

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра Інженерія вагонів та якість продукції

ІНТЕГРАЦІЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕС РЕМОНТУ
ЛОКОМОТИВІВ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ЇХ
РОБОТИ

Пояснювальна записка і розрахунки
до кваліфікаційної роботи магістра

МКРМЕ.175.25.05.00. ПЗ

Розробив:
здобувач групи 218-ЯСС-Д23
спеціальності 175 «Інформаційно-
вимірювальні технології»

_____ Валентин ВІНІЧЕНКО
(підпис)

Керівник:
професор кафедри, доктор техн. наук,
професор
Едвін ГЕВОРКЯН

Рецензент:
доцент кафедри, канд. техн. наук,
доцент
Ганна КОМАРОВА

2025

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет «Механіко-енергетичний»

Кафедра «Інженерія вагонів та якість продукції»

Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр

Спеціальність: 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

	<u>І.Е.Мартинов</u>
(підпис)	(ініціали і прізвище)
« »	2024 р.

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

Вініченко Валентину Едуардовичу

1. Тема: «Інтеграція новітніх технологій у процес ремонту локомотивів з метою підвищення якості та надійності їх роботи» керівник: Геворкян Едвін Спартаківич затверджена розпорядженням по механіко-енергетичному факультету від “30” вересня 2024 року № 41.
2. Строк подання студентом роботи “30” грудня 2024 року
3. Вихідні дані до роботи: Національна транспортна стратегія України на період до 2030 р.; Технічний регламент безпеки рухомого складу залізничного транспорту; Директиви Європейського Парламенту та Ради стосовно залізничного транспорту; ДСТУ EN ISO 9001:2018; ДСТУ 2925-94; ДСТУ Б А.1.1-11-94; ДСТУ ISO 10012:2005 матеріали переддипломної практики.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Вступ; 1 Аналіз системи ремонту та технічного обслуговування тягового рухомого складу та її вплив на ефективність залізничних перевезень; 2 Загальний огляд процесів технічного обслуговування та ремонту тягового рухомого складу в Україні; 3 Впровадження технологій технічної діагностики та їх вплив на підвищення якості ремонту тягового рухомого складу; 4 Пропозиції щодо розгляду питання впровадження в локомотивному депо «Харків – Сортувальний» стаціонарної діагностичної системи контролю колісно-моторних блоків; 5 Орієнтовний розрахунок ефективності впровадження стаціонарного

діагностичного комплексу в депо з урахуванням впливу на якість ремонту та надійність локомотивів в експлуатації; Висновки.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу: 1 Класифікація видів зносу деталей; 2 Схема виконання ТО та ПР; 3 Проблеми сучасної системи ТО та ПР локомотивів; 4 Методи сучасної організації контролю якості ремонту; 5 Структура дослідження та вирішення завдань вдосконалення системи ремонту; 6 Проблеми ремонту локомотивів що впливають на якість та надійність їх роботи; 7 Фактори впливу на експлуатаційну надійність складових ТРС; 8 Складові стаціонарної системи діагностики КМБ; 9 Фактори впливу на якість утримання ТРС; 10 Впровадження більш ефективних ремонтних рішень; Висновки.

6. Дата видачі завдання 30.09.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчити теоретичні основи стану технологічного забезпечення ремонтних процесів локомотивів та визначити проблеми та недоліки у існуючій системі планово-попереджувального ремонту	01.10 - 15.10	
2	Проаналізувати сучасні інноваційні підходи, зокрема використання автоматизованих діагностичних комплексів та фактори, що впливають на якість утримання рухомого складу	16.10– 25.10	
3	Надати пропозиції щодо впровадження стаціонарної діагностичної системи для вдосконалення технології та підвищення якості ремонту колісно-моторних блоків"	26.10 – 05.11	
4	Визначити орієнтовний економічний ефект від впровадження стаціонарної діагностичної системи контролю колісно-моторних блоків з урахуванням впливу на якість ремонту та надійність локомотивів в експлуатації	06.11 – 25.11	
5	Формулювання висновків магістерської роботи	26.11– 30.11	
6	Перевірка на плагіат	01.12-10.12	
7	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу.	11.12– 20.12	
8	Нормоконтроль та отримання рецензії на магістерську роботу	21.12 -30.12	

Магістрант

Валентин ВІНІЧЕНКО

Керівник роботи

Едвін ГЕВОРКЯН

АНОТАЦІЯ

В.Е. Вініченко. Кваліфікаційна магістерська робота другого (магістерського) рівня вищої освіти на тему: **«Інтеграція новітніх технологій у процес ремонту локомотивів з метою підвищення якості та надійності їх роботи»** включає в себе 17 слайдів презентації, 95 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 15 рисунків, 44 літературних джерел.

Ключові слова: ТЕХНІЧНИЙ РУХОМИЙ СКЛАД, РЕМОНТ, НАДІЙНІСТЬ, ЯКІСТЬ, СТАЦІОНАРНА ДІАГНОСТИЧНА СИСТЕМА, КОЛІСНО-МОТОРНИЙ БЛОК, ПРЕДИКТИВНА ДІАГНОСТИКА, МОНІТОРИНГ, ІОТ-ТЕХНОЛОГІЇ.

Магістерська робота присвячена актуальній проблемі удосконалення ремонтних процесів локомотивного парку України. З огляду на значну зношеність обладнання, що негативно впливає на ефективність та безпеку залізничного транспорту, запропоновано комплексний підхід для забезпечення високої якості технічного обслуговування та підвищення надійності роботи локомотивів.

Метою роботи є розробка пропозицій щодо впровадження стаціонарної діагностичної системи контролю колісно-моторних блоків для підвищення якості ремонтних робіт та забезпечення надійної експлуатації ТРС.

Об'єктом дослідження є процес впровадження новітніх технологій у ремонт ТРС в локомотивному депо «Харків – Сортувальний».

У роботі обґрунтовано необхідність застосування сучасних технологій, зокрема предиктивній діагностиці, що базується на алгоритмах штучного інтелекту та оптичним системам розпізнавання для високоточного контролю колісно-моторних блоків. Запропоновані рішення демонструють високу ефективність у підвищенні якості ремонту та скороченні часу простою локомотивів.

Розроблений комплексний підхід до підвищення якості контролю технічного стану включає розрахунок економічного ефекту від впровадження новітніх технологій, що підтверджує доцільність їх застосування для підвищення ефективності ремонтного процесу. Наукова новизна роботи полягає у розробці комплексного підходу до якості контролю технічного стану ТРС, що включає сучасні методи моніторингу та економічний розрахунок ефекту від їх впровадження.

Практична значущість дослідження полягає у можливості впровадження запропонованої стаціонарної діагностичної системи у локомотивному депо «Харків – Сортувальний». Використання сучасних діагностичних засобів дозволить значно покращити якість ремонтних робіт, підвищити безпеку експлуатації, скоротити час простою та знизити витрати на технічне обслуговування що є важливим для ефективності роботи локомотивного депо.

ABSTRACT

V.E. Vinichenko. Qualification Master's Thesis of the second (master's) level of higher education on the topic: "**Integration of Advanced Technologies in the Locomotive Repair Process to Improve Quality and Reliability**" includes 17 presentation slides, 95 A4 pages of explanatory notes, which include 15 figures, and 44 literary sources.

Keywords: ROLLING STOCK, REPAIR, RELIABILITY, QUALITY, STATIONARY DIAGNOSTIC SYSTEM, WHEEL-MOTOR BLOCK, PREDICTIVE DIAGNOSTICS, MONITORING, IOT TECHNOLOGIES.

The master's thesis is dedicated to the current issue of improving the repair processes of Ukraine's locomotive fleet. Given the significant wear and tear of the equipment, which negatively affects the efficiency and safety of railway transport, a comprehensive approach is proposed to ensure high-quality maintenance and improve the reliability of locomotives.

The aim of the work is to develop proposals for the implementation of a stationary diagnostic system for monitoring wheel-motor blocks to improve the quality of repair work and ensure reliable operation of rolling stock.

The object of the study is the process of implementing advanced technologies in the repair of rolling stock at the "Kharkiv-Sortuvalny" locomotive depot.

The work substantiates the need to apply modern technologies, in particular predictive diagnostics based on artificial intelligence algorithms and optical recognition systems for high-precision control of wheel-motor blocks. The proposed solutions demonstrate high efficiency in improving the quality of repairs and reducing locomotive downtime.

The developed comprehensive approach to improving the quality of technical condition control includes the calculation of the economic effect of implementing advanced technologies, confirming the feasibility of their application to enhance the efficiency of the repair process. The scientific novelty of the work lies in the development of a comprehensive approach to the quality control of the technical condition of rolling stock, which includes modern monitoring methods and the economic calculation of the effect of their implementation.

The practical significance of the study lies in the possibility of implementing the proposed stationary diagnostic system at the "Kharkiv-Sortuvalny" locomotive depot. The use of modern diagnostic tools will significantly improve the quality of repair work, increase operational safety, reduce downtime, and lower maintenance costs, which is important for the efficiency of the locomotive depot.

Зміст

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів	8
Вступ	9
1 Аналіз системи ремонту та технічного обслуговування тягового рухомого складу та її вплив на ефективність залізничних перевезень	12
1.1 Роль залізничного транспорту в соціально-економічному житті України	12
1.2 Експлуатаційні фактори, що впливають на надійність ТРС, класифікація видів зносу та пошкоджень	14
2 Загальний огляд процесів технічного обслуговування та ремонту тягового рухомого складу в Україні	18
2.3 Типові проблеми, що виникають під час ремонту локомотивів, та їх вплив на якість та надійність роботи	29
2.4 Основні напрями науково-технічного розвитку і вдосконалення системи експлуатації та ремонту тягового рухомого складу	33
3 Впровадження технологій технічної діагностики та їх вплив на підвищення якості ремонту тягового рухомого складу	35
3.1 Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду застосування технологій організації та технічного обслуговування рухомого складу	35
3.2 Вимоги до модернізації технологій ремонту з урахуванням потреб сучасної залізничної галузі	50
4 Пропозиції щодо розгляду питання впровадження в локомотивному депо «Харків – Сортивальний» стаціонарної діагностичної системи контролю колісно-моторних блоків	55

					МКРМЕ.175.25.05.00. ПЗ			
Зм.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата				
Розробив	Виниченко В.Е.				Інтеграція новітніх технологій у процес ремонту локомотивів з метою підвищення якості та надійності їх роботи	Літера	Аркуш	Аркушів
Перев.	Геворкян Е.С.						6	95
Н. контр.	Шовкун В.О.					УкрДУЗТ		
Затв.	Мартинов І.Е.							

4.1 Наявна система контролю КМБ та співвідношення з інноваційними технологіями	55
4.2 Пропозиції впровадження стаціонарної діагностичної системи для вдосконалення технології та підвищення якості ремонту колісно-моторних блоків	63
4.3 Фактори, що впливають на якість утримання рухомого складу	76
4.4 Вплив процесів випробування та діагностики на контроль якості	79
5 Орієнтовний розрахунок ефективності впровадження стаціонарного діагностичного комплексу в депо з урахуванням впливу на якість ремонту та надійність локомотивів в експлуатації	85
Висновки	89
Список використаних джерел	91

					МКРМЕ.175.25.05.00. ПЗ	Арк
						7
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів

ДСТУ – Державний стандарт України;

ЗВТ – засоби вимірювальної техніки;

НД – нормативна документація;

ТД – технічна документація;

ТЗ – технічне завдання;

ЗДК – засоби діагностичного;

ППР – планово-попереджувальний ремонт;

ТРС – тяговий рухомий склад;

КМБ – колісно – моторний блок;

КП – колісна пара

КРБ – колісно – редукторний блок

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту

Вступ

Актуальність. Розвиток залізничного транспорту є одним із ключових факторів забезпечення сталого економічного розвитку, соціальної стабільності, добробуту та національної безпеки. У сучасних умовах воєнного стану в Україні роль залізничного транспорту набула критично важливого значення, забезпечуючи мобільність військових і гуманітарних вантажів, евакуацію населення та безперервність логістичних потоків. У цьому контексті надійність і ефективність роботи локомотивів стала однією з основних передумов функціонування транспортної інфраструктури країни .

Локомотиви, як основна складова рухомого складу залізничних систем, мають значний вплив на ефективність та безпеку перевезень. З огляду на складність їх конструкції та високі вимоги до експлуатаційних характеристик, питання надійності та якості їх ремонту стають дедалі актуальнішими.

Складні умови експлуатації локомотивів під час війни, зокрема підвищені навантаження, часті перевезення важких вантажів, екстремальні температурні режими та ризики пошкоджень інфраструктури, висувають додаткові вимоги до їхньої технічної справності. Застарілі підходи до ремонту, які часто базуються на регламентних інтервалах без врахування фактичного стану техніки, виявляються неефективними в умовах, коли кожна хвилина простою локомотива може вплинути на обороноздатність та безпеку перевезень.

У цих умовах інтеграція новітніх технологій у процес ремонту локомотивів стає не лише економічно виправданою, але й необхідною для забезпечення оперативності та точності технічного обслуговування. Сучасні рішення дозволяють значно підвищити якість ремонту та надійність роботи локомотивів навіть у найскладніших умовах експлуатації.

В умовах війни також посилюється необхідність оптимального використання ресурсів, включаючи матеріали, робочу силу та час. Новітні технології дозволяють не лише мінімізувати витрати, але й забезпечити

довгострокову надійність локомотивів, що критично важливо для підтримки сталого функціонування залізничної мережі.

Сучасний стан технологічного забезпечення ремонтних процесів локомотивів в Україні характеризується поступовим переходом від традиційних методів обслуговування до впровадження інноваційних рішень. Виникає потреба в інтеграції новітніх технологій, які дозволяють підвищити точність діагностування, оптимізувати процеси ремонту та забезпечити довгострокову експлуатаційну надійність локомотивів[7].

Інноваційні підходи, зокрема використання автоматизованих діагностичних комплексів, систем моніторингу в реальному часі, штучного інтелекту та передових матеріалів для ремонту, відкривають нові можливості для модернізації ремонтної бази залізничної галузі. Вони забезпечують не лише зниження витрат на обслуговування та усунення аварій, але й значно підвищують рівень безпеки перевезень, що є критичним для задоволення потреб сучасної транспортної інфраструктури.

Метою магістерської роботи є розробка пропозицій щодо впровадження стаціонарної діагностичної системи контролю колісно-моторних блоків у локомотивному депо «Харків – Сортувальний» для підвищення якості ремонту та надійності ТРС в експлуатації.

Виходячи з цього, виникає необхідність вирішення важливої науково-технічної проблеми удосконалення ефективності діагностування технічного стану локомотивів шляхом створення нових методів контролю якості роботи складових ТРС.

Для досягнення поставленої мети доцільно вирішити наступні завдання:

- вивчити теоретичні основи стану технологічного забезпечення ремонтних процесів локомотивів;
- визначити проблеми та недоліки у існуючій системі планово-попереджувального ремонту локомотивів;
- проаналізувати сучасні інноваційні підходи, зокрема використання автоматизованих діагностичних комплексів;

- надати пропозиції щодо впровадження стаціонарної діагностичної системи для вдосконалення технології та підвищення якості ремонту колісно-моторних блоків;

- проаналізувати фактори, що впливають на якість утримання рухомого складу;

- визначити орієнтовний економічний ефект від впровадження стаціонарної діагностичної системи контролю колісно-моторних блоків з урахуванням впливу на якість ремонту та надійність локомотивів в експлуатації.

Об'єктом дослідження є процес впровадження новітніх технологій у ремонт ТРС в локомотивному депо «Харків – Сортивальний».

Предметом дослідження є якісні показники технологічного забезпечення ремонтних процесів локомотивів в депо.

Методи дослідження. У роботі використовувались загальнонаукові методи такі як спостереження, опис та теоретичні – аналіз, узагальнення, класифікація тощо.

Наукова новизна та практичне значення одержаних результатів спрямовані на комплексний підхід до підвищення якості контролю технічного стану ТРС та можливості впровадження запропонованої стаціонарної діагностичної системи у локомотивному депо «Харків – Сортивальний» що дозволить значно покращити якість ремонтних робіт, підвищити безпеку експлуатації, скоротити час простою та знизити витрати на технічне обслуговування що є важливим для ефективності роботи локомотивного депо.

Інтеграція новітніх технологій у ремонт локомотивів дозволить не лише підвищити їх якість та надійність, але й стане важливим елементом забезпечення національної безпеки та відновлення країни після війни.

Апробація результатів роботи.

Основні положення магістерської роботи були висвітлені у тезах доповіді «Інтеграція новітніх технологій у процес ремонту локомотивів з метою підвищення якості та надійності їх роботи» на 84-студентській науково-технічній конференції УкрДУЗТ 11-13 грудня 2024р. Харків : УкрДУЗТ. 2024 [34].

1 Аналіз системи ремонту та технічного обслуговування тягового рухомого складу та її вплив на ефективність залізничних перевезень

1.1 Роль залізничного транспорту в соціально-економічному житті України

Згідно з дослідженнями, до 60% компаній зіштовхнулися з проблемами в ланцюгах поставок через збої в транспортних мережах, спричинені як геополітичними, так і економічними факторами. В Україні це питання є особливо актуальним, оскільки через політичну ситуацію і блокаду чорноморських портів на понад 40% знизилася пропускна здатність морських перевезень. У таких умовах залізничний транспорт стає найнадійнішим рішенням для забезпечення стабільних поставок продукції, особливо у напрямку Європейського Союзу.

Морські і автомобільні перевезення, хоча й залишаються важливим елементом міжнародної логістики, наразі стають все більш ризиковими для України. Наприклад, через зростання вартості палива на 25% протягом останнього року та нестабільну ситуацію на автодорогах, витрати на автомобільні перевезення збільшилися на 15-20%. Водночас, залежність від морських перевезень значно зменшилась, адже багато портів були заблоковані або пошкоджені. Ці ризики змушують підприємства шукати більш стабільні альтернативи. За даними Укрзалізниці, обсяг транспортування товарів залізницею зростає. Залізниця виступає як найнадійніше рішення, забезпечуючи безперервний рух товарів незалежно від погодних умов чи глобальних криз.

Залізничний транспорт України є провідною галуззю в транспортному комплексі країни, який забезпечує майже 82% вантажних та 36% пасажирських перевезень, здійснюваних всіма видами транспорту. Це робить залізничний транспорт невід'ємною частиною національної економіки та логістики [33].

Проте українська залізниця протягом багатьох років потребувала масштабного оновлення та реформування. Попри розпочаті реформи в сфері

залізничного транспорту, цей процес не був завершений. Більшість реформ, визначених Угодою про асоціацію між Україною та Євросоюзом, не були імplementовані. Питання інтеграції української залізниці в єдину транспортну мережу Євросоюзу поки також не вирішене [8].

Залізничний транспорт відіграє важливу роль після початку повномасштабного вторгнення РФ на територію України 24 лютого 2022 року. У перші місяці великої війни залізничним транспортом з місць підвищеної небезпеки евакуювалися приблизно 4 млн громадян. Зокрема, з Харкова в більш безпечні зони виїхали понад 600 тис. містян. Залізничний транспорт залишається найкращим для швидкої евакуації великої кількості людей із небезпечних зон.

На сьогодні залізниця залишається надійним видом транспорту в умовах небезпеки. Водночас, залізнична інфраструктура є однією з військових цілей РФ, яка намагається зруйнувати внутрішню логістику та ускладнити постачання військової і гуманітарної допомоги від країн Заходу.

До завершення воєнних дій залізниця відіграватиме важливу роль у перевезенні вантажів та населення в межах країни та за кордон.

Розвиток транспортного потенціалу залізничного транспорту входить до числа найактуальніших задач, від вирішення яких залежить позиціонування України на світовому ринку транспортних послуг[10].

На думку багатьох дослідників залізничної сфери, успішність її розвитку, насамперед, залежить від визначення державою ролі залізничного транспорту в загальній транспортній системі країни, від упровадження державної політики в цій системі, шляхів фінансування соціальних пасажирських перевезень, утримання й розвитку залізничної інфраструктури, створення рівних умов для міжгалузевої конкуренції, вироблення соціального консенсусу тощо.

Фактори, що визначають розвиток транспортного потенціалу залізничного транспорту, можна розподілити на зовнішні та внутрішні. Зовнішні фактори обумовлюються функціонуванням суб'єктів, що належать до зовнішнього середовища залізничного транспорту (підприємства, що здійснюють виробничу, логістичну, науково-дослідну та іншу діяльність) та діями держави щодо

підтримки залізничного транспорту. Внутрішні фактори обумовлюються функціонуванням суб'єктів внутрішнього середовища залізничного транспорту (залізниці, промислові підрозділи залізничного транспорту тощо).

На національному рівні (в т.ч. на регіональному рівні) заходи оптимізації роботи залізничного транспорту дозволяють успішно здійснювати політику, яка забезпечує інтеграцію на загальнодержавному рівні та відкриту взаємодію всіх процесів розвитку, з метою раціоналізації виробничих та інших господарських процесів [3].

На міжнародному рівні - дозволяє забезпечити доступ на іноземні ринки, підвищуючи конкурентоспроможність вітчизняних товарів, що створює умови для більш рівної участі в міжнародній торгівлі й потенційних вигодах, які із цієї участі випливають.

Провідне значення для залізничного транспорту України обумовлено двома основними факторами: техніко-економічними перевагами порівняно з іншими видами транспорту та збігом напрямку й потужності основних транспортно-економічних потоків України й світу з географічним положенням українських залізниць.

Підвищення ефективності роботи залізничного транспорту призведе не тільки до розвитку транспортної галузі, а й до покращення показників економіки країни, оскільки він дозволяє одержувати суміжні результати в межах галузей економіки.

1.2 Експлуатаційні фактори, що впливають на надійність ТРС, класифікація видів зносу та пошкоджень

Значний вплив на режими роботи і надійність ТРС мають погоднокліматичні фактори. Температура повітря. Низька температура викликає збільшення вібрацій екіпажної частини та всього локомотива з причини

підвищення жорсткості залізничної колії, що викликає підвищений знос механічних частин, а в комплексі із збільшеною крихкістю матеріалів – пошкодження деталей. Паморозь на рейках викликає боксування та підвищений знос бандажів колісних пар. Низька температура може викликати зволоження ізоляції електричних машин і їх пошкодження. Часті перепади температури повітря можуть викликати розмерзання та пошкодження елементів систем охолодження. Висока температура повітря сприяє швидкому старінню електроізоляційних матеріалів, погіршенню стану гумовотехнічних виробів, ускладнює режими роботи систем охолодження. При підвищенні температури та зниженні атмосферного тиску повітря знижується потужність дизеля, збільшується нагрівання його деталей [2].

Вологість повітря негативно впливає на стан лакофарбових покриттів та ізоляції. Волога, що проникає в пори ізоляції, знижує її електричну міцність, створює умови для електричного чи теплового пробою ізоляції, прискорює її старіння. Підвищена вологість прискорює процес утворення окислів на робочих поверхнях електричних контактів і незахищених металічних деталях, сприяє корозії металів.

Запиленість повітря. Тверді частинки, що містяться в повітрі, викликають абразивний знос механічних деталей, негативно впливають на стан ізоляції.

Не менш суттєво впливають на надійність ТРС інтенсивність його використання та режими роботи, що залежать від таких факторів:

- стан верхньої будови колії. Впливають на знос деталей екіпажної частини;
- маса поїзда;
- швидкість руху;

Робота деталей та вузлів ТРС супроводжується механічними процесами, ускладненими дією фізичних і хімічних факторів, що викликають зниження міцності мікрооб'ємів поверхневого шару. Процес руйнування та відокремлення матеріалу з поверхні твердого тіла та (чи) накопичення його остаточної деформації при терті, що проявляється у вигляді поступової зміни розмірів і (чи) форми тіла, називається зносом (ДСТУ 30479-97) [1]. Знос при роботі деталей та

вузлів є природним і безперервним процесом. Однак його швидкість на різних етапах експлуатації та за різних умов може змінюватись та залежати від ряду причин: конструкції деталей, властивостей їх матеріалів, якості обробки поверхонь, збирання та регулювання, значення та тривалості навантажень, тиску, температури, організації технічного обслуговування, параметрів мастила. Якщо невчасно не припинити роботу вузла, то це може призвести до поломки деталей та виходу з ладу всього механізму. Норми гранично допустимих зносів наведені в Правилах ремонту та встановлені за результатами тривалих спостережень за роботою вузлів та їх обмірювань.

Виділяють механічний, корозійно-механічний знос та знос при дії електричного струму (рис. 1.1).

Найбільш поширеним зносом у машинах є механічний, що розвивається в результаті механічного впливу. Найчастіше це відбувається при дії сил тертя поверхонь деталей. При цьому шляхом стирання (зрізання) поверхневого шару металу змінюються геометричні розміри деталей, що взаємодіють. Знос такого виду виникає при роботі найбільш поширених пар тертя: вал – підшипник, поршень – циліндр[38].

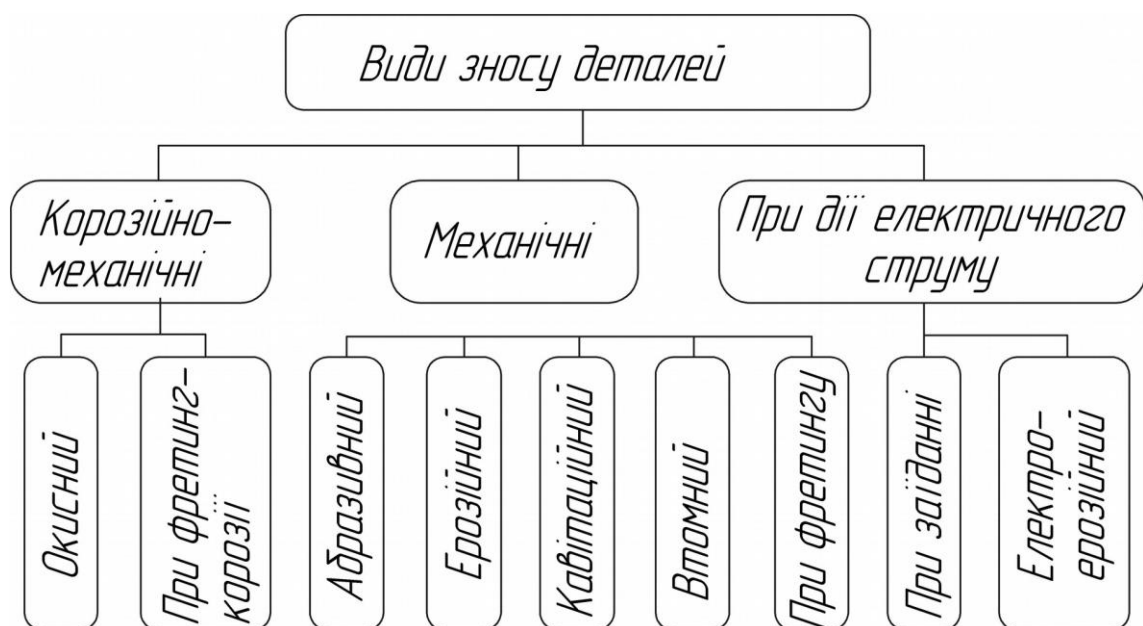


Рисунок 1.1 – Класифікація видів зносу деталей

Найбільш руйнівну дію на деталі має абразивний знос, що виникає при попаданні в зону контакту деталей твердих частинок, що ріжуть чи дряпають поверхні, між якими знаходяться деталі екіпажної частини; щітки та колектори електричних машин; паливна апаратура. Основну небезпеку мають:

- втомний знос що виникає при повторному деформуванні мікрооб'ємів матеріалів поверхневого шару (деталі підшипників кочення та зубчастих передач);

- знос при заїданні, виникає в результаті захоплення, глибинного виривання матеріалу, перенесення його з однієї поверхні на іншу та подальшій взаємодії нерівних поверхонь, що утворилися (деталі ЦПГ, підшипники ковзання);

- окисний знос – хімічна реакція, що виникає при впливі на матеріал кисню чи іншого окисного середовища (деталі екіпажної частини, частини кузова);

- електроерозійний знос – ерозійний знос поверхні в результаті впливу розрядів при проходженні електричного струму (робочі поверхні контактних з'єднань електричних машин і апаратів).

Пошкодження механічного характеру виникають при прикладенні знакозмінних чи ударних навантажень, порушенні порядку закріплення деталей, неприпустимому їх скручуванні, заїданні або при надмірних температурних впливах. До цієї групи можна віднести тріщини, деформації, вм'ятини, відколювання, викришування та ін.

Пошкодження вузлів та агрегатів можуть поділятися також за причиною виникнення:

- експлуатаційні – результат неякісної експлуатації та ТО;
- виробничі – результат неякісного виготовлення чи ремонту;
- конструкційні – помилки конструкторів при проектуванні;
- аварійні – при аварійних ситуаціях.

2 Загальний огляд процесів технічного обслуговування та ремонту тягового рухомого складу в Україні

Процеси технічного обслуговування і ремонту локомотивів в Україні є складовою частиною функціонування залізничного транспорту, який забезпечує перевезення пасажирів і вантажів на внутрішніх та міжнародних маршрутах. У цій сфері використовуються як тепловози, так і електровози, які потребують регулярного обслуговування для забезпечення їхньої надійності, безпеки та ефективності. Загальний огляд охоплює структуру, методи, проблеми та перспективи технічного обслуговування локомотивів у країні.

Види технічного обслуговування та ремонту на залізницях України визначені затвердженою планово-попереджувальною системою технічного обслуговування та ремонту. Плановою вона називається тому, що терміни постановки ТРС на огляди та ремонти плануються, а попереджувальною – оскільки направлена головним чином на попередження виникнення несправностей.

Технічні обслуговування та поточні ремонти виконуються в локомотивних та моторвагонних депо, капітальні ремонти – на заводах. Згідно з Додатком № 11 до протоколу № Ц-85/25 Ком.т. засідання правління АТ «Укрзалізниця» від 01.05.2023 [2].

«Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування рухомого складу (локомотиви та моторвагонний рухомий склад)» систему планово-попереджувального ремонту і технічного обслуговування ТРС складають:

1. Технічне обслуговування ТО-1, ТО-2, ТО-3 (далі – ТО), поточний ремонт ПР-1 – для попередження появи несправностей локомотивів та МВРС в експлуатації, підтримання його в працездатному і належному санітарно-гігієнічному стані, забезпечення безпечної експлуатації, пожежної безпеки та

безаварійної роботи, а також заданого рівня комфортності пасажирських перевезень, що здійснюються МВРС.

2. Технічне обслуговування ТО-4:

- ТО-4 – для оброблення бандажів та ободів суцільнокатаних колісних пар (без викочування їх з-під локомотива або МВРС) з метою підтримання оптимальної величини прокату та товщини гребенів. Дозволяється об'єднувати оброблення бандажів, ободів, плазмове загартування гребенів колісних пар, прослуховування колісно-моторних (колісно-редукторних) блоків і діагностування локомотивів та МВРС з виконанням технічного обслуговування ТО-2, ТО-3 та поточних ремонтів ПР-1, ПР-2.

- ТО-4б (база) – для заміни повного комплекту колісних пар локомотивів та МВРС при досягненні граничного зносу бандажів, ободів колісних пар з метою підтримання оптимальної величини прокату та товщини гребенів. Дозволяється об'єднувати заміну повного комплекту колісних пар локомотивів при досягненні граничного зносу бандажів, ободів колісних пар з виконанням технічного обслуговування ТО-3 та поточних ремонтів ПР-1, ПР-2.

3. Технічне обслуговування ТО-5:

- ТО-5а – підготовка (консервація) локомотивів та МВРС для постановки в запас АТ «Укрзалізниця» та резерв регіональної філії, філії АТ «Укрзалізниця» (далі – РУЗ);

- ТО-5б – підготовка (консервація) локомотивів та МВРС до відправлення в недіючому стані на капітальні ремонти на заводи або до інших депо, в поточний ремонт до інших локомотивних або моторвагонних депо (далі – депо) своєї чи інших регіональних філій, філій, передачі на баланс інших депо або передислокації;

- ТО-5в – підготовка (розконсервація) до експлуатації після побудування, ремонту на заводах або в інших депо після пересилки;

- ТО-5г – підготовка (розконсервація) до експлуатації перед видачею локомотивів та МВРС із запасу АТ «Укрзалізниця» або РУЗ.

ТО-5 містить нормативи трудомісткості та тривалості, що затверджені регіональною філією, окремо за видами призначення ТО-5 і типами локомотивів та МВРС.

4. Технічне обслуговування ТО-6 – виконання регламентних робіт з продовження терміну служби несучих конструкцій. Дозволяється об'єднувати ТО-6 з виконанням технічного обслуговування ТО-3 та поточних ремонтів ПР-1, ПР-2, ПР-3.

5. Поточний ремонт ПР-2 та ПР-3 – для забезпечення справності локомотивів та МВРС, відновлення основних експлуатаційних характеристик і забезпечення їх стабільності в міжремонтний період виконанням ревізії, ремонту, заміни груп деталей, вузлів та агрегатів, регулювання та випробувань, а також часткової модернізації.

6. Капітальний ремонт КР-1 (далі – КР-1) – для відновлення паспортних характеристик, часткового відновлення ресурсу шляхом заміни та ремонту зношених несправних агрегатів локомотивів та МВРС, вузлів, деталей та їх модернізації.

7. Капітальний ремонт КР-2 (далі – КР-2) – для відновлення справності та повного ресурсу локомотивів та МВРС, його паспортних характеристик, модернізації агрегатів, вузлів і деталей, повної заміни кабельно-провідникової продукції та обладнання, що відпрацювало свій ресурс, на нове.

8. Капітальний ремонт з продовженням терміну служби (далі – КРП) для відновлення експлуатаційних характеристик, справності та ресурсу на період продовження строку служби понад встановлений, а також модернізації всіх агрегатів, вузлів і деталей, включаючи базові, повної заміни кабельно-провідникової продукції та обладнання з виробленим ресурсом відповідно до технічних умов. Під час виконання КРП локомотивів та МВРС, яким виконувався останній КР-2, заміну кабельно-провідникової продукції в обсязі КР-1.

При плануванні проведення ТО чи ПР враховується вік ТРС, тобто його відповідність нормативному терміну служби (НТС). Для маневрових тепловозів одиниця нормативного напруцювання: для ТО-3 доба, для ПР місяць, для КР рік.

ПР-2 виконується за необхідності виконання тепловозам за рішенням комісії депо по стану ШПГ дизеля. У календарний строк міжремонтних періодів (доба, місяць, рік) включається тільки час перебування ТРС в експлуатованому парку. Чергування ТО та ремонтів локомотивів обумовлюється нормативною документацією. Приклад планово-попереджувальної системи ремонту наведено на схемі (рис. 2.1).

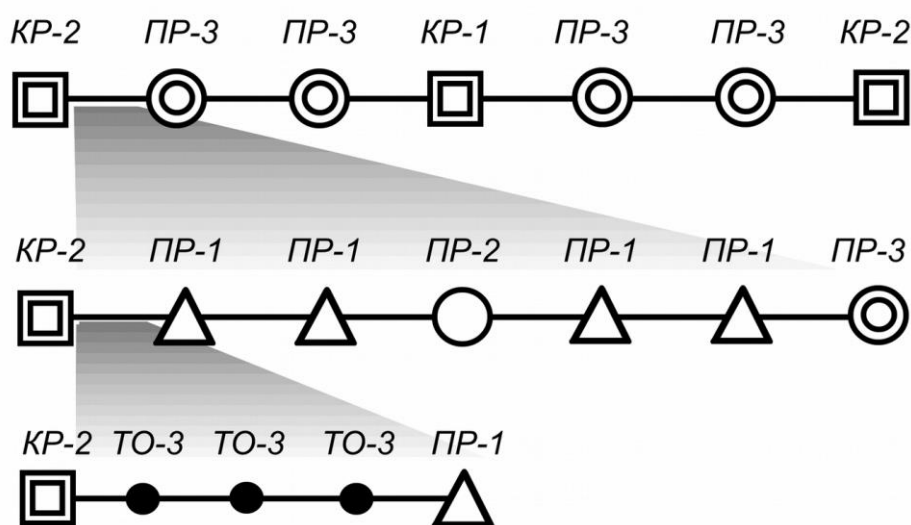


Рисунок 2.1 – Схема виконання ТО та ПР

Технічні обслуговування та поточні ремонти виконуються в локомотивних та моторвагонних депо, капітальні ремонти – на заводах.

Сучасна система технічного обслуговування та ремонту локомотивів в Україні стикається з низкою проблем:

- зношеність ремонтної інфраструктури: Багато депо та заводів працюють на застарілому обладнанні, що обмежує якість і швидкість ремонту;
- недостатнє фінансування: Брак інвестицій у ремонтні бази та закупівлю запчастин призводить до збільшення простоїв локомотивів;
- кадровий дефіцит: Висококваліфіковані фахівці поступово залишають галузь через низьку оплату праці, що ускладнює виконання складних ремонтів;

- застарілий підхід до діагностики: У багатьох депо використовуються методи візуального або ручного контролю стану локомотивів, які не можуть забезпечити точність оцінки їх технічного стану;

- високий рівень зношеності локомотивного парку: Більшість локомотивів, що експлуатуються в Україні, перевищили свій нормативний термін служби, що призводить до частих поломок та потреби в капітальних ремонтах (рис. 2.2).

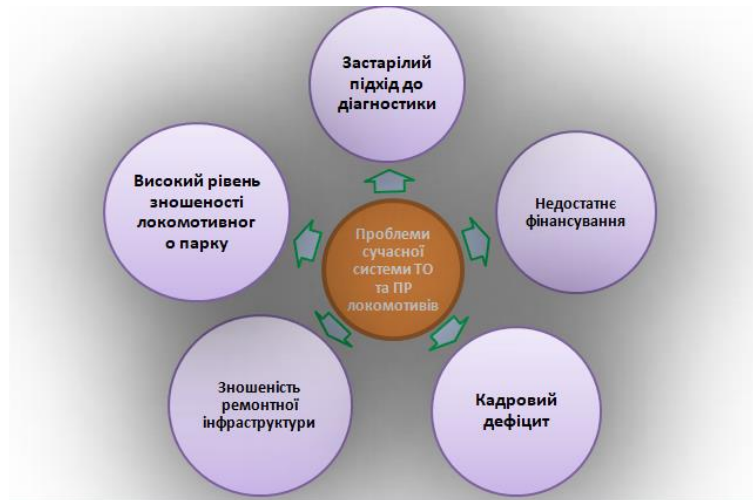


Рисунок 2.2 – Проблеми сучасної системи ТО та ПР локомотивів

Система планово-попереджувального ремонту (ППР) локомотивів є основою технічного обслуговування залізничного транспорту в Україні. Ця система базується на регулярному виконанні обслуговувань та ремонтів згідно з затвердженими регламентами та графіками, які враховують пробіг локомотивів, час експлуатації та специфіку роботи. Основною метою ППР є запобігання раптовим поломкам, підтримка високого рівня безпеки руху та забезпечення надійності роботи локомотивів [4].

Основні принципи планово-попереджувального ремонту (рис.2.3):

1. Регулярність - у ППР полягає в періодичному виконанні технічного обслуговування та ремонтів відповідно до встановленого графіка. Цей принцип базується на емпіричних даних про тривалість роботи окремих компонентів локомотива до їхнього зношення або виходу з ладу. Локомотиви працюють у

важких експлуатаційних умовах (високі навантаження, змінна температура, механічні вібрації), що прискорює зношення окремих вузлів. Регулярне технічне обслуговування допомагає усунути потенційні дефекти до їх критичного розвитку. Інтервали між обслуговуваннями визначаються не лише пробігом, а й умовами експлуатації (наприклад, інтенсивність перевезень, складність рельєфу). Це дозволяє враховувати індивідуальні особливості кожного локомотива. Графіки ППР складаються на основі типових експлуатаційних умов.



Рисунок 2.3 - Основні принципи планово-попереджувального ремонту

2. Комплексність - означає, що ППР охоплює всі аспекти технічного обслуговування та ремонту локомотивів, починаючи від дрібних регулювань до повного відновлення працездатності всіх систем та вузлів. Комплексність забезпечує систематичний підхід до обслуговування всіх систем локомотива: від ходових частин до електрообладнання. Ремонт та діагностика охоплюють не лише вузли з очевидними ознаками зносу, а й ті компоненти, які можуть вийти з ладу у найближчому майбутньому. Локомотив — складний технічний об'єкт, у якому несправність однієї системи може спричинити збій усієї машини. Наприклад, пошкодження в редукторі може призвести до аварійного стану колісно-моторного блоку. Комплексний підхід дозволяє інтегрувати кілька операцій в одну

(наприклад, діагностику тягових двигунів проводять разом із перевіркою стану підшипників колісних пар).

3. Превентивний підхід - передбачає попередження поломок ще до їх виникнення шляхом діагностики, регулювання та планового ремонту. Основний акцент робиться на виявленні ознак зношення або несправностей на ранніх етапах. Превентивний підхід полягає у виявленні та усуненні можливих дефектів до їхнього розвитку в серйозні поломки. Це принцип «ліпше запобігти, ніж усувати наслідки», який у ППР реалізується через систематичну діагностику та заміну деталей із високим ступенем зносу. Несправність у критичних вузлах локомотива (наприклад, в осьових підшипниках або системах гальмування) може спричинити серйозні наслідки: збої в русі поїздів, аварії або значні фінансові витрати на екстрений ремонт. Для виявлення прихованих дефектів використовуються сучасні методи дефектоскопії (ультразвукова, магнітопорошкова тощо), що дозволяють оцінити стан деталей без їх розбирання.

4. Плановість - забезпечує раціональне використання часу та ресурсів завдяки складанню детальних графіків обслуговування та ремонтів. Ремonti проводяться заздалегідь запланованими етапами, що дозволяє уникнути хаотичності в роботі депо. Неплановий ремонт зазвичай супроводжується затримками, викликаними відсутністю запчастин, браком часу або ресурсів. Планування дозволяє уникати таких ситуацій і рівномірно розподіляти роботу між ремонтними базами. Створюється річний або квартальний графік ремонтів для кожного локомотива на основі даних про його експлуатацію. Графік враховує завантаженість ремонтних баз, наявність запчастин та доступність персоналу. Виконується координація між експлуатаційними підрозділами та ремонтними депо для забезпечення своєчасності ремонту.

5. Системність - означає, що всі процеси обслуговування та ремонту є взаємопов'язаними та інтегрованими в загальну стратегію управління локомотивним парком. Це включає контроль за виконанням робіт, облік їх результатів та використання даних для подальшого планування. Результати обслуговування та ремонтів фіксуються у спеціальних технічних журналах або

цифрових системах обліку. Дані про виявлені дефекти використовуються для аналізу надійності окремих компонентів та вдосконалення регламентів обслуговування. Взаємодія між різними ремонтними базами забезпечує координацію робіт, включаючи передачу вузлів для спеціалізованого ремонту.

6. Ефективність - передбачає оптимальне використання людських, матеріальних та фінансових ресурсів для досягнення максимального результату при мінімальних витратах. Це досягається шляхом стандартизації процесів та використання сучасних технологій. Уніфіковані процедури ТО та ремонту дозволяють скоротити час на виконання робіт. Використання автоматизованих систем діагностики знижує залежність від суб'єктивних оцінок персоналу. Регулярне оновлення інструментів та обладнання підвищує якість та швидкість ремонтів.

7. Адаптивність - означає, що система ППР здатна враховувати зміни умов експлуатації, технічного стану локомотивів і сучасних технологій. Адаптивність дозволяє враховувати реальні умови експлуатації локомотивів (інтенсивність роботи, кліматичні умови, характер маршрутів) для коригування графіків обслуговування і ремонтів. Це дозволяє уникати як надмірних витрат, так і підвищеного ризику поломок, дозволяє гнучко підходити до планування й виконання ремонтів. Регламенти ТО та ПР переглядаються на основі аналізу експлуатаційних даних. Впроваджуються інноваційні технології ремонту та діагностики. Змінюються інтервали між обслуговуваннями залежно від реального стану вузлів.

Основні принципи планово-попереджувального ремонту забезпечують цілісний і обґрунтований підхід до обслуговування локомотивного парку. Їхня реалізація дозволяє не лише підтримувати працездатність локомотивів, а й знижувати витрати, підвищувати безпеку перевезень і забезпечувати довготривалу експлуатацію рухомого складу. Сучасна інтеграція технологій і цифрових інструментів робить ці принципи ще більш ефективними в умовах сучасної залізничної галузі України.

Керівники регіональних філій, філій АТ «Укрзалізниця» повинні з метою удосконалення планово-попереджувальної системи ремонту, зменшення експлуатаційних витрат та підвищення рівня праці впроваджувати в локомотивних та моторвагонних депо засоби діагностування, сучасні інформаційні технології, механізації та автоматизації технологічних процесів обслуговування і ремонту локомотивів та МВРС. У міру впровадження засобів діагностування та передової технології ремонту готувати рішення щодо внесення змін у типові технологічні процеси та обсяги регламентних робіт, що передбачені правилами, інструкціями та технологічною документацією для кожного виду ТО та ПР, сприяти розробленню та впровадженню механізованих та автоматизованих робочих місць персоналу депо, пристроїв діагностики комплексного та часткового застосування, передових методів і технологій, що забезпечують підвищення якості ремонту та скорочення його тривалості. Виділяти необхідні кошти для впровадження в базових депо сучасних технологій обслуговування і ремонту локомотивів та МВРС із застосуванням засобів діагностики, обробки результатів діагностування на персонально обчислювальних машинах з прогнозуванням залишкового ресурсу вузлів та деталей.

Перевагами планово-попереджувальної системи ремонту є можливість об'єднувати ремонтні операції по різному обладнанню і таким чином знижувати тривалість простоїв ТРС. При цьому здійснюється довготривале планування програми і обсягів ремонтів, поставка необхідних запасних частин і матеріалів. Недоліками даної системи є те, що при проведенні ТО чи ремонтів здійснюються необхідні ремонтні операції відносно обладнання, незалежно від його технічного стану.

Втручання в роботу обладнання, що нормально функціонує, у деяких випадках може погіршити його технічний стан, оскільки виникає момент нового припрацювання деталей, що у свою чергу може викликати граничний знос чи вихід з ладу.

Технологічний процес (скор. техпроцес) — частина виробничого процесу, що містить спрямовані дії зі зміни та (чи) визначення стану заготовок, деталей, виробів [12].

Технологічні процеси складаються із технологічних операцій, які у свою чергу складаються із технологічних переходів.

Технологічна операція – частина технологічного процесу, що виконується безперервно на одному робочому місці над одним чи кількома виробами.

Технологічна операція є основною одиницею виробничого планування та обліку. На основі операцій визначається трудомісткість виготовлення виробів, встановлюються норми часу, задається необхідна кількість працівників, обладнання, пристосувань та інструментів, здійснюється контроль якості та термінів виконання робіт.

Технологічний перехід – закінчена частина технологічної операції, що виконується над однією чи кількома поверхнями деталі одним чи кількома інструментами без зміни режимів роботи обладнання.

Об'єкт ремонту – локомотив, його складальна одиниця чи деталь, що підлягає ТО та ремонту.

Складальна одиниця – виріб, що складається з декількох частин, з'єднаних на підприємстві-виробнику складальними операціями (зварюванням, паянням, клепаанням, пресуванням, склеюванням, згвинченням).

Деталь – виріб, що є частиною машини, виготовлений з однорідного за структурою і властивостями матеріалу без застосування будь-яких складальних операцій. Деталі (частково або повністю) об'єднують у вузли.

Технологічний процес ремонту складальної одиниці (СО) можна розглядати у вигляді схеми (рис. 2.4).

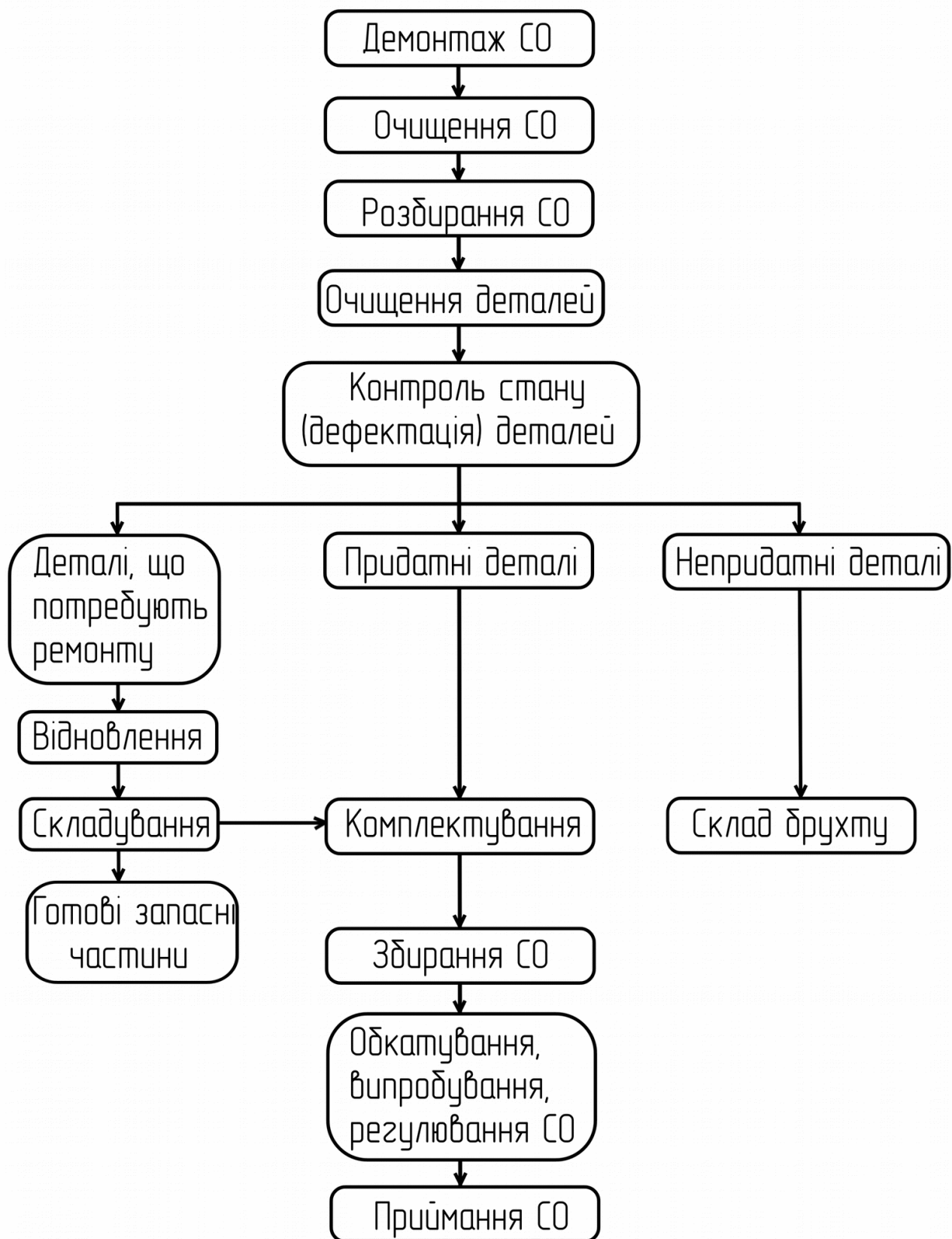


Рисунок 2.4 – Схема технологічного процесу ремонту складальної одиниці

2.3 Типові проблеми, що виникають під час ремонту локомотивів, та їх вплив на якість та надійність роботи

Процеси ремонту локомотивів в Україні часто стикаються з низкою специфічних проблем, які безпосередньо впливають на якість виконуваних робіт, тривалість ремонту та подальшу надійність експлуатації рухомого складу. Виявлення цих проблем та їхнє розуміння є важливим кроком для пошуку рішень і вдосконалення системи ремонту [12-13]:

1. Відсутність належної стандартизації ремонтних процедур.

Відсутність уніфікованих процедур для проведення ремонтів у різних депо призводить до варіативності якості робіт. Залежно від рівня кваліфікації персоналу та доступного обладнання, якість ремонту може значно різнитися. Результатом є нерівномірний технічний стан локомотивів, що ускладнює планування перевезень і збільшує ризик поломок під час експлуатації [19];

2. Низька точність дефектування.

Використання застарілих методів діагностики та дефектування, які базуються на візуальному огляді або простих механічних тестах, не завжди дозволяє виявити приховані дефекти вузлів і деталей. Недооцінені пошкодження або приховані дефекти призводять до раптових поломок локомотивів після ремонту, що значно знижує їхню надійність та збільшує ризики для безпеки перевезень [18];

3. Відсутність оперативної заміни зношених деталей.

Через нерегулярне постачання або дефіцит запасних частин ремонт часто затримується, а іноді використовується обладнання, яке не відповідає стандартам або має значний знос. Використання неякісних або зношених деталей негативно впливає на тривалість роботи локомотива після ремонту та збільшує потребу у повторних ремонтах;

4. Неналежний контроль якості виконаних робіт.

У багатьох депо відсутній системний підхід до перевірки якості виконаного ремонту. Перевірки часто проводяться формально, без глибокого аналізу ефективності відремонтованих систем. Недостатній контроль може призвести до повторення тих самих помилок у майбутньому та скорочення часу безперебійної експлуатації локомотива;

5. Недостатнє навчання та перепідготовка персоналу.

Значна частина ремонтного персоналу працює за методиками, які були актуальні кілька десятиліть тому. Відсутність регулярного підвищення кваліфікації обмежує здатність працівників ефективно використовувати сучасні технології. Це уповільнює впровадження інновацій, погіршує якість ремонту та ускладнює виконання складних ремонтних операцій;

6. Неправильне планування ремонту.

Ремонт локомотивів часто планується за регламентно-змінною системою, яка не враховує реального технічного стану обладнання. Внаслідок цього проводяться непотрібні ремонти на справних вузлах або пропускаються критичні дефекти. Це призводить до неефективного використання ресурсів, збільшення витрат на ремонт і зниження надійності роботи локомотивів;

7. Відсутність інтеграції сучасних технологій.

Багато ремонтних баз не мають доступу до сучасних технологій, таких як автоматизовані системи діагностики, роботизовані інструменти чи цифрові платформи для управління ремонтними процесами. Це знижує точність та швидкість виконання ремонтів, а також створює труднощі у відстеженні технічного стану рухомого складу[26];

8. Вплив зовнішніх факторів на ремонтний процес.

Збої у постачанні електроенергії, перебої в логістиці запчастин та інші зовнішні фактори часто ускладнюють виконання ремонтних робіт у заплановані терміни. Невчасний ремонт локомотивів збільшує час їхнього простою, що негативно позначається на графіках перевезень та доходах залізниці;

9. Відсутність системи предиктивного обслуговування.

Українська система ремонту переважно базується на реактивному підході, коли поломки усуваються після їхньої появи.

Передові ж методи передбачають використання аналізу даних для прогнозування несправностей до їх виникнення. Без можливості передбачати потенційні несправності локомотиви частіше виходять з ладу під час експлуатації, що знижує загальну надійність перевезень;

10. Невідповідна інтеграція ремонтних процесів з експлуатаційною діяльністю.

Часто ремонтні бази не мають повної інформації про умови експлуатації локомотивів, що ускладнює планування та пріоритизацію ремонтних робіт.

Відсутність інтеграції між депо та експлуатаційними підрозділами призводить до того, що локомотиви, які перебували в інтенсивній експлуатації, не отримують належного обслуговування вчасно;

11. Недостатній рівень цифровізації документації.

Значна частина ремонтної документації в депо ведеться вручну або у вигляді розрізнених таблиць. Це ускладнює аналіз історії ремонтів і планування робіт.

Відсутність централізованих цифрових баз даних затримує процес прийняття рішень і сприяє повторенню помилок у ремонті [32].

Типові проблеми, що виникають під час ремонту локомотивів, значно впливають на якість та надійність їх роботи, підвищують витрати та знижують безпеку залізничного транспорту (рис. 2.5).

Розв'язання цих проблем через впровадження сучасних технологій, вдосконалення системи контролю якості та підвищення кваліфікації персоналу може суттєво покращити ситуацію, підвищивши надійність локомотивного парку України [34].

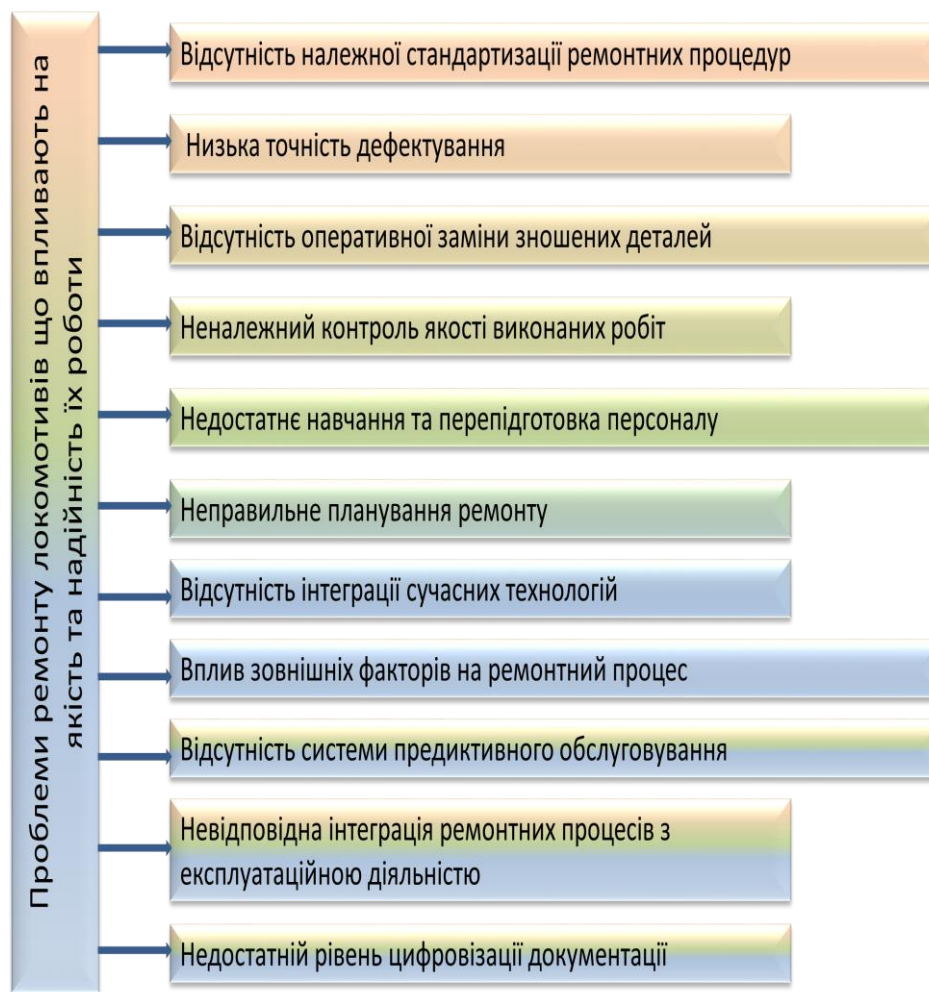


Рисунок 2.5 - Типові проблеми ремонту локомотивів що впливають на їх якість та надійність роботи

2.4 Основні напрями науково-технічного розвитку і вдосконалення системи експлуатації та ремонту тягового рухомого складу

Експлуатаційна надійність тягового рухомого складу є одним з основних показників якості, що визначають економічну ефективність роботи залізничного транспорту, раціональне використання енергетичних і матеріальних ресурсів виробництва, а також забезпечують безпеку руху поїздів. В умовах фізичного

старіння локомотивного парку, що відбувається в даний час на залізничному транспорті України, підвищення надійності експлуатації тягового рухомого складу неможливе без впровадження ефективних методів контролю якості технічного обслуговування та ремонту локомотивів.

При цьому для забезпечення необхідних обсягів та термінів перевезень, безпеки руху поїздів необхідно так будувати стратегію технічного обслуговування устаткування, щоб постійно підтримувати його надійність на необхідному рівні, зменшувати час простою локомотивів через несправність їх вузлів, агрегатів та систем.

Статистичний аналіз даних з відмов локомотивів, що знаходяться в експлуатації, показує, що причиною більшості несправностей є відмова силових агрегатів, колісно-моторних блоків, гальмівної системи. Якщо врахувати, що збитки від аварійного простою комплектуючих локомотива протягом декількох годин часто перевищують їх собівартість, то неважко пояснити, чому останнім часом усе більший інтерес виявляється до проблеми створення методів довгострокового прогнозування надійності функціонування основних вузлів, які базуються на принципово нових засобах комплексної діагностики.

У загальному випадку контроль технічного стану тягового рухомого складу припускає комплексну оцінку апріорно заданого рівня надійності його агрегатів та систем як засобами бортової діагностики в процесі експлуатації, так і на стадії його технічного обслуговування та ремонту. Це викликає необхідність вирішення задачі керування технічним станом контрольованих об'єктів [31].

Практика експлуатації гостро потребує адекватних методів прогнозування експлуатаційної надійності складових тягового рухомого складу. Висока ступінь точності прогнозування може бути досягнута шляхом обліку методів оцінки надійності, впливу факторів (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Класифікація факторів

При її вирішенні дуже важливо вміти об'єктивно визначати технічні характеристики об'єктів керування в даний момент часу з метою прийняття рішення про можливість чи неможливість подальшої експлуатації цих об'єктів, а також прийняття рішення про вид несправностей та про подальшу технологію роботи з об'єктами, визнаними непридатними до поточної експлуатації.

Виходячи з цього, виникає необхідність вирішення важливої науково-технічної проблеми удосконалення ефективності діагностування технічного стану локомотивів шляхом створення нових методів контролю якості роботи складових ТРС.

3. Впровадження технологій технічної діагностики та їх вплив на підвищення якості ремонту тягового рухомого складу

3.1 Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду застосування технологій організації та технічного обслуговування рухомого складу

Економічна ефективність роботи залізничного транспорту в значній мірі залежить від технічного стану локомотивного парку. Для забезпечення необхідних обсягів та термінів перевезень, безпеки руху поїздів необхідно так будувати стратегію технічного обслуговування локомотивів, щоб постійно підтримувати їх надійність на необхідному рівні[27].

У свою чергу, технічне обслуговування буде ефективним тільки за умови одержання оперативної та повної інформації про технічний стан локомотива, причому оперативність і повнота інформації повинні бути забезпечені як в експлуатації, так і в депо при профілактичних та ремонтних роботах.

Виходячи з цього, можна прийти до висновку, що діагностування у даний час і на найближчу перспективу вимагає оптимального поєднання безупинного та дискретного (періодичного) контролю найбільш інформативних параметрів локомотива, при цьому кращим є використання стаціонарних діагностичних засобів контролю.

Така стратегія діагностування забезпечить перехід від регламентного і календарного технічного обслуговування до більш ефективного технічного обслуговування за фактичним станом.

Узагальнена структура організації дослідження та рішення задачі вдосконалення системи ремонту і змісту рухомого складу на основі діагностування вузлів та устаткування приведена на рисунку 3.1.

Системний аналіз тенденцій науково-технічного розвитку є одним з найважливіших завдань наукового обґрунтування економічної політики держави,

у тому числі і з метою розробки ефективної науково-технічної політики на залізничному транспорті.

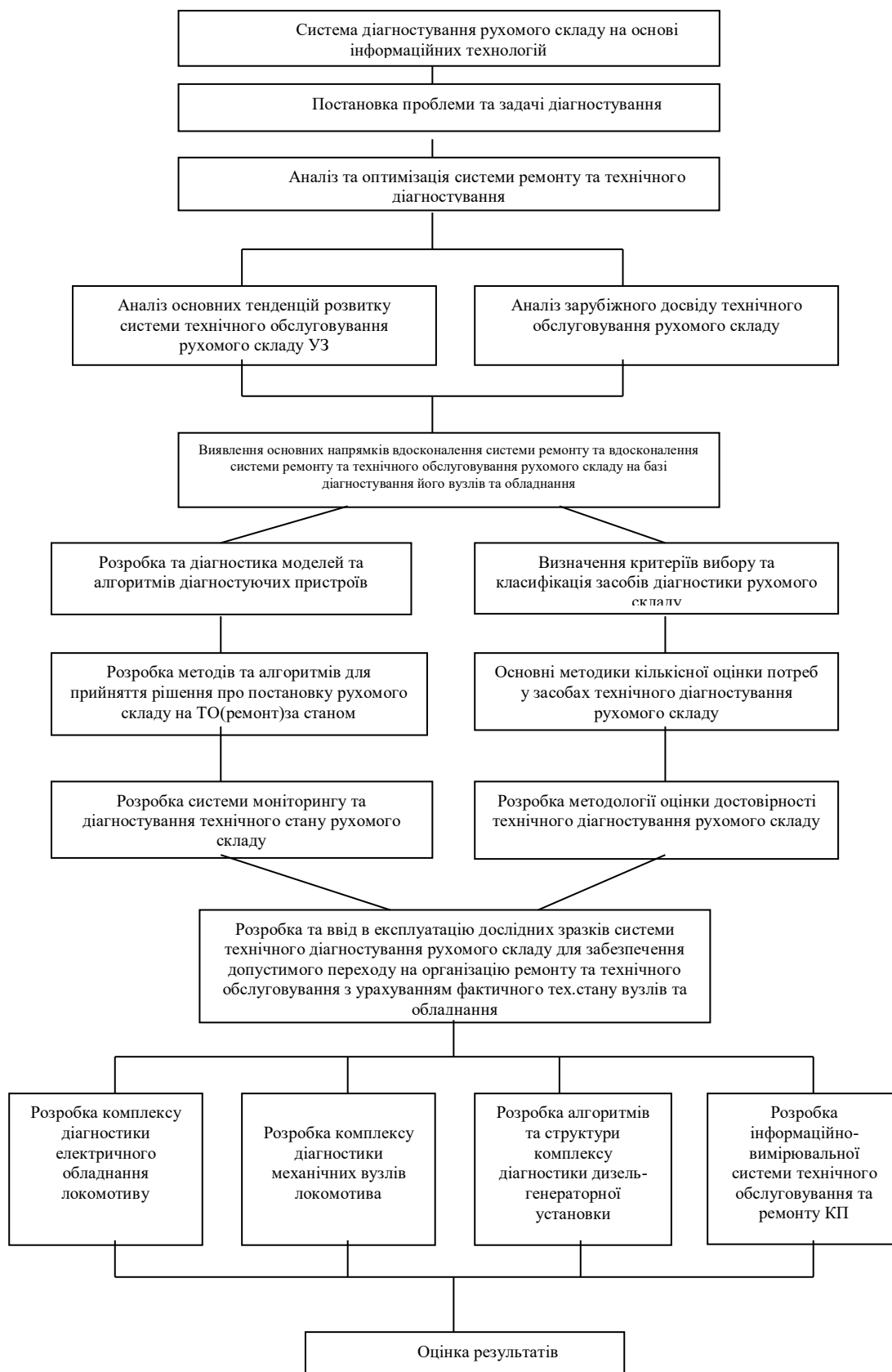


Рисунок 3.1 – Структура дослідження та вирішення завдань

При правильному забезпеченні технологій сучасними технічними засобами та автоматичними системами відбувається послідовна заміна ручної праці машинами.

Цей процес ще далеко не завершений в багатьох господарствах залізничного транспорту (колійне, локомотивне, вагонне), де рівень механізації виробничих процесів, особливо при ремонті, залишається відносно низьким.

Вивчення змісту, закономірностей та основних напрямів науково-технічного прогресу можливо тільки при технічному та соціально-економічному аналізі його найважливіших складових, включаючи проблеми взаємодії нових технічних засобів та технологій з виробничим персоналом.

Ці обставини диктують необхідність вдосконалення виробництва та предметів праці, створення нових прогресивних технологій, у тому числі інформаційних, які забезпечують вдосконалення виробничих та соціально-економічних стосунків.

Заміна ручної праці засобами механізації чинить величезний вплив на результати виробництва.

Такі зміни, окрім досягнення чисто економічних цілей, дозволяють принципово по-новому підійти до вирішення проблеми забезпечення безпеки руху поїздів.

Таким чином, основні напрями розвитку технічної бази залізничного транспорту передбачають рішення головної задачі - підвищення стійкості та ефективності його роботи при безумовному забезпеченні безпеки руху поїздів.

До найбільш суттєвих заходів по скороченню витрат та забезпеченню безпеки руху відноситься вдосконалення системи ремонту та технічного стану рухомого складу.

Досвід роботи свідчить, що правильна організація технічної експлуатації при науково обґрунтованій системі планово-запобіжних ремонтів з урахуванням технічного стану - гарантія стійкої, надійної та довготривалої роботи усього рухомого складу.

На мережі залізниць для проведення усіх видів ремонту та огляду щодоби відволікається з перевізного процесу близько 12% експлуатованого парку. Відсутність на тяговому рухомому складі сучасних електронних систем управління на 15-20% знижує їх ефективність в порівнянні із зарубіжними аналогами та вимагає додаткових витрат при технічному обслуговуванні та ремонті.

Не скорочується кількість пошкоджень вузлів рухомого складу, що безпосередньо визначають експлуатаційну надійність та впливають на безпеку руху, таких як дизель-генераторна установка, тягові електричні машини, колісні пари та редуктори, електричні апарати та ланцюги керування.

Це дозволяє вважати, що проблема вдосконалення організації планово-запобіжної системи ремонту ще не розв'язана.

Порівняння технічних параметрів, капітальних та експлуатаційних витрат закордонного та вітчизняного рухомого складу показує, що у закордонних локомотивів загальна ціна в 2-3,5 разу вище, але витрати часу та робочої сили на технічне обслуговування та ремонт приблизно в стільки ж разів нижче.

Це є додатковим аргументом для зміни співвідношення капітальних витрат та експлуатаційних витрат по рухомому складу.

Другим аргументом є підвищена діагностична доступність та пристосованість елементів та вузлів закордонного рухомого складу та відлагоджена система контролю технічного стану.

Тому найважливішим заходом по скороченню експлуатаційних витрат повинно бути вдосконалення новітніх технологій з технічного обслуговування та ремонту рухомого складу.

При цьому повинні вирішуватися завдання оптимізації ремонтних циклів, автоматизації контролю технічного стану та діагностики, поступового переходу до організації ремонту та технічного обслуговування з урахуванням фактичного стану, що забезпечить зниження ремонтних витрат не менше чим в 1,6-2,0 рази.

Оптимізація міжремонтних термінів здійснюється відповідно до вимог забезпечення працездатності рухомого складу та характеризується тим, що в

ідеальному випадку регламентні роботи виконується безпосередньо перед настанням граничного зносу цього вузла. Впровадження бортових та стаціонарних засобів діагностики дозволяє автоматизувати збір та аналіз причин відмов, оптимізувати систему обслуговування та ремонту.

При використанні складних деталей та вузлів, що містять електронні та мікропроцесорні пристрої, поняття виміру зносу втрачає сенс, а їх працездатність неможливо визначити візуально. Тому застосовують методи непрямого визначення зносу окремих вузлів і агрегатів з використанням бортових та стаціонарних засобів діагностики [11].

На закордонному рухомому складі бортова діагностика розвивається по двох основних напрямках [33].

Перший - контроль стану та оперативне надання обслуговуючому персоналу інформації про виникаючі несправності та про заходи, які слід зробити по їх усуненню або обмеженню.

Другий - реєстрація, накопичення, класифікація несправностей, оперативна передача інформації в депо, для організації заміни несправної деталі або вузла, а також для аналізу відмов.

Від конструктивних особливостей вузлів та устаткування рухомого складу залежать витрати на їх ремонт та технічне обслуговування.

Експлуатувати та доопрацьовувати в експлуатації погано розроблену конструкцію на серійному рухомому складі важко і дорого, тому забезпечується зворотний зв'язок оптимізації міжремонтних термінів з вдосконаленням конструкції рухомого складу, виходячи із встановленого для нього терміну служби (ресурсу).

Аналіз несправностей рухомого складу в експлуатації, витрати на ремонт вузлів та агрегатів враховуються при проектуванні нового рухомого складу для вирішення завдань підвищення надійності та зниження вартості його повного життєвого циклу. Виробники при комплексному рішенні проблем створення нового рухомого складу велику увагу приділяють розробці технологій та пристроїв його технічного обслуговування і ремонту.

Це завдання комплексно та оптимально вирішується саме на етапі проектування та виготовлення локомотивів і вагонів.

Залізниці впливають на оптимізацію експлуатаційних властивостей рухомого складу, встановлюючи технічні вимоги та норми на його проектування, технічне обслуговування та ремонт [25].

Оскільки технічний стан сучасного рухомого складу пов'язаний з великими витратами та вимагає забезпечення складних технологій, застосовуються альтернативні моделі його ремонту іншими (не залізничними) підприємствами при стійкому зворотному зв'язку з утриманням в експлуатації.

Іноземні компанії для забезпечення гарантованої експлуатаційної готовності рухомого складу здійснюють технічну політику наступним основним напрямом:

- пріоритетність інвестицій в науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи по технічній діагностиці;
- комплексна оптимізація експлуатаційних та ремонтних характеристик кожного конструктивного елементу рухомого складу;
- розробка систем запобігання відмовам та попереджувачому прогнозуванню дефектів.

Заходи по технічному обслуговуванню проводяться не лише в основному депо, тобто в депо приписки, але і в інших депо де територіально виконується експлуатаційна робота рухомого складу.

Тяговий рухомий склад системно та часто піддається контролю та профілактичним заходам, при цьому необхідні роботи проводяться під час технологічних стоянок, пов'язаних із зупинками поїзда по графіку руху. Збільшення частоти контролю тим більше важливе, що на сучасному рухомому складі більшість вузлів, схильних до зносу, замінюються електронними компонентами, які мають схильність до непередбачених (раптових) відмов.

Сучасний тяговий рухомий склад, будучи складним об'єктом для технічного утримання, вимагає безпосередньої участі в цьому процесі виробника рухомого складу. Ця участь полягає, передусім, в забезпеченні якісною технічною документацією (креслення, інструкції по випробуванню та тому подібне).

Для детального контролю стану обладнання поїзда та завчасного повідомлення про несправності іноземні виробники рухомого складу забезпечують його бортовою системою технічної діагностики.

Система діагностики дає оперативне попереднє сповіщення технічного персоналу депо про усі виниклі дефекти та ушкодження поїзда в закодованій цифровій формі за допомогою радіозв'язку. Для підтримки необхідного рівня безпеки та планування заходів по технічному обслуговуванню робляться постійні виміри зносу та контролю вузлів з метою виявлення дефектів.

Комплекси діагностики коліс, як правило, розміщуються стаціонарно перед в'їздом в депо та працюють в автоматичному режимі.

Комбінація елементів планового технічного обслуговування з урахуванням фактичного технічного стану забезпечується за рахунок точного обліку зносу деталей або об'єму та характеру ушкоджень. Разом з цілеспрямованими дослідженнями ушкоджень, для виявлення можливих відмов використовується технічна діагностика, досліджується міра навантаження деталей та вузлів.

Вирішальним чинником підвищення ефективності використання рухомого складу за кордоном є пристосованість деталей та вузлів рухомого складу до діагностування, яка повинна забезпечується на етапі проектування та виготовлення рухомого складу.

Для контролю та оцінки технічного стану рухомого складу широко застосовується діагностика його вузлів та деталей, яка знаходиться в тісному взаємозв'язку з використанням сучасної обчислювальної техніки. Засоби діагностики та обчислювальної техніки використовуються в процесі технічного обслуговування і ремонту, включаючи ремонтні заводи, та забезпечують не тільки ефективність технічних засобів, але і управління виробництвом, включаючи матеріально-технічне постачання.

Аналіз зарубіжного досвіду утримання рухомого складу дозволяє зробити висновок, що впровадження інтегрованої системи проектування, виготовлення, експлуатації, технічного обслуговування та ремонту рухомого складу ефективно навіть при незначному збільшенні його вартості [12].

Системи технічної експлуатації та ремонту залізничного рухомого складу мають певні відмінності, при цьому включають широке застосування засобів технічного контролю та діагностики, а також післягарантійне обслуговування продукції компаніями - виробниками. В результаті істотно покращуються техніко-економічні характеристики, підвищуються надійність, забезпечується якість експлуатації рухомого складу.

Організація обслуговування та ремонту тягового рухомого складу Укрзалізниці впродовж багатьох десятиліть заснована на системі планово-попереджувального ремонту, що регламентує нормативну фіксовану періодичність та набір об'ємів основних ремонтних робіт. При цьому використовуються єдина технологія та організація виконання технічного обслуговування та поточного ремонту рухомого складу. Уся організація ремонтної бази, включаючи трудові, матеріальні ресурси, технічну оснащеність ремонтних цехів депо, розвивалася у рамках системи планово-запобіжного ремонту. Відомо, що виходячи з прогнозуючого пробігу експлуатованого парку, визначається програма технічного обслуговування та ремонту, нормуються і плануються трудовитрати, контингент ремонтників, витрати матеріалів та запасних частин.

Діюча система планово – попереджувального ремонту орієнтована на середньостатистичний рівень технічного стану тягового рухомого складу. В порядку її вдосконалення регулярно коригуються перелік видів ремонту та норми міжремонтних періодів для кожної серії та типу рухомого складу. На їх основі залізницями встановлюються диференційовані норми для експлуатаційних та ремонтних підрозділів з урахуванням конкретних умов.

Правила ремонту розроблені для кожної серії рухомого складу та передбачають виконання обов'язкового певного об'єму оглядів та ремонтних робіт в залежності від напрацювання та фактичного технічного стану обладнання кожної одиниці. Інша частина робіт виконується за результатами передбачених замірів, огляду, дефектації вузлів, систем та агрегатів після їх демонтажу з повним або частковим розбиранням. Багато в чому оцінка технічного стану та

встановлення необхідного об'єму ремонтних робіт залежить від кваліфікації майстрів, техніків, слюсарів, наявності та якості штатного вимірювального інструменту та тестових приладів. Дефекти виявляються за зовнішніми ознаками (підвищений люфт, вібрація, шум, нагрів, знос, підгар, стан кріплення та тому подібне) . Окрім цього зіставляються результати вимірів (геометричних розмірів, електричних параметрів, натиснення та тому подібне) з нормами допуску, встановленими Правилами ремонту, інструкціями та технологічними картами .

Основними показниками відповідності складу та об'єму робіт, що виконуються при планово-попереджувальному ремонті, фактичному технічному стану, є питоме число виходів з ладу обладнання, несправностей, непланових ремонтів. За результатами обліку та аналізу таких відмов в депо і на залізницях розробляються заходи по підвищенню якості ремонту вузлів, що найчастіше виходили з ладу, лімітуючи надійність.

Таким чином, при експлуатації та ремонті рухомого складу можна виділити ряд технічних, організаційних та економічних проблем :

- зріст об'єму перевезень залізничним транспортом та необхідність їх забезпечення рухомим складом, необхідної потужності і надійності;
- обмеженість фінансових ресурсів галузі та необхідність витрат на підтримку рухомого складу в працездатному стані внаслідок його старіння;
- застарілий рівень технології та матеріально-технічної бази локомотивних депо та необхідність підвищення якості і ефективності ремонту;
- висока вартість дизельного палива та електроенергії, та потреба зниження долі витрат енергоресурсів на тягу потягів;
- фізичне та моральне старіння рухомого складу і необхідність забезпечення необхідного рівня безпеки руху, створення відповідних ергономічних і санітарно-гігієнічних умов для роботи локомотивних бригад.

Вирішення цих проблем полягає в переході до вищого рівня використання економічних та технічних особливостей, що відповідають сучасному стану розвитку науки і техніки.

Основними шляхами підвищення ефективності технологічного процесу ремонту рухомого складу, як складної системи є:

- визначення стану вузлів і агрегатів, що впливають на працездатність, безпеку руху та зниження питомих енерговитрат;
- регламентоване застосування засобів діагностування, а також комплексних інформаційних технологій для обліку та аналізу даних про експлуатацію, відмови та ремонт устаткування;
- можливість оперативно перебудовувати виробничі процеси;
- впровадженні нової техніки та технологій.

Це дозволить забезпечити контроль та діагностику обладнання рухомого складу при заході в ремонт, повноту та достовірність оцінки технічного стану кожного локомотива для виконання робіт, у відповідності з потребою (шляхом попередження відмов своєчасним регулюванням, ремонтом та заміною обладнання).

У міру оснащення депо засобами діагностування, що дозволяють досить повно та достовірно оцінювати стан значної частини вузлів рухомого складу, вдосконалення системи організації обліку та аналізу їх стану, зміни параметрів що контролюються, діюча система ремонту перетвориться в нову систему, що враховує фактичний технічний стан та надалі в систему ремонту "за станом".

Це передбачає застосування в певний період часу стратегії змішаного ремонту: для однієї частини елементів використовуватиметься стратегія ремонту по відмові (наприклад, лампи, запобіжники); для іншої - по напрацюванню на відмову (наприклад, швидкозношувані елементи, мастило, фільтри); для третьої - по стану (та прогнозу стану), який визначається засобами контролю та діагностування.

При цьому в загальному випадку за рахунок повнішого використання ресурсу елементів рухомого складу витрати на його ремонт скорочуються, що компенсує витрати на діагностування та призводить до економії праці і матеріалів.

При моделюванні системи ремонту обов'язковою умовою є облік застосування в технологічному процесі засобів технічної діагностики.

Створення спеціальних діагностичних систем та засобів неруйнівного контролю, дозволяє отримати достовірну інформацію про фактичний технічний стан агрегатів та вузлів рухомого складу і прогнозувати залишковий ресурс, створює передумови для оптимізації системи експлуатації та ремонту [2].

Наприклад, за даними досвіду експлуатації систем контролю та паспортизації колісних пар в США, при профілізації коліс до моменту досягнення стадії прогресуючого зносу (досягнення приблизно 50% зносу гребенів бандажів) термін служби або пробіг колісної пари підвищується на 20%.

Найбільш складним етапом при побудові комплексних систем технічної діагностики є виділення, принаймні, двох груп елементів: підлягають діагностуванню та що не діагностуються. Для такої класифікації та відбору елементів доцільне використання техніко-економічних критеріїв.

У число що діагностуються включаються ті елементи рухомого складу, справний стан яких найбільшою мірою забезпечує безпеку руху та працездатність, відмови яких можуть викликати порушення графіку руху поїздів, а також призводять до росту енерговитрат на перевезення. Пріоритетними для діагностування є елементи, ресурс яких лімітований унаслідок як поступових, так і раптових відмов.

Структура систем діагностики, як правило, має три рівні:

- перший, контроль вузлів, що безпосередньо впливають на безпеку руху (тих, які можуть викликати схід рухомого складу з рейок або тривалу затримку поїздів в русі);
- другий, контроль вузлів, що визначають ходові якості рухомого складу, так званих стабілізуючих систем;
- третій, контроль вузлів з поступовою зміною параметрів, зносом, що визначає періодичність ремонтних робіт.

Створення та оптимізація спеціальних комплексів технічної діагностики з урахуванням перспективних напрямків розвитку нових інформаційних технологій повинні здійснюватися по наступних основних напрямках:

- бортові системи керування з накопичувачами інформації про параметри руху поїзда;
- бортові та вбудовані системи діагностування вузлів та обладнання;
- стаціонарні комплекси діагностичних пристроїв технічного стану рухомого складу під час руху та в депо.

Діагностичні комплекси повинні забезпечувати :

- достовірність оцінки технічного стану вузлів;
- повноту виявлення усього комплексу можливих дефектів;
- прогнозування технічного стану;
- автоматичну реєстрацію параметрів та ведення баз даних.

При створенні засобів діагностики необхідно враховувати наступні основні принципи :

- універсальності, модульності, використання типових рішень;
- уніфікації ряду первинних даних, що забезпечують опитування необхідних параметрів для діагностування;
- використання алгоритмів та критеріїв для отримання інформації з метою ухвалення рішень про стан об'єктів, що діагностуються.

Для підвищення ефективності процедури діагностування варто вести бази даних по фактичних відмовах вузлів та агрегатів рухомого складу і виявленню дефектів системами діагностики, вартісний аналіз експлуатації та ремонту .

Система ремонту тягового рухомого складу з урахуванням фактичного технічного стану дозволяє диференціювати міжремонтні терміни по стану або з урахуванням фактичного технічного стану рухомого складу приведена на рисунку 3.2. Такі можливості з'явилися завдяки широкому застосуванню засобів обчислювальної техніки для збору, обробки та аналізу великих масивів інформації про технічний стан обладнання.

Оцінка інтенсивності зносу, прогнозування залишкового ресурсу обладнання рухомого складу, як процес управління експлуатацією та ремонтом рухомого складу дозволяє впливати на підвищення надійності вузлів при ремонті та виготовленні.

У ринкових умовах, при зростаючій конкуренції, рівень якості, обумовлений показниками застосування та надійності, стає предметом взаємин виробника та споживача.

Властивості безпеки техніки реалізують при експлуатації, але гарантувати їх може тільки повна система контролю, що включає в себе оцінку безпеки рухомого складу в експлуатації, технології ремонту в депо, наявності необхідних засобів контролю та системи контролю якості.

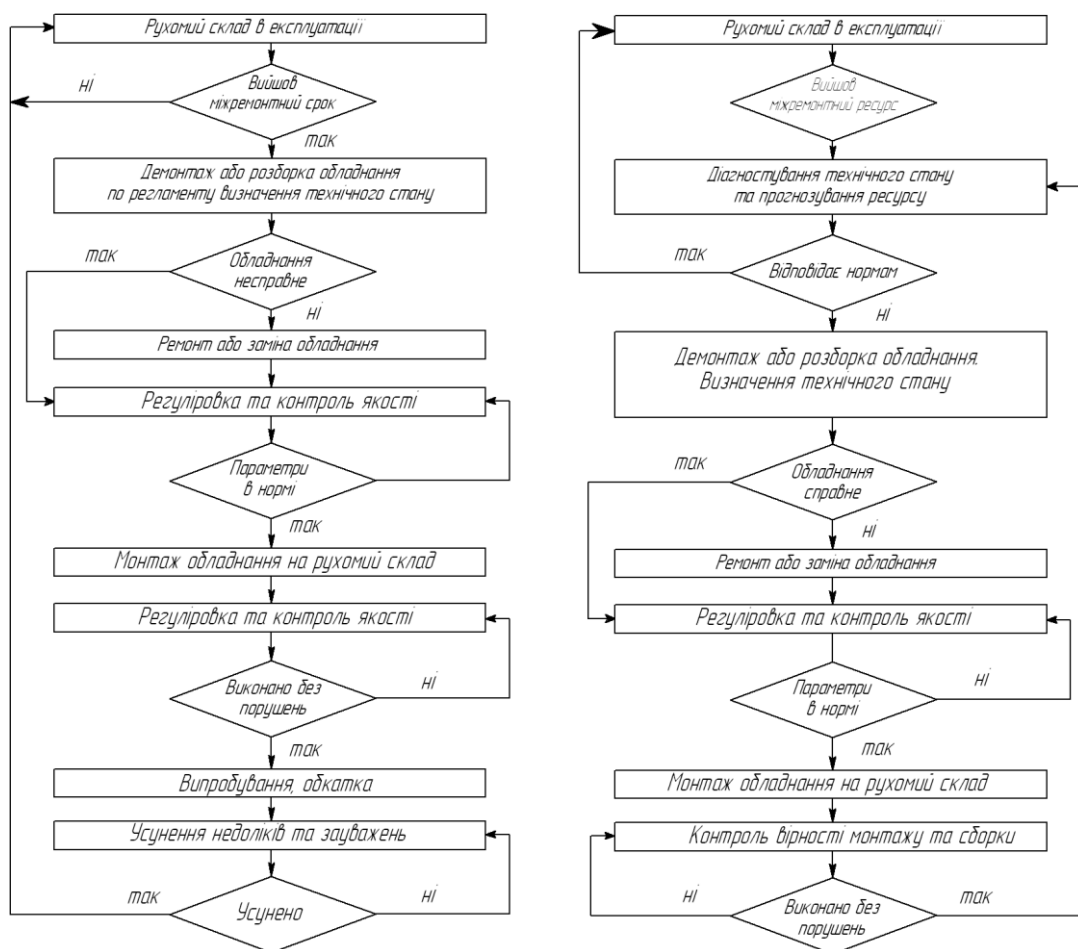


Рисунок 3.2 – Системи ремонту тягового рухомого складу

Забезпечення високої та стабільної якості рухомого складу є однією з проблем на рішення якої направлені зусилля технічного персоналу депо. Однією з головних причин, що знижують якість є скриті дефекти, визначення яких пов'язано з проведенням відповідного виду ремонту.

Впровадження інноваційних технологій діагностування є важливим кроком для модернізації ремонтних процесів локомотивів. Вони суттєво змінюють підходи до технічного обслуговування та ремонту локомотивів, дозволяючи досягти високого рівня надійності та економічності, завдяки комплексному впливу на всі етапи ремонтного процесу що значною мірою підвищує якість ремонту та сприяє безпеці руху [34].

Інноваційні технології дозволяють виявляти приховані дефекти. Традиційні методи, як - то візуальний огляд або стандартне технічне обстеження, часто не можуть виявити мікротріщини, знос чи пошкодження, які ще не проявили себе. Зменшення суб'єктивності аналізу такого як людський фактор часто призводить до помилок у діагностуванні. Використання автоматизованих систем зменшує ризик недоглядів або неправильної оцінки стану обладнання.

Сучасні технології дають змогу аналізувати великий обсяг даних, зібраних з датчиків, та на основі цього передбачати ймовірність виникнення несправностей. Наприклад:

- прогнозне технічне обслуговування: Замість ремонту "після факту" локомотив обслуговується заздалегідь, що дозволяє уникнути серйозних аварій або поломок;
- розробка індивідуальних ремонтних графіків: Планування ремонтів базується не на нормативних інтервалах, а на реальних показниках зносу, що значно підвищує ефективність використання ресурсів.

Використання діагностичних комплексів допомагають скоротити тривалість ремонтів завдяки швидкій ідентифікації несправностей, зменшенню потреби в демонтажі. Безконтактні методи діагностики, акустична, оптична чи інфрачервона технології, дозволяють проводити перевірки без розбирання вузлів та агрегатів.

Основною перевагою застосування інноваційних технологій є сприяння значному покращенню якості ремонту за рахунок:

- глибокого аналізу стану деталей: Системи аналізу в реальному часі дозволяють зосередитися на вузлах, які потребують уваги, а не виконувати непотрібний ремонт;
- використання сучасних матеріалів: Діагностичні системи допомагають точно визначити, які деталі варто замінити, що дозволяє використовувати інноваційні компоненти з тривалішим терміном служби;
- автоматизоване тестування після ремонту: Після проведення ремонту система автоматично оцінює справність вузлів та агрегатів, зменшуючи ризик виникнення повторних несправностей.

Однією з основних переваг є зменшення людського фактора. Людські помилки залишаються однією з основних причин аварій на залізниці. Інноваційні технології допомагають зменшити цей ризик за рахунок автоматизованої діагностики де системи самостійно аналізують стан локомотива, мінімізуючи вплив людського суб'єктивізму. Дистанційний моніторинг дає змогу оператору отримувати дані про стан локомотива в реальному часі, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення. І як результат попереджувальні сигнали системи діагностики автоматично сповіщають персонал про критичні відхилення, що дозволяє уникнути неправильних дій через брак інформації.

Також інноваційні технології діагностування відіграють ключову роль у підвищенні надійності локомотивів, що безпосередньо впливає на стабільність та безпеку їх експлуатації. Раннє виявлення прихованих дефектів дозволяє уникнути несподіваних поломок, які могли б призвести до аварій або перебоїв у роботі.

Діагностичні системи сприяють довгостроковій надійності за рахунок точного прогнозування необхідності обслуговування, що дозволяє планувати ремонти не за загальними інтервалами, а за фактичним станом техніки. Це мінімізує знос і перевантаження окремих компонентів, подовжуючи їхній термін служби.

Завдяки цим технологіям локомотиви зберігають високу експлуатаційну готовність навіть у складних умовах, таких як перевантаження, екстремальні температури чи підвищена вологість. Відсутність аварій та стабільна робота всіх систем безпосередньо підвищують довіру до залізничного транспорту, а також забезпечують ефективність та безперервність перевезень. Інноваційне діагностування стає основою для високої надійності локомотивів у сучасній залізничній галузі.

3.2 Вимоги до модернізації технологій ремонту з урахуванням потреб сучасної залізничної галузі

Сучасна залізнична галузь України переживає значні виклики, пов'язані із зношеністю локомотивного парку, високими експлуатаційними навантаженнями та необхідністю підвищення ефективності перевезень. У цьому контексті модернізація технологій ремонту рухомого складу є одним із ключових напрямів розвитку. Основна мета модернізації — забезпечення надійності, безпеки та економічної ефективності роботи локомотивів, що відповідає сучасним стандартам та потребам залізничної інфраструктури [33].

Основними викликами сучасної залізничної галузі є зношеність рухомого складу. Станом на 2024 рік, рівень зношення тягового рухомого складу АТ "Укрзалізниця" становить близько 80% для локомотивів, що означає, що більшість з них експлуатуються понад нормативні терміни служби. Це спричиняє значні витрати на їх обслуговування та ремонт, а також часті поломки, які впливають на стабільність перевезень. Крім того, понад 90% рухомого складу, включно з вантажними вагонами, також потребують оновлення або списання. Цей показник демонструє загальний рівень старіння інфраструктури та низьку ефективність наявних ремонтних потужностей. Для вирішення проблеми "Укрзалізниця" планує до 2030 року реалізувати масштабні програми оновлення

та модернізації за допомогою міжнародних партнерів, що включає як закупівлю нових локомотивів, так і капітальні ремонти з модернізацією наявних моделей. Зношеність локомотивів та відсутність системного оновлення створюють високі ризики для безпеки перевезень та обмежують можливості української залізничної галузі конкурувати на міжнародному ринку.

Зношеність вузлів локомотивів також є критичною проблемою. За останніми оцінками, близько 90% локомотивного парку "Укрзалізниці" працює понад нормативні терміни експлуатації. Це стосується таких ключових вузлів, як:

- колісні пари та осі: Рівень зношення цих компонентів перевищує 70%, що часто потребує капітального ремонту або заміни. Значні тріщини та деформації фіксуються через перевантаження та застарілі стандарти виготовлення;

- тягові двигуни: До 80% тягових двигунів тепловозів та електровозів потребують модернізації або заміни через зниження ефективності та підвищений ризик виходу з ладу під час експлуатації;

- підшипники та ресорні вузли: Знос становить до 60-70% залежно від типу локомотива. Це впливає на стабільність роботи ходової частини, особливо під час перевезення важких вантажів;

- гальмівна система: Понад 50% гальмівних механізмів мають підвищений рівень зношення, що знижує безпеку перевезень.

Ця ситуація зумовлена багаторічною відсутністю системного оновлення парку та недостатнім фінансуванням ремонтних програм. Для вирішення проблеми необхідна масштабна модернізація, включаючи впровадження сучасних технологій ремонту та закупівлю нових локомотивів. Це дозволить зменшити навантаження на застарілий парк та знизити аварійність.

Недостатність сучасних технологій ремонту. У багатьох ремонтних депо досі використовуються застарілі методи діагностики та відновлення. Відсутність автоматизації уповільнює процеси та знижує точність.

Підвищені вимоги до безпеки у маневровій роботі що зумовлені високими ризиками, пов'язаними з виконанням переміщень вагонів та локомотивів у депо, на станціях чи інших залізничних об'єктах. Це вимоги до технічного стану

локомотива, організації безпечного переміщення, вимоги до персоналу, комунікація та сигналізація, розташування працівників, екстрені заходи та дотримання нормативних документів. Дотримання цих вимог є обов'язковим для мінімізації ризиків та забезпечення безпеки на маневрових ділянках. Це також знижує ймовірність аварій та підвищує ефективність роботи локомотивного парку.

Якість і надійність локомотивів є ключовими чинниками безпеки маневрової роботи. Їхній технічний стан безпосередньо впливає на ефективність гальмування, точність руху, стабільність тягових характеристик та роботу систем безпеки. Для мінімізації ризиків необхідно проводити регулярну діагностику локомотивів, впроваджувати сучасні технології моніторингу та модернізувати застарілі вузли.

Під впровадженням сучасних технологій ремонту можливо розуміти:

- модернізацію ремонтних процесів. Традиційні ремонтні процеси є трудомісткими, потребують значних ресурсів та не завжди забезпечують високу якість відновлення. Потребує заміна ручних операцій на роботизовані системи, наприклад, для зварювання, наплавлення та обточування, використання 3D-друку для виготовлення складних деталей та відновлення зношених компонентів, перехід до модульного ремонту, коли замінюються повністю зношені вузли, що скорочує час простою локомотивів;

- модернізацію ремонтної інфраструктури. Більшість ремонтних депо потребують: оновлення обладнання, яке не відповідає сучасним стандартам, оснащення сучасними установками для термічної обробки деталей, автоматизованими токарними верстатами та стендами для балансування, організації спеціалізованих зон для обробки колісних пар, тягових двигунів та систем гальмування, встановлення автоматизованих ліній для тестування відремонтованих вузлів;

- підвищення екологічності процесів ремонту. Сучасна залізнична галузь зосереджена на зниженні впливу на навколишнє середовище: використання екологічно безпечних мастильних матеріалів та розчинників, впровадження

замкнених циклів переробки металевих деталей та інших відходів, оптимізація енергоспоживання ремонтного обладнання через модернізацію інфраструктури;

- навчання та перекваліфікація персоналу. Впровадження сучасних технологій вимагає від працівників нових навичок та знань: організація навчальних програм із використанням тренажерів та інтерактивних платформ, проведення курсів підвищення кваліфікації для роботи з новим обладнанням та цифровими системами, співпраця з міжнародними партнерами для обміну досвідом та технологіями.

Впровадження сучасних технологій ремонту дозволить досягти таких результатів:

- підвищення якості ремонту: забезпечення довговічності вузлів та агрегатів; зменшення кількості повторних ремонтів;

- скорочення часу простоїв: швидке виявлення та усунення дефектів; оптимізація робочих процесів за рахунок автоматизації;

- економія ресурсів: зниження витрат на матеріали та енергію; зменшення обсягу відходів;

- підвищення безпеки перевезень: надійна робота локомотивів знижує ризики аварійних ситуацій; можливість інтеграції сучасних систем контролю безпеки;

- адаптація до європейських стандартів: виконання вимог екологічних та технічних регламентів; підвищення конкурентоспроможності залізничної галузі.

Модернізація технологій ремонту локомотивів є стратегічним завданням для розвитку залізничної галузі України. Її впровадження забезпечить підвищення надійності роботи локомотивного парку, оптимізацію витрат та створення умов для довгострокової експлуатації рухомого складу. Комплексний підхід до модернізації, що включає технологічні, цифрові, екологічні та кадрові аспекти, дозволить адаптувати галузь до сучасних викликів та потреб транспортної інфраструктури.

Для подолання цих викликів модернізація повинна відповідати низці вимог, спрямованих на оптимізацію процесів ремонту та підвищення якості

обслуговування локомотивів. Системи діагностики дозволяють виявляти приховані дефекти, оцінювати технічний стан вузлів та прогнозувати їх зношення. Впровадження сучасних методів діагностики локомотивів значно покращує технічний стан рухомого складу, зменшує витрати та підвищує ефективність роботи залізничної галузі. Це важливий крок у переході до більш інноваційного підходу до експлуатації та обслуговування локомотивів.

Тому в проблемі підвищення якості та надійності рухомого складу важлива роль відводиться системі діагностування.

4 Пропозиції щодо розгляду питання впровадження в локомотивному депо «Харків – Сортивальний» стаціонарної діагностичної системи контролю колісно-моторних блоків

4.1 Наявна система контролю КМБ та співвідношення з інноваційними технологіями

Основна виробнича діяльність відокремленого підрозділу «Локомотивне депо Харків-Сортивальний» регіональної філії «Південна залізниця» - обслуговування маневрової та вивізної роботи на 20 станціях Південної залізниці та залізничних підприємствах міста Харкова та Харківської області [40].

Приписний парк депо становлять тепловози серії ЧМЕ-3 кількістю 62 одиниці. Також експлуатуються електровози серії ВЛ-11 кількістю 15 одиниць (приписки депо «Лозова»). Площа тягової території депо складає 77780м². Загальна площа цехів та підрозділів депо – 23707м².

Відповідно до ПТЕ у локомотивному депо «Харків – Сортивальний» виконуються наступні види планово - попереджувальних ремонтів та технічних обслуговувань:

- а) тепловозів серії ЧМЕ-3:
 - технічне обслуговування ТО-2, ТО-3, ТО-4, ТО-5;
 - поточний ремонт ПР-1, ПР-3, ПР-3У;
- б) електровозів ВЛ-11:
 - технічне обслуговування ТО-2;
- в) тепловозам серії ТУ7, ТУ2:
 - поточний ремонт ПР-1, ПР-3.

Технічне обслуговування здійснюється у закритому пункті технічного обслуговування локомотивів.

Вибір оптимальної організації технічного обслуговування та ремонту базується на положеннях теорії надійності, яка дозволяє на основі аналізу якості виготовлення обладнання локомотивів, а також зміни його характеристик у процесі експлуатації прогнозувати показники роботи в різних умовах, визначити закономірності зношування обладнання, та головне, ймовірність безвідмовної роботи.

У зв'язку з цим у депо ведуться спостереження за технічним станом тягового рухомого складу, аналізуються дані цих спостережень, визначаються показники надійності. Основними документами, які фіксують стан та експлуатаційну роботу локомотивів та їх найважливіших вузлів, є:

- технічний паспорт локомотива;
- журнал технічного стану (форма ТУ-152);
- книга записів ремонту локомотива (форма ТУ-28).

Для локомотивів в депо при виконанні технічного обслуговування та ремонту проводяться такі роботи:

- ТО-1, ТО-2, ТО-3 (технічне обслуговування) для підтримки працездатності, чистоти та санітарно-технічного стану локомотивів, змащування частин у міжремонтний період;

- ПР-1 (малий поточний ремонт), ПР-2 (великий поточний ремонт), ПР-3 (підйомний ремонт) для ревізії, заміни або відновлення окремих вузлів та деталей, а так само регулювання та випробувань, які гарантують працездатність рухомого складу між відповідними видами ремонту.

- ПР-3У (середній ремонт) для відновлення експлуатаційних характеристик локомотивів шляхом ремонту або заміни зношених або пошкоджених деталей та вузлів з перевіркою інших та усуненням виявлених несправностей.

Міжремонтні терміни роботи локомотивів встановлюються залежно від інтенсивності їх роботи (ступеня використання за часом та потужністю).

Річна програма ремонту та обслуговування, крім видів ТО-1 та ТО-2, в депо визначається чисельністю локомотивів у робочому парку та тривалістю міжремонтного циклу, який розраховується окремо для кожної серії локомотивів.

Якщо дві або більше серій мають однаковий міжремонтний цикл, то їх можна об'єднати в одну групу [6].

Річна програма обслуговування ТО-1 та ТО-2 визначається інакше. Згідно з діючими положеннями, технічні обслуговування ТО-2 проводяться при кожному екіпіруванні і, як правило, об'єднуються з ними. Тобто, щоб знайти програму ТО-2, необхідно визначити річну кількість екіпірувань щодо палива та піску. Річна програма ТО-2 приймається за більшим значенням.

Річна програма обслуговування ТО-1 розраховується виходячи з того, що ТО-1 виконується щозміни, за місцем знаходження локомотива, силами локомотивної бригади. При прийнятому в депо режимі роботи локомотивного господарства та способі обслуговування локомотивів локомотивними бригадами на добу допускається дві робочі зміни.

На Південній залізниці відповідно до «Положення про планово-попереджувальну систему ремонту та технічного обслуговування рухомого складу» [2] встановлено порядок контролю за проведенням ремонту локомотивів. Заступники керівників регіональних філій, керівники служб локомотивного господарства та локомотивних депо забезпечують виконання технічного обслуговування, поточних та капітальних ремонтів локомотивів згідно з діючими правилами, технічними умовами, інструкціями та іншими нормативними документами з технічного обслуговування, ремонту і модернізації локомотивів.

Майстри локомотивних депо і пунктів технічного обслуговування локомотивів несуть персональну відповідальність за своєчасне виконання регламентованих робіт з технічного обслуговування локомотивів, поточного ремонту, правил утримання водяних, масляних систем, газових трактів і агрегатів повітряного забезпечення дизелів, електропроводки, тягових електродвигунів, електронного обладнання, редукторів, струмоприймачів, зубчатих передач, моторно-осьових і буксових підшипників, за здійснення всього комплексу профілактичних заходів, направлених на забезпечення стабільної роботи всього обладнання локомотивів та МВРС за будь-яких погодних умов.

Інженери з приймання локомотивів центру з приймання рухомого складу філії «НДКТІ» у локомотивних депо та інспектори-приймальники заводські центру технічного аудиту філії «НДКТІ» на ремонтних заводах здійснюють приймання локомотивів після виконання поточного ремонту згідно з вимогами Рекомендованого положення про інженерів з приймання локомотивів у депо та капітального ремонту з обкаткою і реостатними випробуваннями згідно з умовами укладених договорів на ремонт та діючими нормативними документами, забезпечують неухильний контроль за чітким виконанням правил, технічних умов, методик, інструкцій і технологічних процесів з технічного обслуговування, ремонту і модернізації локомотивів та його деталей, вузлів і обладнання, не допускають випуск продукції з порушенням вимог технічної документації.

Керівники депо та їхні заступники з ремонту особисто зобов'язані за спеціальним графіком перевіряти стан технологічної дисципліни та якість ремонтних операцій, належний стан робочих місць, інструменту й обладнання згідно з нормативною документацією на приймання локомотивів з технічного обслуговування і поточного ремонту. Аналогічний контроль згідно зі встановленими нормативами здійснюється на пунктах технічного обслуговування локомотивів силами інженерно-технічних працівників, командно-інструкторським складом депо і відповідних служб локомотивного господарства. Постановка локомотивів на технічне обслуговування і поточний ремонт повинна забезпечуватись у встановлені терміни.

Аналіз існуючої системи ремонту показує, що вона має цілу низку недоліків, які пов'язані з розбиранням технічно справних вузлів. Крім того, аналіз обсягів ремонту в депо свідчить про те, що значна частина локомотивів працює з перепробігом. На підставі виконаного аналізу на першому етапі пропонується удосконалення існуючої планово-попереджувальної системи ремонту за рахунок впровадження в технологію ремонту сучасного діагностичного обладнання. На другому етапі можливий перехід на ремонт за технічним станом (при наявності стендів та обладнання) для безрозбірного контролю технічного стану всіх вузлів та систем локомотива.

Існуючий метод контролю механічних частин полягає в тому, що деталі локомотива після очищення піддаються контролю з метою порівняння їх фактичного стану до вимог діючої технічної документації з ремонту локомотивів. У результаті контролю встановлюється придатність деталей до подальшої роботи, можливості їх відновлення або бракування. Існують три різновиди розмірів та інших технічних характеристик деталей:

- нормальні;
- допустимі;
- граничні.

Нормальними вважаються деталі, розміри яких відповідають робочим кресленням.

Припустимими називаються розміри та інші характеристики, при яких деталь може бути знову використана на локомотиві і буде задовільно працювати протягом майбутнього міжремонтного періоду.

Граничними називаються розміри та інші характеристики деталей, за наявності яких вони бракуються або відновлюються. На ескізах ремонтні розміри позначаються в трьох графах: Н, Д, Г.

Знос деталей визначають прямим чи непрямим вимірюванням [1]. При прямому вимірюванні розмір або відхилення від нього знаходять за показниками приладу, що контактує з вимірюваною деталлю. При непрямому вимірюванні розмір визначають за величиною, що певним чином пов'язана із розміром чи відхиленням від нього. Прямі вимірювання проводять шляхом мікрометражу, який застосовують для визначення величини та характеру зносу, деформації, згину та короблення деталей, а також контролю положення деталей у збиральних одиницях (перпендикулярність, паралельність). При цьому використовують різний вимірювальний інструмент:

- універсально-вимірювальний (штангенциркулі, штангензубоміри, штангенглибиноміри, мікрометри тощо);
- важільно-механічний (індикатори годинникового типу, індикаторні нутроміри, важільні мікрометри, індикаторні скоби тощо);

- одномірні інструменти (щупи, косинці, калібри, шаблони тощо).

Вибір класу інструменту виконують за допомогою спеціальних номограм, де по горизонталі вказується розмір деталі, а по вертикалі - допуски на виготовлення та точність інструменту. Відсутність постійної бази вимірювання, похибки, що виникають від непостійності температури деталі та приладу, є недоліками контактного способу.

Неруйнівні методи контролю (дефектоскопія) – узагальнююча назва методів контролю матеріалів (виробів), що використовуються для виявлення порушення суцільності або однорідності макроструктури, відхилень хімічного складу та інших цілей, що не потребують руйнування зразків матеріалу та/або виробу в цілому[41].

Всебічне впровадження систем діагностування вочевидь дає можливість стверджувати про виникнення додаткового засобу контролю що стає частиною неруйнівного контролю.

Ремонтна база локомотивного депо «Харків-Сортувальний» на даний час не має в своєму використанні стенду для діагностування колісно-моторних блоків. При постановці в ремонт проводиться прослуховування роботи КМБ з подальшим візуальним оглядом та вимірюванням параметрів шаблонами.

Колісно-моторний блок локомотива (КМБ) — це один із найважливіших вузлів, від якого залежить надійність руху, динамічні властивості та безпека локомотива. У ремонтному процесі КМБ використовуються різноманітні технології для діагностики, відновлення та модернізації його компонентів. Оскільки більшість локомотивного парку України є застарілим, ремонт цих вузлів виконується із застосуванням як традиційних, так і новітніх технологій [23].

На даний час в депо застосовується механічна діагностика та контроль зношеності компонентів колісно-моторного блоку.

Механічна діагностика та контроль зношеності компонентів колісно-моторного блоку (КМБ) є одним із базових етапів процесу ремонту, який визначає технічний стан вузла та необхідність відновлення або заміни окремих деталей. Незважаючи на впровадження сучасних технологій діагностики, механічний

метод залишаються актуальними так як ремонтна база не оснащена сучасним обладнанням. Цей метод зосереджений на фізичному вимірюванні, візуальному огляді та механічних тестах.

Перед початком діагностики всі деталі КМБ очищуються від бруду, мастил та корозії. Це необхідно для забезпечення точності вимірювань та виявлення прихованих дефектів. Проводиться візуальний огляд для швидкої оцінки технічного стану деталей.

Основні методи механічної діагностики полягають в наступному:

- вимірювання геометричних параметрів колісних пар з метою визначення відповідності геометрії коліс та виявлення зношення поверхонь кочення, на бандажах відсутність тріщин, повзунів (вибоїн), раковин, граничного прокату або зносу, роздавленості, вм'ятин, відколів, ослаблення бандажів на ободі центру, зсуву бандажа (за контрольними мітками на бандажі), вищербин, вертикального підрізу гребеня (перевіряють шаблонами) та гострогокінцевого накату, що є ознакою можливості небезпечної форми гребеня з застосуванням шаблонів, калібрів, лінійок та штангенциркулів (рис 4.1).

- оцінка зношеності осей для виявлення деформацій або пошкоджень осей, відсутність тріщин, потертих місць, електроопіків та інших дефектів які можуть спричинити збої в роботі КМБ;

- контроль стану редукторів для визначення ступеня зношеності зубчастих передач та корпусів редукторів за допомогою шаблонів для оцінки профілю зубців, лупи для виявлення мікротріщин;

- оцінка стану підшипників для виявлення люфтів, механічних пошкоджень та нерівностей у роботі підшипників за допомогою інструментів для вимірювання радіального та осевого зазору, калібрів для перевірки зовнішнього діаметра та посадки [24].

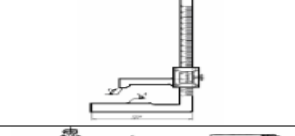
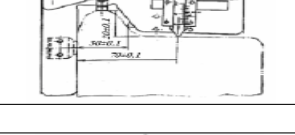
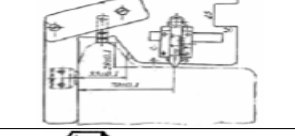
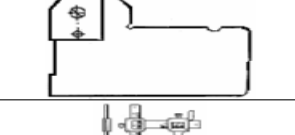
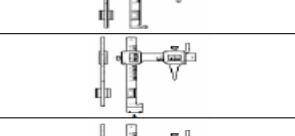
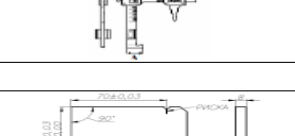
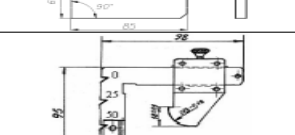
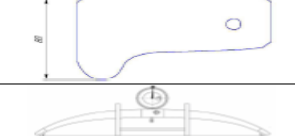
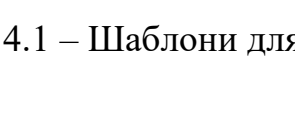
№	Позначення, калібрування, маса	Ескіз виміру	Приміщення
1	Бандажний штангенциркуль 650-1150мм ІМ-01-01-60 $m = 6,43 \text{ кг}$		Для вимірювання діаметра коліс по колу кочення під час ремонту колісних пар
2	Бандажний штангенциркуль 1100-1600мм ІМ-01-02-60 $m = 8,2 \text{ кг}$		Для вимірювання діаметра коліс по колу кочення під час ремонту колісних пар
3	Бандажний штангенциркуль 1100-2000мм ІМ-01-03-60		Для вимірювання діаметра коліс по колу кочення під час ремонту колісних пар
4	Скоба ДК 950-1270мм Т447.01.000 $m = 5,04 \text{ кг}$		Для вимірювання діаметра коліс по колу кочення під час ремонту колісних пар
5	Штангенциркуль для вимірювання ширини бандажів І475.01.00		Для вимірювання ширини бандажів
6	Міжбандажний штангенциркуль ІМ-01-04-60		Для вимірювання міжбандажної відстані
7	Шаблон абсолютний локомотивний МЛ 00.93.000 СБ (І433.01.00)		Для вимірювання величини прокату, наїзру, повзучі колеса та товщини гребеня при ремонті та огляді колісних пар локомотивів
8	Шаблон абсолютний локомотивний МЛ 00.93.000-01 СБ (І433.01.00-01)		Для вимірювання величини прокату, наїзру, повзучі колеса та товщини гребеня при ремонті та огляді колісних пар локомотивів
9	Контршаблон абсолютного локомотивного шаблону МЛ 00.93.000 МЛ 00.98.000-01 МЛ 00.98.000-02		Для контролю шаблону МЛ00.93.000 Для контролю шаблону МЛ00.93.000-01 Для контролю шаблону МЛ 00.97.000
10	Товщиномір локомотивний МЛ 00.94.000 СБ (І372.01.00) $m = 0,37 \text{ кг}$		Для вимірювання товщини та місцевого розширення бандажу (ободжоване колесо)
11	Товщиномір локомотивний МЛ 00.94.000-01 СБ (І372.01.00-01) $A=23 \text{ мм}$ $m = 0,37 \text{ кг}$		Для вимірювання товщини обода суцільнокатаного коліс
12	Товщиномір локомотивний МЛ 00.94.000-02 СБ (І372.01.00-02) $A=19,5 \text{ мм}$ $m = 0,37 \text{ кг}$		Для вимірювання товщини та місцевого розширення бандажу (сварний бандаж коліс коліс 750 мм)
13	Контршаблон товщиноміру локомотивного МЛ 00.94.001 $m = 0,22 \text{ кг}$		Для контролю товщиномірів
14	Шаблон ВПГ локомотивний І 536.00.00 СБ $m = 0,19 \text{ кг}$		Для вимірювання підпіру гребеня
15	Шаблон робочий максимальний локомотивний (РП-001, РП-002, РП-003, РП-004, РП-005)		Для перевірки профілю бандажа колісної пари локомотива (будь-який профіль)
16	Контршаблон робочого максимального локомотивного шаблону (РП-001-01, РП-002-01, РП-003-01, РП-004-01, РП-005-01)		Для перевірки контролю профілю робочого максимального локомотивного
17	Скоба вимірювальна з індикацією МЛ 00.95.000 (І 461.00.00)		Скоба вимірювальна з індикацією МЛ 00.95.000 (І 461.00.00)

Рисунок 4.1 – Шаблиони для обміру колісних пар

На основі результатів вимірювань та огляду визначають, які компоненти потребують ремонту, відновлення або заміни. Всі дані фіксуються в технічній документації для подальшого аналізу .

Переваги механічної діагностики:

- простота виконання без необхідності складного обладнання;
- низька вартість діагностичних операцій;
- достатня ефективність для виявлення основних дефектів.

Поряд з цим ремонтний персонал стикається і з обмеженнями:

- неможливість виявлення прихованих дефектів, таких як тріщини всередині матеріалу;
- висока залежність від кваліфікації персоналу;
- витрати часу на виконання багатьох операцій вручну.

Механічна діагностика та контроль зношеності компонентів КМБ є важливим етапом процесу ремонту, який забезпечує базову оцінку технічного стану вузлів. Хоча цей метод має свої обмеження, він залишається важливим інструментом у ремонтній практиці. Його вдосконалення через автоматизацію та інтеграцію з сучасними цифровими технологіями може значно підвищити якість та швидкість ремонтних робіт [34].

Ручний спосіб визначення тільки величини вироблення колісних пар потребує значних затрат часу.

4.2 Пропозиції впровадження стаціонарної діагностичної системи для вдосконалення технології та підвищення якості ремонту колісно-моторних блоків

Модернізація технологій ремонту колісно-моторних блоків (КМБ) є критично важливою для підвищення ефективності та надійності залізничного транспорту. З огляду на зростаючі вимоги до якості перевезень, безпеки руху та

оптимізації витрат, локомотивне депо потребує впровадження сучасних рішень у процесах ремонту. У цьому контексті можна виділити ключові вимоги до модернізації технологій ремонту КМБ.

1. Інтеграція сучасних методів діагностики та моніторингу:

- забезпечення точності оцінки технічного стану деталей для своєчасного виявлення дефектів;
- зниження ймовірності невиявлених пошкоджень, що можуть призвести до аварійних ситуацій.

Потребують впровадження цифрових технологій моніторингу стану КМБ (наприклад, сенсорних систем для безперервного збору даних), використання штучного інтелекту для аналізу показників та прогнозування виходу з ладу деталей, автоматизація діагностичних процесів для скорочення часу на виявлення несправностей.

2. Удосконалення технологій відновлення деталей направлених на:

- зниження витрат на заміну вузлів за рахунок відновлення зношених компонентів;
- підвищення точності відновлювальних операцій.

3. Оптимізація технологічного процесу ремонту:

- зменшення тривалості ремонтів без втрати якості;
- стандартизація ремонтних операцій для підвищення ефективності.

4. Впровадження цифрових платформ управління ремонтом:

- поліпшення координації між депо, ремонтними базами та виробничими підрозділами;
- прозорість та доступність даних про стан та історію ремонту КМБ.

Запити сучасності потребують розробки єдиної цифрової бази даних для фіксації історії ремонтів кожного КМБ, включаючи інформацію про дефекти, заміну деталей та діагностику, використання ERP-систем для планування ремонтів, управління запасами та координації робіт, застосування технологій доповненої реальності (AR) для надання ремонтному персоналу доступу до технічної документації та інтерактивних інструкцій під час роботи.

5. Підвищення екологічності ремонтних процесів:

- скорочення впливу ремонтних робіт на навколишнє середовище;
- зменшення кількості відходів під час відновлення деталей.

Екологічність полягає в використанні екологічно чистих матеріалів для відновлення деталей, розробці замкнених циклів переробки відпрацьованих матеріалів, таких як метали чи мастила, оптимізація процесів очищення компонентів, наприклад, шляхом впровадження безконтактних методів очищення (ультразвукові або лазерні системи).

6. Підвищення безпеки ремонтних операцій:

- забезпечення безпеки персоналу під час виконання складних ремонтних операцій;
- мінімізація ризиків ушкодження локомотивних компонентів.

Необхідне впровадження автоматизації складних та небезпечних операцій, наприклад, монтажу важких вузлів або обробки великих компонентів, оснащення персоналу засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), зокрема для роботи з високотемпературними або хімічними процесами, встановлення систем дистанційного моніторингу за станом обладнання, що працює на ремонтній базі.

7. Удосконалення навчання персоналу:

- збільшення кількості висококваліфікованих фахівців для роботи з новими технологіями;
- зниження залежності від застарілих знань та методик.

Дана вимога полягає в організації навчальних програм із використанням тренажерів та симуляторів для відпрацювання ремонтних операцій, проведення регулярних курсів підвищення кваліфікації персоналу, зокрема із залученням висококваліфікованих спеціалістів інших галузей, впровадження електронних платформ для самостійного навчання, що включають інтерактивні інструкції та відео заняття.

8. Зменшення витрат на обслуговування та ремонт:

- оптимізація витрат без шкоди для якості ремонту;
- зниження простоїв локомотивів через ремонтні роботи.

З цією метою необхідно використання предиктивних моделей для прогнозування потреби в заміні деталей, що зменшить кількість зайвих операцій, оптимізація логістики постачання запасних частин для мінімізації затримок у ремонті, застосування інноваційних матеріалів, які мають довший термін служби та знижують частоту заміни.

9. Адаптація до сучасних експлуатаційних вимог залізниць:

- забезпечення відповідності оновленим стандартам безпеки та якості рухомого складу;
- підготовка до роботи в умовах високих навантажень.

Направлена на відновлення КМБ із врахуванням нових навантажувальних характеристик (збільшення швидкості, підвищення ваги поїздів), розробка нових методик ремонту з урахуванням експлуатаційних умов, таких як інтенсивність використання на магістральних лініях, використання антикорозійних покриттів та матеріалів для продовження терміну служби КМБ.

Модернізація технологій ремонту колісно-моторних блоків повинна враховувати сучасні виклики та потреби залізничної галузі України, орієнтуючись на інтеграцію інновацій, автоматизацію процесів, підвищення екологічності та безпеки. Реалізація цих вимог сприятиме підвищенню надійності локомотивів, скороченню витрат та забезпеченню стабільної роботи залізничного транспорту.

Зростання об'єму перевезень, підвищення швидкості руху та тоннажу поїздів змушують звертати все більшу увагу на оперативний контроль стану відповідальних частин рухомого складу. Вирішення цього завдання може бути досягнуто, зокрема, шляхом створення ряду вимірювальних пристроїв, що розташовуються на залізничній колії та поблизу неї, а також здатних виконувати вимірювання безконтактним способом, безпосередньо під час руху поїзда.

Автоматизація дозволяє виконувати дані вимірювання за декілька хвилин. При цьому забезпечується значне підвищення точності вимірювань і можливість планування технічного обслуговування.

Системи дистанційного моніторингу є найважливішими серед технічних засобів контролю стану рухомого складу та інфраструктури. Їх удосконаленню та

розвитку приділяється пильна увага з боку розробників, виробничих компаній та залізниць у багатьох країнах світу. Це дає можливість прогнозувати появу та подальший розвиток дефектів ходової частини та елементів інфраструктури, а також наслідки для перевізного процесу та його технічного обслуговування.

У багатьох країнах світу активно впроваджуються системи діагностики колісних пар локомотивів для підвищення безпеки та ефективності залізничних перевезень.

Проведеним аналізом літератури за тематикою дослідження виділено наступні системи контролю колісних пар [33]:

- німецька залізнична компанія Deutsche Bahn (DB) використовує стаціонарні системи контролю колісних пар, які встановлюються вздовж колії. Ці системи застосовують лазерні та ультразвукові технології для виявлення дефектів на поверхні коліс та вимірювання їхніх геометричних параметрів [42];

- японська компанія East Japan Railway Company (JR East) впровадила систему SMART (Safety Maintenance Analysis and Recording Technology), яка здійснює моніторинг стану колісних пар за допомогою датчиків, встановлених на рухомому складі. Ця система дозволяє виявляти зношення та інші дефекти в реальному часі, що сприяє своєчасному технічному обслуговуванню [43];

- американський національний пасажирський перевізник Amtrak використовує портативні ультразвукові системи для перевірки колісних пар на наявність внутрішніх дефектів. Ці системи дозволяють проводити діагностику без демонтажу коліс, що зменшує час простою локомотивів;

- національна компанія французьких залізниць SNCF застосовує автоматизовані системи контролю колісних пар, які використовують інфрачервоні камери для вимірювання температури підшипників та виявлення перегріву, що може свідчити про наявність дефектів [32];

- китайські залізниці China Railway <http://wap.china-railway.com.cn/crcwapEnglish/> впровадили системи моніторингу на основі технологій Інтернету речей (IoT), які збирають дані про стан колісних пар та

передають їх до централізованих центрів обробки для аналізу та планування технічного обслуговування [44].

Впровадження таких систем дозволяє залізничним операторам своєчасно виявляти потенційні проблеми, знижувати ризик аварій та оптимізувати процеси технічного обслуговування, що в цілому підвищує ефективність та безпеку залізничних перевезень.

З метою інтеграції новітніх технологій у процес ремонту локомотивів надається пропозиція щодо розгляду питання впровадження в локомотивному депо «Харків – Сортивальний» стаціонарної системи контролю колісних пар, яку використовує Deutsche Bahn (DB).

Система забезпечує комплексну діагностику локомотивів перед їх постановкою на ремонт. Цей процес дозволяє оптимізувати обслуговування та зменшити витрати шляхом точної оцінки технічного стану колісних пар та виявлення вузлів, що потребують ремонту.

Локомотив, що планується на ремонт або обслуговування, проходить через стаціонарну систему контролю КМБ розташовану на під'їзних коліях цеху ремонту. Дані про конкретний склад (номер локомотива, пробіг, попередні ремонти) інтегруються в систему, що дозволяє порівнювати результати діагностики з попередніми даними.

Застосовуються кілька технологій автоматичної ідентифікації об'єктів:

1. RFID (Radio Frequency Identification) — це технологія автоматичної ідентифікації об'єктів за допомогою радіохвиль. Вона дозволяє передавати інформацію між спеціальними мітками (RFID-мітками) та зчитувачами без прямого контакту, що робить її швидким і надійним засобом ідентифікації та збору даних.

RFID - мітка це пристрій, який містить мікročіп для зберігання інформації та антену для передачі даних і встановлюється на локомотиві. Застосовуються як пасивні мітки, що не мають власного джерела живлення і активуються енергією від зчитувача, так і активні мітки оснащені власним джерелом живлення (батарея), що збільшує радіус дії. Як різновид застосовуються RFID – бірки що

мають велику дальність зчитування та високий ступінь захисту (IP) від агресивних умов навколишнього середовища. За способом кріплення такі мітки можуть бути з отворами для двох гвинтів або з клейкою стрічкою для приклеювання (рис.4.2).



Рисунок 4.2 - RFID – бірка MVM-16

Для протидії магнітному полю металу мітка має певні характеристики — герметичний корпус та підкладку, випущену з феритових матеріалів, яка виключає прямий контакт мікросхеми RFID - бірки з металевою поверхнею. Завдяки цим особливостям виключаються електромагнітні перешкоди, які могли б позначитися на функціонуванні мітки, прикріпленої на метал.

RFID-зчитувач це пристрій, який випромінює радіохвилі для активації міток та зчитування даних. Він може бути стаціонарним (рис. 4.3) (встановленим на місці) або портативним.



Рисунок 4.3 - RFID – зчитувач (антена АН 480 та контролер FX7400)

Стаціонарні контролери RFID міток дозволяють зчитувати мітки, записувати призначену для користувача інформацію, встановлювати паролі зчитування, запису, знищення міток.

Принцип роботи полягає в наступному: RFID-зчитувач випромінює радіохвилі, які активують мітку в межах її дії. Мітка передає ідентифікаційну інформацію (наприклад, номер об'єкта, дату тощо) назад до зчитувача.

Дані, зчитані з мітки, аналізуються системою програмного забезпечення, передаються до бази даних та інтегруються в операційні системи підприємства для використання у відповідних діях (наприклад, ідентифікації об'єкта, оновлення бази даних).

Переваги RFID-технології є: безконтактна робота, дані передаються без фізичного контакту, що збільшує швидкість роботи; автоматизація процесів що зменшує необхідність ручного введення даних, знижуючи ризик помилок; швидкість та точність завдяки зчитуванню інформації за долі секунди, навіть якщо об'єкт рухається; масова ідентифікація дає змогу одночасно ідентифікувати велику кількість міток; стійкість до умов середовища, мітки можуть працювати в складних умовах, таких як висока вологість, бруд чи механічні вібрації.

2. Оптичні системи розпізнавання (Optical Recognition Systems) — це технологія, що використовує камери, сенсори та програмне забезпечення для збору, аналізу та інтерпретації візуальних даних. Вона дозволяє ідентифікувати об'єкти, зчитувати текст або аналізувати зображення у реальному часі. Камера або інший оптичний сенсор знімає зображення об'єкта (наприклад, номер локомотива, профіль колеса, текст або штрих-код). Використовуються спеціалізовані камери високої роздільної здатності для зйомки у різних умовах (денне світло, темрява). Інфрачервоні камери для тепловізійного аналізу (наприклад, перегріву деталей).

Зображення зберігається у цифровому форматі та передається для подальшої обробки. Програмне забезпечення аналізує отримане зображення, виконуючи видалення шумів, покращення контрасту, нормалізацію кольорів та визначення ключових елементів зображення (контурів, тексту, об'єктів).

Проводить розпізнавання використовуючи алгоритми штучного інтелекту (AI) або комп'ютерного зору для ідентифікації об'єкту за їх формою, розміром, кольором або текстурою, розпізнавання тексту (OCR — Optical Character Recognition), наприклад, номеру локомотива та порівняння отриманих даних із базою для визначення відповідностей. Алгоритми аналізу зображень, базуються на машинному навчанні (Machine Learning) або нейронних мережах (Deep Learning).

Після розпізнавання дані обробляються та можуть бути використані для ідентифікації об'єкта, аналізу його стану (наприклад, виявлення дефектів у колесах), формування звіту чи сигналу для подальших дій.

Для зберігання зображень та результатів аналізу використовуються сервери або хмарні платформи які інтегровані з іншими базами даних для порівняння ідентифікованих об'єктів.

Дана система працює дистанційно, без необхідності фізичного втручання. Аналіз проводиться у реальному часі, навіть для об'єктів у русі. Завдяки використанню AI та нейронних мереж точність розпізнавання дуже висока. Системи можуть працювати в різних умовах освітлення, погоди та навколишнього середовища.

Система оптичного розпізнавання поряд з перевагами має і недоліки що полягають у впливі пилу чи бруду на точність розпізнавання, великі потоки даних вимагають потужних серверів та швидких алгоритмів, високотехнологічні камери та програмне забезпечення можуть бути дорогими, що значно підвищує їх вартість всієї системи.

Тому більш сприятливою є RFID-технологія. Завдяки безконтактній роботі, швидкості та надійності вона ідеально підходить для використання в депо, як це реалізовано в Deutsche Bahn.

В подальшому здійснюється процес діагностики що складається з кількох ключових компонентів які забезпечують ефективний моніторинг стану колісних пар за допомогою сенсорних модулів:

- лазерні сенсори - вимірюють геометричні параметри коліс:

а) діаметр;

б) товщина гребеня;

в) профіль поверхні катання;

- інфрачервоні камери - виявляють температурні аномалії в підшипниках, що можуть свідчити про перегрів або інші несправності;

- оптичні сенсори – визначають механічні дефекти:

а) тріщини;

б) плоскі плями;

в) вибоїни;

г) нерівності обода колеса.

- акустичні детектори, призначені для виявлення дефектів підшипників на ранній стадії їх розвитку.

Лазерні сенсори забезпечують точність до 0,02 мм. Принцип побудови систем контролю параметрів колісних пар, заснований на опроміненні поверхні кочення колеса лазером, площа променя якого перпендикулярна до цієї поверхні. Лазер у цьому випадку розташовується нижче рівня головки рейки (рис. 4.4).

Плоский V-подібний промінь лазера перетинає профіль колеса, а відбитий промінь, що відповідає лінії перетину, реєструється цифровою фотокамерою. З виходу фотокамери сигнал надходить до комп'ютера, де здійснюється обробка зображення з метою усунення спотворень та виконується розрахунок параметрів профілю.

В результаті обробки сформованих зображень визначаються геометричні параметри, що контролюється. Перевагами способу лазерної тріангуляції є його безконтактність, можливість вимірювання зі значних відстаней відносно об'єкту та невелика тривалість одного робочого циклу, яка визначається технічними характеристиками пристрою, що реєструє оптичне випромінювання (відбиття створеного лазерним променем світлового сліду), та потужністю обчислювальних засобів для обробки цифрових зображень. Сенсори, за допомогою яких здійснюється реалізація способу лазерної тріангуляції, мають компонуватись в

окремих блоках, що забезпечують жорстке кріплення оптичних компонентів (джерела лазерного випромінювання та складових відеокамери). Однією з особливостей здійснення безконтактного дистанційного контролю технічного стану гребенів колісних пар локомотивів із застосуванням способу лазерної тріангуляції є те, що, виходячи з форми гребеня, отримання зображення його повного профілю вимагає застосування для кожного колеса двох сенсорних блоків, які мають бути розміщені по різні боки кожної рейки колії. Для вимірювання діаметра колеса використовуються два лазери з V- подібним променем, що розходиться в одній площині, розміщені нижче рівня головки рейки.

Для підвищення точності вимірювань знімається інформація про положення восьми точок поверхні колеса. В результаті, при різних кутових положеннях колеса вимірюються вісім значень його діаметра.

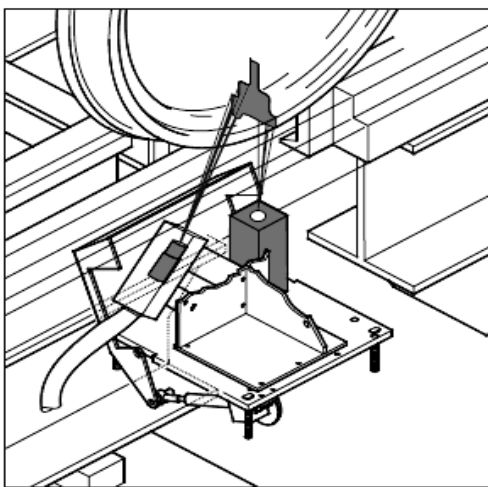


Рисунок 4.4 - Схема вимірювання профілю колеса за допомогою системи лазерних сенсорів.

Сканери температури здатні виявляти перегрів елементів КМБ: букс, підшипників, дисків та ін., який зазвичай спричинений несправностями вузлів. Використовують чутливі інфрачервоні камери, які називають пірометрами.

Пристрій вимірює температуру кожного елемента, коли локомотив рухається вздовж сканера (рис.4.5).



Рисунок 4.5 – Підлогові сканери температури

Робота акустичного детектора підшипників (ABD) полягає у зіставленні шумів ідентифікаційних ознак дефектів що розділені на дев'ять категорій зі знятими акустичними характеристиками підшипників колісної пари локомотива для їх розпізнавання.

Зібрані дані в режимі реального часу передаються до локального обчислювального модуля де використовується спеціалізоване програмне забезпечення, яке аналізує інформацію за допомогою алгоритмів штучного інтелекту.

Програмне забезпечення що ґрунтується на алгоритмі штучного інтелекту (AI) порівнює отримані параметри з нормативними значеннями, визначає їх критичність та визначає, чи необхідний поточний ремонт колісних пар або достатньо технічного обслуговування, чи потрібно виконувати ремонт з заміною деталей, таких як підшипники та бандажі коліс.

Дані передаються до централізованої платформи DB, яка об'єднує всі результати перевірок. Інформація доступна технічному персоналу через веб-інтерфейс або мобільні додатки для планування та координації ремонтних робіт, замовлення запчастин та управління ресурсами.

Система виключає ризик помилок, які можуть виникнути при візуальному огляді забезпечуючи виявлення навіть дрібних дефектів, які можуть стати критичними в майбутньому. Діагностика займає лічені хвилини, адже не потребує

зупинки локомотива чи демонтажу колісних пар. Завдяки точним даним проводяться лише необхідні роботи, що знижує витрати на технічне обслуговування. Система дозволяє заздалегідь підготувати необхідні запчастини, інструменти та персонал, що прискорює виконання ремонтних робіт. Основними перевагами є:

- можливість використання пристрою на коліях приймання рухомого складу до огляду, що допоможе унеможливити людський фактор при огляді колісних пар вагонів та підвищити безпеку руху поїздів;
- можливість аналізу геометричних параметрів колісних пар під час руху поїзда із автоматичною фіксацією даних та передачею на автоматизовані робочі місця як працівників ПТО, так і всім користувачам автоматизованих робочих місць, що матимуть доступ до даних;
- можливість архівації та зберігання даних параметрів для подальшого використання при розслідуванні транспортних подій, що сталися з рухомим складом.

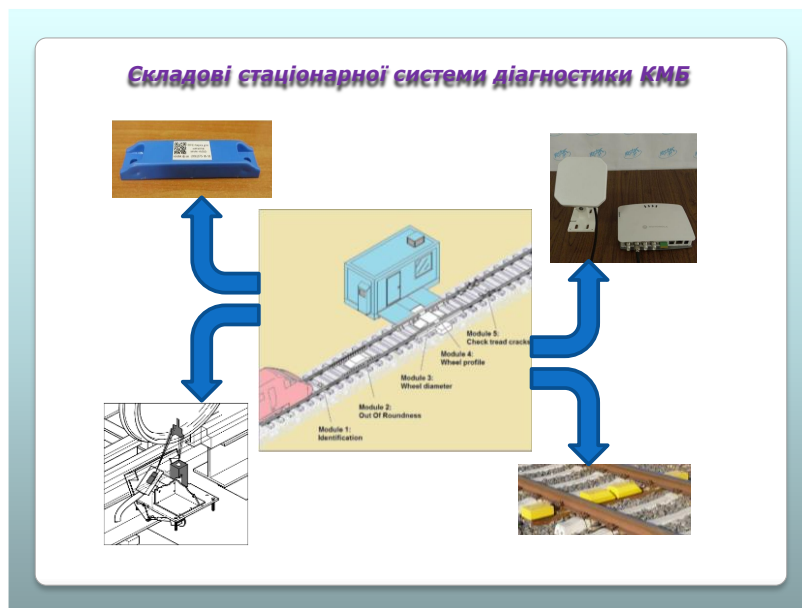


Рисунок 4.6 – Складові стаціонарної системи діагностики КМБ

Аналізуючи існуючі системи контролю технічного стану колісних пар, на залізницях України не повною мірою впроваджено повноцінний автоматизований

контроль технічного стану колісних пар, адже наявні системи контролю більш орієнтовані на технічний стан буксових вузлів, але не в змозі аналізувати геометричні розміри поверхонь кочення коліс.

Вчасне усунення дефектів запобігає подальшому зносу вузлів, що подовжує термін служби локомотива.

Стаціонарна система контролю колісних пар ДВ забезпечить високоточну діагностику стану локомотивів перед постановкою в депо на ремонт. Це дозволить знизити витрати, підвищити безпеку експлуатації та скоротити час простою, що є важливим для ефективності роботи локомотивного депо. Впровадження подібної системи може стати основою для модернізації ремонтної інфраструктури в інших локомотивних депо України.

4.3 Фактори, що впливають на якість утримання рухомого складу

На кожному локомотиворемонтному підприємстві на якість утримання ТРС впливають різноманітні фактори (рис 4.7), як внутрішні, так і зовнішні. До внутрішніх відносяться такі, які пов'язані зі здатністю депо виконувати ремонт ТРС належної якості, тобто залежать від діяльності самого депо [5-6].

Вони численні, їх класифікують на наступні групи: технічні, організаційні, економічні, соціально - психологічні.

Технічні фактори істотно впливають на якість утримання локомотивів, тому впровадження нових технологій, застосування нових матеріалів, більш якісної сировини - матеріальна основа для покращення якості ремонту.

Організаційні фактори пов'язані з удосконалюванням організації виробництва та праці, підвищенням виробничої дисципліни та відповідальності за якість, забезпеченням культури виробництва та відповідного рівня кваліфікації персоналу.

Економічні фактори обумовлені витратами на ремонт, політикою ціноутворення та системою економічного стимулювання персоналу за проведення високоякісного ремонту.

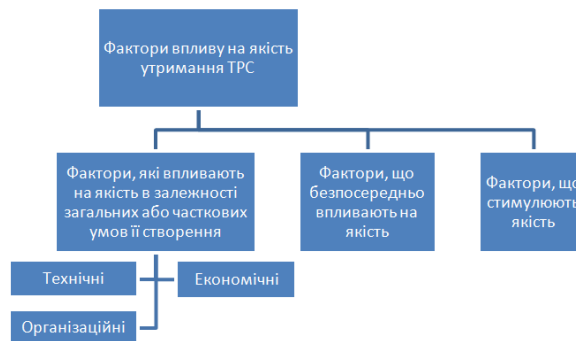


Рисунок 4.7 – Фактори впливу на якість

Соціально - економічні фактори значною мірою впливають на створення здорових умов роботи, відданості та гордості за марку свого підприємства, моральне стимулювання працівників.

Зовнішні фактори в умовах ринкових відносин сприяють формуванню якості. Зовнішнє або навколишнє середовище є невід'ємною умовою існування будь-якого підприємства та є стосовно нього неконтрольованим фактором. Весь вплив зовнішнього середовища можна розділити на наступні окремі фактори: економічні, політичні, ринкові, технологічні, конкурентні, міжнародні та соціальні [29].

Аналіз зовнішнього середовища дає можливості організації для прогнозування її можливостей, для складання плану на випадок непередбачених обставин, для розробки системи раннього попередження на випадок можливих зривів та для розробки стратегій, які могли б перетворити зовнішні впливи в будь-які вигідні можливості. Аналіз зовнішнього середовища необхідний у процесі стратегічного планування.

Вимоги до якості встановлюються та фіксуються в нормативних та нормативно-технічних документах: державних, галузевих стандартах, технічних

умовах, у технічних завданнях на проектування або модернізацію виробів, у кресленнях, технологічних картах та технічних регламентах, у картах контролю якості та ін. Відхилення якості роботи рухомого складу від заданих параметрів відбувається, як правило, у гіршу сторону й має загальні прояви [5; 6;19].

До числа загальних відноситься моральне зношування, фізичне та моральне старіння, тобто втрата первісних властивостей при експлуатації.

Нестійкість, змінність якості виявляється не тільки у двох загальних тенденціях фізичного та морального старіння. Мають місце так звані приватні відхилення якості від встановлених вимог. Вони надзвичайно різноманітні та обумовлені вже не економічною та технічною природою, а умовами зовнішнього характеру: порушеннями правил та умов експлуатації, помилками розробників та виробників, порушеннями виробничої дисципліни, дефектами обладнання за допомогою якого проводиться ремонт та утримання рухомого складу.

Нестійкість якості, обумовлена приватними відхиленнями заданих параметрів, має випадковий характер. Час їх появи можна чекати тільки з певним ступенем ймовірності.

Є ще один фактор, що впливає на нестійкість оцінок якості – це нестійкість та мінливість потреб. Параметри рухомого складу можуть суворо відповідати нормативній та технічній документації, але змінюються вимоги клієнтів і якість при незмінних параметрах погіршується або губиться зовсім.

Можна констатувати, що якість перебуває в постійному русі. Отже, якість визначає собою хронічно нестійкий об'єкт. Це об'єктивна реальність, з якою доводиться мати справу.

У практичній діяльності люди відслідковують процес втрати властивостей якості, вимірюють та оцінюють ці зміни. Для того, щоб сповільнити процес фізичного старіння, встановлюються сприятливі експлуатаційні режими та умови зберігання, використовуються різні профілактичні заходи для технічного обслуговування та поточного ремонту. Якщо погіршення якості переходить за межі припустимих значень, проводиться капітальний ремонт.

При організації раціональної й ефективної роботи з якості, незалежно від її масштабів, форм та методів здійснення, люди завжди діяли, діють і будуть діяти приблизно за такою схемою:

- 1 Визначення потреби та розробка вимог до якості (план, програма якості);
- 2 Додання вихідним даним рухомого складу необхідних властивостей (виконання плану, програми якості);
- 3 Перевірка відповідності отриманої якості пред'явленим вимогам (виявлення відхилень) або констатація відповідностей;
- 4 Вплив для усунення відхилень отриманої якості від заданого (зворотний зв'язок) [10].

При такому погляді на послідовність дій по якості виявляється явище, що має надзвичайно важливе значення для всієї філософії робіт з якості. Це наявність єдності та органічного сполучення прямих та зворотних зв'язків у всіх діях людей, пов'язаних з розробкою та експлуатацією рухомого складу.

В умовах ринкових відносин змінюються задачі підприємства, які поєднують у собі наступні питання: забезпечення збереження працездатності депо, максимізація завантаження, максимізація поточного прибутку, завоювання лідерства по показниках якості, досягнення конкретного обсягу ремонту, завоювання поваги клієнтів що користуються результатами роботи депо (безвідмовна експлуатація ТРС).

Техніко-економічні фактори включають: якість, ціну ремонту та витрати на експлуатацію ТРС. Ці компоненти залежать від: продуктивності та інтенсивності праці, витрат виробництва та інше. Комерційні фактори визначають умови реалізації послуг з ремонту на конкретному ринку.

Нормативно-правові фактори відображають вимоги технічної, екологічної та іншої безпеки використання ТРС на даному ринку.

У випадку невідповідності якості виконаного ремонту нормам та вимогам стандартів і законодавства, ТРС не може бути прийнятий в експлуатацію. Тому оцінка цієї групи факторів та компонент за допомогою коефіцієнта відповідності

нормативам позбавлений змісту. Дані фактори вступають як обмеження, обов'язкові до виконання.

4.4 Вплив процесів випробування та діагностики на контроль якості

Перевірка відповідності продукції або процесів, в даному випадку ремонт ТРС, від яких залежить їх якість, встановленим технічним вимогам складає сутність контролю [7].

Об'єктом технічного контролю можуть бути процеси розробки продукції і відповідна технічна документація, технологічні процеси виготовлення, використання, транспортування, зберігання, технологічного обслуговування та ремонту продукції і власне ТРС.

Технічний контроль здійснюється на стадіях проектування (контроль проектування), виробництва (виробничий контроль) та експлуатації (експлуатаційний контроль) продукції. Експлуатаційний контроль – це невід'ємна частина технічного діагностування об'єктів. Для технічного контролю та діагностики важливою властивістю продукції є придатність до контролю. Вона визначає спроможність, зручність та надійність технічного контролю і діагностування ТРС в процесі виготовлення, випробування, технічного обслуговування і експлуатації [6].

В процесі виготовлення продукції виконують контроль:

- вхідний (контроль продукції, що отримує споживач і призначається для використання при виготовленні (ремонті) іншої продукції або експлуатації); основні положення вхідного контролю встановлені СТП-10-001:2016 [19];

- післяопераційний (контроль продукції, за результатами якого приймають рішення про її придатність до постачання споживачу та використання).

У експлуатаційному розрізняють вхідний, профілактичний (необов'язковий) і поточний види контролю. Контролю піддають або всі одиниці продукції

(суцільний контроль), або деяку частину (вибірковий контроль). При вибірковому контролі рішення про відповідність (невідповідність) всієї продукції встановленим технічним вимогам приймають за результатами контролю вибірки з досліджуваної партії продукції.

Контроль проводять по запланованому графіку (плановий контроль) або у випадковий момент, що вибирається службою контролю (позаплановий).

Ефективність позапланового контролю обумовлюється його раптовістю для розробників та виробників продукції. Позаплановий контроль, як правило, проводять безпосередньо на місці його виготовлення, ремонту, зберігання продукції.

У ряді випадків з метою перевірки ефективності раніше виконаного контролю здійснюють , інспекційний контроль продукції спеціально уповноваженими виконавцями. Інспекційний контроль, як правило, позаплановий і вибірковий.

Сутність будь-якого технічного контролю зводиться до здійснення двох основних етапів:

- здобуття інформації про фактичний стан об'єкту контролю, про ознаки та показники його властивостей (первинна інформація).
- зіставлення первинної інформації із заздалегідь встановленими вимогами, нормами, критеріями, тобто виявлення відповідності або невідповідності фактичних даних потрібним.

На основі інформації виробляють відповідні дії, що впливають на об'єкт, який піддається контролю. Технічний контроль, інформацію якого використовують також для оцінки стабільності і регулювання технологічного процесу виготовлення або експлуатації продукції, відноситься до активного контролю.

Технічний контроль, після якого у відмінності від руйнівного продукція може бути використана по прямому призначенню, називають неруйнівним. Один і той же метод контролю залежно від призначення продукції може бути віднесений як до руйнівного, так і до неруйнівного. Наприклад, метод визначення твердості

шляхом втискування кульки при контролі твердості металевого дзеркала – руйнівний, а при контролі литої станини – неруйнівний, бо станина з лункою, що утворилася, може бути використана за призначенням. Неруйнівні методи дозволяють вести суцільний контроль. Важливість переходу від вибіркового контролю до суцільного зростає із збільшенням складності устаткування, що контролюється.

Принципи і методи технічного контролю багатогранні. Важливе місце в технічному контролі займає контроль якості продукції, тобто контроль кількісних або (та) якісних показників якості продукції.

Зі всіх відомих методів якості найбільші функціональні можливості мають фізичні методи неруйнівного контролю. Тому в даний час фізичні методи неруйнівного контролю – наймасовіша технологічна операція.

Процеси випробування та діагностики є основоположними етапами у забезпеченні контролю якості ремонту локомотивів. Вони гарантують, що всі вузли та системи після ремонту відповідають технічним стандартам та готові до безпечної та ефективної експлуатації. Випробування дозволяють оцінити працездатність локомотива під реальними або модельованими умовами, в той час як діагностика забезпечує виявлення дефектів як до, так і після проведення ремонтних робіт. Разом ці процеси формують комплексний підхід до перевірки якості ремонту.

Одним із ключових аспектів впливу цих процесів є виявлення дефектів і зношення компонентів. Перед початком ремонту діагностика дозволяє визначити технічний стан вузлів, таких як колісно-моторні блоки, підшипники, тягові двигуни або гальмівні системи. Це особливо важливо для прихованих дефектів, які неможливо виявити візуальним оглядом. Після ремонту випробування підтверджують, що усі дефекти були усунені, а технічні параметри вузлів відповідають нормам.

Процеси випробування та діагностики також сприяють контролю якості виконаних ремонтних робіт. За допомогою цих процедур перевіряється, чи було дотримано регламентів під час ремонту. Наприклад, після заміни підшипників

виконується тестування їхньої вібрації, температури та інших параметрів у динамічних умовах. Гальмівні системи проходять стендові випробування для перевірки їхньої ефективності, а електричні системи — тестування на стабільність роботи під навантаженням. Це дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з неякісним виконанням робіт.

Важливою функцією випробувань і діагностики є забезпечення відповідності локомотива встановленим стандартам. Системи діагностики та випробувань дозволяють оцінити, наскільки відремонтований локомотив відповідає технічним та експлуатаційним нормам, включаючи безпеку, енергоефективність та екологічність. Це не лише підвищує якість роботи, але й забезпечує дотримання регуляторних вимог.

Одним із найважливіших результатів застосування цих процесів є зниження ризиків під час експлуатації локомотива. Завдяки ретельній діагностиці можна заздалегідь виявити критичні несправності та запобігти аварійним ситуаціям. Випробування дозволяють переконатися, що відремонтовані вузли можуть витримувати необхідні навантаження і працювати без збоїв навіть у складних умовах. Це особливо важливо для безпеки пасажирських перевезень або транспортування вантажів, що мають високий ризик для довкілля чи економіки.

Ще одним важливим впливом є оптимізація витрат на технічне обслуговування. Завдяки результатам діагностики можна прогнозувати терміни наступного ремонту та складати графіки обслуговування, які базуються на реальних даних про стан вузлів. Використання методів предиктивної діагностики дозволяє мінімізувати витрати на аварійні ремонти, адже роботи виконуються лише за потребою.

Завдяки точному виявленню дефектів та вчасному усуненню несправностей забезпечується зниження зношення ключових вузлів. Наприклад, регулярне тестування ходової частини після ремонту дозволяє переконатися, що компоненти працюють без перевантажень, що продовжує їхній експлуатаційний ресурс. Крім того, дані, отримані під час випробувань, можуть використовуватися для

вдосконалення технологічних процесів ремонту, що сприяє підвищенню загальної якості обслуговування.

Отже, випробування та діагностика є невід'ємними елементами контролю якості ремонту локомотивів. Вони забезпечують комплексний аналіз стану вузлів, перевірку виконаних робіт та відповідність технічним стандартам. Ці процеси сприяють підвищенню безпеки експлуатації, зниженню витрат на обслуговування та продовженню терміну служби рухомого складу. Інтеграція сучасних методів діагностики та випробувань у ремонтні процеси є ключовим фактором для підвищення ефективності роботи залізничного транспорту та його відповідності міжнародним стандартам.

5. Орієнтовний розрахунок ефективності впровадження стаціонарного діагностичного комплексу в депо з урахуванням впливу на якість ремонту та надійність локомотивів в експлуатації

Впровадження більш ефективних ремонтних рішень у залізничній галузі України має суттєвий вплив на економічну ефективність. Основні аспекти вигоди включають[28]:

- зменшення витрат на ремонт. Використання сучасних технологій, як-от предиктивна діагностика та автоматизовані системи ремонту, дозволить знижувати витрати на аварійний ремонт. За оцінками, такі заходи можуть зменшити витрати на обслуговування до 20-30%, модульний підхід дозволить замінювати лише ті деталі, які вийшли з ладу, скорочуючи витрати на дорогі комплексні ремонти;

- скорочення часу простою локомотивів. Ефективні ремонти скорочують час простою на 15-20%, що збільшить обсяги перевезень без додаткових витрат на новий рухомий склад, роботизовані системи скоротять час виконання складних операцій, що також сприятиме прискоренню ремонтного циклу;

- зниження витрат на паливо та енергоресурси. Модернізація тягових двигунів та систем управління локомотивами дозволить знижувати споживання палива до 10-15%., нові технології зменшують викиди CO₂, що може призвести до економії за рахунок зниження екологічних штрафів;

- подовження терміну служби рухомого складу. Сучасні ремонтні рішення дозволять продовжити термін експлуатації локомотивів на 5-10 років, що відкладе необхідність дорогих закупівель нової техніки, використання високоякісних сплавів та зносостійких покриттів у ремонті вузлів зменшить частоту їх заміни;

- підвищення безпеки та зниження витрат на аварії. Вчасна діагностика та ремонт знизить кількість аварій та пов'язаних із ними витрат на ліквідацію наслідків, безпека перевезень підвищить довіру клієнтів та знизить витрати, пов'язані з компенсаціями за пошкодження вантажів;

- підвищення рентабельності перевезень. скорочення часу на ремонт та підвищення надійності локомотивів дозволить виконувати більше перевезень, ефективний ремонт дозволить "Укрзалізниці" знижувати тарифний тиск на клієнтів за рахунок економії на обслуговуванні;

За оцінками експертів, впровадження сучасних ремонтних рішень може забезпечити економію до 20-30% щорічно. Це включає як пряме зниження витрат на ремонти, так і непряму вигоду у вигляді підвищення доходів від перевезень та зниження аварійності

Впровадження стаціонарного діагностичного комплексу в депо дозволить підвищити якість ремонту, зменшити витрати на технічне обслуговування та позапланові ремонти, а також забезпечити високу надійність експлуатації локомотивів.

1. Вихідні дані для розрахунку

Кількість локомотивів, що ремонтуються в депо: 68 одиниць.

Середня кількість ПР на один локомотив на рік: 1,2.

Середній час простою локомотива в ремонті до впровадження комплексу: 80 годин.

Середня кількість аварійних відмов на один локомотив на рік: 2 (до впровадження).

Середня вартість позапланового ремонту локомотива: 150 000 грн.

Середня вартість ПР: 100 000 грн.

Очікуване скорочення позапланових ремонтів завдяки впровадженню комплексу: 50%.

Очікуване скорочення часу простою завдяки оптимізації процесів у депо: 15%.

Орієнтовна вартість впровадження стаціонарного діагностичного комплексу: 20 000 000 грн.

2. Ефекти впровадження

2.1. Економія на позапланових ремонтах

Загальна кількість позапланових ремонтів до впровадження:

$68 \text{ локомотивів} \times 2 \text{ аварії/локомотив} = 136 \text{ позапланових ремонтів на рік.}$

Загальна кількість позапланових ремонтів після впровадження (50% скорочення):

$136 \times (1 - 0.5) = 68 \text{ позапланових ремонтів на рік.}$

Скорочення витрат на позапланові ремонти:

$68 \text{ позапланових ремонтів} \times 100000 \text{ грн} = 6800000 \text{ грн/рік.}$

2.2. Економія на скороченні часу простою локомотивів

Загальна кількість ремонтів на рік:

$68 \text{ локомотивів} \times 1,2 \text{ ремонти/локомотив} = 82 \text{ ремонта на рік.}$

Загальний час простою до впровадження:

$82 \text{ ремонта} \times 80 \text{ годин} = 6560 \text{ годин на рік.}$

Очікуване скорочення часу простою (15%):

$6560 \times 0.15 = 984 \text{ годин/рік.}$

Вартість простою локомотива (умовно втрачені доходи): 2 000 грн/год.

Економія від скорочення простоїв:

$984 \text{ годин} \times 2000 \text{ грн/год} = 1968000 \text{ грн/рік.}$

2.3. Підвищення якості ремонту

Завдяки використанню стаціонарного комплексу знижується частота заміни вузлів через надмірну діагностичну похибку. Це дозволяє зменшити витрати на запчастини:

Середня витрата на запчастини до впровадження комплексу: 60% від витрат на ПР.

Очікуване скорочення витрат на запчастини: 15%.

Економія на запчастинах:

$82 \text{ ремонта} \times 100000 \text{ грн/ремонт} \times 0.15 = 1230000 \text{ грн/рік.}$

2.4. Додаткові ефекти

Збільшення ресурсу вузлів та агрегатів КМБ завдяки точному визначенню їх технічного стану.

Зменшення зносу рухомого складу через уникнення експлуатації з прихованими дефектами.

3. Загальний економічний ефект

Економія на позапланових ремонтах: 6 800 000 грн/рік.

Економія від скорочення простоїв: 1 968 000 грн/рік.

Економія на запчастинах: 1 230 000 грн/рік.

Загальна економія:

$6800000 + 1968000 + 1230000 = 9998000$ грн/рік.

4. Окупність проєкту

Вартість впровадження комплексу: 20 000 000 грн.

Річна економія: 9 998 000 грн.

Окупність:

$20000000 \text{ грн} / 9998000 \text{ грн/рік} \approx 2,0$ роки (24 місяців).

Впровадження стаціонарного діагностичного комплексу в депо окупиться приблизно за два роки та забезпечить суттєву економію за рахунок зменшення позапланових ремонтів, скорочення простоїв та підвищення якості ремонту. Крім фінансових вигод, комплекс покращує експлуатаційну готовність локомотивів, підвищує надійність роботи та створює умови для довгострокової ефективності залізничних перевезень.

Висновки

У сучасних умовах воєнного стану в Україні роль залізничного транспорту набула критично важливого значення, забезпечуючи мобільність військових і гуманітарних вантажів, евакуацію населення та безперервність логістичних потоків. У цьому контексті надійність і ефективність роботи локомотивів стала однією з основних передумов функціонування транспортної інфраструктури країни.

У цих умовах інтеграція новітніх технологій у процес ремонту локомотивів стає не лише економічно виправданою, але й необхідною для забезпечення оперативності та точності технічного обслуговування. Сучасні рішення та впровадження новітніх технологій дозволяють значно підвищити якість ремонту та надійність роботи локомотивів навіть у найскладніших умовах експлуатації.

В магістерській роботі розглянуто теоретичні основи стану технологічного забезпечення ремонтних процесів локомотивів. Загальний огляд охоплював структуру, методи, проблеми та перспективи технічного обслуговування локомотивів в Україні. Проведено аналіз існуючої системи планово-попереджувального ремонту сутність якої полягає в тому що терміни постановки ТРС на огляди та ремонти плануються і направлена головним чином на попередження виникнення несправностей.

Визначені проблеми що впливають на ефективність системи технічного обслуговування та ремонту локомотивів.

Основні принципи планово-попереджувального ремонту забезпечують цілісний та обґрунтований підхід до обслуговування локомотивного парку. Їх реалізація дозволяє не лише підтримувати працездатність локомотивів, а й знижувати витрати, підвищувати безпеку перевезень та забезпечувати довготривалу експлуатацію рухомого складу. Інтеграція технологій та цифрових інструментів робить ці принципи ще більш ефективними в умовах сучасної залізничної галузі.

Розглянуто загальний технологічний процес проведення ремонту локомотива як складальної одиниці та визначено низку специфічних проблем, які безпосередньо впливають на якість виконуваних робіт, тривалість ремонту та подальшу надійність експлуатації рухомого складу.

Впровадження інноваційних технологій діагностування є важливим кроком для модернізації ремонтних процесів локомотивів. Вони суттєво змінюють підходи до технічного обслуговування та ремонту локомотивів, дозволяючи досягти високого рівня надійності та економічності

Проведено вивчення основної виробничої діяльності відокремленого підрозділу «Локомотивне депо Харків-Сортувальний» державного підприємства «Південна залізниця» та організації технічного обслуговування і ремонту що базується в основному на положеннях теорії надійності. Система ремонту показує, що вона має цілу низку недоліків, які пов'язані з розбиранням технічно справних вузлів. Крім того, аналіз обсягів ремонту в депо свідчить про те, що значна частина локомотивів працює з перепробігом. На підставі виконаного аналізу на першому етапі запропоновано удосконалення існуючої планово-попереджувальної системи ремонту за рахунок впровадження в технологію ремонту сучасного діагностичного обладнання.

На даний час в депо застосовується механічна діагностика та контроль зношеності компонентів колісно-моторного блоку що має низку недоліків. Його вдосконалення через автоматизацію та інтеграцію з сучасними цифровими технологіями може значно підвищити якість та швидкість ремонтних робіт.

У багатьох країнах світу активно впроваджуються системи діагностики колісних пар локомотивів для підвищення безпеки та ефективності залізничних перевезень. Проведеним аналізом літератури за тематикою дослідження виділено основні системи контролю колісних пар та запропоновано до впровадження стаціонарну систему контролю колісних пар, яку використовує німецька залізнична компанія Deutsche Bahn (DB). В ній застосовуються лазерні та ультразвукові технології для виявлення дефектів на поверхні коліс та

вимірювання їхніх геометричних параметрів, акустичні та температурні детектори для виявлення несправностей підшипникових вузлів.

Локомотив, що планується на ремонт або обслуговування, проходить через стаціонарну систему контролю КМБ розташовану на під'їзних коліях цеху ремонту. Дані про конкретний склад (номер локомотива, пробіг, попередні ремонти) інтегруються в систему, що дозволяє порівнювати результати діагностики з попередніми даними.

Стаціонарна система контролю колісних пар ДВ забезпечить високоточну діагностику стану локомотивів перед постановкою в депо на ремонт. Це дозволить знизити витрати, підвищити безпеку експлуатації та скоротити час простою, що є важливим для ефективності роботи локомотивного депо.

Впровадження системи надасть можливість підвищити якість ремонту та експлуатаційну надійність тягового рухомого складу що є одним з основних показників якості та визначає економічну ефективність роботи депо, раціональне використання енергетичних та матеріальних ресурсів виробництва, а також забезпечення безпеки руху поїздів.

Список використаних джерел

1. ДСТУ 30479-97 - Забезпечення зносостійкості виробів. Методи встановлення граничного зносу, що забезпечує необхідний рівень безпеки. Загальні вимоги. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=70870
2. «Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування рухомого складу (локомотиви та моторвагонний рухомий склад)» Додаток 11 до протоколу № Ц-85/25 Ком.т. засідання правління АТ «Укрзалізниця» від 01.05.2023.
3. Розпорядження «Про затвердження заходів з реалізації Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року» - Київ, Кабінет міністрів України, 7 квітня 2021 р. N 321-р
4. Тартаковський Е.Д. Методи оцінки життєвого циклу тягового рухомого складу залізниць: Монографія/Е.Д. Тартаковський, С.Г. Грищенко, Ю.Є. Калабухін, А.П. Фалендиш. – Луганськ: Вид-во «Ноулідж», 2011. – 174 с.
5. ДСТУ 2925-94 Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення. Введ. 01.01.96 р. — К. : Держстандарт України, 1994. — 28 с. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91090
6. ДСТУ Б А.1.1-11-94 Система стандартизації та нормування в будівництві. Показники якості і методи оцінки рівня якості продукції. Терміни та визначення. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=7105
7. Про затвердження Технічного регламенту безпеки рухомого складу залізничного транспорту: Постанова Кабінету Міністрів України від 30 грудня 2015 р. № 1194. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1194-2015-п>.
8. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 р. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30.05.2018р. No 430-р.– URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/NT3764.html

9. Закон України "Про технічні регламенти та оцінку відповідності": [Електронний ресурс]: Закон від 15.01.2015 № 124-VIII. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/124-19>.

10. Закон України «Про залізничний транспорт» – URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/273/96>

11. Правила технічної експлуатації залізниць України. Затверджено наказом Міністерства транспорту України від 20 грудня 1996 року № 411

12. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. Затверджено наказом Держстандарту України № 333 від 28.12.1994 р. – К. : Держстандарт України, 1995. – 91 с. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25034

13. ДСТУ 3433-96. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення. Введ. 1999-01-01. Київ: Держстандарт України, 1998. 41 с. 53. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=93624

14. Інструкція з формування, ремонту та утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниць України колії 1520 мм - ВНД 32.0.07.001-2001 – Київ (Нова редакція)

15. ДСТУ ISO 10012:2005 Системи керування вимірюванням. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання (ISO 10012:2003, IDT).

16. ДСТУ 2862-94 Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=53946

17. С.Ю. Буряк. Діагностування стану поверхні кочення колеса рухомого складу залізниць / Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровської нац. ун-т. залізничного транспорту. – Дніпропетровськ. 2013. №1 (43).

18. Н.Д. Чигирик, С.І. Возненко, І.Р. Вихопень, О.В. Клецька - Методи діагностики технічного стану елементів колісно-моторних блоків тягового рухомого складу, Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, №4 (234) 2017.

19. СТП-10-001:2016 «Якість і безпека продукції. Вхідний контроль. Основні положення», Київ, наказ публічного акціонерного товариства «Українська залізниця» від 10 травня 2017 року № 297
20. В.Є. Канарчук, С.К. Полянський, М.М. Дмитрієв, Надійність машин: підручник. К.: Либідь, 2003. 424 с.
21. Системи діагностування рухомого складу: навч. посібник /М І. Горбунов, О. С. Ноженко, В. І. Могила, В. С. М-во освіти і науки України, СНУ ім. В. Даля. Сєверодонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2018. 232 с.
22. В.А. Сидоров Технічна діагностика механічного обладнання: навчальний посібник / В. А. Сидоров, В. М. Кравченко, В. Я. Седуш, О. В. Ошовська. Київ : 2010. 131 с.
23. В.В. Біліченко Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів. Вінниця : ВИТУ, 2012. 118 с
24. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. К. Держстандарт України, 2010. 28 с.
25. ДСТУ 2389-94 Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. Чин. від 01.07.95 К.: Держстандарт України, 1995. 75с.
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=104134
26. Ai B. et al. 5G Key Technologies for Smart Railways. B. Ai, A. F. Molisch, M. Rupp, Z. D. Zhong. Proceedings of the IEEE. 2020. Т. 108. №. 6. С. 856- 893.
27. О.А. Дудченко, Технічне обслуговування і ремонт рухомого складу : підручник / О. А. Дудченко. Київ : Знання, 2004. 478 с.
28. О.М. Гненний, До питання оцінки та застосування вартості життєвого циклу продукції машинобудування // Проблеми економіки транспорту: зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. у-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2016. Вип. 12. С. 7–13.
29. О.І. Момот. Менеджмент якості та елементи системи якості : [навч. посібник] / Момот О.І. К. : Центр учбової літератури, 2007. 368 с.

30. ДСТУ ISO 9000:2015 Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2015, IDT) https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64030

31. ДСТУ 2861-94 Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення. Затверджено наказом Держстандарту України № 310 від 08.12.1994 р. – К. : Держстандарт України, 1995. – 33 с.

32. Політика SNCF у сфері рухомого складу та його технічного обслуговування // Залізниці світу. 2010. № 4. С. 38–45.

33. Залізниці світу. Щомісячний електронний журнал. URL: <http://www.zdmira.com/>

34. В.Е. Виниченко, Інтеграція новітніх технологій у процес ремонту локомотивів задля покращення їх якості. *Тези доповідей на 84-студентській науково-технічній конференції УкрДУЗТ 11-13 грудня 2024р.* Харків : УкрДУЗТ. 2024. <https://kart.edu.ua/nauka/stud-ndr/stud-ntk>

35. ДП «Укрметртестстандарт» URL: www.ukrcsm.kiev.ua

36. Про стандарти, технічні регламенти та процедури оцінки відповідності [Електронний ресурс]: закон України від 01.12.2005 № 3164-IV/ ВР. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3164-15>

37. Нормативно-правові акти з метрології. URL: <http://www.me.gov.ua/>

38. Фейгенбаум. А. Контроль якості продукції / А. Фейгенбаум – К. : Діло, 2002р. – 318 с.

39. Tribologia. Tribolotechnika / Redakcia naukova M.Szczerek, M.Wisniewski. Radom: Polckie Towarzystwo Tribologiczne, 2000. 728 s.

40. [Офіційний сайт Регіональної філії "Південна Залізниця" АТ "Укрзалізниця"](#)

41. Геворкян Е. С. Неруйнівні методи контролю якості : конспект лекцій / Е. С. Геворкян, О. М. Мельник. - Харків : УкрДАЗТ, 2015. - 43 с.

42. Deutsche Bahn (DB) <https://www.deutschebahn.com/en>

43. East Japan Railway Company <https://www.jreast.co.jp/multi/>

44. China Railway <http://wap.china-railway.com.cn/crcwapEnglish/>