1.5 — Рекомендації щодо вибору методів контролю в залежності від типу дефектів і матеріалу

Тип дефекту / завдання контролю	Рекомендувані методи НК / контролю	Коментар
Внутрішні тріщини, неспайки, включення	УЗК (УТ), ЕДК	Висока чутливість при правильних налаштуваннях
Поверхневі тріщини, волосовини, раковини	МПК, КПК, візуальний контроль	Простота, швидкість, низькі витрати
Перевірка товщини, корозійного зносу	УЗК (ультразвукова товщинометрія), ЕДК	Контроль залишкової товщини
Контроль геометрії та посадок	Лінійні / габаритні вимірювання, шорсткометрія	Обов'язковий після механічної обробки
Перевірка герметичності / зносостійкості	Навантажувальні або ресурсні випробування	Оцінка реального експлуатаційного ресурсу

➤ Переваги застосування НК у відновленні деталей та особливості для газорозподільних систем

- НК дозволяє виявити дефекти, приховані під поверхнею — тріщини, неспайки, порожнини, корозійні зони, які не видно при візуальному чи лінійному контролі. Це критично для деталей, які працюють під тиском, з високими механічними або корозійними навантаженнями.

- Застосування НК при відновленні гарантує, що відновлена деталь матиме не тільки зовнішню відповідність, а й дійсну структурну цілісність, що впливає на надійність та ресурс.
- Комбінований контроль — оптимальний підхід для максимального зниження ризиків: поверхневі + внутрішні + геометричні + ресурсні перевірки забезпечують всебічну оцінку якості.

Висновки до підрозділу

1. Методи неруйнівного контролю (ультразвук, магнітопорошковий, вихрострумний, капілярний та ін.) є ключовими для забезпечення якості та надійності відновлених деталей, особливо у відповідальних системах (газорозподіл, обладнання під тиском, регулятори, клапани).
2. На практиці доцільно використовувати комбінований підхід, оскільки кожен метод має свої сильні й слабкі сторони, а лише разом вони дають комплексну оцінку стану деталі.
3. Впровадження системи контролю, яка передбачає НК на етапах відновлення, механічної обробки та післяремонтної перевірки, суттєво підвищує шанси на довговічну та безпечну експлуатацію деталей.
4. Для підприємства (наприклад, ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ») таке поєднання методів контролю — оптимальний шлях мінімізації ризиків при експлуатації газового обладнання з відновленими деталями.

1.4. Фактори, що впливають на точність оцінювання та достовірність результатів

Точність оцінювання технічного стану деталей газового обладнання та достовірність результатів контролю є ключовими характеристиками, від яких залежить правильність прийняття рішень щодо подальшої експлуатації, ремонту або списання відновлених елементів. На якість результатів впливає комплекс

технічних, організаційних, метрологічних та людських факторів, які формують загальну невизначеність вимірювань [6-9]. Їх аналіз дозволяє підвищити рівень надійності контролю та оптимізувати процедури, що є особливо важливим для газорозподільних підприємств у контексті сучасних вимог безпеки.

Технічні фактори

Стан обладнання та засобів вимірювальної техніки

Технічний стан приладів безпосередньо визначає точність результатів контролю. Зношування робочих поверхонь, старіння датчиків, деградація електронних компонентів або механічні пошкодження можуть спричиняти систематичні похибки [21].

До критичних чинників належать:

- наявність люфту у вимірювальних механізмах;
- нестабільність генераторів сигналу в дефектоскопах;
- недостатня чутливість ультразвукових перетворювачів;
- некоректна робота лазерних або індукційних датчиків.

➤ Технічні властивості відновлених деталей

Процеси наплавлення, напилення або механічного відновлення можуть створювати неоднорідності матеріалу, внутрішні напруження, зміни структури або шорсткості поверхні, що впливають на результати контролю. Наприклад:

- висока шорсткість знижує точність ультразвукового та магнітного контролю;
- неоднорідність покриттів ускладнює інтерпретацію вихорострумівих сигналів;
- різна товщина напилення створює похибки вимірювання геометричних параметрів.

➤ Метрологічні фактори

Похибки засобів вимірювань та калібрування:

Достовірність результатів контролю значною мірою залежить від правильності калібрування та метрологічної повірки приладів. Невідповідність нормативним вимогам ДСТУ EN ISO/IEC 17025, ДСТУ 3215 або галузевих

методик вимірювань може призвести до неприпустимо високої невизначеності [36-37].

До метрологічних факторів належать:

- систематична похибка (зсув шкали, нульова похибка, температурна нестабільність);
- випадкова похибка (коливання відліку, шум сигналу, флуктуації параметрів навколишнього середовища);
- невизначеність калібрування (неточність еталонів, похибки методики).

Умови проведення вимірювань:

Температура, вологість, вібрації, рівень освітлення, електромагнітні перешкоди — усе це здатне суттєво впливати на результат.

Наприклад:

- температурні зміни спричиняють теплове розширення металу і зміну геометричних розмірів;
- підвищена вологість може погіршувати проникнення ультразвукових хвиль;
- вібрації спотворюють покази індикаторів та електронних датчиків.

Організаційні фактори:

Недостатня стандартизація процедур контролю:

Відсутність уніфікованої стандартної операційної процедури (СОП) може призвести до непослідовності дій контролерів, що знижує відтворюваність вимірювань[38].

Проблеми, що виникають:

- різна послідовність проведення вимірювань;
- неоднакові умови підготовки поверхні;
- використання різних приладів або різних методик;
- неоднозначне трактування вимог нормативної документації.

Нерегулярність технічного обслуговування приладів:

Відсутність планово-попереджувального технічного контролю, пропуск термінів повірки та калібрування призводить до поступового накопичення невідкаліброваної похибки.

➤ Людський фактор

Кваліфікація персоналу:

Брак досвіду або недостатній рівень підготовки операторів неруйнівного контролю може спричинити помилки у виборі режимів вимірювання, інтерпретації сигналів та описі результатів [39].

Типові прояви:

- неправильний вибір чутливості або частоти ультразвукового сигналу;

- помилки у введенні параметрів товщиноміра;

- некоректна оцінка візуальних дефектів.

➤ Суб'єктивність оцінювання

Особливо це стосується візуально-оптичного контролю, шліфів, аналізу зображень дефектоскопії.

Суб'єктивний характер може спричинити:

- різні трактування одних і тих самих дефектів;

- пропуск дрібних порушень;

- завищені або занижені оцінки.

➤ Фактори, пов'язані з об'єктом контролю

Геометрична складність деталей:

Деталі з важкодоступними зонами, внутрішніми порожнинами або складною просторовою формою складніше піддаються контролю, що збільшує ймовірність «мертвих зон» у неруйнівних методах 666.

Неоднорідність структури після відновлення

Покриття, наплави, термічно-зміненні зони створюють різний акустичний імпеданс, різний магнітний відгук і непередбачувані зміни сигналів дефектоскопії.

Сумарний вплив факторів

Кожен із зазначених факторів формує загальну невизначеність оцінювання, яка визначається відповідно до вимог міжнародних документів ISO/IEC Guide 98-3:2008 (GUM). Накладання технічних, метрологічних та людських похибок може істотно зменшити довіру до результатів контролю та створити ризики помилкових рішень щодо подальшої експлуатації обладнання [36].

Проаналізовані фактори свідчать, що точність оцінювання технічного стану деталей і достовірність результатів контролю залежать від комплексної взаємодії технічних, метрологічних, організаційних і людських чинників. Забезпечення високої якості контролю можливе лише за умови:

- застосування сучасних та атестованих засобів вимірювань;
- регулярної калібровки і метрологічного обслуговування обладнання;
- уніфікації процедур у межах СОП;
- підвищення кваліфікації персоналу;
- створення стабільних і контрольованих умов проведення вимірювань.

Системний підхід до управління цими факторами є основою підвищення надійності контрольних операцій та мінімізації ризиків експлуатації газорозподільних систем.

Уточнено теоретичні засади контролю якості та надійності відновлених деталей, що є базовою умовою для безпечної експлуатації об'єктів критичної інфраструктури. Розгляд понять якості та працездатності дозволив сформулювати критерії метрологічного підтвердження придатності технічних елементів після їх відновлення.

Систематизація найбільш поширених дефектів та аналіз причин їх виникнення дали змогу визначити параметри, що підлягають обов'язковому оцінюванню. Це дозволило окреслити критичні зони контролю, де точність

вимірювальної інформації має вирішальне значення для прогнозування залишкового ресурсу виробів.

Дослідження методів неруйнівного контролю підтвердило їх ефективність як основних засобів отримання об'єктивних даних про стан деталей без порушення їх цілісності. Наголошено на пріоритетній ролі сучасної вимірювальної техніки та уніфікованих методик вимірювань для забезпечення високої достовірності отриманих результатів.

Особливу увагу приділено ідентифікації факторів, що впливають на точність результатів. Визначено, що метрологічне забезпечення, стан засобів вимірювання та умови проведення процедур є вирішальними для мінімізації похибок і забезпечення простежуваності вимірювань.

Загалом, результати аналізу доводять, що поєднання сучасних методів діагностики з належним рівнем метрологічної підтримки є необхідною умовою для стабільної якості та високої експлуатаційної надійності відновлених технічних вузлів.

2 Аналіз сучасних методів контролю та методик відновлення деталей на прикладі ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ»

2.1. Характеристика існуючих процедур контролю деталей у газорозподільних системах

Харківська міська філія «ГАЗМЕРЕЖІ» є підприємством газорозподільної сфери, що забезпечує експлуатацію, технічне обслуговування та модернізацію розподільних систем природного газу.

Основними напрямками діяльності підрозділу є забезпечення безпечної роботи газових мереж, контроль технічного стану обладнання, проведення регламентних та позачергових перевірок, діагностика вузлів і агрегатів, а також своєчасне відновлення чи заміна зношених деталей [40].

Підприємство експлуатує складний комплекс обладнання: газорегуляторні пункти (ГРП), шафові газорегуляторні пункти (ШРП), газові лічильники різних типів, запірну арматуру, фільтри, редуктори, трубопроводи та інші елементи розподільної системи.

Критичність кожної складової вимагає чітко регламентованих процедур контролю, діагностики та ремонту, що відповідають стандартам безпеки та метрологічним вимогам.

Ефективність роботи ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ» значною мірою залежить від якості проведення технічного контролю деталей, своєчасного виявлення відхилень, а також використання сучасних методів відновлення та продовження ресурсу обладнання.

Саме тому аналіз існуючих процедур контролю та відновлення деталей є важливим етапом оцінки надійності та безпеки газорозподільних систем.

Система контролю технічного стану обладнання та деталей у газорозподільному секторі відіграє ключову роль у забезпеченні безперервності, безпечності та надійності подачі газу споживачам.

Для Харківської міської філії «ГАЗМЕРЕЖІ» цей аспект є принциповим, оскільки більшість елементів газорозподільних мереж працюють у режимах підвищених навантажень та агресивного середовища, що спричиняє поступовий знос і деградацію матеріалів. Сучасні процедури контролю, що застосовуються на підприємстві, відповідають вимогам національних і міжнародних нормативних документів (ДСТУ, ДСТУ EN, ISO), а також внутрішнім методикам підприємства [40].

Таким чином, система контролю в газорозподільних мережах включає комплекс взаємопов'язаних процедур, що охоплюють етапи експлуатації, ремонту та повторного введення деталей у роботу.

Для узагальнення основних контрольних операцій, які застосовуються в ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ», доцільно систематизувати їх у вигляді таблиці 2.1.

Загальна структура системи контролю

Система контролю на ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ» включає основні напрямки:

1. Оглядово-візуальний контроль (ОВК)
2. Інструментально-вимірювальний контроль
3. Неруйнівний дефектоскопічний контроль (НДК)
4. Функціонально-ресурсний контроль у складі обладнання

Використання багатоетапної системи дозволяє комплексно оцінювати стан деталей та приймати обґрунтовані рішення щодо їх відновлення, модернізації або списання.

1. Первинний (вхідний) контроль деталей і вузлів

Усі деталі, що надходять у ремонт або експлуатацію, проходять обов'язкову процедуру вхідного контролю відповідно до:

- ДСТУ EN 10204:2017 щодо сертифікаційної документації;
- ДСТУ 2291-2003 (правила приймання продукції машинобудування);
- Внутрішніх регламентів ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ».

Таблиця 2.1 – Основні процедури контролю технічного стану деталей у газорозподільних системах

№	Процедура контролю	Основні операції	Використовувані засоби контролю	Нормативна база	Результат / призначення
1	Вхідний контроль деталей і вузлів	Візуальний огляд, перевірка маркування, вимірювання базових параметрів	Штангенциркулі, мікрометри, нутроміри, лупи	ДСТУ EN 10204:2017, ДСТУ 2291-2003	Відбракування непридатних деталей, визначення групи придатності
2	Поточний контроль у процесі експлуатації	Перевірка герметичності, огляд арматури, оцінка корозії	Газоаналізатори, індикатори витоку, манометри	НПАОП 0.00-1.76-15, ДСТУ EN 1775:2018	Забезпечення безпеки та вчасне виявлення дефектів у мережі
3	Дефектація після демонтажу	Геометричні вимірювання, контроль форми, НДК (УЗД, МПК, капілярний контроль)	Ультразвукові дефектоскопи, магнітопорошкові установки, товщиноміри	ДСТУ EN ISO 9712:2019, ДСТУ ISO 9001:2018	Визначення доцільності відновлення та вибір технології ремонту
4	Контроль після відновлення	Перевірка розмірів, твердості, адгезії покриття, герметичності, повторний НДК	Твердоміри, мікрометри, комплекси НДК, стенди для випробувань	ДСТУ ISO 10012:2005, ТУ підприємства	Підтвердження якості відновленої деталі та її придатності до подальшої експлуатації
5	Метрологічний контроль засобів вимірювань	Повірка та калібрування, ведення паспортів, перевірка точності інструменту	Еталони, калібри, повірочні стенди	Закон України «Про метрологію...», ДСТУ 3215-95	Забезпечення точності усіх вимірювань, мінімізація похибок

Основні операції:

- Звіряння паспортних даних і маркування (ідентифікація деталі).
- Візуально-органолептичний огляд для виявлення корозії, деформацій, тріщин.

- Оцінка відповідності геометрії базовим параметрам:

- діаметри та посадкові місця;
- довжини та товщини стінок;
- перпендикулярність і співвісність поверхонь.

Виявлені критичні дефекти фіксуються в журналі вхідного контролю, після чого деталі класифікуються за групами придатності.

2. Поточний технічний контроль у системі газорозподілу

У процесі експлуатації основних елементів газорозподільних мереж (запірно-регулюючої арматури, газорегуляторних пунктів, лічильників, з'єднань) реалізується систематичний контроль, визначений:

- «Правилами безпеки систем газопостачання України» (НПАОП 0.00-1.76-15),
- ДСТУ EN 1775:2018 «Газопостачання. Газопроводи всередині будівель».

До основних заходів належать:

- Огляд герметичності фланцевих, різьбових та зварних з'єднань.
- Перевірка роботи запірної арматури — ступінь відкривання, зусилля, відсутність заклинювання.
- Контроль тиску газу та коректності регулювання ГРП.
- Оцінка стану корпусів та елементів, схильних до корозії.

Регулярність контролю визначається планами ТО, але важливі вузли обстежуються не рідше ніж раз на 6 місяців.

3. Контроль після демонтажу (дефектація)

Це один із найважливіших етапів перед відновленням деталей, адже він визначає: чи підлягає деталь ремонту, яким методом, та чи доцільне її відновлення.

Дефектація включає:

3.1. Візуальний і вимірювальний контроль

- Застосування штангенінструменту, мікрометрів, нутромірів.
- Порівняння реальних параметрів із допустимими за документацією (ТУ, креслення).

- Оцінка зміни форми: еліпсність, биття, прогини.

3.2. Неруйнівний контроль

Використовуються такі методи:

- Капілярний контроль для виявлення мікротріщин на поверхні.
- Магнітопорошковий контроль феритних деталей.
- Ультразвукова дефектоскопія для оцінки внутрішніх тріщин і пор.
- Товщинометрія корпусних елементів.

Саме на цьому етапі формується висновок щодо залишкового ресурсу та вибору технології відновлення.

4. Контроль якості після відновлення деталей

Після виконання технологічних операцій (наплавлення, напилення, обробка, гальванічні процеси) проводиться серія перевірок, визначених:

- ДСТУ ISO 9001:2018;
- ДСТУ EN ISO 9712:2019 (вимоги до персоналу НК);
- Внутрішніми ТУ на відновлення деталей підприємства.

Основні етапи:

- Геометричний контроль — точність розмірів, шорсткість, посадкові параметри.
- Контроль адгезії і цілісності покриттів.
- Мікроструктурний аналіз (за потреби).
- Повторний НДК для підтвердження відсутності тріщин і пор.
- Функціональні випробування у складі механізмів:
 - перевірка зусиль;
 - перевірка тиску;
 - герметичність вузла.

Ці заходи дозволяють гарантувати, що відновлена деталь може бути безпечно повернена до експлуатації.

5. Метрологічна підтримка процесу контролю

Система контролю неможлива без точних засобів вимірювання. У ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ» діє повноцінна метрологічна служба, яка виконує:

- повірку манометрів, витратомірів, калібрів, індикаторів;
- калібрування мікрометричних засобів;
- ведення метрологічних журналів і паспортів;
- перевірку працездатності приладів НДК.

Метрологічний контроль виконується згідно з:

- Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність»;
- ДСТУ ISO 10012:2005;
- ДСТУ 3215-95.

6. Документування процедур контролю

На підприємстві ведеться повний комплект документації:

- журнали вхідного контролю;
- акти неруйнівного контролю;
- протоколи вимірювань;
- паспорти відновлених деталей;
- історія технічного стану кожної деталі.

Це забезпечує простежуваність (traceability), що є вимогою ISO 9001 та обов'язковою умовою під час перевірок Держпраці.

На основі аналізу можна зазначити, що існуюча система контролю технічних деталей у ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ» є багаторівневою, структурованою та побудованою відповідно до сучасних галузевих вимог. Застосування комплексного підходу до діагностики — від вхідного контролю до післяремонтних випробувань — дає змогу забезпечувати високу достовірність результатів, своєчасно виявляти дефекти та формувати ефективну політику відновлення деталей. Така система сприяє підвищенню надійності газорозподільних систем та зменшенню ризику аварійних ситуацій.

2.2 Методики відновлення ключових деталей газового обладнання

Ефективність відновлення деталей (особливо на прикладі ХМФ "ГАЗМЕРЕЖІ") залежить від правильного вибору технології, яка забезпечить не лише відновлення геометрії, але й збереження або покращення експлуатаційних характеристик (рисунок 2.1).

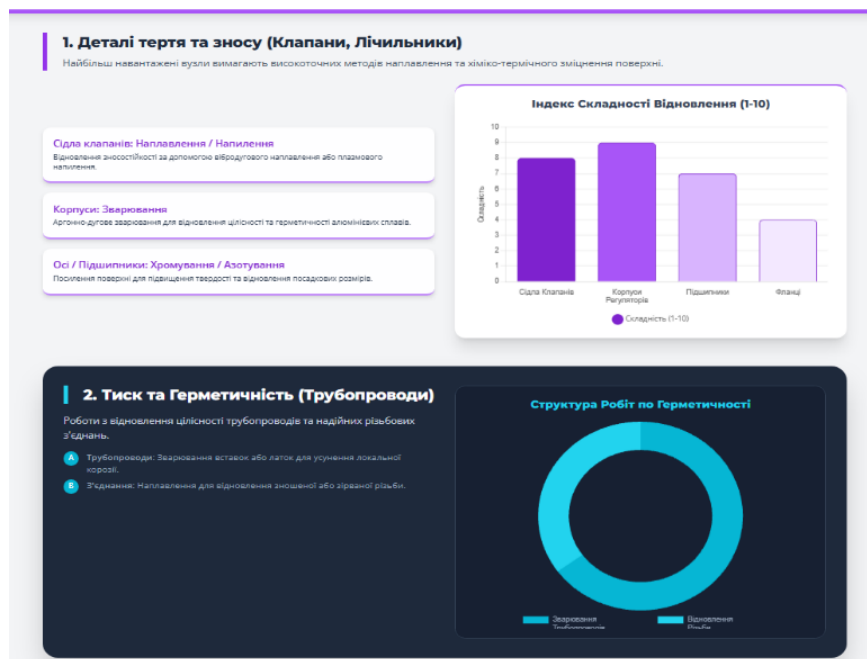


Рисунок 2.1 – Ключові методики відновлення

1 Відновлення деталей, що працюють на знос та тертя

Деталі цієї групи є критично важливими для регулювання та обліку газу. Основною метою відновлення є підвищення твердості та зносостійкості поверхневого шару. Методики відновлення для цієї групи деталей представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1- Методики відновлення деталей, що працюють на знос та тертя

Група деталей	Типові дефекти	Основна методика відновлення	Призначення
Сідла клапанів, затвори, шпинделі (Газорегулююче та запірне обладнання)	Корозія, ерозійний знос, кавітація.	Наплавлення (ручне, автоматичне, вібродугове) або Термічне наплення (газотермічне, плазмове).	Відновлення робочої поверхні та/або підвищення зносостійкості шляхом нанесення нового шару металу чи сплаву.
Корпуси лічильників та регуляторів	Тріщини, пробої, пористість.	Зварювання (аргонно-дугове для алюмінієвих сплавів, електродугове для сталі).	Усунення структурних пошкоджень та відновлення герметичності корпусу.
Підшипники та осі (Лічильні механізми)	Знос посадкових місць, вироблення.	Хіміко-термічна обробка (цементация, азотування), Хромування або Нікелювання.	Посилення поверхневого шару для збільшення твердості та стійкості до тертя, відновлення посадкових розмірів.
Фланцеві з'єднання	Викривлення, нерівномірний знос.	Механічна обробка (шліфування, притирання).	Забезпечення необхідної площинності та шорсткості для герметичного з'єднання.

Успішність відновлення деталей тертя визначається якістю адгезії та зносостійкістю нанесеного покриття, що вимагає впровадження спеціалізованих методів Неруйнівного Контролю (НКТ).

2 Відновлення деталей, що працюють на тиск та герметичність

Деталі цієї групи забезпечують цілісність системи та безаварійне транспортування газу. Ключові методи відновлення для цієї категорії, домінуючою технологією в яких є зварювання, представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Методики відновлення деталей, що працюють на тиск та герметичність

Група деталей	Типові дефекти	Основна методика відновлення	Призначення
Ділянки трубопроводів	Локальна корозія, зовнішні пошкодження.	Зварювання (накладення латок, ремонтних муфт, вварювання вставок).	Усунення дефектів тіла труби для відновлення механічної міцності та герметичності.
Різьбові з'єднання	Зрив або знос різьби.	Наплавлення з подальшим нарізанням нової різьби або Встановлення ремонтних вставок.	Відновлення надійності різьбового з'єднання для арматури.

Відновлення деталей, що працюють під тиском, є високоризиковим, що вимагає обов'язкового застосування об'ємних методів неруйнівного контролю (УЗК, РК) для підтвердження внутрішньої цілісності матеріалу.

3 Відновлення пружних та чутливих елементів

Ця група деталей несе відповідальність за точність регулювання та безпеку, оскільки їхній функціонал залежить від відновлення фізико-механічних властивостей. Методики для цієї групи детально описані у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Методики відновлення пружних та чутливих елементів

Група деталей	Типові дефекти	Основна методика відновлення	Призначення
Пружини (Регулятори тиску, запобіжні клапани)	Втрата пружності, зміна характеристик.	Термічна обробка (відпуск, нормалізація) з подальшою тарировкою (встановленням робочих параметрів).	Відновлення заданих характеристик пружності, критичних для безпечної роботи обладнання.
Металеві фільтри	Забруднення, часткова деформація.	Хімічне або термічне очищення (промивання під тиском, випалювання).	Відновлення пропускну здатності та функціоналу очищення газу.

Відновлення пружних елементів вимагає жорсткого контролю функціональних характеристик після термообробки, оскільки геометричні параметри тут не є єдиним критерієм якості, необхідна тарировка.

4 Зв'язок методик відновлення з контролем якості (НКТ)

Неруйнівний контроль є інтегральною частиною технологічного процесу відновлення, виконуючи функцію верифікації безпеки та надійності. Вибір конкретного методу НКТ безпосередньо залежить від фізичної природи дефекту, що може виникнути при застосуванні обраної методики відновлення.

1. Контроль зварних та наплавлених з'єднань (Групи 1 та 2): *
Ультразвуковий контроль (УЗК): Використовується для виявлення внутрішніх об'ємних дефектів (пори, шлакові включення, непровари, тріщини), які можуть виникнути в товщі металу під час зварювання. Є обов'язковим для деталей, що працюють під тиском.

- Радіографічний контроль (РК): Застосовується як альтернатива або доповнення до УЗК, забезпечуючи документальне підтвердження відсутності внутрішніх дефектів.

- Магнітопорошковий (МПК) та Капілярний (КПК) контроль: Ці методи призначені для виявлення поверхневих та підповерхневих тріщин, що

виникають внаслідок термічних напружень або механічної обробки зони наплавлення.

2. Контроль покриттів (термічне напилення, хромування, нікелювання) (Група 1):

- Вихрострумний контроль: Основний метод для неферромагнітних покриттів (наприклад, нікелювання на сталі), що дозволяє швидко та точно оцінити товщину нанесеного шару.

- Контроль твердості: Проводиться за методом Віккерса або Роквелла для підтвердження підвищення зносостійкості робочої поверхні згідно з технічними вимогами.

- Візуально-вимірювальний контроль (ВВК) та контроль шорсткості: Необхідні для оцінки якості фінішної обробки поверхні, критичної для деталей, що працюють на тертя.

3. Метрологічний контроль (Усі групи):

- Використовуються високоточні вимірювальні інструменти (мікрометри, калібри, електронні штангенциркулі) для підтвердження відновлення геометричних параметрів (діаметрів, допусків, площинності) після механічної обробки.

- Для пружних елементів (Група 3) метрологія доповнюється функціональним контролем (тарируванням) для підтвердження відновлення робочих характеристик (наприклад, зусилля пружини при заданій деформації).

Впровадження диференційованої системи НКТ, як показано на , гарантує, що жодна деталь не буде допущена до експлуатації без підтвердження цілісності, що є ключовим для безпеки газотранспортних систем.

Ефективне управління якістю відновлених деталей досягається шляхом інтеграції ризик-орієнтованого підходу, де вибір методу НКТ є прямим наслідком технологічних ризиків, притаманних обраній методиці відновлення, забезпечуючи тим самим необхідний рівень надійності.

2.3 Ідентифікація факторів, що знижують точність контролю відновлених деталей

Відновлення деталей газового обладнання, що включає зварювання, наплавлення, термічну та хіміко-термічну обробку, неминуче вносить структурні та фізико-механічні зміни, які можуть суттєво знизити достовірність результатів неруйнівного контролю (НКТ) порівняно з контролем нових виробів. Недосконалий контроль може призвести до повернення в експлуатацію деталі з прихованими дефектами, що є неприпустимим для об'єктів підвищеної небезпеки. Ідентифікація цих факторів є ключем до розробки коригувальних методик контролю [35].

Фактори, що знижують точність НКТ, можна класифікувати на дві основні групи: Технологічні (пов'язані з процесом відновлення) та Інструментально-Методичні (пов'язані з організацією та реалізацією контролю).

1 Технологічні фактори та їх вплив на фізичні поля

Технологічні фактори — це фізичні зміни в матеріалі, які змінюють його акустичні, магнітні, електричні чи проникаючі властивості. Вони є первинною причиною похибок у НКТ відновлених вузлів.

А. Мікроструктурні та акустичні неоднорідності

Наплавлення та зварювання створюють зону термічного впливу (ЗТВ) та наплавлений метал, які мають значно іншу кристалічну структуру (наприклад, крупнозернисту) порівняно з основним металом.

- Вплив на УЗК: Різниця в акустичному імпедансі між основним металом і наплавленим шаром призводить до потужного розсіювання та заломлення ультразвукових хвиль на межі розділу. Це ускладнює проходження сигналу і спричиняє значне спотворення шляху хвилі та помилки у визначенні глибини та фактичних розмірів дефекту. Крім того, крупнозерниста структура ЗТВ підвищує рівень акустичного шуму, маскуючи сигнали від невеликих, але критичних дефектів.

- Вплив на РК: У деяких випадках (особливо для товстостінних деталей), неоднорідність щільності та хімічного складу на кордоні ЗТВ та наплавленого шару може створювати тіні на радіографічних знімках, які важко відрізнити від справжніх об'ємних дефектів.

Б. Залишкові напруження та магнітні аномалії

Процеси з нагріванням, особливо без належного післязварювального термічного оброблення, призводять до виникнення залишкових розтягуючих або стискаючих напружень у відновленій зоні.

- Вплив на МПК та ВТК: Залишкові напруження викликають магнітопружний ефект, який змінює магнітну проникність матеріалу. При магнітопорошковому контролі (МПК) це може призвести до хибних індикацій (скупчення порошку в зонах напруги, а не дефекту) або, навпаки, до маскуванню справжніх тріщин, що проходять перпендикулярно до напрямку напруги.

В. Неоднорідність покриттів та Шорсткість

При відновленні деталей тертя використовують гальванічні або термічно напилені покриття.

- Вплив на вихрострумний контроль (ВТК): ВТК використовується для вимірювання товщини захисних покриттів. Якщо покриття нанесено з неоднорідною товщиною або його склад має локальні вclusions (наприклад, пористість у плазмовому напиленні), це порушує формування вихрових струмів і призводить до хибних показань товщиноміра.

- Вплив на КПК та ВВК: Надмірна шорсткість поверхні після наплавлення або недостатньої механічної обробки збільшує фоновий шум і ускладнює проникнення барвника при капілярному контролі (КПК).

2 Інструментально-методичні фактори

Ці фактори пов'язані з використанням стандартних процедур та інструментів для контролю нестандартних відновлених об'єктів.

А. Неадекватні калібрувальні зразки (СОП)

Стандартні зразки (СОП) для УЗК та РК виготовлені з однорідного, основного матеріалу деталі, не враховуючи біметалічні або багатошаровість відновленої зони.

- Наслідок: Використання стандартного СОП для калібрування приладу при контролі неоднорідної зони наплавлення створює систематичну похибку у визначенні параметрів дефекту. Ця похибка прямо пропорційна різниці в акустичних характеристиках між еталоном та фактичною зоною контролю. Для коректного контролю необхідні спеціалізовані СОП, які відтворюють структуру відновленого з'єднання.

Б. Геометричні обмеження та доступність

Відновлення часто змінює зовнішній контур деталі.

- Наслідок: У зонах складного перетину неможливо забезпечити необхідний акустичний контакт або оптимальне позиціонування датчиків/випромінювачів. Це призводить до необхідності контролю зі зниженою чутливістю або до залишення неперевірених "мертвих зон", що є значним ризиком для безпеки експлуатації.

В. Інтерпретаційна невизначеність (Кваліфікація оператора)

Чітка ідентифікація дефекту вимагає високої кваліфікації. У відновлених деталях оператор стикається з індикаціями, яких немає у нових.

- Наслідок: Сигнали, що походять від межі наплавлення/основа, або від великих зерен у ЗТВ, можуть бути помилково прийняті за справжні дефекти (хибні індикації), що веде до необґрунтованого бракування. І навпаки, справжні дефекти можуть бути "замасковані" високим структурним шумом, що призводить до пропуску критичних пошкоджень (помилки другого роду) (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 - Систематизація факторів, що знижують достовірність НКТ відновлених деталей

Категорія	Фактор, спричинений відновленням	Механізм впливу на НКТ	Методи, що найбільше страждають
Технологічні	Мікроструктурні неоднорідності (ЗТВ, крупне зерно)	Розсіювання та заломлення фізичних полів (акустичних хвиль). Підвищення структурного шуму.	УЗК (Ультразвуковий), РК (Радіографічний)
Технологічні	Залишкові напруження (термообробка)	Магнітопружний ефект, зміна магнітної проникності або швидкості звуку.	МПК (Магнітопорошковий), УЗК, ВТК (Вихрострумовий)
Технологічні	Неоднорідність покриттів та шорсткість	Порушення формування вихрових струмів; утруднення проникнення пенетранта; хибна інтерпретація шорсткості як дефекту.	ВТК, КПК (Капілярний), ВВК (Візуальний)
Методичні	Неадекватні Калібрувальні Зразки (СОП)	Систематична похибка в розрахунках (глибина, розмір дефекту) через невідповідність акустичних/електричних характеристик еталона та зони контролю.	УЗК, ВТК
Методичні	Геометричні обмеження	Неможливість забезпечення акустичного контакту або оптимального кута/позиції датчика у складних контурах.	УЗК, РК
Методичні	Інтерпретаційна невизначеність	Помилки 1-го роду (хибні індикації) та 2-го роду (пропуск дефекту) через маскування дефектів шумом.	УЗК, МПК

3 Системні коригувальні та компенсаційні протоколи НКТ

Нейтралізація вищезазначених факторів вимагає не просто заміни обладнання, а впровадження системного, багатоетапного підходу, інтегрованого у загальний технологічний процес відновлення.

- Розробка технологічних карт контролю (ТКК) для кожної методики відновлення:

- Вимога: ТКК повинні бути розроблені індивідуально для кожного типу відновлення (наплавлення, зварювання, напилення).

- Зміст: Карти повинні чітко вказувати оптимальний вибір зонду/датчика, необхідний рівень шорсткості поверхні, схему сканування, а також коефіцієнти поправок для акустичних шляхів, розраховані з урахуванням зміни швидкості звуку у відновленому матеріалі.

- Застосування цифрових технологій контролю:

- Фазовані ґратки (Phased Array UT): Перехід від класичного УЗК до PAUT дозволяє електронно керувати акустичним пучком, динамічно змінюючи кут введення та фокусування. Це єдиний надійний спосіб компенсації заломлення хвилі та мінімізації впливу крупнозернистої структури ЗТВ.

Перехід на PAUT є критично важливим для деталей з неоднорідними структурами (наприклад, зони зварювання). Ця технологія дозволяє не тільки краще виявляти дефекти, але й революціонізує процес калібрування за допомогою СОП:

- Компенсація мікроструктури: Завдяки електронному управлінню променем, PAUT може краще компенсувати розсіювання ультразвуку в зоні термічного впливу (ЗТВ) та давати більш чистий сигнал.

- Покриття геометрії: Здатність змінювати кут променя дозволяє "обійти" складні геометричні перешкоди (наприклад, посилення зварного шва), де традиційний метод дає "мертві зони".

- Критична роль СОП: Навіть при використанні RAUT, СОП залишаються необхідними для точного калібрування. Проте вимоги до них змінюються:

- Потреба в індивідуальних СОП: Для складних об'єктів необхідно використовувати СОП, виготовлені з аналогічного матеріалу та з такою ж термічною історією, як і об'єкт контролю. Це усуває систематичні похибки, викликані різницею у швидкості звуку чи структурі між звичайним еталоном та фактичною деталлю.

- Верифікація сканування: СОП використовуються для верифікації не лише чутливості, але й геометрії електронного сканування (S-Scan), підтверджуючи, що промінь коректно покриває весь необхідний діапазон кутів.

Висновок: RAUT — це інструмент, який надає не просто графік, а повну візуалізацію внутрішньої структури. Але щоб ця візуалізація була достовірною, необхідно підходити до вибору та використання СОП з більшою точністю, використовуючи індивідуальні зразки, які максимально імітують властивості об'єкта контролю.

- Цифрова радіографія (DR): Забезпечує можливість постобробки зображень (зміна контрастності, збільшення), що значно полегшує ідентифікацію дефектів на неоднорідних фонах.

- Вимоги до кваліфікації та сертифікації Персоналу:

- Вимога: Оператори, які проводять НКТ відновлених деталей, повинні проходити додаткову спеціалізовану сертифікацію (III рівень), орієнтовану на виявлення дефектів у неоднорідних структурах, а не лише в базовому матеріалі.

- Мета: Зменшення впливу людського фактора та хибної інтерпретації індикацій.

Ідентифікація факторів, що знижують точність неруйнівного контролю, є критично важливим етапом забезпечення якості відновлення.

Ці фактори, що кореняться як у фізичних змінах матеріалу (технологічні), так і у неадекватності стандартних методик (методичні), вимагають негайного вирішення (рисунок 2.2).

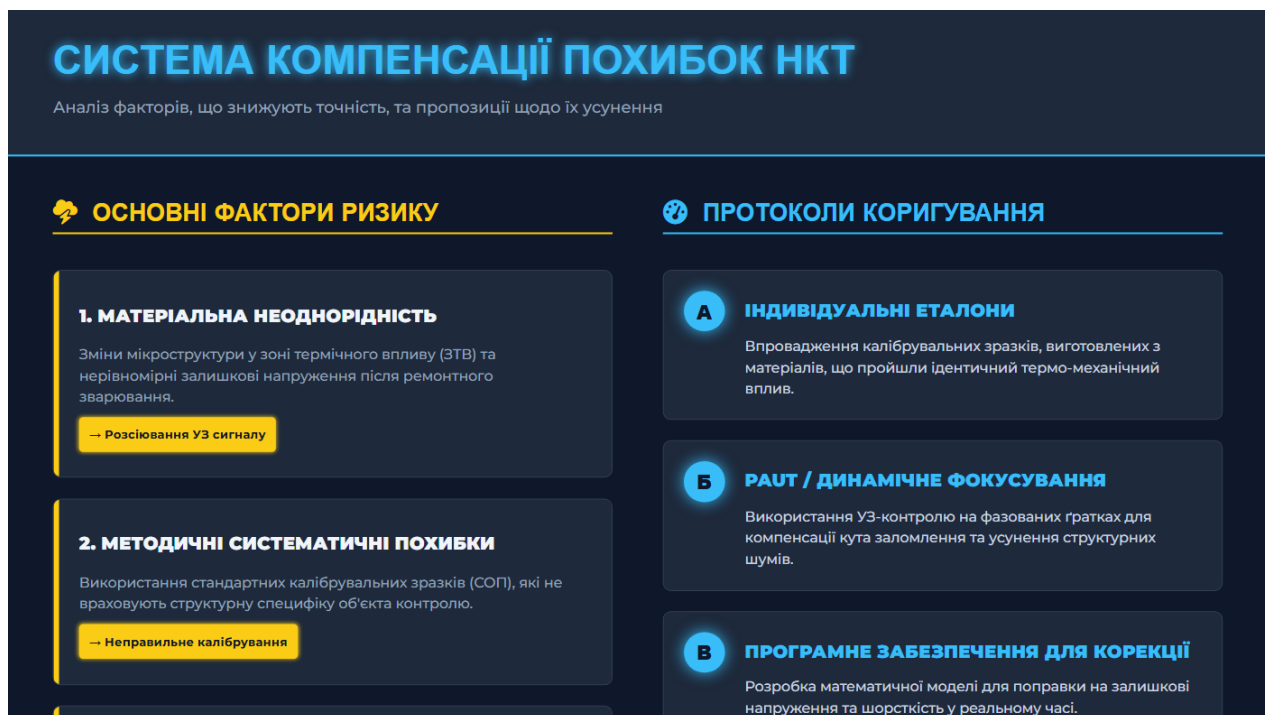


Рисунок 2.2 - Фактори, що знижують точність контролю відновлених деталей

Надійний контроль відновлених деталей не може базуватися на стандартах, розроблених для нових виробів. Необхідне впровадження індивідуалізованих, мультимодальних протоколів НКТ, заснованих на сучасному цифровому обладнанні (PAUT, DR) та використанні спеціалізованих калібрувальних еталонів.

Такий системний підхід забезпечує максимальну достовірність діагностики, гарантуючи, що відновлені деталі відповідають усім вимогам безпеки та надійності, що є економічно виправданою альтернативою придбанню нових вузлів.

2.4. Обґрунтування потреби у стандартизації процедур контролю

Аналіз показав, що результати перевірки якості сильно відрізняються (висока внутрішня варіативність), і це залежить від багатьох факторів. Головні причини таких розбіжностей (рисунок 2.3):

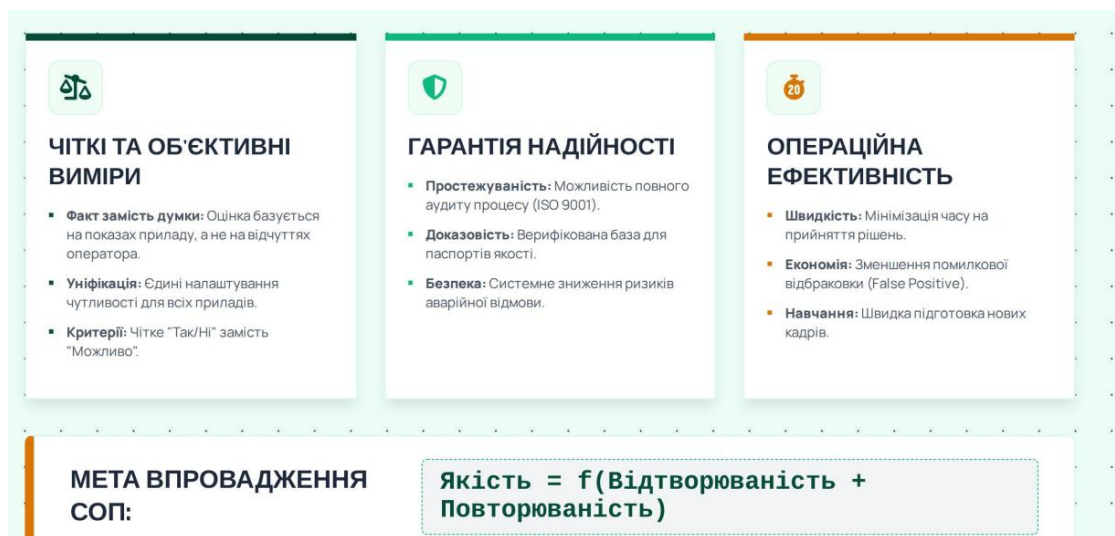


Рисунок 2.3 – Обґрунтування потреби у стандартизації процедур контролю

1. Людський фактор: наскільки добре виконавець знає свою справу та його особиста думка щодо дефекту;
2. Обладнання: неточні чи нестабільні налаштування вимірювальних приладів;
3. Нечіткі критерії: відсутність єдиних правил, як саме оцінювати знайдені дефекти.

Ця нестабільність призводить до того, що результати контролю неможливо точно повторити різним фахівцям або навіть тим самим фахівцем у різний час. Це створює серйозну загрозу для надійності відновлених деталей.

Щоб виправити цю ситуацію, необхідно терміново ввести та затвердити стандартизовані операційні процедури (СОП) – тобто, єдині та чіткі правила роботи.

➤ Виключення особистої думки та помилок виконавця

Основна мета СОП — зробити процес контролю об'єктивним, тобто незалежним від конкретної людини.

- Єдині налаштування: СОП чітко прописує всі параметри роботи: який тестовий зразок використовувати, як налаштувати чутливість приладу та в якій послідовності перевіряти точки на деталі. Якщо всі оператори починають роботу з однаковими умовами, результат буде однаковий.

- Чіткі критерії оцінки: замість розпливчастих описів (наприклад, "помітна тріщина"), СОП вводить точні вимірювані правила. Наприклад: "Деталь відбраковується, якщо глибина дефекту більша за 0.5 мм". Це виключає подвійне трактування.

- Просте навчання: коли правила формалізовані, нових співробітників можна швидко і якісно навчити за єдиним зразком, гарантуючи, що вони відразу почнуть працювати за високими стандартами.

➤ Підвищення надійності та відповідності вимогам

Дотримання єдиних правил – це прямий шлях до надійності.

- Гарантія достовірності: дотримання СОП створює документальне підтвердження того, що перевірка була проведена правильно і деталь повністю відповідає технічним вимогам.

- Можливість перевірки (аудиту): стандартизовані процедури дозволяють легко відстежити кожен крок контролю. Це необхідно для внутрішніх перевірок та підтвердження відповідності міжнародним стандартам якості (наприклад, ISO).

- Зниження ризиків: точність контролю, забезпечена СОП, значно зменшує ймовірність того, що відремонтована деталь вийде з ладу під час експлуатації. Це критично важливий елемент для запобігання фінансовим та репутаційним втратам.

➤ Оптимізація операційної ефективності

Впровадження СОП є інструментом підвищення продуктивності та зниження операційних витрат через мінімізацію непродуктивних втрат.

- Зменшення непродуктивного часу: Чітка, покрокова інструкція усуває необхідність для виконавця витрачати час на прийняття рішень чи пошук інформації, забезпечуючи безперервність робочого процесу. Це сприяє підвищенню загальної продуктивності праці.

- Мінімізація перевитрат ресурсів: Точний контроль зменшує рівень технологічного браку та запобігає необґрунтованій відбраковці. Це прямо впливає на економію матеріалів та енергоресурсів.

- Формування інституційної пам'яті: СОП слугують формалізованою інституційною базою знань, яка може бути систематично оновлена та вдосконалена. Це створює механізм для безперервного поліпшення якості (continual improvement) всього технологічного процесу.

Введення стандартизованих операційних процедур перетворить непередбачуваний і суб'єктивний процес контролю на стабільну, прозору та надійну систему. Ця трансформація має стратегічне значення:

1. Гарантія якості та відтворюваності: СОП забезпечують, що кожен етап відновлення та контролю виконується ідентично, незалежно від виконавця. Це усуває "людський фактор" як джерело помилок, підвищуючи відтворюваність результатів і гарантуючи, що кожна відновлена деталь відповідає найвищим стандартам надійності, що критично важливо для кінцевого продукту.

2. Мінімізація операційних ризиків: чітко визначені кроки, параметри та критерії відмови дозволяють заздалегідь ідентифікувати та усунути потенційні ризики. Це не лише знижує кількість браку та необхідність у дорогovarтісних повторних роботах (переробках), але й забезпечує відповідність внутрішнім та міжнародним регуляторним вимогам, захищаючи компанію від фінансових та репутаційних втрат.

3. Формування інституційної бази знань: документування процесів у форматі СОП перетворює індивідуальні знання та досвід працівників на

корпоративний актив. Це значно спрощує навчання нових співробітників, гарантує безперервність виробництва навіть при зміні персоналу та створює структуровану основу для постійного технологічного вдосконалення (Kaizen).

Проведене дослідження підтверджує, що ефективність та безпека газового обладнання безпосередньо залежать від точності метрологічних процедур. Аналіз теоретичних основ надійності та систематизація типових дефектів, таких як корозія та мікротріщини, дозволили визначити чіткі вимоги до точності вимірювань. Це стало підґрунтям для обґрунтування вибору методів неруйнівного контролю як основного джерела достовірної вимірювальної інформації.

Дослідження сучасних практик у ХМФ ГАЗМЕРЕЖІ показало, що існуючі перевірки часто залежать від досвіду персоналу, що створює ризики методичних похибок. Ідентифікація факторів, що впливають на точність оцінки, виявила нестабільність умов проведення контролю та відсутність єдиних правил. Це підтвердило нагальну потребу у впровадженні стандартизованого підходу для забезпечення єдності вимірювань та мінімізації впливу людського фактора.

Головним результатом роботи стала розробка стандартної операційної процедури, яка регламентує вибір засобів вимірювальної техніки та порядок обробки результатів. Оцінка впливу СОП підтвердила підвищення достовірності та метрологічної надійності контролю. Стандартизація процесів забезпечує простежуваність вимірювань, дозволяє накопичувати статистичні дані для аналізу якості та суттєво знижує ймовірність аварійних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури міста.

3 Розробка стандартної операційної процедури контролю відновлених деталей

3.1 Обґрунтування впровадження стандартної операційної процедури

У сучасних умовах промислового виробництва та експлуатації технічних систем надзвичайно важливим є забезпечення високої якості відновлення деталей, адже від цього безпосередньо залежить надійність обладнання, безпека виробничих процесів і ефективність використання ресурсів підприємства. Відновлені деталі, пройшовши технологічні процеси ремонту та реставрації, повинні відповідати встановленим стандартам і технічним характеристикам, що гарантують їхню працездатність у заданих умовах експлуатації.

Розробка стандартної операційної процедури для контролю відновлених деталей ґрунтується на системному науковому підході, який об'єднує знання з механіки, матеріалознавства, метрології, технології ремонту та управління якістю. Основною метою СОП є встановлення уніфікованого алгоритму дій, який дозволяє забезпечити точність, надійність та повторюваність результатів контролю.

Обґрунтування розробки СОП включає кілька ключових аспектів:

1. Системний та комплексний підхід до контролю якості: Відновлена деталь розглядається як складна функціональна система, властивості якої визначаються матеріалом, технологією відновлення, станом обладнання, кваліфікацією персоналу та умовами експлуатації. СОП дозволяє стандартизувати послідовність контрольних процедур, зменшити вплив людського фактора та забезпечити інтегрований підхід до оцінки всіх критичних характеристик деталі. Це дозволяє не лише визначити відповідність деталі технічним вимогам, а й прогнозувати її поведінку у реальних експлуатаційних умовах.

2. Обґрунтовані методи контролю: Контроль відновлених деталей передбачає використання точних та метрологічно підтверджених методів вимірювань. До них належать:

- оцінка геометричних параметрів та допусків;
 - визначення фізико-механічних властивостей матеріалу (твердість, ударна в'язкість, модуль пружності);
 - аналіз мікроструктури та стану поверхні;
 - застосування методів неруйнівного контролю (ультразвукова діагностика, магнітопорошковий контроль, капілярний контроль тощо).
- Стандартизоване використання цих методів дозволяє забезпечити порівнянність результатів вимірювань між різними партіями деталей та різними працівниками.

3. Ідентифікація та контроль критичних характеристик: Критичними характеристиками деталей є параметри, що найбільше впливають на їхню працездатність та безпеку, такі як товщина зношеного шару, розміри і допуски, твердість, корозійна стійкість, а також рівень залишкових напружень після відновлення. СОП забезпечує систематичний контроль саме цих характеристик, що дозволяє запобігти виходу з ладу деталей під час експлуатації.

4. Оптимізація ресурсів та підвищення ефективності процесу контролю: Стандартизована процедура контролю дозволяє скоротити час на проведення перевірок, зменшити витрати на повторні вимірювання та покращити організацію роботи персоналу. Це сприяє економічній ефективності відновлювальних процесів і знижує загальні виробничі витрати.

5. Управління ризиками та підвищення надійності: СОП забезпечує системний підхід до оцінки ризиків невідповідності деталей встановленим вимогам та дозволяє впроваджувати превентивні заходи для їхнього мінімізації. Такий підхід дозволяє не лише виявляти дефекти після завершення процесу відновлення, а й прогнозувати їхнє виникнення на ранніх стадіях технологічного циклу.

6. Врахування сучасних стандартів і нормативів: При розробці СОП враховуються національні та міжнародні стандарти, методики метрологічного

контролю, вимоги до якості відновлення деталей та передовий досвід промислових підприємств. Це забезпечує відповідність процедури сучасним технічним вимогам, законодавчим нормам та міжнародним практикам.

7. Адаптація до специфіки підприємства: Обґрунтування СОП передбачає її адаптацію до конкретних умов підприємства, включаючи особливості технологічного обладнання, кваліфікацію персоналу, типи відновлюваних деталей та їх функціональне призначення. Це дозволяє максимально ефективно інтегрувати процедуру контролю у виробничий процес, підвищуючи його якість та надійність.

Таким чином, науково обґрунтована розробка СОП є комплексним завданням, що поєднує теоретичні основи метрології, матеріалознавства, технології відновлення та управління якістю. Впровадження СОП забезпечує високу достовірність результатів контролю, стандартизацію процесів, оптимізацію ресурсів та підвищення загальної якості відновлення деталей. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню надійності експлуатації обладнання, зменшенню аварійності та забезпеченню безпеки виробничих процесів.

3.2. Цілі та структура СОП

Стандартна операційна процедура контролю відновлених деталей розробляється з метою забезпечення системного, стандартизованого та надійного підходу до перевірки якості деталей після їх відновлення. СОП є важливим інструментом управління якістю, який дозволяє гарантувати відповідність деталей технічним вимогам, знизити ймовірність помилок, оптимізувати витрати ресурсів і підвищити загальну ефективність виробничого процесу.

Основні цілі розробки СОП:

1. **Забезпечення стандартності та повторюваності контролю:** СОП встановлює єдині правила проведення перевірок, послідовність дій і вимоги до інструментів та обладнання, що забезпечує стабільність результатів контролю незалежно від конкретного виконавця. Це дозволяє досягти високої стандартизації процесів і зменшити вплив суб'єктивного фактора, який часто є причиною похибок при оцінці якості деталей.
2. **Підвищення точності та достовірності результатів контролю:** Впровадження стандартизованих методів вимірювань, оцінки фізико-механічних та геометричних характеристик, а також чітких критеріїв приймання деталей забезпечує достовірність і об'єктивність оцінки якості. Це є особливо актуальним для критичних деталей, від працездатності яких залежить надійність обладнання та безпека виробничого процесу.
3. **Сфокусованість на критичних характеристиках:** СОП визначає пріоритетні параметри деталей, що мають найбільший вплив на їх експлуатаційні властивості. До таких характеристик належать товщина зношеного шару, допуски на розміри та геометричну форму, твердість, мікроструктура та фізико-механічні властивості матеріалу. Контроль цих параметрів дозволяє забезпечити ефективність перевірки та мінімізувати ризик виходу деталі з ладу в процесі експлуатації.
4. **Управління ризиками та попередження дефектів:** СОП дозволяє системно оцінювати ризики невідповідності деталей вимогам і впроваджувати превентивні заходи для їхнього зменшення. Застосування аналітичних методів оцінки ризиків і статистичних підходів дозволяє прогнозувати можливі дефекти та запобігати їхньому виникненню ще на етапі технологічного відновлення.
5. **Оптимізація трудових та матеріальних ресурсів:** Стандартизовані процедури контролю скорочують час на перевірку деталей, зменшують витрати на повторні вимірювання та підвищують продуктивність роботи персоналу. Це сприяє більш ефективному використанню матеріалів, обладнання та трудових

ресурсів підприємства, що особливо важливо для великих відновлювальних виробництв із великими обсягами робіт.

6. Покращення управління документацією та інформацією: СОП передбачає чітку систему фіксації результатів контролю та їх документування, що забезпечує прозорість і об'єктивність процесу перевірки. Документування дозволяє проводити аналіз якості відновлених деталей, визначати тенденції виникнення дефектів і впроваджувати заходи для їх усунення.

7. Врахування сучасних стандартів і нормативів: Розробка СОП здійснюється з урахуванням національних та міжнародних стандартів у сфері контролю якості, методик неруйнівного контролю, вимірювальної техніки та технологій відновлення деталей. Це забезпечує відповідність процедури сучасним технічним вимогам, законодавчим нормам та передовим практикам промислових підприємств.

8. Адаптація до специфіки підприємства: СОП розробляється з урахуванням специфіки конкретного підприємства, включаючи типи відновлюваних деталей, технологічне обладнання, кваліфікацію персоналу та функціональне призначення деталей. Це дозволяє інтегрувати процедуру контролю у виробничий процес максимально ефективно та підвищити надійність і якість відновлення.

Структура СОП контролю відновлених деталей

Структура СОП формує логічну та послідовну схему проведення контролю, яка охоплює всі необхідні етапи від підготовки до документування результатів. Типова структура включає наступні елементи:

1. Загальні положення:
 - призначення СОП;
 - сфера застосування;
 - відповідальні особи та їхні функції;
 - нормативна база та посилання на стандарти;
 - визначення термінів і основних понять.
2. Вимоги до контрольного обладнання та інструментів:

- перелік вимірювальних приладів та їх характеристики;
 - умови калібрування та технічного обслуговування;
 - вимоги до точності та метрологічної придатності;
 - заходи з безпеки при роботі з обладнанням.
3. Порядок підготовки до контролю:
- перевірка стану деталі та її очистка від забруднень;
 - підготовка робочих місць і документації;
 - встановлення параметрів контролю відповідно до вимог виробничого процесу;
 - проведення попередніх випробувань або калібрування приладів.
4. Етапи контролю:
- попередній візуальний огляд та оцінка зовнішнього стану;
 - вимірювання геометричних параметрів і допусків;
 - оцінка фізико-механічних властивостей;
 - перевірка поверхневого стану, мікроструктури та дефектів;
 - порівняння результатів з нормативними вимогами та технічними умовами;
 - класифікація деталей за станом (прийнятні/неприйнятні).
5. Документування результатів контролю:
- оформлення протоколів перевірки;
 - внесення даних у облікову документацію;
 - збереження результатів для аналізу та статистичної обробки;
 - формування звітів для керівництва та виробничих підрозділів.
6. Заходи у разі виявлення невідповідностей:
- алгоритм дій при виявленні дефектних деталей;
 - повторна перевірка або доопрацювання деталей;
 - внесення коректив у технологічний процес відновлення;
 - аналіз причин дефектів для запобігання їх повторенню.
7. Підсумковий аналіз і вдосконалення СОП:
- оцінка ефективності процедури контролю;

- внесення змін до СОП на основі результатів контролю та статистичного аналізу;
- рекомендації щодо підвищення якості процесу відновлення;
- навчання персоналу та підвищення кваліфікації відповідальних осіб.

Таким чином, структура СОП дозволяє організувати процес контролю відновлених деталей у вигляді послідовної, логічної та інтегрованої системи. Це забезпечує не лише стандартизацію процедур, а й підвищення точності оцінки якості, ефективне використання ресурсів та зниження ймовірності виникнення дефектів у процесі відновлення.

3.3. Вимоги до виконання процедур та технічного оснащення

Виконання процедур контролю відновлених деталей передбачає дотримання чітко визначених вимог, що забезпечують точність, надійність та відтворюваність результатів. Контрольні процедури здійснюються відповідно до затверджених стандартів підприємства та методик, які враховують особливості відновлених деталей, а також специфіку вимірювального обладнання. Недотримання цих вимог може призвести до хибних результатів, що негативно впливає на якість продукції та безпеку експлуатації.

Одним із ключових елементів є кваліфікація та підготовка персоналу. Працівники, що виконують контроль, повинні мати відповідну освіту, професійну підготовку та пройти внутрішнє навчання щодо методик контролю. Вони повинні знати технічні характеристики відновлених деталей, принципи роботи та можливі джерела похибок вимірювальних приладів, а також правила безпечного поводження з обладнанням. Високий рівень підготовки персоналу забезпечує мінімізацію впливу людського чинника та підвищує достовірність результатів.

Не менш важливим є технічне оснащення, яке використовується під час контролю. Для забезпечення високої точності та повторюваності вимірювань застосовуються сертифіковані та калібровані прилади. Основні вимоги до технічного оснащення включають:

- регулярну калібровку та перевірку приладів на відповідність нормативам точності;
- використання спеціалізованих інструментів для контролю різних параметрів: штангенциркулі, мікрометри, калібри;
- застосування засобів неруйнівного контролю (ультразвукові прилади, магнітопорошковий метод, капілярний метод) для оцінки внутрішніх дефектів та якості поверхні;
- забезпечення правильних умов зберігання обладнання: захист від вологи, пилу, механічних пошкоджень та різких перепадів температури.

Умови виконання процедур також мають критичне значення. Контроль проводиться в спеціально обладнаних приміщеннях, де підтримуються стабільні температурні та вологісні режими. Не допускається проведення вимірювань під впливом зовнішніх факторів, таких як вібрації, пряме сонячне світло або сильні електромагнітні поля, які можуть спотворювати результати.

Для забезпечення контролю якості процедур важливо:

- дотримуватися послідовності етапів перевірки;
- документувати всі результати вимірювань у журналах або електронних системах обліку;
- у разі виявлення невідповідностей тимчасово припиняти контроль до усунення причин відхилень;
- фіксувати прийняті коригувальні заходи та відповідальних осіб.

Таким чином, комплекс вимог до виконання процедур та технічного оснащення поєднує в собі правильну організацію роботи, професійну підготовку персоналу, застосування сучасного та належно каліброваного обладнання, а також контроль умов проведення вимірювань. Такий підхід забезпечує

надійність, точність та відтворюваність результатів контролю відновлених деталей, що є основою для підтримки високого рівня якості продукції.

3.4. Порядок проведення контролю та документування результатів

Порядок проведення контролю є центральним елементом розробленої СОП, оскільки саме від його чіткого дотримання залежить точність, достовірність та відтворюваність результатів перевірки відновлених деталей. Контроль передбачає не лише виконання вимірювань відповідно до встановлених методик, але й своєчасну фіксацію отриманих даних, що забезпечує їх надійність та можливість проведення внутрішнього аудиту.

Документування результатів є невід'ємною частиною процесу контролю, оскільки дозволяє систематизувати інформацію, контролювати відповідність процедур стандартам та оперативно реагувати на виявлені відхилення. Правильна організація цього процесу створює умови для підвищення якості продукції та мінімізації ризиків, пов'язаних із некоректними вимірюваннями або недотриманням технологічних норм.

У даному підрозділі розглядається послідовність дій при проведенні контролю, умови його виконання, а також порядок документування результатів, що забезпечує науково обґрунтовану організацію процесу та ефективне управління інформацією.

➤ Поетапний алгоритм контролю

Поетапний алгоритм контролю відновлених деталей є ключовим інструментом впровадження СОП. Він дозволяє систематизувати процес перевірки, забезпечити високу точність вимірювань та достовірність результатів. Кожен етап контролю має конкретну мету, порядок виконання та критерії оцінки (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 - Блок-схема алгоритму контролю відновлених деталей

Основні етапи алгоритму контролю:

1. Підготовчий етап: На цьому етапі відновлені деталі проходять первинну очистку, візуальну оцінку стану та підготовку до вимірювань. Візуальна перевірка дозволяє виявити грубі дефекти, що можуть вплинути на результати подальших вимірювань. Підготовка робочого місця та перевірка обладнання гарантують точність і безпеку виконання процедур.

2. Вимірювальний етап: На даному етапі проводиться визначення геометричних параметрів, фізико-механічних характеристик та стану поверхні деталі. Використовуються як традиційні вимірювальні прилади

(штангенциркулі, мікрометри, твердоміри), так і методи неруйнівного контролю (ультразвуковий, магнітопорошковий, капілярний). Стандартизовані методи вимірювань забезпечують порівнянність та повторюваність результатів.

3. Аналітичний етап: Результати вимірювань порівнюються з нормативними документами та технічними умовами. На цьому етапі ідентифікуються критичні відхилення та класифікуються деталі за станом: придатні, підлягають доопрацюванню або непридатні для експлуатації. Проведення аналітичної оцінки дозволяє виявляти закономірності появи дефектів та визначати основні причини невідповідності.

4. Документування та прийняття рішення: Усі результати контролю фіксуються в протоколах та спеціальних таблицях (таблиця 3.1). Документування забезпечує прозорість і відтворюваність контролю, дозволяє проводити статистичний аналіз і вносити зміни до технологічних процесів відновлення. На основі отриманих даних приймається рішення щодо придатності деталі: допуск до експлуатації, доопрацювання або відхилення.

➤ Вимоги до виконання процедур контролю:

Для забезпечення точності і достовірності контролю процедури повинні виконуватися відповідно до визначеного алгоритму, дотримуючись всіх нормативних та технологічних вимог. Основні вимоги:

- суворе дотримання послідовності етапів контролю;
- застосування стандартизованих методів вимірювань та нормативної документації;
- контроль критичних параметрів деталей із фіксацією всіх відхилень;
- регулярна перевірка та калібрування контрольного обладнання;
- дотримання правил безпеки при виконанні вимірювань і роботі з обладнанням;
- проведення повторних вимірювань у разі сумнівних результатів;
- виконання контролю лише кваліфікованим персоналом, що пройшов відповідне навчання.

Таблиця 3.1 - Приклад таблиці для документування результатів перевірки:

№ п / п	Найменування деталі	Геометричні параметри (мм)	Твердість (НВ)	Стан поверхні	Відповідність нормам (Так/Ні)	Примітки
1	Втулка	Діаметр: 50 $\pm 0,05$	200	без дефектів	Так	—
2	Вал	Довжина: 120 $\pm 0,1$	210	невелика подряпина	Так	Підлягає шліфуванню
3	Шестерня	Зовнішній діаметр: 80 $\pm 0,05$	195	корозія	Ні	Повторне відновлення

➤ Вимоги до технічного оснащення:

Якісний контроль відновлених деталей неможливий без належного технічного оснащення. Основні вимоги включають:

- наявність повного комплексу вимірювальних приладів та обладнання для неруйнівного контролю;
- регулярне технічне обслуговування та калібрування приладів відповідно до вимог метрології;
- встановлення норм точності та допустимих похибок приладів;
- організація робочого місця відповідно до принципів ергономіки та безпеки;
- контроль за станом обладнання, щоб уникнути похибок через зношування або некоректну експлуатацію.

Впровадження стандартних процедур контролю й належного технічного оснащення забезпечує системність, уніфікованість і високу достовірність оцінки відновлених деталей. Такий підхід підвищує прозорість та порівнюваність результатів між різними етапами й операторами. Поетапний алгоритм контролю дозволяє своєчасно виявляти відхилення та оперативно ухвалювати рішення щодо їх усунення. Документування результатів у таблицях і протоколах формує

основу для аналізу, статистичної обробки та вдосконалення технологічних процесів, що сприяє підвищенню надійності відновлених деталей і зниженню ризику подальших несправностей.

Ось варіант переписаного тексту без зайвих слів, у тому ж лаконічному стилі, що й попередні блоки, з акцентом на метрологічну точність та стандартизацію:

Обґрунтовано та розроблено стандартну операційну процедуру (СОП) контролю відновлених деталей, спрямовану на підвищення точності та об'єктивності результатів. На основі аналізу сучасних підходів доведено, що формалізація контрольних операцій є необхідною для мінімізації помилок, спричинених людським фактором та варіативністю методик.

Визначено цілі впровадження СОП, які полягають у забезпеченні єдності вимірювань, стандартизації порядку дій та підвищенні загальної надійності технічних елементів. Сформовано логічну структуру процедури, що охоплює всі етапи — від підготовки обладнання до фіксації результатів контролю.

Встановлено чіткі вимоги до кваліфікації персоналу, технічного оснащення та умов проведення вимірювань. Особливу увагу приділено метрологічному підтвердженню придатності приладів, їх калібруванню та забезпеченню простежуваності. Розроблений алгоритм документування результатів створює базу даних для подальшого статистичного аналізу якості та вдосконалення виробничих процесів.

Таким чином, сформовано комплексну методику, впровадження якої дозволяє уніфікувати процес контролю, мінімізувати ризики прийняття хибних рішень та забезпечити стабільну відповідність відновлених деталей встановленим технічним вимогам.

4 Оцінка ефективності та перспективи впровадження стандартної операційної системи

4.1. Методичні підходи до оцінки ефективності запропонованої СОП

Оцінка ефективності впровадження стандартної операційної процедури контролю відновлених деталей на підприємстві ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ» є ключовим етапом науково-технічного обґрунтування запропонованої системи. Вона дозволяє не лише визначити, наскільки СОП покращує якість відновлених газових лічильників, але й оцінити вплив на організацію робочих процесів, економічну доцільність заходів контролю, рівень дотримання встановлених стандартів персоналом та можливість масштабування процедур на інші ділянки підприємства.

Методичні підходи до оцінки ефективності повинні бути комплексними, інтегрувати кількісні та якісні аспекти діяльності підприємства, а також передбачати систематичний аналіз даних до та після впровадження СОП. Застосування такого підходу дозволяє зробити обґрунтовані висновки щодо доцільності та результативності запропонованих заходів контролю, а також розробити рекомендації щодо оптимізації робочих процесів і ресурсозбереження.

В основі методичного підходу лежить порівняння ключових показників роботи підприємства до та після застосування СОП. Це дозволяє оцінити практичну користь процедур та визначити, наскільки вони сприяють підвищенню стандартизації, зменшенню похибок, підвищенню надійності та точності контролю відновлених лічильників. Основні критерії ефективності впровадження СОП на ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ» включають:

1. Точність та достовірність результатів контролю

Визначається через статистичний аналіз відхилень вимірювань, частоти виявлення невідповідностей, повторних перевірок та рекламаций від споживачів. Для підприємства важливим є визначення середньоквадратичного відхилення параметрів лічильників після відновлення, оцінка повторюваності результатів та зниження частки браку. Підвищення точності та зменшення розкиду результатів свідчить про стабільність процесів контролю та відповідність продукції нормативним вимогам.

2. Час виконання контрольних процедур

Показує ефективність організації робочих процесів, рівень автоматизації, послідовність та стандартизацію операцій. Оптимізація часу перевірки без втрати якості дозволяє зменшити простої на ділянках контролю, скоротити цикл відновлення лічильників та підвищити загальну продуктивність праці. Для ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ» важливо також оцінювати час підготовки персоналу до виконання процедур та швидкість обробки даних у системі контролю.

3. Економічна доцільність

Включає зменшення витрат на повторну обробку деталей, скорочення кількості браку, оптимізацію використання матеріалів та трудових ресурсів. Методично економічний ефект розраховується через порівняння витрат на відновлення деталей до та після впровадження СОП, включаючи витрати на дефектні деталі, додаткові матеріали та роботу персоналу. Позитивний економічний ефект є аргументом для масштабування процедури на інші підрозділи підприємства.

4. Рівень дотримання процедур персоналом

Перевіряється за допомогою внутрішніх аудитів, контролю правильності виконання кожного етапу СОП та аналізу відхилень від стандартів. Високий рівень дисципліни персоналу знижує ризики людських помилок, забезпечує стабільність процесів контролю та підвищує надійність продукції. Для цього на підприємстві застосовуються регулярні перевірки відповідності дій оператора встановленим інструкціям та аналіз протоколів контролю.

5. Можливість масштабування процедур

Оцінює гнучкість і адаптивність системи контролю. СОП має бути придатною для впровадження на інших ділянках або в суміжних підрозділах підприємства без значних витрат на перенавчання персоналу та адаптацію технологічних процесів. Це дозволяє стандартизувати процес контролю по всьому підприємству та забезпечити єдині вимоги до якості продукції.

Методика оцінки ефективності СОП на ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ» здійснюється у декілька етапів (рисунок 4.1):



Рисунок 4.1 - Методика оцінки ефективності СОП на ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ»

1. Збір вихідних даних

Проводиться аналіз існуючого стану контролю газових лічильників, кількості виявлених дефектів, витрат часу та ресурсів на перевірку деталей без СОП.

Формуються базові показники, на основі яких здійснюватиметься порівняння після впровадження процедур.

2. Впровадження СОП у виробничий процес

Контрольні процедури виконуються відповідно до розробленого алгоритму, з дотриманням послідовності операцій та встановлених стандартів. На цьому етапі важливо забезпечити чітке документування всіх результатів у протоколах або електронних журналах, що гарантує їх порівнянність і надійність.

3. Фіксація результатів

Дані про точність вимірювань, час виконання процедур, кількість виявлених невідповідностей реєструються у спеціальних таблицях та базах даних. Це дозволяє проводити статистичний аналіз тенденцій, виявляти слабкі місця у процесі контролю та оперативно коригувати процедури.

4. Порівняльний аналіз результатів

Оцінюються зміни точності контролю, швидкості виконання процедур, економічного ефекту та рівня дотримання стандартів персоналом. Використовуються статистичні методи, графічне відображення результатів та коефіцієнти ефективності для наочного порівняння.

5. Оцінка перспектив впровадження СОП

Визначаються можливості оптимізації процедур, підвищення якості відновлених газових лічильників та раціонального використання ресурсів. Формуються рекомендації щодо подальшого впровадження, вдосконалення та масштабування системи контролю, що дозволяє забезпечити сталий розвиток підприємства та відповідність сучасним стандартам якості.

Комплексний підхід до оцінки ефективності СОП на ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ» дозволяє підтвердити практичну користь запропонованих процедур, підвищити якість відновлених газових лічильників, знизити рівень браку, оптимізувати використання ресурсів підприємства та створити передумови для подальшої стандартизації та автоматизації процесів контролю.

4.2. Визначення потенційного впливу на достовірність контролю та шляхи підвищення надійності системи

Достовірність результатів контролю відновлених технічних елементів є ключовою умовою безпечної та надійної роботи газорозподільних мереж. Через те, що ці системи працюють під тиском і належать до критичної інфраструктури, помилки під час контролю можуть призвести до пропуску небезпечних дефектів, прискореного зносу деталей, скорочення їх ресурсу, неконтрольованих витоків газу та потенційно аварійних ситуацій. Саме тому достовірність контролю має розглядатися як комплексна характеристика, що формується під впливом технічних, організаційних, технологічних та людських факторів. Важливо не лише ідентифікувати джерела потенційних похибок, а й оцінити їхній реальний вплив на результати контролю й подальше прийняття рішень щодо допуску деталей до експлуатації. Від цього залежить коректність діагностування стану обладнання, своєчасність виявлення критичних відмов і здатність системи контролю гарантувати необхідний рівень технічної безпеки.

Тому на етапі аналізу контролю відновлених деталей особливу увагу приділяють створенню та впровадженню комплексу ефективних заходів підвищення надійності — від модернізації вимірювальних засобів та оптимізації регламентів до підвищення кваліфікації персоналу та впровадження цифрових технологій оцінювання. Лише інтегрований підхід дозволяє мінімізувати можливість хибних рішень, забезпечити об'єктивність технічної інформації та підтримувати високий рівень безпеки газорозподільних систем.

Основні групи чинників, що впливають на достовірність контролю (таблиця 4.1)

1. Технічні фактори
 - неточність або зношення вимірювального обладнання;
 - недостатня частота повірки та калібрування;
 - нестабільність джерел сигналу, шум та паразитні впливи;

- обмеження чутливості приладів неруйнівного контролю.
- 2. Технологічні фактори
 - невідповідність умов контролю встановленим стандартам (температура, вологість, тиск);
 - неправильний вибір методу контролю щодо типу дефекту;
 - залишкові напруження або неоднорідність структури матеріалу після відновлення.
- 3. Організаційні фактори
 - неповне дотримання технологічних карт і процедур контролю;
 - відсутність систематичного внутрішнього аудиту;
 - недостатня автоматизація процесів фіксації результатів.
- 4. Людський фактор
 - кваліфікація персоналу, рівень підготовки оператора;
 - помилки під час зчитування, інтерпретації та документування результатів;
 - суб'єктивність при оцінюванні візуальних ознак дефектів.

Таблиця 4.1 - Основні фактори впливу на достовірність контролю та можливі наслідки

Група факторів	Приклад впливу	Можливі наслідки
Технічні	Нестабільний ультразвуковий дефектоскоп	Пропуск критичних внутрішніх дефектів
Технологічні	Контроль при недотриманні температурного режиму	Зниження або завищення фактичних параметрів
Організаційні	Відсутність регламентованої процедури документування	Неможливість відтворити результати, низька трасованість
Людський фактор	Неправильне налаштування приладу оператором	Значні випадкові похибки вимірювань
Фактори стану матеріалу	Неоднорідність наплавленого шару	Хибне визначення межі міцності або зносостійкості

Шляхи підвищення надійності системи контролю:

Підвищення надійності контролю повинно бути комплексним і передбачати технічні, технологічні, організаційні та кадрові заходи:

1. Модернізація та регулярне технічне обслуговування обладнання
 - застосування автоматизованих стендів та цифрових дефектоскопів;
 - введення графіка обов'язкової повірки згідно з ДСТУ та метрологічними вимогами;
 - контроль стану датчиків і калібрувальних еталонів.
2. Підвищення кваліфікації персоналу
 - регулярне навчання з неруйнівного контролю (VT, MT, PT, UT, RT);
 - сертифікація відповідно до ISO 9712 або НАКС (для зварних з'єднань);
 - внутрішні аудити правильності виконання процедур.
3. Впровадження цифрових методик контролю
 - автоматичне збереження результатів;
 - зменшення суб'єктивності оцінювання;
 - використання програмного забезпечення для аналізу сигналів та побудови трендів.
4. Стандартизація процедур
 - розроблення чек-листів для кожного методу контролю;
 - запровадження єдиних форм протоколів;
 - уніфікація критеріїв приймальності та граничних значень.
5. Застосування комбінованих методів контролю
 - поєднання візуального огляду з ультразвуком;
 - використання капілярного контролю перед магнітопорошковим для підвищення чутливості;
 - перевірка критичних ділянок кількома методами для верифікації результатів.

Комплексна оцінка факторів впливу та їх системна нейтралізація дозволяють забезпечити високу достовірність контролю відновлених деталей.

Поєднання сучасних технічних засобів, стандартизованих процедур та підготовленого персоналу формує надійний механізм гарантування якості, що є критично важливим для газорозподільних систем, де відмови обладнання неприпустимі.

4.3. Рекомендації щодо впровадження та подальшого розвитку СОП у виробничій та ремонтній практиці ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ»

Ефективне функціонування системи контролю технічного стану відновлених деталей у ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ» потребує впровадження комплексної СОП, яка забезпечує уніфікованість, повторюваність і прозорість усіх операцій контролю. СОП виступає ключовим інструментом мінімізації технологічних ризиків, усунення суб'єктивності оцінювання та підвищення достовірності результатів діагностики. Рекомендації, наведені нижче, є практично спрямованими та орієнтованими на адаптацію СОП до умов реального виробництва та ремонтної діяльності підприємства.

1. Організаційні рекомендації

1.1. Офіційне затвердження СОП

Впровадження будь-якої процедури контролю на підприємстві має бути формалізованим. СОП слід затвердити внутрішнім наказом директора філії з визначенням:

- осіб, відповідальних за контроль її виконання;
- порядку періодичного перегляду та актуалізації;
- правил зберігання та поширення документу серед підрозділів.

Це забезпечує однозначність трактування вимог СОП та її обов'язковість для всіх співробітників.

1.2. Навчання персоналу та підвищення кваліфікації

Для результативного впровадження СОП необхідно організувати:

- первинне навчання працівників, які безпосередньо виконують контроль і відновлення деталей;
- періодичні тренінги, пов'язані з оновленням нормативної бази (ДСТУ EN, ISO, COY);
- практичні заняття з використанням дефектних зразків, еталонів, макетів.

Особлива увага приділяється працівникам ВТК та лабораторій неруйнівного контролю, оскільки саме вони формують висновок про придатність деталей до експлуатації.

1.3. Інтеграція СОП у систему менеджменту якості

СОП має бути включена до документації системи менеджменту якості підприємства відповідно до ДСТУ ISO 9001:2015. Це забезпечить:

- контроль за виконанням процесів;
- простежуваність кожної операції;
- можливість аудитів;
- включення СОП до карти ризиків підприємства.

2. Технічні рекомендації

2.1. Уніфікація та стандартизація вимірювальних засобів

Для забезпечення однаковості результатів контролю необхідно:

- використовувати лише повірені і калібровані засоби вимірювань;
- формувати перелік дозволених приладів і їхніх метрологічних характеристик;
- забезпечувати маркування приладів (інвентаризація, дата останньої повірки).

Рекомендується створити централізований фонд ЗВТ, що виключить використання неперевіреного інструменту.

2.2. Створення стандартизованого робочого середовища

Точність оцінювання значною мірою залежить від умов проведення контролю. Тому необхідно забезпечити:

- контроль температури та вологості;

- стандартизовану підготовку поверхонь;
- однакову орієнтацію та положення деталі під час вимірювань;
- виділені зони для НК.

Усі ці параметри повинні бути описані в СОП.

2.3. Підвищення технічного рівня контролю

На наступних етапах розвитку СОП рекомендується:

- впровадити цифрові товщиноміри, лазерні профілометри, переносні 3D-сканери;
- використовувати камерні установки для стабільних умов дефектоскопії;
- застосовувати автоматичну реєстрацію параметрів (температура, час, товщина шару).

3. Методичні рекомендації

3.1. Удосконалення системи документування

Кожен етап контролю повинен бути задокументованим у вигляді:

- контрольних карт;
- електронних форм;
- протоколів вимірювань;
- фотозвітів.

Всі записи повинні зберігатися в єдиному архіві. Це дає змогу:

- відтворити історію ремонту;
- виявити системні дефекти;
- забезпечити доказову базу в разі спірних ситуацій.

3.2. Фіксація критичних дефектів

Обов'язковим елементом СОП має бути фотографічна фіксація:

- тріщин;
- корозійних уражень;
- вм'ятин;
- несплошностей покриття;
- порушень геометрії.

Функціональні параметри (розміри, відхилення форми, товщина покриттів) повинні супроводжуватися цифровою фіксацією.

3.3. Комбінування методів технічного контролю

Для складних деталей рекомендується:

- поєднувати візуально-вимірний контроль, капілярну дефектоскопію, ультразвук;
- застосовувати магнітопорошковий контроль для сталевих елементів;
- використовувати вихрострумний контроль при тонких дефектах.

Комбінація методів мінімізує імовірність пропуску критичних дефектів.

4. Рекомендації щодо подальшого розвитку СОП (таблиця 4.2)

4.1. Перехід до ризик-орієнтованої моделі контролю

СОП має передбачати диференційовані вимоги залежно від:

- призначення деталі;
- критичності для безпеки;
- умов експлуатації;
- характеру відновлення.

Це дозволяє оптимізувати ресурс та підвищити достовірність.

4.2. Створення бази даних дефектів

Пропонується формувати:

- банк фотографій дефектів;
- електронну бібліотеку типових порушень;
- статистику відмов і висновків НК.

Це сприятиме удосконаленню діагностики та підвищить об'єктивність оцінювання.

4.3. Розвиток цифровізації

На перспективу доцільно:

- інтегрувати електронні протоколи у внутрішню систему документообігу;
- використовувати QR-кодування для деталей після відновлення;
- застосувати електронні картки життєвого циклу деталей.

4.4. Періодичний аудит ефективності СОП

Один раз на рік слід проводити перевірку:

- відповідності СОП стану виробництва;
- аналізу помилок та пропущених дефектів.

Таблиця 4.2 – Напрями удосконалення СОП та очікувані результати

Напрямок удосконалення	Сутність заходів	Очікуваний результат
Стандартизація ЗВТ	Уніфікація засобів вимірювань, повірка, калібрування	Підвищення точності, зменшення варіацій
Цифровізація контролю	3D-сканування, цифрові протоколи, фотофіксація	Зростання достовірності, зменшення суб'єктивності
Навчання персоналу	Тренінги, інструктажі, підвищення кваліфікації	Зниження помилок НК, підвищення професійності
Комбінація методів НК	УЗК + капілярний, візуальний + магнітопорошковий	Виявлення прихованих дефектів
Ризик-орієнтована оцінка	Диференціація контролю за критичністю	Оптимізація ресурсів та точності
Аудит СОП	Щорічна перевірка ефективності процедури	Актуальність та безперервне вдосконалення

Впровадження та розвиток стандартних операційних процедур у ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ» дозволить підвищити відтворюваність технологічних процесів, знизити вплив людського чинника та покращити якість контролю відновлених деталей. Систематизація робочих операцій і документування забезпечать стабільність результатів, а використання цифрових інструментів — оперативність і точність оцінювання. Комплексний підхід до впровадження СОП сприятиме підвищенню безпеки та надійності газорозподільних мереж і створить основу для подальшого вдосконалення системи управління якістю підприємства.

Загальні висновки

У магістерській роботі розв'язано завдання щодо покращення якості та надійності контролю відновлених деталей у ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ». За результатами дослідження зроблено такі висновки:

1. Проведено аналіз теоретичних основ контролю та надійності, який підтвердив, що безпека газового обладнання безпосередньо залежить від точності вимірювальних процедур. Систематизовано типові дефекти (корозія, зношування, мікротріщини), що дозволило визначити вимоги до метрологічних характеристик методів оцінювання стану деталей.

2. Досліджено сучасні методи контролю та методики відновлення на прикладі ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ». Встановлено, що існуючі підходи мають базовий характер, а їхня ефективність обмежена значним впливом суб'єктивного фактора та відсутністю єдиних метрологічних протоколів оцінювання.

3. Ідентифіковано фактори, що знижують точність оцінки, зокрема: методичні похибки вимірювань, нестабільність умов проведення неруйнівного контролю та відсутність регламентованих процедур. Виявлені обмеження існуючих процесів підтвердили необхідність впровадження стандартизованого підходу для забезпечення єдності вимірювань.

4. Розроблено структуру та зміст стандартної операційної процедури (СОП) контролю відновлених деталей. Процедура регламентує послідовність операцій, вибір засобів вимірювальної техніки, методику обробки результатів та порядок документування. Це дозволило уніфікувати процес діагностики та мінімізувати вплив виконавця на кінцевий результат.

5. Оцінено потенційний вплив впровадження СОП, що підтвердило суттєве підвищення достовірності та метрологічної надійності контролю. Стандартизація вимірювальних процесів забезпечує простежуваність результатів, дозволяє накопичувати статистичні дані для аналізу якості та мінімізує ризики техногенних відмов на об'єктах критичної інфраструктури.

Таким чином, розроблена стандартна операційна процедура (СОП) є ефективним практичним інструментом для забезпечення якості на підприємстві. Вона дозволяє перевести процес контролю на професійний рівень, мінімізуючи вплив людського фактора та забезпечуючи єдність вимірювань у різних виробничих змінах.

Впровадження такої методики гарантує стабільну надійність відновлених деталей, що є критично важливим для безперебійного функціонування газорозподільних систем міста. Це не лише підвищує технічну безпеку об'єктів критичної інфраструктури, а й закладає фундамент для сучасної системи управління якістю, що відповідає державним та міжнародним стандартам.

Список використаних джерел

1. ДСТУ ISO 9001:2018 Системи управління якістю. Вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 32 с.
2. ДСТУ ISO 9000:2018 Системи управління якістю. Основні положення і словник термінів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 42 с.
3. ДСТУ EN 14161:2014 Газова інфраструктура. Трубопроводи. Вимоги до цілісності та безпеки.
4. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення : чинний від 1994–01–01. Київ : Держстандарт України, 1994. 45 с.
5. Савуляк В. В. Управління якістю продукції : навч. посіб. Київ : ДУІКТ, 2020. 260 с. *Доступ:* https://www.duikt.edu.ua/uploads/l_912_66022803.pdf
6. Статистичні методи контролю якості : навчальний посібник. Державний університет інфраструктури та технологій. Київ, 2022. 98 с. *Доступ:* <https://dfkip.ust.edu.ua/wp-content/uploads/2022/09/2.2.14-statystychni-metody-kontrolyu-yakosti.pdf>
7. Єременко В. С., Патлай І. М., Кутова Н. І. Статистичний аналіз даних вимірювань : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 124 с. *Доступ:* https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/44902/1/statistical_analysis.pdf
6. Коваленко І. М., Кузнєцов О. М. Теорія надійності та ремонту машин : підручник. Київ : Вища школа, 2015. 320 с.
7. Надійність, експлуатація та ремонт радіоелектронної та телекомунікаційної техніки : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗНУ, 2019. 180 с.
8. Oakland J. S. Statistical Process Control. 5th ed. London : Routledge, 2008. 459 p. *Free access:* <https://cdn.chools.in/.../Statistical%20Process%20Control-Joan%20S.Oakland.pdf>
9. Montgomery D. C., Runger G. C. Applied Statistics and Probability for Engineers. 7th ed. New York : John Wiley & Sons, 2018. 792 p.

10. The Book of SPC. Zontec Inc. Cincinnati, OH, 2022. 65 p. *Free access:* <https://zontec-spc.com/wp-content/uploads/.../The-Book-of-SPC.pdf>
11. ДСТУ ISO 14224:2018 (ISO 14224:2016, IDT). Нафтова, нафтохімічна та газова промисловість. Збирання та обмін даними про надійність і технічне обслуговування обладнання : чинний від 2018–01–01. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 104 с.
12. ISO 7870-1:2019 Control charts — Part 1: General guidelines. Geneva : ISO, 2019.
13. ISO 7873:1993 Control chart methods for process control. Geneva : ISO.
14. Технологія ремонту машин та відновлення деталей : підручник для інженерних спеціальностей / за заг. ред. І. М. Яцка. Харків : ХНАДУ, 2018. 412 с.
15. Відновлення деталей машин. Молодик М. В., Лангерд, Бредун А. — К.: “Урожай”.– 1989. – 256 с.
16. Молодик М.В., Зенкін М.А. Ремонт промислового обладнання: Підручник для учнів проф.-тех. навч. закладів освіти. — К.: Техніка, 2000. — 256с
17. Чередніков О.М. Технологічні основи ремонту машин і відновлення деталей: Навчальний посібник.— Чернігів:ЧДТУ, 2008. — 212с.
18. Ружи́ло З. В. Надійність машин та обладнання. Ч.2. Ремонт машин та відновлення деталей. Київ: Видавничий центр НУБіП України, 2023. 310с.
19. Закон України «Про стандартизацію» від 5 червня 2014 р.№ 1315-VII (в редакції від 12.05.2022, № 2254-IX). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1315-18#Text>
20. Сусліков Л. М., Дьордяй В. С. Основи стандартизації та управління якістю: навчальний посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка». / рец. : В. М. Рубіш, І. М. Юркін. — Ужгород : Видавництво «Говерла», 2022. — 151 с.
21. Стандартизація, сертифікація, метрологія та управління якістю : навчальний посібник / укл. : Воробець М.М., Кондрачук І.В. Чернівці : Чернівець. нац. ун-т ім. Юрія Федьковича, 2022. 104 с/

22. Кропивна А. В., Бондаренко Г. С., Кропивний В. М. Стандартизація : Навчальний посібник /Електронне видання/; – Кропивницький; ЦНТУ, 2021 – 307 с. Управління якістю : словник термінів і понять / укладач : О. В. Грідін; ДБТУ. – Харків : [б. в.], 2024. – 36 с.
23. Гуменюк Г.Д. Технічне регулювання в Україні, на міжнародному рівні та в Європейському Союзі: навч. посібник / Г.Д. Гуменюк, В.В. Кійко, М.В. Янчик. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2021, - 241 с.
24. МІЖНАРОДНИЙ СТАНДАРТ СОЦІАЛЬНА ВІДПОВІДЛЬНІСТЬ (SA8000) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0015697-07#Text>
25. ДСТУ 3414-96. Метрологія. Забезпечення якості продукції. Основні положення. — Київ: Держстандарт України, 1996. — 28 с.
26. ДСТУ EN 1779:2005 Неруйнівний контроль.
27. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення.
28. ДСТУ 3760:2019 Газорозподільні системи. Вимоги безпеки.
29. Правила безпеки систем газопостачання України (ПБСГУ), 2015.
30. ДСТУ EN 13445 Неруйнівний контроль обладнання під тиском.
31. Металознавство та обробка металів (у запитаннях і відповідях): Підручник для учнів проф.-техн. навч. закладів / С. Є. Кондратюк, М. В. Кіндрачук, В. О. Степаненко, Ю. Н. Москаленко. - К. : Вікторія, 2000. - 372 с.
32. Геворкян Е.С., Мельник О.М. Неруйнівні методи контролю якості: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – 42 с.
33. ДСТУ EN 1330-2:2008 Неруйнівний контроль. Термінологія. Частина 2. Загальні терміни стосовно методів неруйнівного контролю (EN 1330-2:1998, IDT)
34. ДСТУ 9049:2020 Технічна діагностика. Діагностування та контролювання технічного стану посудин і трубопроводів під впливом агресивного робочого середовища. Загальні вимоги

35. Сусліков Л. М., Студеняк І. П. Неруйнівні методи контролю : навч. посіб. / рец. : П. П. Пуга, І. І. Небола – Ужгород : Говерла, 2016. – 192 с. [URI https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/45064](https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/45064)
36. ISO/IEC Guide 98-3:2008. Uncertainty of Measurement — Part 3: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM). *International Organization for Standardization*, 2008.
37. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019. *Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
38. ДСТУ 3215-95. *Метрологія. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Терміни та визначення*. Київ: Держстандарт України, 1995.
39. ДСТУ EN ISO 9712:2019. *Неруйнівний контроль. Кваліфікація і сертифікація персоналу НК*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
40. Офіційний сайт ХМФ «ГАЗМЕРЕЖІ» <https://khm.grmu.com.ua/>
41. Солончук О.П. Теоретичні засади та практичні підходи до підвищення точності й надійності вимірювальних процесів. *Тези доповідей на 85-студентській науково-технічній конференції УкрДУЗТ (10-11 грудня 2025р.)* Харків : УкрДУЗТ. 2025.

СТАНДАРТНА ОПЕРАЦІЙНА ПРОЦЕДУРА (СОП)

Організація:

**ХАРКІВСЬКА МІСЬКА
ФІЛІЯ "ГАЗМЕРЕЖІ"**

**КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ТА ПРИЙМАННЯ
ВІДНОВЛЕНИХ ТЕХНІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

Код документа:	ОП-ХМФ-ВМ-01
Ревізія:	1.2
Дата затвердження:	2025-11-29
Заміна ревізії:	1.1
Сторінок у документі:	6

АРКУШ ЗАТВЕРДЖЕННЯ ТА УЗГОДЖЕННЯ

Посада	ПІБ (Ініціали)	Підпис	Дата
ЗАТВЕРДЖЕНО:			
Керівник Харківської міської філії "ГАЗМЕРЕЖІ"	_____	_____	2025- 11-29
УЗГОДЖЕНО:			
Головний інженер	_____	_____	
Начальник відділу метрології	_____	_____	
Начальник відділу Технічного Контролю	_____	_____	
Начальник Ремонтного/Виробничого цеху	_____	_____	

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1. Мета

Встановлення єдиного, стандартизованого порядку проведення контролю якості відновлених технічних елементів (деталей) з метою гарантування їхньої відповідності вимогам ремонтної документації (РД), забезпечення безпеки та досягнення прогнозованого ресурсу експлуатації в умовах Харківської міської філії "ГАЗМЕРЕЖІ".

1.2. Сфера застосування

Ця процедура поширюється на всі етапи контролю якості деталей, що проходять відновлення (ремонт, реставрацію) в умовах підприємства, включаючи:

- Вхідний контроль (доопераційний).
- Операційний контроль (між технологічними переходами).
- Приймальний контроль (фінальний).

1.3. Нормативні посилання

1. ДСТУ ISO 9001:2018 (Системи управління якістю).
2. Відповідна Ремонтна Документація (РД) на конкретний тип елемента.
3. Технічні умови (ТУ) та Квалітети точності (згідно з ЕСКД).

1.4. Терміни та визначення

- **Контроль якості (КЯ):** Перевірка відповідності характеристик деталі встановленим вимогам.
- **Неруйнівний контроль (НКТ):** Контроль без пошкодження елемента (наприклад, магнітопорошковий, ультразвуковий).
- **Граничний стан:** Стан деталі, при якому її подальша експлуатація неприпустима або недоцільна.
- **Протокол контролю:** Документ, що фіксує всі результати вимірювань та випробувань.

2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ КОНТРОЛЮ

2.1. Етапи контролю

Контроль відновлених деталей здійснюється за трьома основними етапами, як визначено у життєвому циклі технічного елемента:

2.1.1. Вхідний контроль (Оцінка дефектації)

Проводиться після демонтажу та очищення, але до початку ремонту.

- **Завдання:** Визначення фактичного зносу, наявності тріщин, деформацій та інших дефектів, а також підтвердження доцільності відновлення.

- **Методи:** Візуальний огляд, вимірювання мікрометром/штангенциркулем, твердометрія.

2.1.2. Операційний контроль (Міжпроцесний)

Проводиться після критичних технологічних операцій (наприклад, наплавлення, термічна обробка, механічна обробка).

- **Завдання:** Запобігання переходу дефектів на наступні етапи; коригування технологічних режимів.

- **Критичні точки контролю:**

- Контроль хімічного складу наплавленого металу.
- Контроль параметрів шорсткості (R_a) після чистової обробки.
- Контроль геометричних розмірів та допусків форми.

2.1.3. Приймальний контроль (Фінальний)

Проводиться над повністю відновленою деталлю, готовою до передачі на склад або монтажу.

- **Завдання:** Остаточне підтвердження якості, ідентифікація та маркування.

- **Результати:**

- **"Придатно" (Passed):** Деталь відповідає всім вимогам РД.
- **"На доопрацювання" (Rework):** Деталь має незначні відхилення, що можуть бути виправлені (повернення на етап відновлення).

- **"Брак" (Scrap):** Деталь має критичні, не виправні дефекти (направлення на утилізацію).

3 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ

3.1. Вимірювальний контроль (Геометрія та розміри)

- **Засоби:** Калібровані мікрометри, індикатори, нутроміри, калібри.
- **Дія:** Перевірка допусків розмірів, биття, співвісності, перпендикулярності.
- **Критерій:** Відповідність якості точності, зазначеному у РД (наприклад, IT7, IT8).

3.2. Неруйнівний контроль (НКТ)

Застосовується для виявлення прихованих дефектів, які можуть призвести до ранньої відмови (Фаза I "Кривої Ванни").

Метод НКТ	Об'єкт контролю	Призначення
Магнітопорошковий	Поверхневі та підповерхневі тріщини	Деталі з феромагнітних матеріалів (вали, осі).
Ультразвуковий	Внутрішні дефекти, непровари	Зварні шви, товстостінні елементи.
Капілярний	Поверхневі мікротріщини (для немагнітних матеріалів)	Алюмінієві сплави, нержавіюча сталь.
Вихрострумний	Товщина захисних покриттів, поверхневі дефекти	Відновлені шари напилення.

3.3. Контроль матеріалу та властивостей

- **Твердометрія:** Перевірка твердості відновленої поверхні (HRC, HB) на відповідність вимогам міцності.

- **Металографія:** Вибірковий контроль структури відновленого металу (наприклад, розмір зерна, наявність неметалевих включень).

4. ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1. Протокол контролю

Кожна партія або критична деталь, що пройшла приймальний контроль, повинна супроводжуватися Протоколом контролю.

- **Обов'язкові поля:**

- Ідентифікаційний номер деталі.
- Етап контролю (вхідний, приймальний).
- Перелік контрольованих параметрів.
- Фактичні значення вимірів.
- Встановлені допуски/норми.
- Висновок (Придатно/На доопрацювання/Брак).
- ПІБ та підпис відповідального контролера.

4.2. Маркування

Деталі, визнані придатними, повинні бути промарковані для забезпечення простежуваності.

- **Метод:** Ударне клеймування, незмивна фарба або прикріплення бірки.

- **Вміст маркування:**

- Дата відновлення.
- Індекс ремонтної організації.
- Унікальний номер контролю (для зв'язку з Протоколом).
- Напрацювання до наступного контролю (за необхідності).

5. ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ

• **Начальник відділу технічного контролю ХМФ "ГАЗМЕРЕЖІ":** Загальна відповідальність за дотримання цієї СОП, забезпечення калібрування засобів вимірювання та навчання персоналу.

• **Контролер ТК:** Несе пряму відповідальність за точність вимірювань, коректність інтерпретації результатів та обґрунтованість висновку про придатність/брак.

• **Майстер виробництва:** Відповідає за надання деталі на контроль у встановлений термін та за усунення виявлених дефектів.

6. ОРГАНІЗАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА КОНТЕКСТ

6.1. Власник процедури

Власником цієї СОП є **Харківська міська філія "ГАЗМЕРЕЖІ"**, відділ метрології

6.2. Взаємодія підрозділів

Дана процедура вимагає тісної співпраці між:

1. **Відділом ТК:** Виконання всіх етапів контролю та оформлення Протоколів.
2. **Ремонтним/Виробничим цехом:** Підготовка деталей, своєчасне надання їх на контроль та виправлення дефектів (доопрацювання).
3. **Службою головного інженера:** Затвердження змін до РД та кінцеве прийняття рішення щодо утилізації критичних елементів.

АРКУШ ОБЛІКУ ЗМІН

№ п/п	Ревізія	Дата введення	Опис зміни	Відповідальний
1	1.0			
2	1.1			
3	1.2			
4	1.3			

АКТ

перевірки кваліфікаційної роботи магістра на наявність ознак академічного плагіату.

Відповідно до даних сервісу “Strikeplagiarism” кваліфікаційна робота «Вдосконалення якості контролю відновлених деталей», автора: *Солончук Олександр Петрович*, містить 0,58 % запозичень. Ознаки академічного плагіату – відсутні.

Перевірку виконав
доцент кафедри Інженерії вагонів
та якості продукції



Вадим Шовкун

20.12.2025 р.

(підпис)