

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра Інженерія вагонів та якісь продукції

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ
ЯКОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ТЯГОВОГО
РУХОМОГО СКЛАДУ

Пояснювальна записка і розрахунки
до кваліфікаційної роботи магістра

МКРМЕ.175.25.04.00 ПЗ

Розробив: здобувач групи 218-ЯСС-Д23
спеціальності 175 «Інформаційно-
вимірювальні технології»
освітньої програми «Якість, стандартизація
та сертифікація»

Юрій ВЕРЕЩАКА

Керівник: професор кафедри,
доктор техн. наук, професор

Ларіса ТИМОФЕЄВА

Рецензент: Начальник технічного відділу
структурного підрозділу «Служба
локомотивного господарства» регіональної
філії «Південна залізниця»
АТ «Укрзалізниця»

Віталій ЗАІКА

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет: Механіко-енергетичний

Кафедра: Інженерія вагонів та якість продукції

Другий (магістерський) рівень вищої освіти

Спеціальність: 175 «Інформаційно-вимірювальна техніка»

Освітня програма: «Якість, стандартизація та сертифікація»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук

_____ Ігор МАРТИНОВ
(підпис)

«30» вересня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Верещаці Юрієві Володимировичу

1 Тема «Використання штучного інтелекту для вдосконалення якості технічного обслуговування та ремонту тягового рухомого складу» керівник Тимофєєва Ларіса Андріївна, д-р. техн. наук, професор, «30» вересня 2024 року № 41.

2. Строк подання студентом роботи «16» грудня 2024 року.

3. Вихідні дані: тип рухомого складу – електровози постійного струму серії ЧС2 та ЧС7, електровоз змінного струму серії ЧС8; Виконавчий документ – Наказ №305/Н від 11.06.2024 року «Про затвердження Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування рухомого складу (локомотиви та моторвагонний рухомий склад) АТ «Укрзалізниця»; 8. Правила технічного обслуговування та поточних ремонтів електровозів ЧС2, ЧС4, ЧС7, ЧС8» ЦТ-0039, затверджені наказом від 30.01.2002 № 40-Ц. 21. СТП 10-004:2019 «Якість і безпека продукції. Атестація виробництва. Порядок здійснення», введено в дію наказом АТ «Укрзалізниця» від 26.02.2019 № 142.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1) Аналіз існуючих методів обслуговування та ремонту тягового рухомого складу; 2) Методологія дослідження використання штучного інтелекту для забезпечення якості технічного обслуговування та ремонту через систему «NextElectroLoco»; 3) Підвищення якості надання послуг у діагностиці технічного стану тягового рухомого складу; 4) Забезпечення якості з урахуванням інформаційно-вимірювальних технологій в процесі обслуговування та ремонту тягового рухомого складу; 5) Забезпечення якості послуг з урахування міжнародного досвіду.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

1) Вступ; 2) Актуальність, мета, предмет та об'єкт дослідження; 3) Структура та робочі процеси в Електровозному депо Харків-Головне; 4) Причинно-наслідкова діаграма Ісікави; 5) Створення інноваційної системи

«NextElectroLoco»; 6) Дослідна модернізація електровоза; 7) Причини виявлення дефектів та спрацювання захисту; 8) Алгоритм роботи системи «NextElectroLoco»; 9) Випробування; 10) Результати роботи; 11) Висновки
 6. Дата видачі завдання «30» вересня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
Аналіз матеріалу, отриманого на базовому підприємстві. Визначення теми кваліфікаційної роботи	02.10 – 05.10	Виконано
Написання основних розділів пояснювальної записки	07.10 – 28.10	Виконано
Розробка презентацій основної частини роботи	29.10 – 04.11	Виконано
Розробка та написання індивідуальної частини роботи	05.11 – 18.11	Виконано
Розробка презентаційного матеріалу індивідуальної частини роботи	19.11 – 25.11	Виконано
Формулювання висновків кваліфікаційної роботи	26.11 – 30.11	Виконано
Перевірка на плагіат	02.12 – 14.12	Виконано
Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу. Друк	02.12 – 14.12	Виконано
Нормоконтроль	16.12 – 23.12	Виконано
Рецензування	16.12 – 23.12	Виконано
Підписання роботи керівником	16.12 – 23.12	Виконано
Підписання роботи завідувачем кафедри	16.12 – 23.12	Виконано
Підготовка доповіді до захисту кваліфікаційної роботи	24.12 – 04.01.25	Виконано
Захист кваліфікаційної роботи	06.01.25	Виконано

Здобувач _____ Юрій ВЕРЕЩАКА
 (підпис)

Керівник _____ Лариса ТИМОФЕЄВА
 (підпис)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота включає в себе 11 слайдів презентації, 119 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 11 рисунків, 9 таблиць, 24 літературних джерела.

Ключові слова: ЯКІСТЬ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ДІАГНОСТИКА, ТЯГОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД, ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ, РЕМОНТ, НАДІЙНІСТЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, ПРОГНОЗУВАННЯ.

Основні проблеми, пов'язані зі станом тягового рухомого складу, значна частка обладнання, яка є застарілою, що призводить до підвищеного ризику відмов та несправностей. Використання традиційних методів технічного обслуговування та ремонту, що не враховує специфічних умов експлуатації та знижує якість у наданні послуг. Недостатня автоматизація процесів діагностики та управління, що призводить до частіших простоїв, оскільки відсутні сучасні системи, які могли б забезпечити своєчасне виявлення та усунення проблем.

Метою дослідження є розробка та впровадження інтелектуальних систем, які використовують штучний інтелект для діагностики та прогнозування технічного стану тягового рухомого складу. Це включає своєчасне виявлення дефектів, оптимізацію графіків технічного обслуговування, зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт та підвищення надійності та безпеки експлуатації. У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення якості надання послуг з ремонту тягового рухомого складу.

ABSTRACT

Qualifying work Includes 12 slides of the Presentation, 119 sheets of explanatory note in A4 format, which includes 11 pictures, 9 tables, 24 references.

Keywords: QUALITY, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, DIAGNOSTICS, TRACTION ROLLING STOCK, MAINTENANCE, REPAIR, RELIABILITY, EFFICIENCY, PREDICTION

The main problems related to the condition of traction rolling stock include a significant portion of the equipment being outdated, which increases the risk of failures and malfunctions. The use of traditional maintenance and repair methods that do not take into account specific operating conditions reduces the quality of service provision. Insufficient automation of diagnostic and management processes leads to more frequent downtimes as there are no modern systems to ensure timely detection and elimination of problems.

The aim of the research is to develop and implement intelligent systems that use artificial intelligence for diagnostics and prediction of the technical condition of traction rolling stock. This includes timely defect detection, optimization of maintenance schedules, reduction of maintenance and repair costs, and improvement of operational reliability and safety. The qualification work addresses issues of improving the quality of services provided for the repair of traction rolling stock.

Зміст

Вступ	8
1 Аналіз існуючих методів обслуговування та ремонту тягового рухомого складу	11
1.1 Види технічного обслуговування та ремонту	16
1.2 Моніторинг та статистичний аналіз ремонту електровозів за типом і видом обслуговування та ремонту	27
1.2.1 Виробничі цеха та відділення по ремонту обладнання	34
1.3 Основні проблеми та виклики якості в обслуговуванні та ремонті тягового рухомого складу	36
1.4 Потенціал і перспективи використання штучного інтелекту в обслуговуванні та ремонті тягового рухомого складу	57
2 Методологія дослідження використання штучного інтелекту для забезпечення якості технічного обслуговування та ремонту через систему «NextElectroLoco»	60
2.1 Опис вибору методів дослідження та збору даних для централізованої системи «NextElectroLoco»	60
2.2 Порівняння центральної системи «NextElectroLoco» з традиційними методами технічного обслуговування і ремонту	65
2.3 Методи оцінки якості результатів	68
2.4. Впровадження централізованої системи «NextElectroLoco» до тягового рухомого складу	70
3 Підвищення якості надання послуг у діагностиці технічного стану тягового рухомого складу	76
3.1 Методи виявлення та прогнозування поломок	76
3.2 Інтелектуальні системи моніторингу та аналізу стану обладнання	81

					МКРМЕ.175.25.04.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Верещака				Використання штучного інтелекту для вдосконалення якості технічного обслуговування та ремонту тягового рухомого складу	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Тимофєєва						6	118
Рецензент	Заїка					УкрДУЗТ		
Н. контр.	Шовкун							
Затвердив	Мартинів							

3.3 Роль інтернету речей у зборі даних для підтримки штучного інтелекту та якісного технічного обслуговування і ремонту	83
4 Забезпечення якості з урахуванням інформаційно-вимірювальних технологій в процесі обслуговування та ремонту тягового рухомого складу	87
4.1 Застосування предиктивного обслуговування на основі аналізу даних	94
4.2 Інтеграція штучного інтелекту в системи автоматизованого управління ремонтами	97
4.3 Оптимізація графіків обслуговування і ремонту	99
5 Забезпечення якості послуг з урахування міжнародного досвіду	103
5.1 Моделювання сценаріїв технічного обслуговування з використанням ШІ	106
5.2 Аналіз економічної ефективності впровадження ШІ в обслуговування та ремонт	109
5.3 Порівняння результатів традиційних методів з методами, що використовують штучний інтелект	112
Висновки	116
Список використаних джерел	118

Вступ

Сучасний розвиток залізничного транспорту вимагає постійного вдосконалення технологій для забезпечення надійності та ефективності роботи тягового рухомого складу. Технічне обслуговування і ремонт (Далі – ТОіР) є важливою складовою цього процесу, що безпосередньо впливає на безпеку перевезень, експлуатаційні витрати та тривалість простоїв обладнання. Із впровадженням інноваційних технологій зростає потреба у нових підходах до управління ТОіР, зокрема у застосуванні штучного інтелекту (Далі – ШІ), який здатен автоматизувати та оптимізувати обслуговування обладнання, знижуючи ризики людських помилок та підвищуючи точність прогнозування.

Штучний інтелект – це галузь інформатики, що займається розробкою комп'ютерних систем і програм, здатних виконувати завдання, які зазвичай вимагають людського інтелекту. До таких завдань належать розпізнавання мови, зображень, прийняття рішень, аналіз даних, розуміння природної мови, навчання з досвіду, та інші види інтелектуальної діяльності. Штучний інтелект має потенціал значно покращити якість життя та підвищити ефективність роботи в багатьох галузях. Однак, водночас з цим з'являються і ризики, пов'язані з етичними питаннями, безпекою та можливістю заміни людської праці автоматизованими системами.

Штучний інтелект відкриває нові можливості для моніторингу стану тягового рухомого складу в режимі реального часу, аналізу великого обсягу даних з різноманітних джерел, таких як сенсори та інформаційні системи, а також для прогнозування потенційних несправностей. Системи на основі ШІ можуть визначати оптимальні інтервали технічного обслуговування, враховуючи різні фактори, як-от інтенсивність експлуатації, погодні умови та стан деталей. Такі рішення сприяють зменшенню експлуатаційних витрат, підвищенню ефективності ТОіР та подовженню терміну служби обладнання.

Актуальність дослідження полягає в тому, що традиційні методи обслуговування рухомого складу, що базуються на статичних планах ТОіР, вже

не відповідають вимогам сучасних умов експлуатації. Вони не враховують індивідуальні особливості роботи кожної одиниці техніки, що призводить до підвищення витрат і зниження ефективності. Використання штучного інтелекту надає можливість створити адаптивні системи ТОiP, які забезпечують своєчасне виявлення проблем та більш ефективне використання ресурсів.

Метою даної дипломної роботи є дослідження можливостей застосування штучного інтелекту для вдосконалення якості технічного обслуговування і ремонту тягового рухомого складу на прикладі Виробничого підрозділу «Електровозне депо Харків-Головне». Під тяговим рухомим складом в дипломній роботі мається на увазі електровози постійного струму серії ЧС2, ЧС7 та електровози змінного струму серії ЧС8.

Електровозом називають локомотив, який приводиться у рух тяговими електродвигунами, що живляться від контактної мережі. Електровози класифікують за родом струму, типом приводу, родом служби та вісьовим формулам. Залежно від роду застосовуваного струму електровози бувають постійного струму, змінного однофазного струму промислової частоти 50 Гц та багатосистемні. В Україні відповідно до прийнятих систем електричної тяги працюють електровози постійного струму та змінного однофазного струму промислової частоти.

За типом приводу, тобто типу передачі крутного моменту з валу тягових електродвигунів на рушійні колісні пари розрізняють електровози з індивідуальним і груповим приводом.

При індивідуальному приводі тяговий електродвигун або два спарені тягові електродвигуни через зубчасту передачу з'єднані з однією рушійною колісною парою. У разі групового приводу від тягового електродвигуна крутний момент передається на кілька рухомих колісних пар через зубчасті передачі або спарники. У цьому випадку тяговий електродвигун за своєю потужністю повинен бути відповідно більшим за двигуни при індивідуальному приводі.

У роботі буде розглянуто методи та алгоритми, що дозволяють оптимізувати процеси ТОiP, проаналізовано переваги та обмеження

впровадження ІІІ у залізничному транспорті, а також представлено рекомендації щодо практичного застосування даних рішень.

Таким чином, впровадження інтелектуальних систем ТООР є перспективним напрямком розвитку залізничної галузі. Оцінка ефективності застосування ІІІ може сприяти зниженню витрат на обслуговування, підвищенню точності прогнозування поломок та забезпеченню безперервної роботи тягового рухомого складу, що має суттєве значення для національної економіки та розвитку транспортної інфраструктури країни в цілому.

1 Аналіз існуючих методів обслуговування та ремонту тягового рухомого складу

Технічний стан тягового рухомого складу змінюється в процесі експлуатації. Стан погіршується через знос деталей механізмів, порушення регулювання, ослаблення кріплень, поломок та інших несправностей. електричних та механічних механізмів [7]. Змінюються фізико-механічні властивості, погіршується електрична ізоляція. Знижується надійність тягового рухомого складу та ресурси надійності, які закладені в конструкцію.

При проектуванні та виготовленні тягового рухомого складу, коли вони поступово витрачаються і їх значення падає нижче певного рівня, це може призвести до пошкодження та відмови, що може призвести до нещасних випадків. Подібне явище, як правило, стається раптово.

Тому для запобігання цих не бажаних явищ створюється і працює система технічного обслуговування і ремонту. Система технічного обслуговування і ремонту включає в себе комплекс робіт з підтримання та відновлення ремонтпридатності або тільки ефективності ремонту локомотивів і моторвагонних складів.

Сьогодні потребує змін та вдосконалення стан технічного обслуговування та ремонту тягового рухомого складу. Зношеність технічного парку, майже повне недофінансування, застаріла матеріально-технічна база, а також відсутність сучасних технологій та інноваційних підходів до утримання та ремонту – основні проблеми, з якими стикається залізнична галузь України.

Тяговий рухомий склад є амортизацією парку. Значна частина тягового рухомого складу України була введена в експлуатацію ще в радянський період, що робить його технологічно застарілим і призводить до великої кількості технічних несправностей і необхідності регулярного ремонту. Витрати на технічне обслуговування та модернізацію локомотивів низькі через обмежений бюджет залізничного транспорту. Це призводить до відтермінування капітального ремонту, що в свою чергу збільшує операційні ризики. На багатьох ремонтних

базах важко знайти сучасне обладнання та інструменти. Традиційні методи обслуговування можуть призвести до тривалих простоїв. Через міграцію робочої сили за кордон та примусового залучення робочих кадрів до лав Збройних сил України та низьку заробітну плату в залізничному секторі галузь відчуває дефіцит висококваліфікованих кадрів, особливо у сфері інженерії та інформаційних технологій, здатних впроваджувати сучасні рішення для діагностики та ремонту.

Українська залізниця потребує переходу на новий рівень обслуговування. Штучний інтелект і машинне навчання можуть значно підвищити якість обслуговування [18]. Застосування автоматизованих систем контролю стану обладнання підвищить ефективність обслуговування.

Тяговий рухомий склад, агрегати, з яких він складається, та елементи цих агрегатів можуть бути використані за призначенням, якщо вони знаходяться у справному та працездатному стані.

Справність полягає у відповідності об'єкта всім вимогам, встановленим нормативно-технічною документацією, а працездатність – у його здатності виконувати задані функції, зберігаючи значення основних параметрів у межах, встановлених нормативно-технічною документацією. Електровоз слід вважати працездатним, якщо він може розвивати задані силу тяги та швидкість та забезпечувати безпечну роботу та виконання графіка руху при роботі з поїздами певних мас.

Подія, яка полягає у порушенні працездатності об'єкта, називають відмовою, а порушення справності – ушкодженням. Розрізняють відмови об'єкта та відмови його елементів. Властивість об'єкта безперервно зберігати працездатність називають безвідмовністю. Попередити відмови чи усунути їх наслідки можливо за допомогою технічного обслуговування та ремонту. Властивість об'єкта, що полягає у пристосованості до виконання його ремонтів та технічного обслуговування, називають ремонтпридатністю.

Під довговічністю розуміють властивість об'єкта зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування і ремонту. Граничним станом вважають такий стан об'єкта, при якому він повинен бути підданий капітальному ремонту або його експлуатація повинна бути

припинена через невиконання вимог безпеки або зниження ефективності нижче за допустиму або економічну недоцільність ремонту.

При зміні чисельності парку локомотивів чи розмірів руху електровоз тимчасово відставляють від експлуатації чи переводять у резерв управління дороги, чи запас залізниці. Природно, що електровоз має бути пристосований для зберігання. Властивість об'єкта безперервно зберігати значення встановлених показників якості в заданих межах протягом зберігання та (або) транспортування в неробочому стані і потім називають збереженням.

За цих умов під надійністю розуміють здатність об'єкта виконувати задані функції у певних умовах експлуатації. У загальному випадку, говорячи про надійність електровоза, представляють поєднання властивостей:

- безвідмовності;
- довговічності;
- ремонтпридатності;
- збереження.

Надійність як характеристика якості об'єкта є складною властивістю, яка залежить від великої кількості факторів (рис. 1.1). На цій схемі відзначені лише найістотніші зв'язки.

Умови експлуатації електровоза характеризуються складністю та різноманітністю впливів. Статичні та динамічні умови, що виникають при русі електровоза з поїздом, викликають великі механічні навантаження насамперед у деталях механічної частини: елементах колісних пар, букс, рам, візків, ресора підвішування та кузова. Розраховуючи зусилля в деталях цих вузлів з урахуванням дії знакозмінних навантажень і наявності різких змін перерізів деталей або зварних поперечних швів, конструктори задаються коефіцієнтом запасу, рівним $2,0 \dots 2,5$. Враховують також неминучу втому – зниження міцності

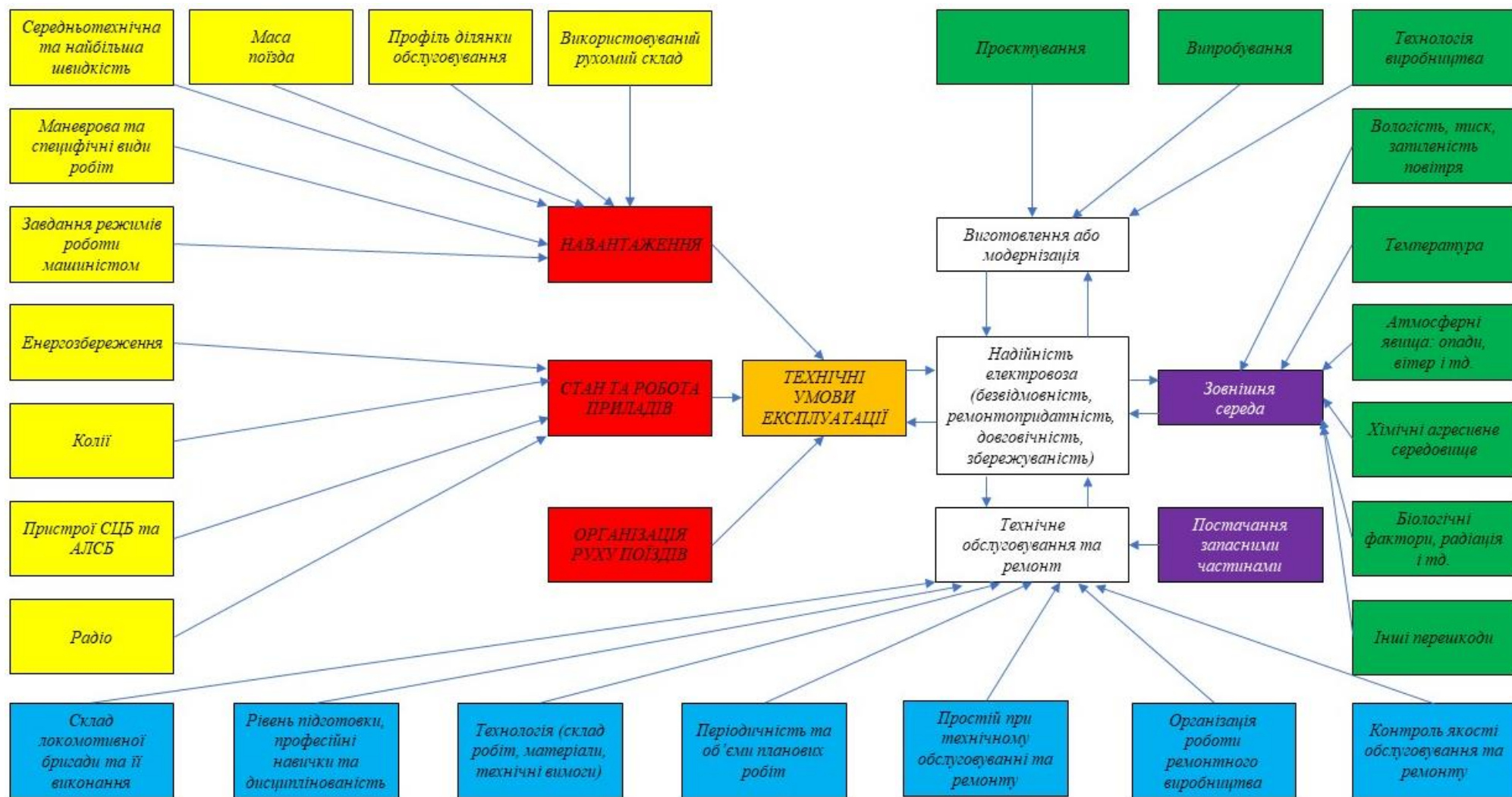


Рисунок 1.1 – Залежність якості та надійності електровоза від різноманітних факторів

конструкції при тривалій експлуатації. Перевищення розрахункових навантажень може призвести до порушення зв'язків: обриву болтів, зрізу заклепок, розриву зварних швів, зрізу шпонок тощо.

Сполучені деталі при взаємному переміщенні схильні до зносу під дією сил тертя. У ряді вузлів: опорах кузова, міжвізочному зчленуванні, автозчепленні та інших тертях ковзання характеризується малими швидкостями переміщень та високим питомим тиском. Знос у цих вузлах пояснюють молекулярним схоплюванням. Так зване теплове зношування відбувається при ковзанні з великими швидкостями і високими питомими тисками, як це має місце при роботі гальмівних колодок [1].

Забруднення поверхні тертя твердими мінеральними частинками призводить до абразивного зношування – зрізання металу цими частинками. Дрібні вищірбини на поверхні кочення роликів і кілець підшипників є прикладом вагоподібного зносу. Він спостерігається при терті кочення та навантаженнях, що перевищують межу плинності металу і створюють місцеві втомні явища на поверхні. Загальний знос у механічних з'єднаннях посилюється окисним зносом - руйнуванням оксидів металів на поверхнях двох деталей, що взаємно переміщаються.

В окремих випадках, наприклад, при буксуванні, частота обертання якорів тягових двигунів може перевищувати конструктивну. Великі відцентрові сили, що виникають при цьому, можуть призвести до пошкодження валів якорів, елементів зубчастих передач, бандажів кріплення обмоток якоря та інших обертових елементів колісно-моторного блоку. На поверхні катання бандажа колісної пари під час буксування з'являються повзуни.

Хоча технічне обслуговування та ремонт спрямовані на підвищення надійності, водночас пристосування електровоза до їх виконання об'єктивно ускладнює забезпечення необхідної безвідмовності локомотива. З одного боку, це пояснюється необхідністю використання великої кількості роз'ємних з'єднань у вузлах механічного та електричного обладнання, додаткових висновків та контролюючих приладів в електричних колах та інших додаткових

конструктивних елементів, необхідних для ефективного виконання технічного обслуговування та ремонту. З іншого боку, необґрунтоване, некваліфіковане та безвідповідальне виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту може призвести до збільшення кількості відмов електровозів.

1.1 Види технічного обслуговування та ремонту

Концентрація ремонту в найбільших та технічно оснащених депо, планування та організація ремонту в них електровозів різних залізниць, організація централізованого постачання запасними частинами та їх виготовлення на принципах кооперації та спеціалізації виробництва, використання на одних тягових плечах електровозів різних депо та різних залізниць, оперативне управління парком рухомого складу в межах країни, підготовка ремонтного персоналу та локомотивних бригад – усі ці фактори визначають необхідність проведення єдиної для всієї країни технічної політики в галузі обслуговування та ремонту електровозів, підпорядкованої єдиній системі та враховуючи відмінності в умовах експлуатації (рис. 1.2).

Затверджена наказом від 11.06.2024 №305/Н Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування рухомого складу (локомотиви та моторвагонний рухомий склад) АТ «Укрзалізниця», структура ремонтного циклу включає такі види планово-попереджувального технічного обслуговування та ремонту залежно від пробігу та тривалості експлуатації [6].

Технічне обслуговування ТО-1 виконують локомотивні бригади під час приймання, здавання та в процесі експлуатації локомотивів відповідно до переліку робіт, що встановлюється службою локомотивного господарства.

Технічне обслуговування ТО-2 (технічний огляд) є основним видом технічного обслуговування електровоза в експлуатації. та при необхідності у невеликому обсязі ремонт ходових частин електровоза, пневматичного

обладнання, струмоприймачів та дахового високовольтного обладнання, тягових електродвигунів, допоміжних машин та основних електричних апаратів, зміну зношених гальмівних колодок, дозаправлення мастилом тягових редукторів та моторно-вісьових підшипників.

Перед та після закінчення технічного обслуговування ТО-2 відповідно до встановленого в депо порядку перевіряють дію регуляторів напруги та реле зворотного струму при працюючих генераторах управління, контролюють вихід штоків гальмівних циліндрів, подачу піску під колісні пари та роботу пневматичного обладнання відповідно до чинного наказу. Обов'язково перевіряють роботу лічильника електроенергії, а в зимовий час переконуються у справності електропечей та калориферів.

Технічне обслуговування ТО-2 поїзних електровозів проводять слюсарі високої кваліфікації у спеціально облаштованих пунктах, як правило, у критих приміщеннях, оснащених необхідним технологічним обладнанням, пристроями, інструментом та незнижуваним технологічним запасом матеріалів та запасних частин.

Майстер або бригадир, який очолює змінну бригаду слюсарів, спільно з локомотивною бригадою, що прибула, встановлює обсяг додаткових робіт, проводить особисто огляд обладнання та вузлів, що забезпечують безпеку руху, а також таких, несправність яких усунена або тільки виявлена машиністом у дорозі.

За записами машиністом усувають до 70% всіх відмов та ушкоджень, що ліквідуються при технічному обслуговуванні ТО-2.

За поданням майстра або машиніста-інструктора машиніст, винний у незадовільному технічному обслуговуванні електровоза, може бути позбавлений талону попереджень.

Технічне обслуговування ТО-2 маневрових та вивізних електровозів виконують локомотивні бригади чи слюсарі, а при керуванні локомотивом однією особою – слюсарі за участю машиніста.

Екіпірування та прибирання, як правило, поєднують з технічним обслуговуванням ТО-2 і одночасно заповнюють бункери пісочниць.

Періодичність виконання технічного обслуговування ТО-2 встановлює начальник дороги з урахуванням надійності електровозів кожної серії, режимів експлуатації, розміщення пунктів технічного обслуговування та протяжності плечей локомотивів. Однак за будь-яких умов ТО-2 виконують не рідше ніж через 48 год.

Тривалість технічного обслуговування ТО-2 вантажних електровозів проводиться за 1 год, а пасажирських електровозів – 2 год. Трудомісткість ТО-2 становить 5...10 люд.год.

Технічне обслуговування ТО-3 (профілактичний огляд) необхідне більш ретельного і глибшого проти технічним обслуговуванням ТО-2 контролю стану електровоза між поточними ремонтами. Електровоз знімають з експлуатації і ставлять в основне депо з перерахуванням в парк, що не експлуатується. Тривалість технічного обслуговування ТО-3 становить 4...6 год, а трудомісткість зростає порівняно з ТО-2 у 8...10 разів.

Технічне обслуговування ТО-4 – для оброблення бандажів та ободів суцільнокатаних колісних пар (без викочування їх з-під електровоза) з метою підтримання оптимальної величини прокату та товщини гребнів. Дозволяється об'єднувати оброблення бандажів, ободів, плазмове загартування гребнів колісних пар, прослуховування колісно-моторних (колісно-редукторних) блоків і діагностування електровозів, з виконанням ТО-2, ТО-3 та ПР-1, ПР-2.

ТО-4б (База) – призначена для заміни повного комплексу колісних пар електровозів при досягненні граничного зносу бандажів, ободів колісних пар з метою підтримання оптимальної величини прокату та товщини гребнів. Дозволяється об'єднувати заміну повного комплексу колісних пар локомотивів при досягненні граничного зносу бандажів, ободів колісних пар з виконанням ТО-3 та ПР-1, ПР-2.

Технічне обслуговування ТО-5 – виконуються при необхідності:

- 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 для КР на заводи або до інших депо, в ПР до інших локомотивних або моторвагонних депо (далі – депо) своєї чи інших регіональних філій, філій; передача на баланс інших депо або передислокація;
- ТО-5в – підготовка (розконсервація) до експлуатації після побудування, ремонту на заводах або в інших депо після пересилки;
- ТО-5г – підготовка (розконсервація) до експлуатації перед видачою локомотивів та МВРС із запасу АТ «Укрзалізниця» або РУЗ.

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

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

Поточний ремонт ПР-1 (малий періодичний ремонт) виконують з метою глибшої порівняно з ТО-3 перевірки стану всього обладнання з використанням засобів технічного діагностування або проведення ревізії. Під ревізією розуміють перевірку стану деталей, недоступних для зовнішнього огляду і потребують зняття кожухів, корпусів, кришок і картерів і часткової чи повної розбирання вузла.

Ревізії обладнання електровозів на періодичних ремонтах чергуються у певній послідовності. При кожному ремонті ПР-1 проводять ревізію автогальмівного обладнання та перевірку стану швидкостемірів та радіостанцій.

Через один поточний ремонт ПР-1 виробляють ревізію мотор-компресорів, зубчастих передач колісно-моторних блоків, струмоприймачів, поживного золотникового клапана і періодичний ремонт швидкостемірів.

Для рівномірного завантаження комплексної бригади та зменшення простою електровозів на кожному ремонті ПР-1 роблять ревізію половини перерахованих вузлів електровоза.

При ремонті ПР-1 виробляють відновлення або заміну схильних до найбільшого зносу і легко доступних деталей. У всі основні вузли електровоза додають мастило. Простий під час ремонту ПР-1 дорівнює 8...10 год, а трудомісткість зростає проти технічним обслуговуванням ТО-3 приблизно в три рази.

Поточний ремонт ПР-2 (великий періодичний ремонт) відрізняється від ПР-1 необхідністю виконання наступних додаткових робіт:

- ревізії основних та додаткових опор із підйомом кузова;
- ревізії зчленування візків або амортизаторів між візками з їх роз'єднанням;
- ревізії циліндрів вирівнювача осьових тисків електровозів ЧС2, редукторів колісних пар, буксових роликів підшипників, фрикційних апаратів автозчеплення, карданних приводів швидкостемірів, гальмівних повітророзподільників, пускових (На електровозах ЧС2) та пуско-гальмівних резисторів (на електровозах ЧС7, ЧС8 зняттям даху або відкриттям дахових люків);
- промивання акумуляторної батареї;
- перевірки регулювання захисної апаратури;
- ревізії компресорів;
- ревізії щіткотримачів тягових двигунів із зняттям з електровоза;
- перевірки міжсекційних з'єднань кіл керування;
- ревізії швидкодіючих вимикачів;
- пропарювання та подальшого промивання основних резервуарів.

Простий при ремонті ПР-2 дорівнює 8...16 діб, а трудомісткість збільшується в порівнянні з ремонтом ПР-1 в 15...20 разів.

Поточний ремонт ПР-3 (підйомний ремонт) є основним видом ремонту, що дозволяє в умовах депо відновити справність та працездатність електровоза.

При ремонті ПР-3 виконують підйомку кузова та викочування візків; зняття для ремонту з розбиранням тягових двигунів та викочування колісних пар; огляд та ремонт рам; розбирання та ремонт зчленування візків; огляд та обточування

колісних пар; ремонт буксового вузла із заміною зношених елементів; огляд та ремонт ресора підвішування з розбиранням; ремонт гальмівної передачі важеля; ревізію та ремонт ударно-зчіпних пристроїв; огляд та ремонт центральних та додаткових опор та поворотних цапф кузова; перевірку стану рами, дверей, вікон та інших частин кузова з виправленням дефектів; зовнішнє фарбування кузова та даху; фарбування кабін.

Більшість апаратів знімають з електровоза для виконання ревізії, ремонту та регулювання. Проводять регулювання захисної апаратури та реле, перевірку вимірювальних приладів, промивання акумуляторної батареї, огляд та перевірку цілісності ізоляції проводів та їх кріплення.

Перевіряють стан та проводять ремонт гальмівного та пневматичного обладнання та компресорів, огляд та промивку повітряних резервуарів або гідравлічне випробування їх відповідно до термінів, огляд, очищення та продування повітропроводів.

В обов'язковому порядку перевіряють стан і при необхідності ремонтують захисні пристрої, що забезпечують безпеку експлуатації електровоза, автоматичну локомотивну сигналізацію, автостопи, швидкостеміри і радіостанцію.

Простий електровозів при поточному ремонті ПР-3 становить 25...30 діб. Обсяг робіт при поточному ремонті ПР-3 більший у порівнянні з ремонтом ПР-2 приблизно в 6 разів.

Середній ремонт (СР) служить відновлення експлуатаційних характеристик електровозів ремонтом чи заміною лише зношених чи пошкоджених складових частин. Крім того, при середньому ремонті обов'язково перевіряють технічний стан решти складових частин з усуненням виявлених несправностей. За потреби при середньому ремонті роблять капітальний ремонт окремих основних частин.

Простий при середньому ремонті 14...16 діб, обсяг робіт більший у порівнянні з поточним ремонтом ПР-3 у 3...5 разів.

Капітальний ремонт (КР) виробляють для відновлення справності та повного або близького до повного відновлення ресурсу електровозів із заміною

або відновленням будь-яких його частин, включаючи базові, та їх регулювання. Якщо це можливо, деякі основні частини електровоза під час капітального ремонту ремонтується в обсязі середнього ремонту. Простий при капітальному ремонті 18...20 діб. Обсяг робіт більший у порівнянні з середнім ремонтом у 3...4 рази (рис. 1.3).

Пробіг до капітального ремонту відповідає 10-13 років роботи електровоза. Таким чином, при терміні служби 30...40 років електровоз у середньому двічі піддається повному оновленню разом із модернізацією окремих вузлів.

Технічне обслуговування ТО-3 та поточні ремонти всіх видів виробляють в основних локомотивних депо комплексними та спеціалізованими бригадами, а середній та капітальний ремонти електровоза виконують на електровозоремонтних заводах (з періодичністю), показаною на рисунках 3 та 4. Допускається виробництво середнього ремонту електровозів у великих, добре оснащених локомотивних депо за спеціальною вказівкою Департаменту локомотивного господарства АТ «Укрзалізниця». З метою рівномірного завантаження ремонтних цехів депо та заводів постановку електровозів на технічне обслуговування ТО-3, поточні, середній та капітальний ремонти допускається проводити з відхиленням $\pm 10\%$ від норм, встановлених наказом Голови правління АТ «Укрзалізниця».

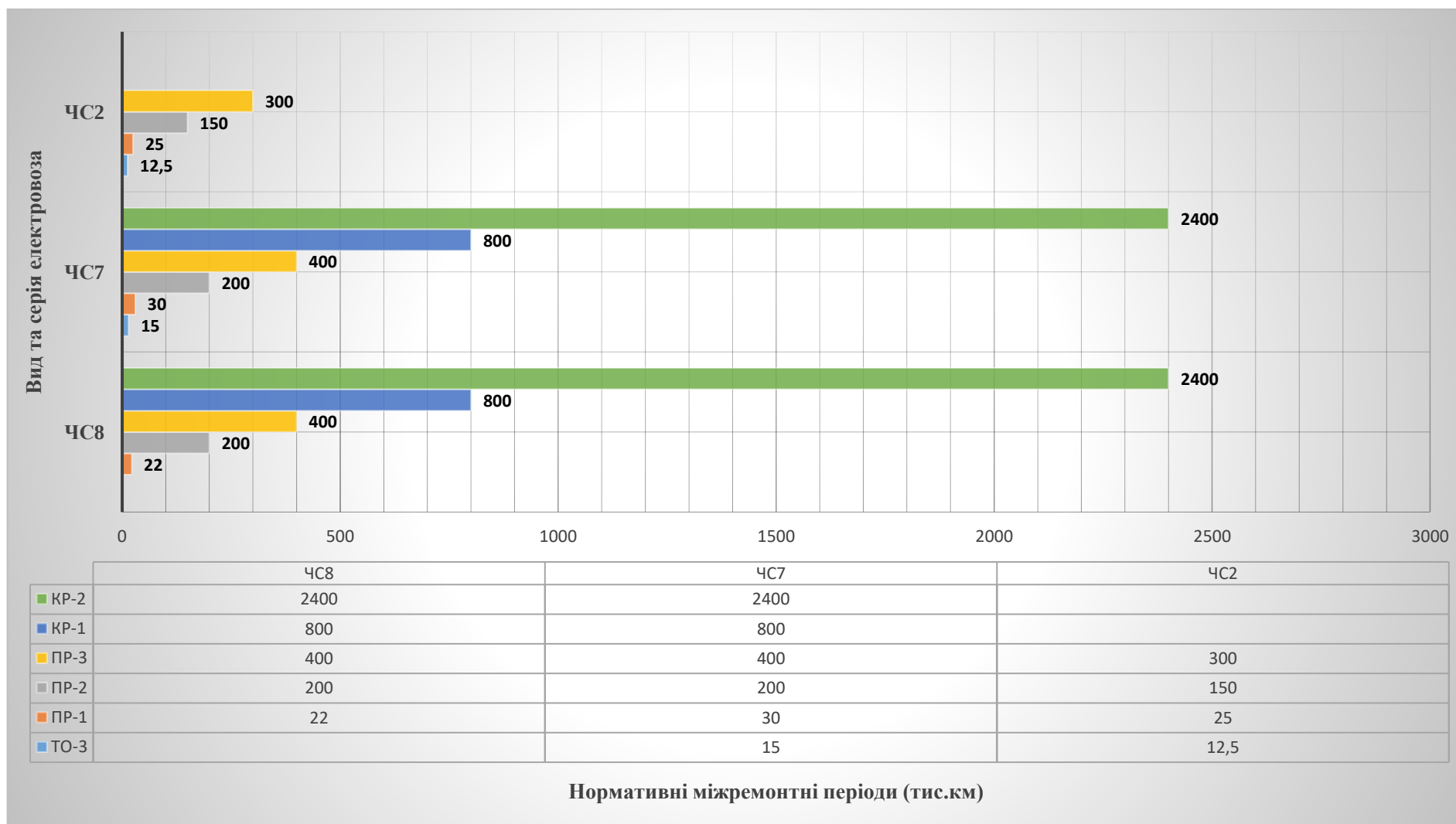


Рисунок 1.2 – Циклічність виконання технічного обслуговування та поточного ремонту електровозів серій ЧС2, ЧС7 та ЧС8 за 2024 рік

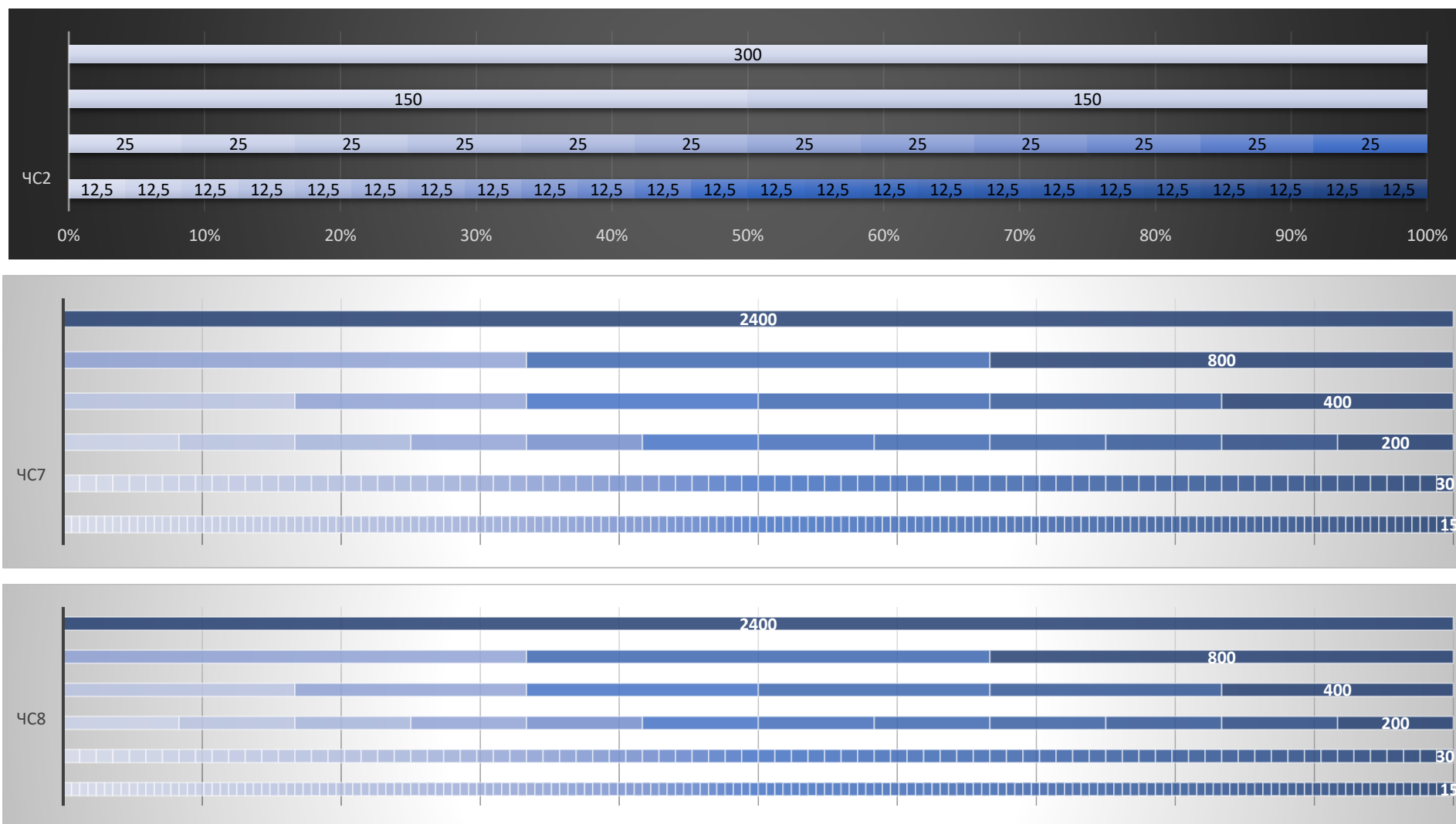


Рисунок 1.3 – Нормативні міжремонтні періоди електровозів серії
ЧС2, ЧС7 та ЧС8 в АТ «Укрзалізниця»

Істотна частина обладнання електровоза вимагає виконання технічного обслуговування та поточного ремонту поза зв'язком із пробігом локомотива, а залежно від часу його служби.

Один раз на місяць роблять поточний огляд швидкостеміра та його приводу, дешифраторів, перемикачів напрямку та підсилювачів АЛСБ та перемикачів ЕПГ.

Один раз на три місяці пристрої АЛСБ перевіряють та регулюють у більшому обсязі. Радіостанцію знімають із електровоза для перевірки. Чистять і регулюють антену та перевіряють стан антенно-узгоджувального пристрою. Манометри та запобіжні клапани знімають з електровоза для перевірки та регулювання. Виробляють технічну ревізію букс колісних пар.

Один раз на чотири місяці виробляють ревізію гальмівних циліндрів. Один раз на шість місяців виробляють ревізію та ремонт усіх пристроїв АЛСБ.

Раз на рік замінюють усі повітряні рукави. Усі електричні вимірювальні прилади та велитовий розрядник знімають з електровоза для перевірки та планового ремонту. Один раз на два роки знімають для перевірки додаткові резистори до електричних вимірювальних приладів.

Зазвичай виконання цих робіт приурочують до відповідних з пробігів видів технічного обслуговування чи ремонту.

Проведення ряду робіт з технічного обслуговування та ремонту електровоза визначається зміною умов експлуатації залежно від пори року. До настання похолодання та снігопадів у депо починають готувати електровози до зими з таким розрахунком, щоб закінчити підготовку до 15 жовтня на залізницях. Осінній комісійний огляд електровозів проводять зазвичай з 1 вересня до 10 жовтня, а весняний з 1 квітня до 10 травня, який зображений на рисунку 1.4 та 1.5.

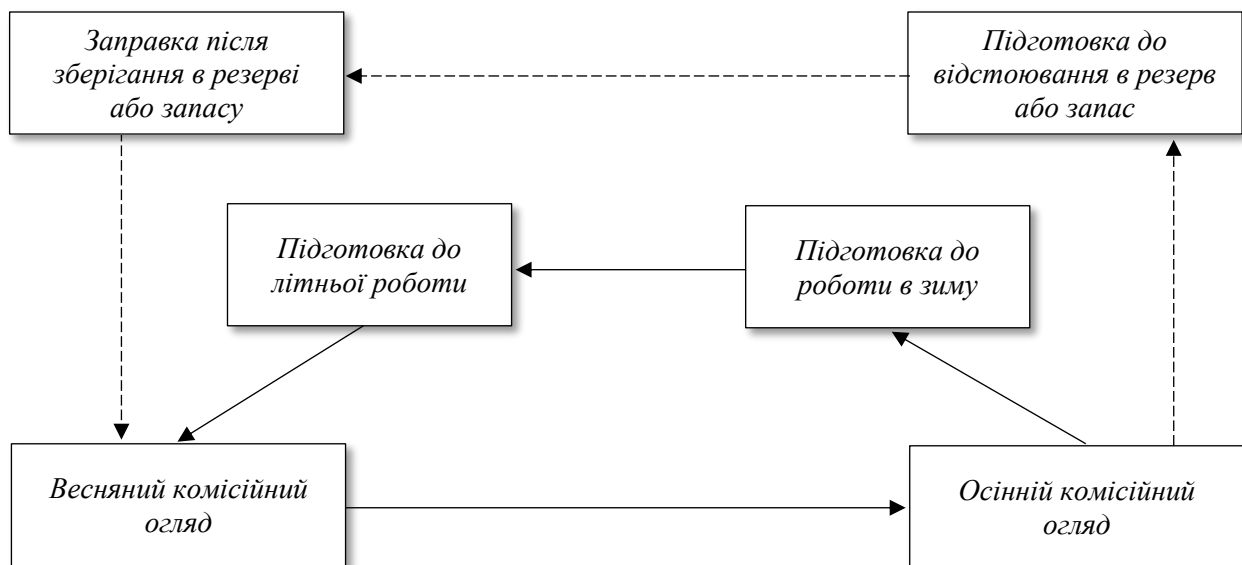


Рисунок 1.4 – Цикл робіт, виконуваних в залежності від пори року



Рисунок 1.5 – Виконання осіннього комісійного огляду електровоза ЧС7 в Електровозному депо Харків-Головне

1.2 Моніторинг та статистичний аналіз ремонту електровозів за типом і видом обслуговування та ремонту

Сучасні умови розвитку та становлення ремонтної бази вимагають поєднання статистичної методології та практичної роботи. Зміни у підходах до визначення системи ремонтних показників та їх статистичного аналізу зумовлені запровадженням стандартів обліку та статистики. Зростає значення моніторингу як систематичного спостереження за станом ремонту електровозів. Комплексна та достовірна статистична інформація дозволить своєчасно виявити основні тенденції формування та використання ремонтних ресурсів депо, причини змін, що відбулися, сильні та слабкі сторони діяльності та резерви оптимізації якісного стану в майбутньому [14]. Нові повороти в розвитку сучасного суспільства позначаються на вдосконаленні статистичної методології. Багато аспектів моніторингу ремонту є відкритими для дискусій.

Сьогодні необхідні подальші дослідження та обґрунтування процесів моніторингу, які базуються на статистиці (табл. 1.1).

Моніторинг стану електровозів охоплює збір, обробку та аналіз даних, що характеризують експлуатаційні параметри і технічний стан обладнання:

- 1) Виявлення несправностей: Система моніторингу дозволяє оперативно визначати несправності в роботі окремих систем і агрегатів електровозів, зокрема двигунів, систем гальмування, електроніки та інших вузлів.
- 2) Контроль показників зносу: Завдяки моніторингу можна виявляти ступінь зносу необхідних компонентів, щоб заздалегідь планувати необхідні роботи для їхньої заміни чи ремонту.
- 3) Планування технічного обслуговування: Дані моніторингу дозволяють оптимізувати графіки технічного обслуговування і ремонту, що підвищує ефективність використання ресурсів і знижує ймовірність аварій.

Таблиця 1.1 – Виконання програми ремонтів по Електровозному депо Харків-Головне помісячно за 2024 рік

№ з/п	Вид ремонту	Депо приписки	Серія електровозу	№ електровозу	Дата постановки	Час постановки	Дата виходу з ремонту	Час виходу з ремонту
Січень 2024 року								
1	ПР-3	ТЧ-1 Київ-Пасажирський	ЧС8	032	16.01.2024	08:00	29.01.2024	19:30
2	ТО-6	ТЧ-1 Київ-Пасажирський	ЧС8	032	29.01.2024	19:30	31.01.2024	8:50
3	ПР-2	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	189	08.01.2024	8:00	11.01.2024	17:00
4	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	185	25.01.2024	8:00	26.01.2024	7:50
5	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	609	30.01.2024	8:10	31.01.2024	8:00
6	ПР-2	ТЧ-1 Львів-Захід	ЧС2	581	29.01.2024	20:01	31.01.2024	10:00
7	ТО-4	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	189	04.01.2024	8:00	05.01.2024	0:00
8	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	121	10.01.2024	8:00	10.01.2024	19:50
9	ТО-6	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	189	11.01.2024	17:00	12.01.2024	19:50
10	ТО-6	ТЧ-1 Львів-Захід	ЧС2	581	31.01.2024	10:00	31.01.2024	16:00
	ТО-2		ЧС2	43				
			ЧС7	79				
	Всього:		122					
Лютий 2024 року								
11	ПР-3	ТЧ-8 Дніпро	ЧС7	291	14.02.2024	8:00	28.02.2024	10:45
12	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	124	26.02.2024	8:00	27.02.2024	7:45
13	ПР-2	ТЧ-8 Дніпро	ЧС7	211	26.02.2024	8:00	29.02.2024	13:00
14	ПР-2	ТЧ-8 Дніпро	ЧС2	426	26.02.2024	8:00	28.02.2024	7:45
15	ТО-5г	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	130	01.02.2024	7:00	02.02.2024	14:50
16	ТО-5г	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	129	12.02.2024	8:00	13.02.2024	14:50
17	ТО-5г	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	578	12.02.2024	14:50	13.02.2024	22:50
18	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	186	14.02.2024	8:00	14.02.2024	19:50
	ТО-2		ЧС2	52				
			ЧС7	72				
	Всього:		124					

Продовження таблиці 1.1

№ з/п	Вид ремонту	Депо приписки	Серія електровозу	№ електровозу	Дата постановки	Час постановки	Дата виходу з ремонту	Час виходу з ремонту
Березень 2024 року								
19	ПР-2	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	165	18.03.2024	8:00	21.03.2024	15:00
20	ПР-3	ТЧ-1 Київ-Пасажирський	ЧС8	028	26.03.2024	8:00	08.04.2024	7:45
21	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	121	27.03.2024	7:00	28.03.2024	6:30
22	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	134	08.03.2024	8:00	08.03.2024	19:00
23	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	645	13.03.2024	8:00	13.03.2024	19:50
24	ТО-6	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	165	21.03.2024	15:00	22.03.2024	19:50
25	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	132	28.03.2024	8:00	28.03.2024	19:50
	ТО-2		ЧС2	52				
			ЧС7	72				
	Всього:			124				
Квітень 2024 року								
26	ПР-2	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	707	08.04.2024	12:00	10.04.2024	11:45
27	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	129	24.04.2024	9:00	25.04.2024	8:50
28	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	130	25.04.2024	9:00	26.04.2024	8:45
29	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	189	05.04.2024	8:00	05.04.2024	19:50
30	ТО-4	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	165	06.04.2024	9:00	07.04.2024	1:00
31	ТО-6	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	707	10.04.2024	11:45	11.04.2024	11:30
32	ТО-5А	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	645	12.04.2024	8:00	12.04.2024	14:00
33	ТО-5А	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	609	17.04.2024	9:00	19.04.2024	15:00
34	ТО-5Г	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	609	19.04.2024	6:00	19.04.2024	11:30
35	ТО-4	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	129	25.04.2024	8:50	25.04.2024	12:50
36	ТО-4	ТЧ-8 Дніпро	ЧС7	298	24.04.2024	10:00	24.04.2024	20:00
37	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	629	24.04.2024	10:10	24.04.2024	20:10
38	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	185	30.04.2024	8:00	30.04.2024	19:45
	ТО-2		ЧС2	43				
			ЧС7	60				
	Всього:			103				

Продовження таблиці 1.1

№ з/п	Вид ремонту	Депо приписки	Серія електровозу	№ електровозу	Дата постановки	Час постановки	Дата виходу з ремонту	Час виходу з ремонту
Травень 2024 року								
39	ПР-3	ТЧ-8 Дніпро	ЧС7	117	15.05.2024	8:00	29.05.2024	7:45
40	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	186	02.05.2024	8:00	03.05.2024	7:40
41	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	112	07.05.2024	8:30	08.05.2024	8:10
42	ПР-2	ТЧ-8 Дніпро	ЧС2	439	16.05.2024	8:00	20.05.2024	7:50
43	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	131	14.05.2024	8:00	15.05.2024	7:50
44	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	134	15.05.2024	12:00	16.05.2024	11:50
45	ПР-2	ТЧ-8 Дніпро	ЧС7	171	28.05.2024	8:00	31.05.2024	12:50
46	ТО-5Г	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	131	01.05.2024	8:00	02.05.2024	15:50
47	ТО-5Г	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	645	08.05.2024	8:00	09.05.2024	15:40
48	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	124	13.05.2024	8:00	13.05.2024	19:40
49	ТО-5Г	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	170	15.05.2024	8:00	16.05.2024	15:50
50	ТО-6	ТЧ-8 Дніпро	ЧС2	439	20.05.2024	7:50	21.05.2024	7:40
51	ТО-6	ТЧ-8 Дніпро	ЧС7	117	29.05.2024	7:45	31.05.2024	7:45
52	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	121	23.05.2024	8:00	23.05.2024	19:50
53	ТО-4	ТЧ-8 Дніпро	ЧС7	172	30.05.2024	8:00	30.05.2024	16:00
54	ТО-5А	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	609	31.05.2024	8:00	31.05.2024	14:00
	ТО-2		ЧС2	39				
			ЧС7	64				
	Всього:			103				
Червень 2024 року								
55	ПР-3	ТЧ-1 Київ-Пасажирський	ЧС8	003	11.06.2024	9:00	24.06.2024	8:45
56	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	132	06.06.2024	8:00	07.06.2024	7:40
58	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	189	12.06.2024	8:00	13.06.2024	7:40
58	ПР-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	103	13.06.2024	9:00	27.06.2024	8:40
59	ПР-2	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	609	26.06.2024	9:15	27.06.2024	20:50
60	ТО-5Г	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	103	11.06.2024	8:00	12.06.2024	16:00
61	ТО-6	ТЧ-1 Київ-Пасажирський	ЧС8	003	24.06.2024	8:45	25.06.2024	12:50

Продовження таблиці 1.1

№ з/п	Вид ремонту	Депо приписки	Серія електровозу	№ електровозу	Дата постановки	Час постановки	Дата виходу з ремонту	Час виходу з ремонту
62	ТО-6	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	103	27.06.2024	8:40	28.06.2024	20:50
63	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	165	17.06.2024	8:10	17.06.2024	19:30
64	ТО-5Г	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	609	19.06.2024	9:00	20.06.2024	16:50
	ТО-2		ЧС2	32				
			ЧС7	67				
	Всього:			99				
Липень 2024 року								
65	ПР-3,ТО-6	ТЧ-1 Київ-Пасажирський	ЧС8	026	15.07.2024	11:00	30.07.2024	12:50
66	ПР-2,ТО-6	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	641	15.07.2024	12:00	17.07.2024	23:00
67	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	629	18.07.2024	8:00	19.07.2024	19:00
68	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	129	11.07.2024	8:01	11.07.2024	19:40
69	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	130	11.07.2024	8:01	11.07.2024	19:50
70	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	165	25.07.2024	9:05	26.07.2024	19:50
71	ПР-3	ТЧ-8 Дніпро	ЧС7	310	24.07.2024	11:00	09.08.2024	18:50
	ТО-2		ЧС2	40				
			ЧС7	69				
	Всього:			109				
Серпень 2024 року								
72	ПР-3	ТЧ-8 Дніпро	ЧС7	310	24.07.2024	11:00	09.08.2024	18.50
73	ПР-2	ТЧ-8 Дніпро	ЧС7	293	19.08.2024	10:00	23.08.2024	08:30
74	Позап.рем.	ТЧ-8 Дніпро	ЧС7	287	07.08.2024	00:45	05.09.2024	17:00
75	ТО-5А	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	131	14.08.2024	10:00	14.08.2024	15.45
76	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	170	09.08.2024	9:00	09.08.2024	20.45
77	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	186	26.08.2024	9:00	26.08.2024	20:40
78	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	185	28.08.2024	9:00	29.08.2024	20:40
79	ПР-3,ТО-6	ТЧ-1 Київ-Пасажирський	ЧС8	020	26.08.2024	9:00	Очікув. ПР-3	-

Продовження таблиці 1.1

№ з/п	Вид ремонту	Депо приписки	Серія електровозу	№ електровозу	Дата постановки	Час постановки	Дата виходу з ремонту	Час виходу з ремонту
	ТО-2		ЧС2	40				
			ЧС7	67				
	Всього:		107					
Вересень 2024 року								
80	Позап.рем.	ТЧ-8 Дніпро	ЧС7	287	07.08.2024	0:45	05.09.2024	17:00
81	ПР-3	ТЧ-1 Київ-Пасажирський	ЧС8	020	10.09.2024	10:00	24.09.2024	9:00
82	ТО-6	ТЧ-1 Київ-Пасажирський	ЧС8	020	24.09.2024	9:00	26.09.2024	9:00
83	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	121	26.09.2024	4:35	26.09.2024	16:15
84	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	130	27.09.2024	9:05	28.09.2024	20:50
	ТО-2		ЧС2	37				
			ЧС7	67				
	Всього:		104					
Жовтень 2024 року								
85	ТО-5А	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	629	02.10.2024	8:00	02.10.2024	14.00
86	ТО-4	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	185	03.10.2024	4:35	03.10.2024	17.50
87	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	132	11.10.2024	9:15	11.10.2024	20.50
88	ТО-5Г	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	629	14.10.2024	23:00	16.10.2024	07.00
89	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	112	14.10.2024	8:00	15.10.2024	20.00
90	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	165	15.10.2024	8:40	16.10.2024	07.00
91	ТО-4	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	112	16.10.2024	9:10	17.10.2024	00.50
92	ПР-1	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	170	17.10.2024	9:15	18.10.2024	20.50
93	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	629	18.10.2024	9:00	18.10.2024	20.40
94	ТО-3	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС7	189	22.10.2024	9:10	22.10.2024	20.50
95	ПР-2	ТЧ-8 Дніпро	ЧС7	215	21.10.2024	0:00	25.10.2024	19.50
96	ТО-3, ТО-6	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	578	28.10.2024	9:10	29.10.2024	20.40
97	ПР-3	ТЧ-1 Київ-Пасажирський	ЧС8	011	23.10.2024	9:00	08.11.2024	08:55

Продовження таблиці 1.1

№ з/п	Вид ремонту	Депо приписки	Серія електровозу	№ електровозу	Дата постановки	Час постановки	Дата виходу з ремонту	Час виходу з ремонту
	ТО-2		ЧС2	36				
			ЧС7	78				
	Всього:							
Листопад 2024 року								
98	ПР-3	ТЧ-1 Київ-Пасажирський	ЧС8	011	23.10.2024	9:00	06.11.2024	8:20
99	ТО-6	ТЧ-1 Київ-Пасажирський	ЧС8	011	06.11.2024	8:20	08.11.2024	8:20
100	ТО-5Г	ТЧ-2 Харків-Головне	ЧС2	460	13.11.2024	11:00	14.11.2024	18:55
	ТО-2		ЧС2	-				
			ЧС7	-				
	Всього:			-				

1.2.1 Виробничі цеха та відділення по ремонту обладнання

Цех ремонту в депо забезпечує технічну справність і надійність тягового рухомого складу. Його основними функціями є виконання різних видів ремонтів, дефектацією, технічне обслуговування, відновлення деталей та контроль якості. Значення цеху ремонту полягає в підвищенні надійності тягового рухомого складу, подовженні їх терміну служби, забезпеченні безперервності руху поїздів, економії коштів та підвищенні ефективності роботи депо. Цех ремонту депо виконують переважно поточні види ремонтів: ПР-2, ПР-3 однієї чи кількох «споріднених» серій рухомого складу, ПР-1 – малий періодичний ремонт, ТО-3 і ТО-4 приписних до депо. Щоб був забезпечений налагоджений процес виконання ремонту була організована ланка підпорядкування та розподілення зобов'язань дільниць та відділень цеху ремонту. Ланка дільниць та відділень цеху ремонту зображена на рисунку 1.6.

Головний технолог виконує контроль за процесами виконання ремонтів згідно технологічних карт. Фіксація та збір інформації з усіх ремонтних ділянок. Додатково розроблює та удосконалює нові методи ремонту, модернізацію діючого обладнання електровозів. Технолог несе відповідальність за організацію та контроль технічного обслуговування і ремонту залізничного рухомого складу. Він координує діяльність виробничих підрозділів, забезпечуючи дотримання технічних норм і стандартів. Задачею головного технолога також є впровадження нових технологій і методів, що підвищують ефективність і якість ремонтних робіт. Він аналізує технічний стан обладнання, розробляє плани профілактичного обслуговування і модернізації. Крім того, головний технолог відповідає за навчання і підвищення кваліфікації персоналу, а також за дотримання вимог охорони праці і техніки безпеки

В задачі дільниці Контрольно-вимірювальних приладів входять періодичні перевірки та діагностику вимірювальних приладів електровоза, включаючи оцінку роботи електродинамічного гальма, системи роботи кіл



Рисунок 1.6 – Ланка роботи цеху ремонту Електровозного депо Харків-Головне

керування електровоза. Крім того, дільниця відповідає за обладнання керування електропневматичним гальмом та роботою приладів АЛС, швидкостемірів, ЕПК-150. Дільниця Контрольно-вимірювальних приладів виконує важливу роль у забезпеченні точності та надійності роботи залізничного обладнання. Цей підрозділ займається технічним обслуговуванням, калібруванням та ремонтом контрольно-вимірювальних приладів, що використовуються у різних системах та механізмах рухомого складу. Співробітники дільниці проводять регулярні перевірки та тестування приладів, щоб забезпечити їх коректне функціонування та відповідність вимогам стандартів безпеки. Крім того, дільниця відповідає за впровадження нових технологій і методів контролю, що допомагають підвищити ефективність та точність вимірювань. Це включає оновлення обладнання та програмного забезпечення, а також навчання персоналу для роботи з сучасними системами контролю та вимірювання.

Автогальмівна дільниця (рис. 1.7) виконує роботи з обслуговування та ремонту автогальмівного обладнання на всіх видах ТО, ПР. Автогальмівна дільниця займається обслуговуванням, ремонтом та калібруванням гальмівних систем та його обладнання. Її співробітники проводять регулярні перевірки та діагностику гальмівних механізмів, щоб забезпечити їх надійність та ефективність. Дільниця відповідає за заміну зношених або пошкоджених компонентів гальмівних систем, а також за модернізацію обладнання для підвищення безпеки та ефективності гальмування. Крім того, фахівці дільниці займаються впровадженням нових технологій та методик, що дозволяють покращити процеси технічного обслуговування та ремонту гальмівних систем.

Інструментально-кузовна дільниця здійснює ремонт та зберігання інструментів та пристроїв, що застосовуються при ремонті, а також призначений для ремонту всередині кузовного обладнання: крісла, електропневматичні вентиля, розподільчі крани і тд. Дільниця займається обслуговуванням, ремонтом та виготовленням інструментів та кузовних деталей. Її працівники проводять ремонт кузовів електровозів, виконуючи зварювальні, рихтувальні та фарбувальні роботи. Дільниця відповідає за

виготовлення та відновлення спеціалізованих інструментів, необхідних для проведення технічного обслуговування і ремонту залізничного обладнання. Крім того, фахівці інструментально-кузовної дільниці займаються модернізацією існуючих інструментів і впровадженням нових технологій для підвищення якості та ефективності робіт.



Рисунок 1.7 – Загальний вигляд Автогальмівної дільниці

У Електроапаратній дільниці роблять ремонт контакторів, реверсорів, контролерів машиніста, регуляторів напруги, реле, електропневматичних вентилів, панелей резисторів. Для цього у відділенні є стенди для випробування електричної ізоляції апаратів, регулювання та випробування електричних апаратів та системи регулювання для випробування регулятора напруги. Електроапаратна дільниця спеціалізується на обслуговуванні, ремонті та технічному обслуговуванні електрообладнання. Її працівники займаються перевіркою, діагностикою та ремонтом електричних апаратів, систем керування та сигналізації, що забезпечують безперебійну роботу рухомого складу. Вони

також здійснюють заміну зношених або пошкоджених компонентів електрообладнання, проводять профілактичні огляди та тестування для забезпечення високої надійності роботи систем. Крім того, електроапаратна дільниця впроваджує новітні технології та інновації, що допомагають покращити ефективність і безпеку залізничного транспорту.

Вимірювальна лабораторія виконує аналіз та контроль властивостей лаків та фарб, мастил та палива, різних гальванічних, травильних, мийних, охолоджувальних складів. Лабораторія депо виконує важливу роль у забезпеченні якості та безпеки матеріалів і рідин, що використовуються у залізничному транспорті. Її фахівці проводять аналізи і тестування пального, мастильних матеріалів, охолоджуючих рідин та інших хімічних речовин, щоб переконатися у їх відповідності встановленим стандартам і нормам. Лабораторія також здійснює контроль якості води, що використовується у системах охолодження і очищення локомотивів. Крім того, хіміко-технічна лабораторія бере участь у розробці нових матеріалів і технологій, що сприяють підвищенню ефективності та надійності залізничного транспорту. Завдяки своїм дослідженням і тестуванням, лабораторія допомагає запобігти можливим технічним збоям і аваріям, забезпечуючи безпечну і стабільну роботу залізничних систем.

На Заготівельній дільниці проводиться ремонт, відновлення, виготовлення окремих вузлів та деталей електровоза відповідно до технічних умов та вимог з використанням токарних, фрезерних, свердлильних, шліфувальних, стругальних верстатів, а також необхідне пресове, ковальське обладнання. Дільниця депо виконує важливу роль у підготовці матеріалів та комплектуючих для ремонту і обслуговування рухомого складу. Її працівники займаються закупівлею та зберіганням необхідних запасних частин, матеріалів та інструментів, що використовуються в ремонтних роботах. Дільниця забезпечує своєчасне постачання виробничих підрозділів депо всім необхідним, контролюючи наявність запасів та їхній стан. Крім того, працівники заготівельної дільниці беруть участь у плануванні потреб у матеріалах,

враховуючи обсяги та графіки ремонтних робіт, що дозволяє оптимізувати процеси закупівель та забезпечити безперервність виробництва. Завдяки їхній роботі, депо може ефективно здійснювати технічне обслуговування і ремонт залізничного транспорту, підвищуючи його надійність та безпеку.

Електромашинна дільниця здійснює всі види ремонту тягових електродвигунів, їх складання та випробування, повний цикл ремонту та випробування допоміжних машин, у тому числі повний огляд із заміною елементів. Фахівці цього підрозділу займаються діагностикою, налаштуванням та відновленням працездатності електричних двигунів, генераторів, трансформаторів та інших електромашин. Вони проводять профілактичні огляди, заміну зношених або пошкоджених деталей, а також модернізацію обладнання для підвищення його ефективності та надійності. Крім того, електромашинна депо впроваджує новітні технології та методи обслуговування, що сприяють покращенню безпеки та продуктивності залізничного транспорту. Завдяки їхній роботі, забезпечується безперебійна та ефективна експлуатація залізничного обладнання.

Надалі, для визначення причин зниження наданої послуги з ремонту, можна використати причинно-наслідкову діаграму Ісікави на прикладі Електровозного депо Харків-Головне.

Діаграма Ісікави, або «Риб'яча кістка», є інструментом для аналізу основних причин певної проблеми. У випадку електровозного депо, яке займається ремонтом електровозів, головною проблемою, що потребує розгляду, є зниження якості технічного обслуговування та ремонту. Для цього аналізуються ключові фактори, що впливають на якість роботи підприємства: персонал, методи, обладнання, матеріали, середовище та організація (рис. 1.8).

Одним із важливих чинників є персонал. У сучасних умовах електровозне депо стикається з нестачею кваліфікованих спеціалістів, які можуть відповідати вимогам до виконання складних ремонтних і діагностичних операцій. Основними причинами цього є низька заробітна плата, що робить роботу в депо малопривабливою, та міграція кадрів за кордон у пошуках кращих умов праці.

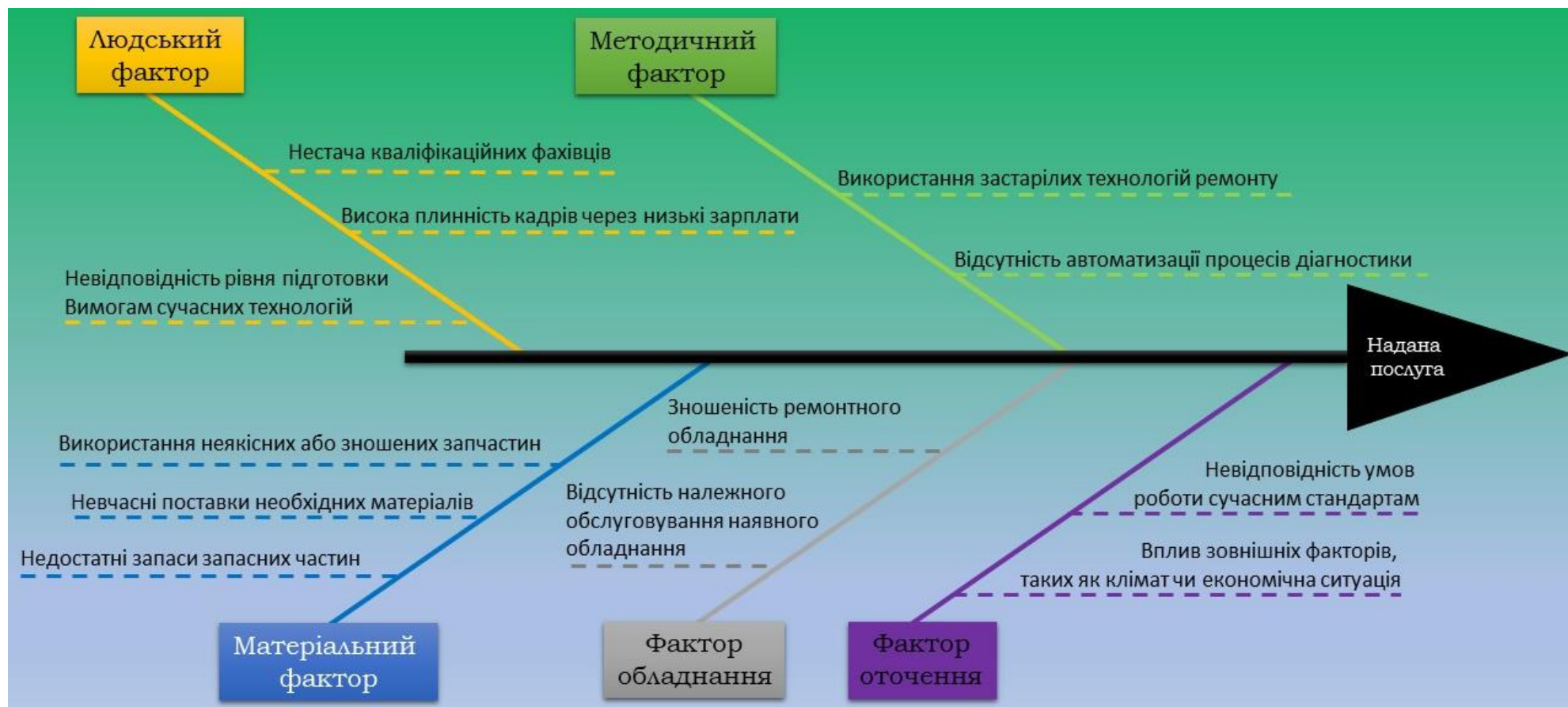


Рисунок 1.8 – Причинно-наслідкова діаграма Ісікави з розподілом причин щодо надання послуг з ремонту

Крім того, існує проблема недостатньої підготовки працівників, оскільки навчальні програми часто не встигають за розвитком сучасних технологій, що ускладнює адаптацію до новітнього обладнання й методів діагностики. Плинність кадрів і відсутність мотивації для збереження спеціалістів на робочих місцях також негативно впливають на якість послуг, що надаються.

Наступним чинником є методи, які використовуються у технічному обслуговуванні та ремонті. Основна проблема полягає у використанні застарілих технологій, що залишилися ще з минулих десятиліть. Відсутність автоматизації процесів діагностики призводить до того, що багато операцій виконується вручну, що збільшує ймовірність людських помилок. Планово-попереджувальна система ремонту хоч і застосовується, але не завжди ефективно через неврахування індивідуальних особливостей роботи кожного електровоза. У сучасних умовах необхідно запроваджувати інтелектуальні системи діагностики, які дозволяють прогнозувати несправності та оптимізувати графіки технічного обслуговування.

Обладнання, яке використовується в депо, також є ключовим фактором, що впливає на якість ремонту. Значна частина ремонтного обладнання є застарілою і потребує заміни або модернізації. Відсутність сучасних засобів діагностики значно обмежує можливості оперативного виявлення несправностей. Більше того, навіть наявне обладнання не завжди обслуговується належним чином через брак коштів і кваліфікованих фахівців. Це призводить до частих простоїв і зниження продуктивності роботи депо. Застаріла матеріально-технічна база є однією з основних причин, чому депо не може забезпечити відповідну якість послуг у сучасних умовах.

Матеріали, які використовуються під час ремонту, також відіграють важливу роль. Часто запчастини, які застосовуються, є низької якості або мають значний знос через їх повторне використання. Це обумовлено проблемами із постачанням, зокрема затримками або відсутністю необхідних компонентів. Недостатні запаси запасних частин у депо ще більше ускладнюють процес ремонту, адже в разі потреби термінового усунення несправності можуть виникати тривалі простої через очікування постачання. Забезпечення якісними

матеріалами є критично важливим для підвищення ефективності та якості ремонту.

Середовище, у якому здійснюється робота депо, також має вплив на результат. Умови роботи часто не відповідають сучасним стандартам, що може негативно позначатися як на працівниках, так і на обладнанні. Погане освітлення, неналежна вентиляція або опалення приміщень можуть знижувати продуктивність праці персоналу та сприяти швидшому зносу інструментів і техніки. Умови зберігання запасних частин і матеріалів також залишають бажати кращого, що може призводити до їх пошкодження або псування. Крім того, зовнішні фактори, такі як економічна ситуація або кліматичні умови, також впливають на роботу депо, обмежуючи доступ до сучасного обладнання чи ресурсів.

Організація роботи депо є ще одним важливим фактором. Відсутність інтегрованих систем контролю якості робить процес ремонту менш прозорим і контрольованим, що підвищує ризик помилок. Недостатня координація між різними підрозділами депо може призводити до неефективного використання ресурсів і часу. Крім того, обмежене фінансування часто змушує керівництво депо шукати компроміси між якістю виконуваних робіт і доступними ресурсами, що, в кінцевому рахунку, позначається на результаті.

Таким чином, аналіз причин зниження якості технічного обслуговування та ремонту електровозів у депо дозволяє виявити кілька основних напрямків для вдосконалення. Це включає підвищення кваліфікації персоналу, впровадження сучасних методів діагностики й ремонту, модернізацію обладнання, забезпечення якісними матеріалами, поліпшення умов роботи та зберігання, а також оптимізацію організації виробничих процесів. Запровадження інноваційних підходів і технологій, таких як штучний інтелект і автоматизовані системи моніторингу, дозволить значно підвищити ефективність роботи депо та якість послуг, що надаються. Лише комплексний підхід до вирішення проблеми може забезпечити довгостроковий успіх і стійкий розвиток підприємства.

1.3 Основні проблеми та виклики якості в обслуговуванні та ремонті тягового рухомого складу

Однією з основних проблем є недостатній рівень технічного обслуговування через обмежений бюджет або недостатню кількість кваліфікованих фахівців. Це може призводити до частіших поломок і зниження надійності тягового рухомого складу. Недостатній рівень технічного обслуговування є однією з основних проблем у обслуговуванні та ремонті тягового рухомого складу. Ця проблема виникає через кілька факторів, таких як обмежений бюджет, недостатня кількість кваліфікованих фахівців та низький рівень організації робіт. Через обмежений бюджет депо не завжди може забезпечити своєчасне придбання необхідних запасних частин, матеріалів та обладнання, що призводить до затримок у проведенні технічного обслуговування. Крім того, брак кваліфікованих фахівців ускладнює виконання робіт на високому рівні, що може спричинити помилки та зниження якості технічного обслуговування. Відсутність належної організації робіт і координації між підрозділами депо також призводить до неефективного використання ресурсів і часу, що ускладнює планування та виконання ремонтних робіт. Усе це разом сприяє тому, що тяговий рухомий склад не отримує належного технічного обслуговування, що, у свою чергу, знижує його надійність та експлуатаційну готовність. Для вирішення цієї проблеми необхідно забезпечити адекватне фінансування, підвищити рівень кваліфікації персоналу та поліпшити організацію робіт у депо. Це дозволить покращити якість технічного обслуговування та підвищити надійність тягового рухомого складу.

Велика частина тягового рухомого складу складається з машин, які експлуатуються протягом тривалого часу. Старіння обладнання викликає підвищені витрати на ремонт і обслуговування, а також частіші збої в роботі. Старіння обладнання є важливою проблемою в обслуговуванні та ремонті тягового рухомого складу. Велика частина парку тягового рухомого складу складається з машин, що експлуатуються протягом тривалого часу. Це означає,

що обладнання часто виходить за межі свого експлуатаційного терміну, потребуючи більш частих і складних ремонтів. Старіння обладнання веде до підвищених витрат на обслуговування, оскільки потребує заміни або відновлення зношених компонентів, які можуть бути вже не доступні на ринку або коштувати значних грошей. Старі машини часто мають конструктивні особливості, які не дозволяють використовувати сучасні методи діагностики та ремонту. Це ускладнює процес технічного обслуговування, оскільки потрібно застосовувати застарілі технології та методики, що займає більше часу і зусиль. Проблема, пов'язана зі старінням обладнання, полягає в підвищеній ймовірності відмов і несправностей. Це може призводити до незапланованих простоїв рухомого складу, що негативно впливає на ефективну та якісну роботу залізничного транспорту та може спричинити значні фінансові втрати. Для вирішення цієї проблеми необхідно здійснювати планову модернізацію тягового рухомого складу, оновлюючи його до сучасних стандартів. Важливо також інвестувати у нові технології та обладнання, які дозволять підвищити надійність і зменшити витрати на технічне обслуговування. Постійний моніторинг стану обладнання та своєчасне проведення профілактичних ремонтів також сприятимуть зменшенню впливу старіння на ефективність, якість та безпеку рухомого складу.

Недосконалість методів діагностики. Існуючі методи діагностики можуть бути застарілими або недостатньо точними, що ускладнює виявлення проблем на ранніх стадіях [24]. Це призводить до того, що багато поломок виявляються тільки після виникнення серйозних несправностей. Недосконалість методів діагностики є ще однією значущою проблемою у обслуговуванні та ремонті тягового рухомого складу. Сучасні методи діагностики часто не відповідають вимогам точності та ефективності, які потрібні для своєчасного виявлення несправностей. Існуючі методи можуть бути застарілими, не здатними повністю виявити та оцінити стан різних компонентів рухомого складу, що ускладнює процес їхнього обслуговування та ремонту. Сучасні технології дозволяють використовувати більш точні та швидкі методи діагностики, такі як ультразвукова діагностика, термографія, вібраційний аналіз тощо. Проте, впровадження цих технологій

потребує значних інвестицій у нове обладнання та навчання персоналу. Недосконалість методів діагностики також може бути пов'язана з недостатньою автоматизацією та інтеграцією систем діагностики в загальний процес управління технічним обслуговуванням. Наслідком недосконалих методів діагностики є те, що багато несправностей виявляються вже на стадії, коли ремонт стає складним і дорогим. Це призводить до збільшення витрат на технічне обслуговування та зниження надійності рухомого складу. Щоб вирішити цю проблему, необхідно впроваджувати сучасні методи діагностики, які дозволяють виявляти несправності на ранніх стадіях та здійснювати профілактичні заходи для їхнього запобігання. Це включає у себе використання передових технологій, підвищення кваліфікації персоналу та створення інтегрованих систем діагностики і управління технічним обслуговуванням. Завдяки цим заходам можна значно підвищити якість діагностики, зменшити витрати на ремонт та підвищити надійність тягового рухомого складу.

Погана координація між дільницями. Недостатня координація між різними дільницями, що займаються обслуговуванням та ремонтом, може викликати затримки і помилки в процесі робіт. Відсутність чіткої системи управління та моніторингу робіт також може негативно вплинути на якість обслуговування. Координація між дільницями є серйозною проблемою в обслуговуванні та ремонті тягового рухомого складу. Недостатня координація між різними дільницями, що займаються обслуговуванням та ремонтом, може спричинити затримки, непорозуміння та помилки в процесі виконання робіт. Відсутність ефективної комунікації між дільницями часто призводить до того, що інформація про необхідні ремонти та технічне обслуговування не передається вчасно або передається некоректно. Це може мати серйозні наслідки, оскільки без належної координації деякі завдання можуть бути виконані неналежним чином або взагалі залишені без уваги. Наприклад, відсутність злагодженої роботи між ходовиками, електриками та вимірювальними дільницями може призвести до неповного або нерозгорнутого ремонту, що знижує ефективність та якість роботи тягового рухомого складу та підвищує ризик аварійних ситуацій. Також, погана

координація може вплинути на планування робіт, що в свою чергу ускладнює розподіл ресурсів, таких як запасні частини, інструменти та обладнання. Це часто призводить до того, що робочі бригади змушені чекати на матеріали або інструменти, які мали б бути підготовлені завчасно.

Недотримання встановлених стандартів якості і нормативів може призводити до неякісного виконання ремонтних робіт і, як наслідок, до зниження надійності та безпеки тягового рухомого складу. Недотримання стандартів якості є однією з основних проблем у обслуговуванні та ремонті тягового рухомого складу. Коли ремонтні роботи не виконуються згідно з встановленими стандартами і нормативами, це може призвести до низької якості ремонту і, як наслідок, до зниження надійності та безпеки обладнання. Працівники можуть не бути достатньо поінформованими про актуальні стандарти та процедури, що призводить до неправильного виконання ремонтних робіт. Це часто обумовлено браком навчання та відсутністю програм підвищення кваліфікації. Часто бувають випадки, коли з метою економії часу або ресурсів працівники відступають від встановлених процедур, що негативно впливає на якість виконаних робіт. Такі відхилення можуть залишитися непоміченими або непоміченими до того, як вони стануть причиною серйозних несправностей. Відсутність систематичного контролю за виконанням ремонтних робіт може призводити до того, що недоліки не виявляються вчасно. Це потребує впровадження надійних систем контролю та перевірки якості на всіх етапах ремонту. Для вирішення цієї проблеми необхідно забезпечити постійне навчання та підвищення кваліфікації персоналу, включаючи ознайомлення з новітніми стандартами та процедурами. Також важливо впроваджувати суворі системи контролю якості, які дозволять виявляти та виправляти недоліки на ранніх етапах. Застосування стандартів якості повинно стати невід'ємною частиною кожного етапу ремонту та обслуговування тягового рухомого складу, що дозволить підвищити його надійність і безпеку в експлуатації.

Невчасне або недостатнє постачання запасних частин може затримувати проведення ремонтних робіт і викликати простої рухомого складу. Ці проблеми

та виклики потребують ретельного аналізу та розробки ефективних рішень для підвищення якості обслуговування та ремонту тягового рухомого складу. Це включає впровадження сучасних методів діагностики, покращення координації між підрозділами, дотримання стандартів якості та забезпечення своєчасного постачання необхідних запасних частин.

Під час розгляду реального стану тягового рухомого складу, а саме пасажирські електровози серії ЧС2 та ЧС7 проведено технічний аналіз позапланового ремонту, позапланові заміни обладнання на планових видах ремонту і технічного обслуговування, інцидентів та порушень в Виробничому підрозділі «Електровозне депо Харків-Головне» за 9 місяців 2024 року.

В таблиці 1.2 наведено загальний пробіг електровозів серій ЧС2 та ЧС7 за 9 місяців 2024 року.

Таблиця 1.2 – Загальний пробіг електровозів серій ЧС2 та ЧС7 за 9 місяців 2024 року

Серія тягового рухомого складу	Пробіг за 9 місяців 2024 року, км	Пробіг за 9 місяців 2023 року, км
ЧС2, ЧС7	876 369	489 999

Технічний стан тягового рухомого складу оцінюється по ряду показників, найбільш важливим з яких являються (табл. 1.3, 1.4 та 1.5):

- Деповський відсоток несправних електровозів;
- Кількість інцидентів і порушень;
- Кількість заходів на позаплановий ремонт.

Таблиця 1.3 – Деповський відсоток несправних електровозів серій ЧС2 та ЧС7

Серія тягового рухомого складу	9 місяців 2024 року		9 місяців 2023 року	
	Норма деповського % несправних електровозів	Виконання деповського % несправних електровозів	Норма деповського % несправних електровозів	Виконання деповського % несправних електровозів
ЧС2, ЧС7	1,5	0,49	3,0	2,33

Таблиця 1.4 – Інциденти та порушення електровозів серій ЧС2 та ЧС7 на 1 млн.км. пробігу за 9 місяців 2024/2023 року

Загальні дані	Електровози ЧС2 та ЧС7	
	2024 рік	2023 рік
Загальний пробіг, млн.км	876369	489999
Інциденти	1	0
Кількість інцидентів на 1 млн.км пробігу	1,14	0
Порушення	0	0
Кількість порушень на 1 млн.км пробігу	0	0

Таблиця 1.5 – Середня тривалість поточних ремонтів електровозів серій ЧС2, ЧС7 та ЧС8

Електровоз	Вид ремонту							
	ТО-3, год		ПР-1, год		ПР-2, діб		ПР-3, діб	
ЧС2	12,0	11,0	24,0	29,58	2,5	2,73	0	0
ЧС7	12,0	12,47	24,0	26,95	5	3,41	14	15,45
ЧС8	0	0	0	0	0	0	14	13,94

Позаплановий ремонт електровозів часто відбувається через пошкодження тягових електродвигунів, несправності елементів контактної мережі та механічного обладнання.

Пошкодження тягових електродвигунів можуть виникати через перевантаження, які спричиняють перегрів та знос компонентів двигуна. Іншою причиною є погана ізоляція, що призводить до коротких замикань або витоків струму. У деяких випадках електродвигуни можуть зазнавати механічних пошкоджень через вібрації або удари під час експлуатації.

Несправності елементів контактної мережі часто пов'язані зі зносом або пошкодженням контактних проводів та фіксаторів. Це може бути викликано несприятливими погодними умовами, такими як сильні вітри або обледеніння, що впливають на цілісність контактної мережі. Крім того, неправильне налаштування або недостатнє технічне обслуговування можуть призвести до розрегулювання в роботі контактної мережі.

Механічне обладнання електровоза, включаючи підшипники, редуктори та підвіски, також може стати джерелом несправностей. Це часто трапляється через зношування компонентів під час регулярної експлуатації. Погане технічне обслуговування, відсутність мастила або забруднення компонентів може призвести до їхньої передчасної відмови. Вібрації та удари під час руху також можуть спричиняти механічні пошкодження.

Загалом, позаплановий ремонт електровозів є результатом різних факторів, таких як перевантаження, знос, погане технічне обслуговування та екстремальні погодні умови (табл. 1.6). Регулярне технічне обслуговування та уважне спостереження за станом обладнання можуть допомогти запобігти багатьом із цих проблем, забезпечуючи безперебійну роботу електровозів.

Таблиця 1.6 – Позаплановий ремонт по видах пошкоджень за 9 місяців 2024/2023 року

№ з/п	Найменування обладнання і вид пошкодження	2024 рік	2023 рік
	Електровози серії ЧС2	0	1
1	Тягові електродвигуни	0	0
2	Інше обладнання: <i>- несправність контактної мережі</i>	0	1
	Електровози серії ЧС7	0	3
1	Тягові електродвигуни: <i>- динамічна дія на поводок зовнішнього карданного приводу</i>	0	1
2	Механічне обладнання: <i>- утомленість металу опорно-вісьового підшипника</i>	0	1
3	Інше обладнання: <i>- перепалення контактного проводу</i>	0	1

Позапланова заміна обладнання при планових видах ремонту на електровозах зазвичай відбувається через виявлення прихованих дефектів або зносу, які не були помічені раніше або не діагностувалися за допомогою стандартних методів обстеження. Це можуть бути тріщини, зношення деталей або інші механічні пошкодження, які можуть вплинути на безпеку та надійність експлуатації електровоза. Деякі компоненти можуть виявитися більш зношеними, ніж очікувалося, що може бути пов'язано з інтенсивною експлуатацією або несприятливими умовами роботи. Пошкодження можуть виникати також через екстремальні умови роботи, такі як високі температури, вологість, пил або агресивні хімічні середовища, які спричиняють корозію та деформації (табл. 1.7).

Крім того, може бути прийнято рішення про заміну застарілого обладнання на сучасне та ефективніше, враховуючи нові технології або підвищення вимог до продуктивності та безпеки електровоза. Рекомендації виробника щодо заміни певних компонентів після певного періоду експлуатації також можуть вплинути

на рішення замінити обладнання під час планового ремонту. В процесі ремонту можуть бути виявлені потенційні ризики або слабкі місця, які впливають на надійність та безпеку експлуатації, тому може бути прийнято рішення про заміну відповідних компонентів. Позапланова заміна обладнання під час планових ремонтів допомагає запобігти непередбаченим відмовам та забезпечити безперебійну роботу електровоза, що особливо важливо для підтримки безпеки та ефективності залізничного транспорту.

Таблиця 1.7 – Позапланова заміна обладнання при планових видах ремонту приписаних до депо Харків-Головне електровозів серій ЧС2 та ЧС7

№ з/п	Найменування обладнання і вид пошкодження	2024 рік	2023 рік
Електровози серії ЧС2			
1.	Тягові електродвигуни Al 4846 Et	7	3
1.1.	Обрив карданного валу	0	0
1.2.	Відвертання гайки валу якоря внутрішнього карданного валу	0	0
1.3.	Люфт повідця внутрішнього карданного приводу	0	1
1.4.	Розбандажування обмотки якоря тягового електродвигуна	0	0
1.5.	Люфт повідця зовнішнього карданного приводу	2	2
1.6.	Пробій ізоляції головного полюсу	0	0
1.7.	Відсутня ізоляція обмоток тягових електродвигунів	4	0
1.8.	Коротке замикання обмоток якоря	0	0
1.9.	Перекидання електричної дуги по колектору якоря	1	0
2.	Механічне обладнання	2	0
2.1.	Злам буксової пружини колісної пари	0	0
2.2.	Злам листа буксової ресори	0	0
2.3.	Послаблення стопорного кільця бандажа	0	0
2.4.	Злам шліців малої шестерні	1	0
2.5.	Відвертання стопорного болта малої шестерні	0	0
2.6.	Злам зуба великого зубчастого колеса	0	0
2.7.	Протікання корпусу редуктора	0	0
2.8.	Руйнування буксового підшипника	1	0
2.9.	Задир шийки вісі колісної пари	0	0

Продовження таблиці 1.7

№ з/п	Найменування обладнання і вид пошкодження	2024 рік	2023 рік
Електровози серії ЧС2			
3.	Електричні апарати	3	2
3.1.	Руйнування головного циліндру швидкодіючого вимикача	1	0
3.2.	Пробій ізоляційної шпильки касети шахти пускових опорів	1	0
3.3.	Витік повітря пневматичного циліндру струмоприймача	0	0
3.4.	Злам діагональної труби струмоприймача	1	1
3.5.	Пробій велитового розрядника	0	1
3.6.	Злам полоза струмоприймача	0	0
4.	Допоміжні машини	2	6
4.1.	Коротке замикання обмотки якоря мотор-вентилятора	0	1
4.2.	Биття по колектору	1	0
4.3.	Міжвиткове замикання обмотки якоря мотор-вентилятора	1	0
4.4.	Шум якірного підшипника генератора струму керування	0	1
4.5.	Шум якірного підшипника мотор-вентилятора	0	2
4.6.	Вироблення колектора якоря мотор-компресора	0	2
4.7.	Пробій дугогасної камери контактору 31SM	0	0
Всього:		16	14
Електровози серії ЧС7			
1.	Тягові електродвигуни Al 4846 Dt	10	9
1.1.	Відвертання гайки валу якоря внутрішнього карданного приводу	0	1
1.2.	Коротке замикання обмотки якоря тягового електродвигуна	2	1
1.3.	Руйнування підшипника якоря тягового електродвигуна	0	1
1.4.	Люфт повідця зовнішнього карданного приводу	7	2
1.5.	Люфт повідця внутрішнього карданного приводу	0	0
1.6.	Перекидання електричної дуги по колектору	1	1
1.7.	Розбандажування обмотки якоря тягового електродвигуна	0	0
1.8.	Люфт хрестовини внутрішнього карданного приводу	0	0

Продовження таблиці 1.7

№ з/п	Найменування обладнання і вид пошкодження	2024 рік	2023 рік
Електровози серії ЧС7			
1.9.	Шум якірного підшипника	0	0
1.10.	Протікання масляної ванни	0	0
1.11.	Нульова ізоляція обмотки якоря тягового електродвигуна	0	0
1.12.	Руйнування карданного валу	0	3
2.	Механічне обладнання	6	7
2.1.	Руйнування сепаратора підшипника малої шестерні тягового редуктора колісної пари	0	0
2.2.	Знос сепаратора буксового підшипника колісної пари	3	2
2.3.	Товщина гребня бандажу менш допустимого	1	4
2.4.	Витікання мастила з опорно-вісьового підшипника колісної пари	1	0
2.5.	Злам зуба малої шестерні	0	0
2.6.	Злам буксової пружини	0	0
2.7.	Витікання мастила по редукторному вузлу	1	0
2.8.	Тріщина корпусу тягового редуктора колісної пари	0	0
2.9.	Послаблення валу малої шестерні тягового редуктора колісної пари	0	0
2.10.	Шум підшипника малої шестерні	0	0
2.11.	Протікання корпусу тягового редуктора колісної пари	0	1
3.	Електричні апарати	2	0
3.1.	Злам полоза струмоприймача	2	0
3.2.	Механічне заїдання пневматичного циліндру контактора SVAD 11	0	0
3.3.	Замерзання редукційного клапану циліндра струмоприймача	0	0
3.4.	Перекидання електричної дуги силового контакту контактору SVAD 11	0	0
3.5.	Міжвиткове замикання обмоток утримуючої котушки контактора V-40E	0	0
3.6.	Пробій обмотки утримуючої котушки контактора V-40E	0	0
3.7.	Пробій ізоляції обмотки дугогасної котушки камери SVAD 6	0	0
3.8.	Перегорання контактів утримуючої котушки контактора V-40E	0	0

Продовження таблиці 1.7

№ з/п	Найменування обладнання і вид пошкодження	2024 рік	2023 рік
Електровози серії ЧС7			
3.9.	Злам бокової шини дугогасної котушки контактора SVAD 11	0	0
3.10.	Перегорання утримуючої котушки контактора V-40E	0	0
3.11.	Механічне заїдання пневматичного циліндра SVAD 6	0	0
3.12.	Пробій дугогасної камери контактора SVAD 11	0	0
4.	Допоміжні машини	9	10
4.1.	Шум якірного підшипника шахтного мотор-вентилятора	2	2
4.2.	Перекидання електричної дуги по колектору якоря мотор-вентилятора	0	1
4.3.	Руйнування якірного підшипника генератора струму керування	2	0
4.4.	Знос по колектору якоря мотор-вентилятора	2	0
4.5.	Руйнування якірного підшипника шахтного мотор-вентилятора	1	1
4.6.	Руйнування нагнітаючого двухседельчатого клапану низького тиску компресора КЗ	0	1
4.7.	Знос по колектору якоря генератора струму керування	1	0
4.8.	Витікання мастила по компресору КЗ	1	0
4.9.	Вироблення колектора якоря шахтного мотор-вентилятора	0	1
4.10.	Протікання мастила по сальнику електродвигуна мотор-компресора	0	1
4.11.	Відгоряння головних та допоміжних полюсів мотор-вентилятора	0	1
4.12.	Пробій ізоляції обмотки якоря мотор-вентилятора	0	2
Всього:		27	26

На основі аналізу таблиці, що відображає позапланову заміну обладнання при планових видах ремонту електровозів серій ЧС2 та ЧС7, можна скласти загальну характеристику стану та основних проблем цього обладнання (рис. 1.9).

У серії електровозів ЧС2 більшість несправностей стосується тягових електродвигунів і допоміжних машин. Найбільш поширені випадки у 2024 році включають несправності обмоток тягових електродвигунів, зокрема відсутність ізоляції (4 випадки) та перекидання електричної дуги по колектору якоря (1

випадок). Додатково виявлено проблеми з люфтом повідця зовнішнього карданного приводу (2 випадки) та зломом зуба малої шестерні механічного обладнання. У допоміжних машинах зафіксовано випадки коротких замикань, міжвиткових замикань обмоток якоря мотор-вентилятора, а також проблеми з биттям по колектору та шумом підшипників.

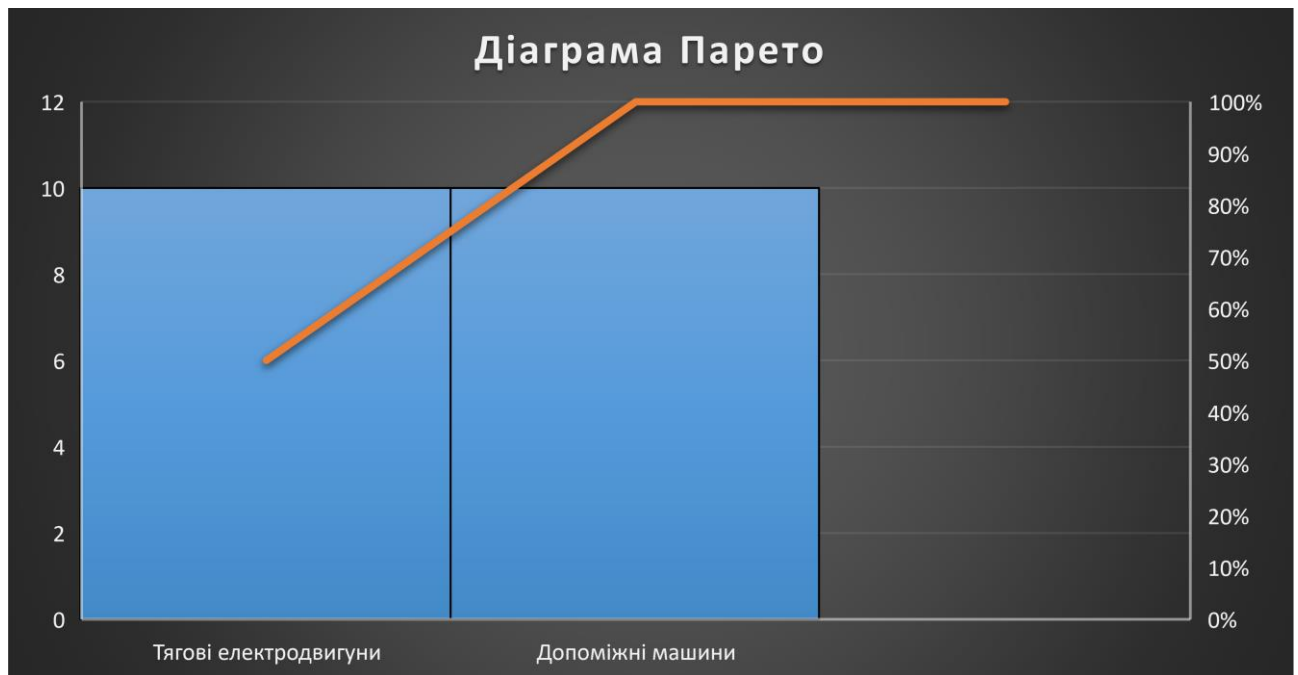


Рисунок 1.9 – Діаграма Парето на заміна обладнання при планових видах ремонту приписаних до депо Харків-Головне електровозів серій ЧС2 та ЧС7

На електровозах серії ЧС7 також основні несправності стосуються тягових електродвигунів. Найбільш критичними є випадки коротких замикань обмоток якоря (2 випадки у 2024 році) та значний люфт повідця зовнішнього карданного приводу (7 випадків). У механічному обладнанні спостерігалися зноси сепаратора буксового підшипника (3 випадки) та витікання мастила з опорно-вісьового підшипника. У розділі допоміжних машин відзначаються руйнування якірних підшипників, знос колекторів і витікання мастила через компресорні вузли.

Аналіз даних показує зростання частоти певних несправностей у порівнянні з 2023 роком, що вказує на необхідність ретельнішого технічного обслуговування та модернізації найбільш вразливих компонентів. Тягові електродвигуни

залишаються основним вузлом, що потребують регулярних перевірок та обслуговування. Механічні та електричні компоненти також демонструють підвищену схильність до зношування, особливо в умовах інтенсивної експлуатації.

Для забезпечення надійності електровозів серій ЧС2 та ЧС7 важливо впроваджувати сучасні методи діагностики несправностей, покращувати якість ремонтних робіт і модернізувати найбільш уразливі компоненти, що сприятиме підвищенню ефективності експлуатації цих машин [8].

Проблеми з постачанням запасних частин є значною перешкодою у процесі обслуговування та ремонту тягового рухомого складу. Невчасне або недостатнє постачання запасних частин може затримувати виконання ремонтних робіт, що призводить до простоїв рухомого складу і знижує ефективність його експлуатації. Наявність необхідних запасних частин є критичним фактором для забезпечення безперервного та надійного технічного обслуговування. Проблеми з транспортом і доставкою можуть призводити до затримок у постачанні запасних частин, особливо якщо вони постачаються віддаленими постачальниками або з-за кордону. Недостатнє управління запасами може призвести до ситуацій, коли необхідні запасні частини відсутні на складах у потрібний момент. Це може бути наслідком неадекватного планування потреб або неналежного моніторингу залишків. Іноді запчастини, що постачаються, можуть бути низької якості або не відповідати технічним вимогам, що ускладнює їх використання і може спричинити додаткові проблеми під час ремонту. Співпраця з ненадійними постачальниками, які не можуть забезпечити стабільні та якісні постачання, є ще одним фактором, що ускладнює процес ремонту та технічного обслуговування.

Щоб вирішити ці проблеми, необхідно впроваджувати ефективні стратегії управління ланцюгом постачання. Це включає укладання довгострокових контрактів з надійними постачальниками, оптимізацію логістичних процесів, а також впровадження систем автоматизованого моніторингу та управління запасами. Крім того, регулярний контроль якості запасних частин і забезпечення їх відповідності технічним стандартам допоможе уникнути проблем, пов'язаних з

використанням неякісних компонентів. Усе це сприятиме безперебійному постачанню запасних частин, що дозволить підвищити ефективність та надійність обслуговування і ремонту тягового рухомого складу.

1.4 Потенціал і перспективи використання штучного інтелекту в обслуговуванні та ремонті тягового рухомого складу

ШІ має потенціал для автоматизації процесів моніторингу, аналізу та прогнозування у сфері технічного обслуговування та ремонту тягового рухомого складу. ШІ дозволяє в режимі реального часу визначати технічний стан обладнання, виявляючи приховані проблеми до того, як вони стануть критичними. У залізничному транспорті навіть короткі збої можуть призвести до значних затримок і фінансових втрат.

Машинне навчання та аналіз великих даних можна використовувати для прогнозування необхідності ремонту на основі попередніх даних, що може зменшити кількість аварій і підвищити надійність складу. Інтелектуальні системи можуть аналізувати велику кількість параметрів, таких як температура, тиск і вібрація [15]. Можливий перехід від тимчасового планування ремонту до більш ефективного, прогнозного обслуговування.

Оскільки автоматизація рутинних завдань дозволяє працівникам зосередитися на більш складних і критичних аспектах обслуговування, це значно підвищує ефективність та якість персоналу. Докладні рекомендації щодо ремонтних дій можуть надати системи.

Використання штучного інтелекту в обслуговуванні та ремонті рухомого складу може призвести до зниження експлуатаційних витрат. Зменшення часу простою обладнання призводить до значної економії ресурсів. Інвестиції в штучний інтелект стають все більш вигідними для залізничних компаній, оскільки

вони сприяють підвищенню безпеки, надійності та економічності роботи рухомого складу.

Впровадження штучного інтелекту в процес ремонту тягового рухомого складу потребує чіткої стратегії та використання сучасних технологічних рішень:

1) Для початку потрібно забезпечити безперервний збір даних з різних компонентів рухомого складу. До таких даних належать показники температури, тиску, вібрації та інших параметрів, які можуть сигналізувати про стан обладнання. Для цього необхідно обладнати електровози відповідними сенсорами та датчиками, які в режимі реального часу передаватимуть інформацію до центральної системи «NextElectroLoco» - Система технічного обслуговування електровозів нового покоління.

2) Оскільки обсяги інформації будуть великими, важливо мати потужні сервери або хмарні сховища для її зберігання. Інфраструктура також повинна забезпечувати швидкий доступ до даних та їхню обробку, щоб алгоритми ШІ могли швидко виконувати свої функції.

3) На основі зібраних даних необхідно створити або налаштувати вже існуючі алгоритми машинного навчання. Ці моделі будуть аналізувати зміни в поведінці обладнання, визначати відхилення від норми та прогнозувати можливі несправності. Моделі можуть бути навчені на історичних даних про поломки, щоб передбачати ризики.

4) Система штучного інтелекту має бути інтегрована з наявними інформаційними системами управління, такими як ERP (Enterprise Resource Planning) чи спеціалізовані платформи для управління технічним обслуговуванням і ремонтом (CMMS – Computerized Maintenance Management System). Це дозволить автоматично створювати заявки на ремонт та відстежувати статус обслуговування.

5) Одним із значних застосувань ШІ є прогнозне обслуговування, яке базується на аналізі історичних даних і дозволяє завчасно планувати ремонтні роботи. Це зменшує ризик аварій та продовжує життєвий цикл обладнання. ШІ

визначає, які компоненти потребують обслуговування і коли саме, що значно оптимізує графік ремонтів.

6) Важливо забезпечити навчання технічних фахівців для роботи з новими системами. Персонал має розуміти принципи роботи штучного інтелекту, вміти інтерпретувати результати аналізу та працювати з цифровими інструментами для моніторингу та обслуговування.

7) Оскільки технології та обладнання постійно розвиваються, важливо підтримувати та оновлювати ШІ-моделі для забезпечення актуальності й точності їхніх прогнозів. Постійний моніторинг ефективності роботи алгоритмів дозволить уникати помилок і підвищувати точність прогнозування.

8) Важливо забезпечити високий рівень кібербезпеки, адже велика кількість даних про роботу обладнання є конфіденційною та важливою для надійного функціонування залізничної інфраструктури.

Для успішного впровадження ШІ в ремонт тягового рухомого складу потрібна співпраця між інженерами, фахівцями з ІТ, експертами з даних та аналітиками. Лише злагоджена робота таких команд забезпечить ефективне використання можливостей штучного інтелекту для підвищення надійності, безпеки та ефективності ремонтних робіт.

2 Методологія дослідження використання штучного інтелекту для забезпечення якості технічного обслуговування та ремонту через систему «NextElectroLoco»

2.1 Опис вибору методів дослідження та збору даних для централізованої системи «NextElectroLoco»

Розробка програми для центральної системи, яка б керувала моніторингом, обслуговуванням та ремонтом тягового рухомого складу з використанням штучного інтелекту, включає кілька важливих етапів і залежить від вибору технологій, які наведені в таблиці 2.1.

Для успіху потрібна тісна співпраця з інженерами, програмістами та фахівцями з обробки даних на кожному етапі, оскільки створення такої програми вимагає різносторонніх технічних знань:

- Аналіз наукових досліджень з використання штучного інтелекту в технічному обслуговуванні та ремонті.
- Використання інструментів штучного інтелекту: машинне навчання, нейронні мережі, аналіз великих даних.
- Етапи впровадження та тестування моделей штучного інтелекту для технічного обслуговування.

Для успішного функціонування централізованої системи NextElectroLoco необхідно обрати оптимальні методи дослідження та збору даних, які дозволять отримати достовірну інформацію для моніторингу та обслуговування електровозів.

По-перше, вибір методів дослідження базується на необхідності аналізу великого обсягу інформації про технічний стан та проведені ремонти тягового рухомого складу. Серед ефективних підходів є використання методів математичної статистики та аналітичного моделювання, що допомагає

Таблиця 2.1 – Алгоритм розробки програми створення центральної системи «NextElectroLoco»

Етап	Опис
Визначення цілей і функціональних вимог	Спочатку маємо чітко визначити функції, які має виконувати програма: - Збір даних у реальному часі з сенсорів. - Аналіз даних для виявлення несправностей. - Прогнозування зношення або поломок окремих компонентів. - Автоматичне створення заявок на технічне обслуговування. - Візуалізація даних про стан електровоза. Цей етап включає консультації з інженерами, обслуговуючим персоналом і фахівцями з обробки даних.
Вибір архітектури системи	Архітектура програми має виглядати наступним чином: - <u>Модуль збору даних</u>: для отримання інформації від сенсорів, інтеграції з інтернетом речей (IoT), збирання сигналів і подій з електровозів. - <u>Сховище даних</u>: база даних для зберігання великих обсягів інформації, таких як показники з датчиків, історія ремонтів і обслуговувань. Підходять SQL або NoSQL бази (наприклад, PostgreSQL, MongoDB). - <u>Обробка даних і аналітика</u>: сервери для обробки, в яких працюватимуть алгоритми штучного інтелекту для аналізу та прогнозування. - <u>Інтерфейс користувача (UI)</u>: графічний інтерфейс або вебдодаток, де можна відслідковувати стан обладнання, переглядати рекомендації для обслуговування та управляти заявками на ремонт.

Продовження таблиці 2.1

Етап	Опис
Визначення цілей і функціональних вимог	Спочатку маємо чітко визначити функції, які має виконувати програма: - Збір даних у реальному часі з сенсорів. - Аналіз даних для виявлення несправностей. - Прогнозування зношення або поломок окремих компонентів. - Автоматичне створення заявок на технічне обслуговування. - Візуалізація даних про стан електровоза. Цей етап включає консультації з інженерами, обслуговуючим персоналом і фахівцями з обробки даних.
Вибір технологій та інструментів	До технологій та інструментів можна віднести наступне: - <u>IoT-платформа для збору та обробки даних з обладнання</u>. Підходять платформи AWS IoT, Azure IoT, Google Cloud IoT. - <u>Системи для аналітики та машинного навчання</u>: Python, TensorFlow, PyTorch або scikit-learn підходять для побудови моделей прогнозування на основі історичних даних. - <u>Мікросервісна архітектура</u>: створення окремих сервісів для збору, аналізу та управління даними, що спрощує розробку, обслуговування та масштабування.
Розробка моделей штучного інтелекту	Збір історичних даних про обслуговування і ремонт для навчання моделей машинного навчання. Для прогнозування обслуговування можна застосувати регресійні моделі, класифікатори чи методи кластеризації. Побудова і налаштування алгоритмів для аналізу даних з сенсорів, які зможуть визначати аномальні значення та виявляти поломки. Тестування моделей на даних, отриманих в реальних умовах, і поступова адаптація алгоритмів під конкретні вимоги обладнання електровозів.

Продовження таблиці 2.1

Етап	Опис
Розробка серверної частини (бекенду)	Бекенд відповідатиме за: - Обробку даних з сенсорів у реальному часі. - Запуск і обробку результатів від моделей штучного інтелекту. - Передачу даних в інтерфейс користувача. Найбільш підійде для цього використання фреймворки, як-от Django чи Flask для Python, або Node.js для JavaScript.
Розробка інтерфейсу користувача	UI має бути зручним і інтуїтивним, щоб інженери та технічний персонал могли швидко переглядати інформацію про поточний стан електровоза. Маємо використовувати сучасні бібліотеки для побудови вебдодатків, наприклад React, Vue.js або Angular.
Тестування та інтеграція системи	Маємо проводити тестування системи в умовах, наближених до реальних. Перевірка роботи моделей ШІ, якість обробки даних і зручність інтерфейсу. Збір відгуків від кінцевих користувачів для покращення програми.
Запуск та підтримка системи	Після впровадження програми, регулярно маємо збирати нові дані та оновлення моделей, щоб підвищувати точність прогнозування. Додатково забезпечимо кібербезпеку, враховуючи важливість захисту даних про стан рухомого складу в умовах реального часу.

здійснити як кількісний, так і якісний аналіз експлуатаційних показників електровозів. Ці методи дозволяють відстежувати показники надійності, частоту відмов, потреби у проведенні планових і позапланових ремонтів.

По-друге, методи збору даних орієнтовані на застосування сучасних інструментів збору інформації в реальному часі. Це включає датчики, розташовані на основних вузлах електровозів, які передають інформацію про поточний стан обладнання до централізованої бази даних NextElectroLoco. Важливим є також використання діагностичних станцій, що забезпечують глибокий аналіз технічних параметрів. Отримані дані зберігаються та обробляються з використанням технологій великих даних і штучного інтелекту, що дозволяє отримувати висновки про необхідність виконання конкретних типів обслуговування чи ремонту.

Таким чином, для реалізації та підтримки системи NextElectroLoco було обрано методи математичного аналізу та моніторингу, що забезпечують надійність і точність діагностики, а також забезпечення інфраструктури збору даних на базі сучасних технічних засобів. Проєктування вибору методів дослідження та збору даних для централізованої системи «NextElectroLoco» може зіштовхнутися з кількома проблемами.

Доступ до даних може бути складним завданням через обмежений доступ до джерел інформації або через проблеми з конфіденційністю даних [2]. Забезпечення безперебійного та безпечного доступу до даних є аспектом, що потребує особливої уваги. Наявність різноманітних типів даних, таких як текстові, числові та графічні, може ускладнити процес їх інтеграції та подальшого аналізу. Це вимагає розробки універсальних методів обробки та аналізу даних різних форматів.

Сучасні системи часто мають високі вимоги до обробки даних, що може бути непосильним для наявного апаратного та програмного забезпечення. Тому важливо оцінити технічні можливості і, при необхідності, оновити технічну базу. Дані можуть бути неповними, застарілими або містити помилки, що значно впливає на точність аналізу. Виявлення та коригування таких проблем є важливим кроком у забезпеченні якості аналізованих даних.

Вибір адекватних методів аналізу для великих обсягів даних може бути складним, особливо якщо відсутні чіткі критерії або стандартні процедури. Це вимагає ретельного планування та тестування різних підходів до аналізу.

Недостатній рівень кваліфікації персоналу щодо використання сучасних технологій та методів аналізу даних може призвести до помилок або неефективного використання системи. Інвестування в навчання та підвищення кваліфікації персоналу є необхідним.

Проблеми з інтеграцією нової системи з існуючими інформаційними системами та базами даних підприємства можуть виникнути через несумісність форматів або протоколів. Тому інтеграція потребує детального планування та перевірки.

Необхідність забезпечення високого рівня безпеки даних є критично важливим аспектом, що допоможе уникнути несанкціонованого доступу та кібератак. Це вимагає впровадження надійних заходів безпеки, таких як шифрування даних та багатофакторна аутентифікація.

2.2 Порівняння центральної системи «NextElectroLoco» з традиційними методами технічного обслуговування і ремонту

Центральна система «NextElectroLoco» є інноваційним підходом до управління технічним обслуговуванням і ремонтом тягового рухомого складу, що базується на використанні штучного інтелекту, тоді як традиційні методи ґрунтуються на регламентному плануванні та реактивному підході. Це порівняння дозволяє чітко виявити переваги та обмеження кожного підходу.

Традиційні методи технічного обслуговування базуються на фіксованих інтервалах та стандартизованих процедурах. Вони передбачають виконання планових робіт незалежно від фактичного технічного стану обладнання. Хоча такий підхід забезпечує регулярність обслуговування, він часто призводить до зайвих витрат через проведення непотрібних ремонтів або ігнорування ранніх ознак несправностей. Це, в свою чергу, збільшує ризик аварійних ситуацій і спричиняє тривалі простої, що впливає на ефективність залізничного транспорту.

Система «NextElectroLoco», завдяки інтеграції з Інтернетом речей і використанню алгоритмів машинного навчання, забезпечує адаптивний і

проактивний підхід до технічного обслуговування. Вона дозволяє моніторити технічний стан обладнання в реальному часі, використовуючи дані, отримані з сенсорів, встановлених на основних вузлах тягового рухомого складу. Ці дані обробляються центральною платформою, що створює цифрові двійники для кожної одиниці техніки. Такі двійники дозволяють моделювати поведінку обладнання, виявляти потенційні несправності і прогнозувати їх виникнення.

Важливою перевагою «NextElectroLoco» є можливість оптимізації графіків технічного обслуговування та ремонту. Замість фіксованих інтервалів, система визначає потребу в роботах залежно від реального стану обладнання, що знижує витрати на ТОіР і мінімізує простої. Прогнозування відмов дозволяє завчасно замовляти необхідні запчастини і планувати ремонтні роботи, що значно підвищує ефективність ресурсів. У порівнянні з традиційними методами, система «NextElectroLoco» також знижує ризик людських помилок завдяки автоматизації багатьох процесів. Проте впровадження цієї системи вимагає значних початкових інвестицій, модернізації інфраструктури і навчання персоналу для роботи з новими технологіями.

Таким чином, використання системи «NextElectroLoco» дозволяє не лише підвищити надійність тягового рухомого складу, але й сприяє оптимізації витрат і забезпеченню безпеки перевезень. Порівняно з традиційними методами, її впровадження є перспективним кроком до цифрової трансформації залізничного транспорту. Система «NextElectroLoco» демонструє значні переваги перед традиційними методами у сфері технічного обслуговування та ремонту, забезпечуючи вищу ефективність, надійність і безпеку. Проте для її впровадження потрібні значні початкові інвестиції та технічна підготовка. Традиційні методи залишаються менш затратними на початковому етапі, але в довгостроковій перспективі поступаються в економічній і технічній ефективності. Порівняння централізованої системи «NextElectroLoco» з традиційними методами зображено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Порівняння централізованої системи «NextElectroLoco» з традиційними методами технічного обслуговування і ремонту

Критерій	Центральна система «NextElectroLoco»	Традиційні методи
Підхід до обслуговування	Проактивний, на основі аналізу реального стану обладнання	Реактивний або регламентний, базується на фіксованих інтервалах
Моніторинг стану	Постійний моніторинг у реальному часі за допомогою IoT-сенсорів	Вибіркові перевірки або обстеження за графіком
Прогнозування несправностей	Використання ІІІ для прогнозування несправностей і залишкового ресурсу	Відсутнє або базується на досвіді працівників
Цифрові технології	Використання цифрових двійників для моделювання і аналізу	Відсутні, покладаються на ручний аналіз і стандартні інструменти
Оптимізація витрат	Зниження витрат через точне планування і уникнення зайвих робіт	Високі витрати через надлишкові або запізнілі роботи
Простої обладнання	Мінімізовані завдяки своєчасному виявленню проблем	Можливі тривалі простої через раптові поломки
Управління ресурсами	Автоматизація управління запасними частинами і планування робіт	Ручне управління, можливі помилки і затримки
Безпека	Підвищена завдяки постійному моніторингу і превентивним заходам	Залежить від регулярності перевірок і людського фактору
Людський фактор	Мінімальний вплив завдяки автоматизації процесів	Значний, через залежність від кваліфікації працівників
Інвестиції у впровадження	Значні початкові витрати на обладнання, навчання і модернізацію	Низькі початкові витрати, але висока довгострокова вартість
Гнучкість	Висока, система адаптується до змінних умов експлуатації	Низька, графіки зазвичай фіксовані
Довгострокова ефективність	Висока, економія ресурсів і покращення роботи системи	Середня, поступово втрачає ефективність через неадаптованість

2.3 Методи оцінки якості результатів

Оцінка якості результатів є важливою складовою багатьох процесів, оскільки дозволяє визначити, наскільки ефективно досягнуто поставлені цілі. Цей процес охоплює різні підходи, інструменти та методології, що спрямовані на аналіз отриманих результатів у контексті заданих критеріїв [5]. Методи оцінки якості результатів використовуються в різних галузях – від виробничих процесів до освітніх програм і наукових досліджень, і кожна сфера має свої специфічні підходи та інструменти для забезпечення точності оцінювання.

Оснoву оцінки якості результатів становить визначення критеріїв, за якими буде проводитися аналіз. Критерії можуть бути об'єктивними (на основі точних вимірювань і фактів) або суб'єктивними (залежати від сприйняття, думок або оцінок учасників процесу). Важливим є те, що критерії мають бути чітко визначеними, відповідати цілям оцінювання і забезпечувати можливість точного аналізу. Визначення цих критеріїв є початковим етапом, без якого неможливо провести ефективну оцінку.

Одним із найбільш поширених підходів до оцінки якості результатів є кількісний метод. Він базується на аналізі числових даних і використовує різні математичні моделі, статистичні показники та алгоритми для оцінювання. Наприклад, у виробничих процесах використовуються показники відсотка браку, часу виробництва, продуктивності чи фінансової ефективності. У дослідженнях оцінка може базуватися на точності прогнозів, відсотку успішно виконаних завдань або кількості опублікованих результатів. Кількісний метод забезпечує об'єктивність і можливість порівняння, що робить його надзвичайно важливим для аналізу великих обсягів даних.

Іншим важливим підходом є якісний метод, який орієнтований на суб'єктивні аспекти та дозволяє аналізувати складні явища, що важко піддаються кількісному вимірюванню. У рамках цього методу проводяться опитування, інтерв'ю, експертні оцінки або аналіз відповідності певним стандартам. Наприклад, у галузі освіти якісна оцінка може включати аналіз відгуків студентів про програму, рівень задоволеності учасників або відповідність отриманих знань потребам ринку праці.

У виробництві це може бути оцінка візуальної якості продукції або відповідності її дизайну очікуванням клієнтів.

Змішані методи оцінки якості результатів поєднують елементи кількісного та якісного підходів. Це забезпечує комплексний аналіз, який дозволяє врахувати як об'єктивні показники, так і суб'єктивні фактори. Наприклад, в оцінці ефективності нової технології можуть використовуватися дані про продуктивність обладнання, а також відгуки працівників про зручність і надійність його використання. Такий підхід забезпечує повніше розуміння результатів і дозволяє врахувати різні аспекти аналізованого процесу.

У сфері технічних систем часто використовується метод порівняння результатів із заданими стандартами або нормативами. Цей підхід дозволяє оцінити, наскільки отримані результати відповідають очікуваням. Наприклад, у машинобудуванні результати перевіряються на відповідність технічним стандартам, таким як точність розмірів деталей, якість матеріалів або функціональність готових виробів. Якщо отримані результати відхиляються від стандартів, це може свідчити про необхідність коригування процесів або перегляду підходів до роботи.

Інноваційні методи оцінки якості результатів включають використання технологій штучного інтелекту та аналізу великих даних. Ці підходи дозволяють автоматизувати оцінювання, робити точні прогнози та аналізувати великі обсяги інформації за короткий час. Наприклад, у виробничих процесах можна використовувати системи моніторингу в реальному часі, які оцінюють стан обладнання та прогнозують його зношення. У наукових дослідженнях такі системи можуть аналізувати результати експериментів і виявляти приховані закономірності, що дозволяє значно підвищити якість отриманих даних.

Важливим аспектом оцінки є визначення ефективності досягнення поставлених цілей. Для цього використовуються несучі показники ефективності (KPI), які дозволяють кількісно оцінити, наскільки результати відповідають очікуванням. Наприклад, у бізнесі KPI може включати рівень продажів, частку ринку або показники рентабельності. У технічних системах це можуть бути показники продуктивності, витрати на обслуговування або енергоефективність.

KPI забезпечує можливість порівняння різних варіантів і визначення найефективнішого з них.

Застосування методу бенчмаркінгу дозволяє оцінити якість результатів у порівнянні з найкращими практиками галузі. Цей підхід дозволяє визначити, як результати відповідають лідерам ринку або найкращим технологіям. Наприклад, у сфері інформаційних технологій бенчмаркінг може включати порівняння продуктивності програмного забезпечення з конкурентами або оцінку швидкості впровадження нових функцій.

Одним із завдань оцінки якості результатів є виявлення слабких місць і можливостей для вдосконалення. Це включає аналіз причин відхилень, визначення важливих факторів, що впливають на якість, і розробку рекомендацій для покращення процесів. Наприклад, у виробництві це може бути аналіз причин браку продукції та розробка нових технологій для його зменшення. У сфері управління це може бути оцінка ефективності використання ресурсів і оптимізація їх розподілу.

Оцінка якості результатів є важливим інструментом управління, що забезпечує можливість контролю, аналізу та вдосконалення процесів у різних сферах. Використання сучасних методів оцінки дозволяє отримати точні й об'єктивні результати, забезпечуючи основу для прийняття ефективних рішень. Це сприяє не лише досягненню поставлених цілей, але й розвитку інновацій, підвищенню конкурентоспроможності та забезпеченню стійкого розвитку.

2.4. Впровадження централізованої системи «NextElectroLoco» до тягового рухомого складу

Прив'язка централізованої системи «NextElectroLoco» до електровозів передбачає інтеграцію її функціональних модулів з технічними та інформаційними компонентами, які вже існують на тяговому рухомому складі, а також розробку нових технологічних рішень для забезпечення ефективного моніторингу, аналізу й управління технічним станом. Основна мета такого підходу – створення єдиної

платформи для управління технічним обслуговуванням і ремонтом, що дозволить знизити експлуатаційні витрати, підвищити надійність обладнання та забезпечити своєчасне реагування на можливі відмови.

Першим кроком у прив'язці системи «NextElectroLoco» є встановлення датчиків на апаратах електровозів. Ці датчики повинні збирати дані про вібрації, температуру, силу струму, напругу, зношення контактів, стан підшипників, гальмівної системи та інших критичних вузлів. Важливо, щоб датчики були високоточного класу, стійкими до зовнішніх впливів і мали змогу працювати в умовах підвищеної вібрації, температурних перепадів і підвищеної вологості. Дані з сенсорів передаються через мережу інтернету речей у центральну базу даних системи для подальшого аналізу.

В якості експерименту було впроваджену Комплекс блоків контролю приладів з системами датчиків контролю роботи приладів на електровоз ЧС7 №185, який і досі експлуатується в Електровозному депо Харків-Головне (рис. 2.1).

Сучасний розвиток виробництва мікропроцесорів та ІТ індустрії відкриває нові можливості для оптимізації, контролю, та безпеки які можна впроваджувати у використання на залізничному транспорті. Впродовж лютого - травня на базі депо Електровозного депо Харків-Головне було розроблено дослідний зразок комплексу блоків контролю приладів, які встановлено на електровозі ЧС7 №185. Це – Мультифункціональний блок контролю приладів захисту. Основна перевага комплексу полягає у передачі інформації бездротовим способом за допомогою середньочастотного приймально-передавального пристрою. Середні хвилі передачі інформації не впливають на пристрої поїзного радіозв'язку, а також модуль зв'язку не сприймає перешкоди від роботи електричних машин, контактної мережі.

Розроблене програмне забезпечення дозволяє використовувати систему на одному каналі зв'язку на багатьох одиницях рухомого складу одночасно. Кожен блок при отриманні інформації в першу чергу перевіряє унікальний номер який записується в програмне забезпечення для кожної рухомої одиниці окремо [9]. Комплекс блоків контролю роботи приладів має наступні функції:

1. Контроль температури кабін: При нагріванні неробочої кабіни машиніста вище 40°C, у ведучій кабіні локомотивна бригада отримає сповіщення у

вигляді сигналізації зумеру та відображення на дисплеї блоку інформацію про температуру задньої кабіни червоного кольору.

2. Автоматичний підігрів кабіни машиніста: До впровадження блоку контролю роботи приладів терморегуляцію кабіни виконувало термореле яке працювало по принципу біметалічної пластини та не проявило надійність роботи та зручність керуванням температури кабіни локомотивною бригадою. Керування температурою відбувається за допомогою кнопок на блоці та відображається на дисплеї.

3. Дистанційне керування та отримання інформації про стан блінкерних сигналізаторів: Електровоз обладнаний блінкерними сигналізаторами та реле, які захищають основні кола електровозу від перенавантаження. Значним недоліком сигналізаторів є те, що при спрацюванні захисту локомотивна бригада відразу не має інформацію про реле, яке конкретно спрацювало, а для отримання інформації та відновлення захисту помічник машиніста повинен залишити кабіну керування та прослідувати до міста розташування блінкерного сигналізатора та відновити захист і роботу електровозу. Блок контролю дозволяє побачити спрацьоване реле в кабіні з коротким описом призначення реле та відновити роботу електровозу не залишаючи кабіну керування.

4. Моніторинг пожежонебезпечних місць на наявність задимлення. Електровоз обладнаний пожежними датчиками (диму), які у разі небезпеки дозволять вчасно відреагувати на задимлення. У разі спрацювання датчику локомотивна бригада отримує інформацію про місце задимлення на дисплеї, а також спрацьовує зумер, який зверне увагу локомотивної бригади на виникнення задимлення в певному секторі.

5. Контроль за температурою мастила компресорів. Додатково до контролю комплексом передбачена можливість ведення графіку у форматі «Excel» для подальшої обробки інформації. За останній час кількість заміни компресорів потребує отримання більше інформації про роботу компресору. Таким чином, щуп компресора обладнаний датчиком температури, а мікроконтролер веде облік кожного включення і виключення компресору, час роботи, температуру мастила та заносить інформацію на карту пам'яті. Отримана інформація дозволить дізнатися в яких температурних режимах працював компресор та його продуктивність.

Система «NextElectroLoco» буде використовувати зібрані дані для створення цифрового двійника кожного електровоза, це віртуальна копія реального об'єкта, яка оновлюється в реальному часі на основі показників, отриманих із сенсорів. Завдяки цьому двійнику система може не лише відображати поточний стан електровоза, але й прогнозувати його поведінку за різних сценаріїв експлуатації. Наприклад, якщо датчики фіксують поступове підвищення температури тягового двигуна, система може спрогнозувати, коли цей показник досягне критичної межі, і завчасно сповістити персонал про необхідність технічного обслуговування.

Прив'язка також передбачає інтеграцію системи з існуючими інформаційними платформами залізничного транспорту, такими як системи управління графіком руху, обліку ресурсів та ремонту. Завдяки цьому забезпечується комплексний підхід до управління електровозами. Наприклад, система може отримувати інформацію про планові рейси та адаптувати графіки технічного обслуговування таким чином, щоб виконувати роботи під час простоїв між перевезеннями, зводячи до мінімуму вплив на експлуатацію.

Окрім збору даних і прогнозування несправностей, «NextElectroLoco» може автоматизувати процес прийняття рішень щодо проведення ремонтів. Наприклад, якщо система виявляє, що залишковий ресурс колісної пари електровоза менший за допустимий для безпечної експлуатації, вона автоматично формує замовлення на необхідні запчастини й призначає оптимальний час для їхньої заміни. Усі ці дані доступні через інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє технічному персоналу та керівникам депо отримувати актуальну інформацію в режимі реального часу.

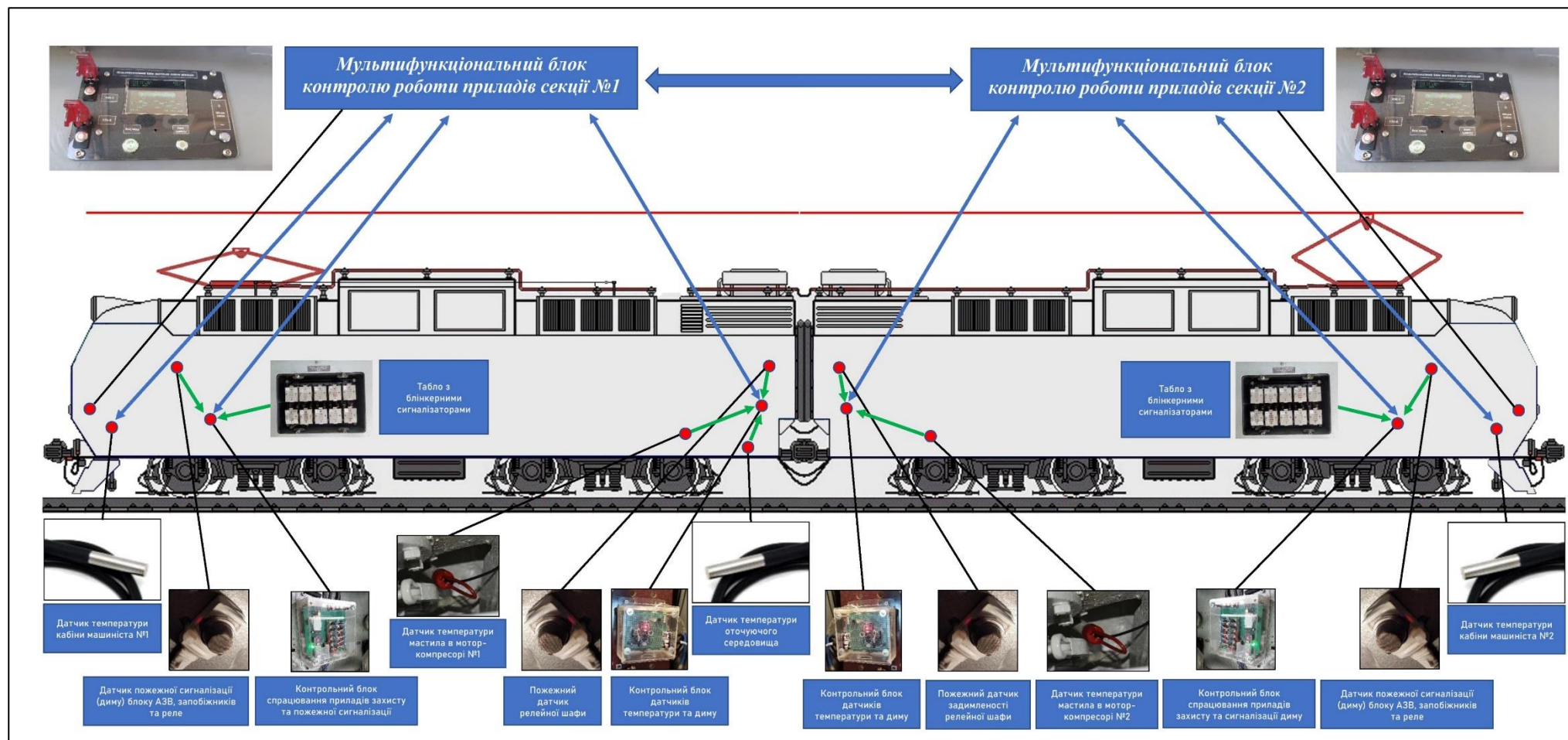


Рисунок 2.1 – Впровадження датчиків контролю роботи приладів на електровоз ЧС7 №185

Ще однією важливою складовою прив'язки є створення автоматизованих механізмів для діагностики і тестування компонентів електровозів. Наприклад, система може проводити віртуальні тести обладнання, моделюючи його роботу в різних умовах, щоб оцінити потенційні ризики або визначити оптимальні параметри експлуатації. Це дозволяє уникати надмірного навантаження на обладнання і продовжити термін його служби.

Для повноцінної прив'язки «NextElectroLoco» до електровозів необхідно врахувати питання безпеки даних. Це включає шифрування каналів передачі інформації, контроль доступу до системи, а також резервне копіювання даних. Безпека є критично важливою, оскільки будь-який збій у роботі системи може вплинути на надійність залізничного транспорту [21].

Окрім технічних аспектів, важливо забезпечити навчання персоналу, який буде працювати із системою. Працівники повинні розуміти принципи роботи «NextElectroLoco», вміти інтерпретувати дані, що надає система, і використовувати їх для прийняття рішень. Для цього можуть бути організовані тренінги, практичні заняття та надання методичних матеріалів.

Прив'язка «NextElectroLoco» до електровозів дозволяє значно підвищити ефективність процесів технічного обслуговування і ремонту, зменшити час простоїв і знизити витрати на експлуатацію. Інтеграція цієї системи відкриває нові можливості для розвитку цифрових технологій у залізничній галузі та забезпечує стабільність роботи транспортної інфраструктури навіть в умовах сучасних викликів. Це рішення є важливим кроком у напрямку цифрової трансформації залізничного транспорту, що робить його більш конкурентоспроможним, ефективним і безпечним.

3 Підвищення якості надання послуг у діагностиці технічного стану тягового рухомого складу

3.1 Методи виявлення та прогнозування поломок

Впровадження штучного інтелекту (ШІ) у сферу діагностики технічного стану тягового рухомого складу відкриває нові можливості для виявлення та прогнозування поломок. Сучасні методи дозволяють не лише своєчасно ідентифікувати несправності, а й передбачити їх виникнення, що забезпечує підвищення надійності та ефективності експлуатації рухомого складу.

Використання методів штучного інтелекту дозволяє перейти від реактивного до проактивного обслуговування тягового рухомого складу, що є одним з фактором у забезпеченні його надійності та економічної ефективності.

Використання штучного інтелекту (ШІ) у діагностиці технічного стану тягового рухомого складу відкриває нові можливості для підвищення надійності, безпеки та ефективності експлуатації. Методи виявлення та прогнозування поломок за допомогою ШІ базуються на аналізі великих обсягів даних та застосуванні алгоритмів машинного навчання для виявлення прихованих закономірностей і аномалій у роботі обладнання.

Одним з методів є аналіз історичних даних про експлуатацію та поломки. Збір та обробка цих даних дозволяють створювати моделі, які можуть прогнозувати ймовірність виникнення поломок на основі попередніх випадків [10]. Наприклад, аналіз вібраційних характеристик двигунів та інших компонентів може виявляти ранні ознаки зношення чи несправностей.

Метод нейронних мереж є одним із найпоширеніших у діагностиці технічного стану. Глибокі нейронні мережі можуть навчатися на великих наборах даних, включаючи параметри роботи обладнання, температурні режими, вібрації, шум та інші показники. Вони здатні виявляти складні зв'язки між цими параметрами та прогнозувати можливі відмови. Для цього використовуються як

наглядове, так і безнаглядне навчання, що дозволяє моделі адаптуватися до нових умов експлуатації.

Іншим ефективним методом є аналіз часових рядів. Цей метод дозволяє моделювати поведінку компонентів тягового рухомого складу у часі та виявляти відхилення від нормального режиму роботи. Застосування рекурентних нейронних мереж (RNN) та їх різновидів, таких як LSTM (Long Short-Term Memory), дозволяє враховувати попередні стани системи для точнішого прогнозування майбутніх подій.

Аналіз аномалій є ще одним важливим інструментом діагностики. ІІІ може автоматично виявляти відхилення від нормальної роботи, які можуть бути передвісниками поломок. Використовуючи методи кластеризації та виявлення аномалій, такі як алгоритм k-середніх або алгоритми, засновані на густині, можна ідентифікувати підозрілі патерни в даних. Це дозволяє вживати превентивних заходів для усунення потенційних проблем до їх переростання у серйозні поломки.

Використання систем прогнозного технічного обслуговування (Predictive Maintenance, PdM) на основі ІІІ дозволяє значно скоротити витрати на обслуговування та підвищити надійність роботи тягового рухомого складу. PdM системи аналізують поточні та історичні дані для прогнозування часу, коли буде потрібно обслуговування або заміна компонентів. Це дозволяє уникнути незапланованих простоїв і забезпечити своєчасне технічне обслуговування.

Одним із прикладів успішного застосування ІІІ у діагностиці є використання моделей машинного навчання для прогнозування зношування підшипників у двигунах. Аналіз вібраційних даних дозволяє виявляти підвищений рівень вібрацій, що є ознакою наближення поломки. Вчасне виявлення таких ознак дозволяє замінити підшипники до того, як вони призведуть до серйозних відмов.

Важливою складовою системи прогнозного технічного обслуговування є використання сенсорів і датчиків, які постійно моніторять стан обладнання. Дані з цих сенсорів надходять до системи ІІІ, яка аналізує їх у реальному часі і порівнює з моделями нормальної поведінки. Це дозволяє миттєво виявляти аномалії та реагувати на них.

Крім цього, застосування технологій інтернету речей (IoT) у поєднанні з ШІ дозволяє створювати розумні системи моніторингу та управління тяговим рухомим складом. IoT пристрої збирають дані з різних частин обладнання та передають їх до централізованої системи аналізу. Це забезпечує повний контроль над станом техніки та своєчасне виявлення проблем.

Загалом, застосування ШІ у діагностиці технічного стану тягового рухомого складу має значний потенціал для підвищення ефективності та надійності роботи. Використання передових алгоритмів машинного навчання, аналізу часових рядів, виявлення аномалій та інтеграції з IoT технологіями дозволяє створювати ефективні системи прогностичного технічного обслуговування. Це допомагає уникати незапланованих простоїв, знижувати витрати на обслуговування та забезпечувати безперебійну роботу тягового рухомого складу.

Сучасна залізнична галузь потребує високого рівня надійності та ефективності тягового рухомого складу, що зумовлює необхідність постійного вдосконалення методів діагностики технічного стану. Одним з завдань у цій сфері є своєчасне виявлення потенційних несправностей і прогнозування можливих відмов. Використання штучного інтелекту (ШІ) в діагностиці дозволяє значно підвищити якість і швидкість цих процесів. Завдяки машинному навчанню, глибокому аналізу даних та адаптивності ШІ забезпечує нові можливості для моніторингу, аналізу та підтримки працездатності тягового обладнання.

Основою методів виявлення поломок за допомогою ШІ є використання великих обсягів даних. Дані збираються з численних датчиків, встановлених на елементах тягового рухомого складу, таких як двигуни, трансмісії, гальмівні системи, підвіски тощо. Ці сенсори фіксують широкий спектр параметрів, включаючи вібрації, температуру, рівень шуму, електричні характеристики та інші змінні. Зібрані дані передаються в реальному часі до аналітичних систем, які здійснюють їх обробку за допомогою алгоритмів штучного інтелекту.

Одним із найбільш поширених підходів до виявлення несправностей є аналіз відхилень параметрів від нормальних значень. Алгоритми машинного навчання, такі як метод опорних векторів або кластеризація, дозволяють виявляти аномальні зміни в роботі обладнання. Наприклад, якщо рівень вібрації двигуна раптово

перевищує допустимі межі, система ІІІ може сигналізувати про можливу несправність, таку як зношення підшипника.

Прогнозування поломок є наступним етапом, який базується на аналізі історичних даних і трендів у зміні параметрів. За допомогою технологій глибокого навчання, таких як рекурентні нейронні мережі (RNN) або довготривала короткочасна пам'ять (LSTM), система може моделювати поведінку обладнання в майбутньому. Наприклад, якщо температура трансмісії поступово зростає протягом певного періоду, ІІІ може передбачити, коли вона досягне критичного рівня, і запропонувати запобіжні заходи.

Ще одним ефективним методом є використання цифрових двійників. Ця технологія передбачає створення віртуальної копії тягового рухомого складу або його компонентів. Цифровий двійник відображає реальні процеси в режимі реального часу, дозволяючи порівнювати фактичну поведінку системи з моделлю, побудованою на основі ідеальних умов роботи. Різниця між фактичними та очікуваними параметрами дозволяє ідентифікувати потенційні проблеми та прогнозувати їхній вплив на загальну працездатність.

Методи кластеризації та класифікації є ще одним важливим інструментом у виявленні несправностей. Наприклад, алгоритми, такі як k-середні або нейронні мережі, дозволяють розділити дані на групи на основі схожих характеристик. Це корисно для виявлення відхилень у роботі компонентів, які можуть вказувати на потенційні проблеми. Наприклад, якщо окремих вузол обладнання починає демонструвати незвичні характеристики, його можна класифікувати як потенційно несправний і вжити заходів для запобігання відмові.

Гібридні моделі також набувають популярності в діагностиці технічного стану тягового рухомого складу. Вони поєднують у собі кілька підходів, наприклад, поєднання традиційних фізичних моделей із методами машинного навчання. Це дозволяє враховувати як фізичні закони, що описують роботу системи, так і емпіричні дані, отримані з практики. Такий підхід забезпечує більш точну діагностику та прогнозування.

Важливим аспектом використання ІІІ є адаптивність і здатність до самонавчання. Алгоритми можуть оновлювати свої моделі на основі нових даних,

що робить їх більш точними та актуальними. Наприклад, якщо в системі з'являються нові типи несправностей, ШІ може автоматично навчитися розпізнавати їх без необхідності втручання людини.

Крім того, ШІ дозволяє інтегрувати дані з різних джерел, таких як історичні записи, дані з інших транспортних засобів, погодні умови тощо. Такий підхід забезпечує комплексний аналіз і врахування всіх факторів, що можуть впливати на технічний стан тягового рухомого складу.

Застосування методів виявлення та прогнозування поломок із використанням ШІ має значні переваги перед традиційними підходами. Це дозволяє знижувати витрати на обслуговування, скорочувати тривалість простоїв, підвищувати безпеку експлуатації та оптимізувати використання ресурсів. Наприклад, завдяки своєчасному виявленню несправностей можна уникнути дорогих аварійних ремонтів і мінімізувати вплив на графік руху потягів.

Однак використання ШІ також має свої виклики. Для впровадження цих методів потрібні значні інвестиції в обладнання, програмне забезпечення та навчання персоналу. Крім того, важливо забезпечити якість і повноту даних, оскільки неточна або неповна інформація може призвести до неправильних висновків і рішень.

Перспективи розвитку ШІ в діагностиці технічного стану тягового рухомого складу включають впровадження більш складних алгоритмів, використання квантових обчислень для обробки великих обсягів даних і інтеграцію з іншими інтелектуальними системами, такими як Інтернет речей (IoT) та блокчейн. Це дозволить підвищити точність і швидкість діагностики, забезпечити прозорість процесів і знизити загальні витрати.

У підсумку, використання штучного інтелекту в діагностиці тягового рухомого складу є потужним інструментом для підвищення надійності, ефективності та економічності галузі. Завдяки інноваційним методам виявлення та прогнозування несправностей ШІ відкриває нові можливості для оптимізації процесів обслуговування й ремонту, що є важливим кроком до створення інтелектуального транспорту майбутнього.

3.2 Інтелектуальні системи моніторингу та аналізу стану обладнання

Інтелектуальні системи моніторингу та аналізу стану обладнання відіграють значущість у забезпеченні надійності та ефективності експлуатації тягового рухомого складу. Інтеграція штучного інтелекту ШІ в ці системи дозволяє підвищити точність і швидкість діагностики, а також забезпечити прогнозування технічного стану для запобігання аварійним ситуаціям.

Інтелектуальні системи моніторингу із застосуванням ШІ є елементом сучасного підходу до експлуатації та обслуговування тягового рухомого складу, що відповідає вимогам цифрової трансформації транспортної галузі.

Інтелектуальні системи моніторингу та аналізу стану обладнання (ІСМАСО) є важливою частиною сучасної індустрії, оскільки вони забезпечують підвищення надійності, безпеки та ефективності експлуатації різноманітного обладнання. Такі системи використовуються в різних галузях, включаючи промислове виробництво, енергетику, транспорт, аерокосмічну та військову техніку. Основне завдання ІСМАСО – забезпечення безперебійної роботи обладнання шляхом виявлення потенційних проблем на ранніх стадіях і надання рекомендацій для їх усунення.

Важливим з елементів інтелектуальних систем моніторингу є збір даних про стан обладнання. Це здійснюється за допомогою датчиків і сенсорів, які встановлюються на різні компоненти та підсистеми обладнання. Ці сенсори можуть вимірювати різні параметри, такі як температура, вібрація, тиск, шум, витрата енергії та інші показники. Дані, зібрані сенсорами, передаються до центральної системи аналізу, де вони обробляються і аналізуються в реальному часі.

Однією з головних переваг ІСМАСО є можливість використання штучного інтелекту (ШІ) для аналізу даних. Алгоритми машинного навчання можуть виявляти приховані закономірності та аномалії, які можуть вказувати на наближення відмов або зниження ефективності роботи обладнання. Наприклад, нейронні мережі можуть навчатися на великих наборах даних і прогнозувати ймовірність виникнення поломок на основі історичних даних. Це дозволяє

здійснювати превентивні заходи для запобігання відмовам, що значно підвищує надійність і безпеку експлуатації.

Іншим важливим елементом ICMACO є системи прогнозного технічного обслуговування (Predictive Maintenance, PdM). Такі системи аналізують поточні та історичні дані для прогнозування часу, коли буде потрібно обслуговування або заміна компонентів. Це дозволяє уникнути незапланованих простоїв і забезпечити своєчасне технічне обслуговування. Використання PdM дозволяє значно скоротити витрати на обслуговування та підвищити ефективність роботи обладнання.

Важливу роль у функціонуванні ICMACO відіграють технології інтернету речей (IoT). IoT-пристрої збирають дані з різних частин обладнання та передають їх до централізованої системи аналізу. Це забезпечує повний контроль над станом техніки та своєчасне виявлення проблем. Крім того, інтеграція IoT з ШІ дозволяє створювати розумні системи моніторингу та управління, які можуть автоматично реагувати на зміни в стані обладнання і приймати рішення для запобігання відмовам.

Застосування хмарних технологій є ще одним важливим аспектом ICMACO. Хмарні платформи дозволяють зберігати великі обсяги даних, здійснювати їх обробку та аналіз у режимі реального часу. Це забезпечує доступ до інформації з будь-якого місця та в будь-який час, що є важливим для оперативного управління та прийняття рішень.

Інтелектуальні системи моніторингу також можуть включати елементи доповненої реальності (AR) для полегшення роботи технічного персоналу. Використання AR-технологій дозволяє виводити інформацію про стан обладнання прямо на екран мобільного пристрою або спеціальних окулярів. Це забезпечує зручний доступ до необхідних даних і полегшує виконання технічного обслуговування.

Ефективність ICMACO залежить від точності та надійності сенсорів і датчиків, а також від якості алгоритмів аналізу даних. Тому важливо забезпечити високу якість збору даних і використовувати передові методи обробки інформації. Крім того, важливо проводити регулярне оновлення системи та адаптацію до нових умов експлуатації.

Інтелектуальні системи моніторингу та аналізу стану обладнання мають значний потенціал для підвищення ефективності та надійності роботи різноманітних технічних систем. Використання ШІ, IoT, хмарних технологій і доповненої реальності дозволяє створювати комплексні рішення для моніторингу та управління, що сприяє зниженню витрат на обслуговування, запобіганню відмовам та забезпеченню безперебійної роботи обладнання.

У майбутньому розвиток цих технологій і їхнє впровадження в різні галузі промисловості дозволить ще більше підвищити ефективність та надійність роботи обладнання, забезпечуючи високий рівень безпеки та економічної вигоди.

3.3 Роль інтернету речей у зборі даних для підтримки штучного інтелекту та якісного технічного обслуговування і ремонту

Інтернет речей (IoT) став фундаментальною технологією для вдосконалення якості технічного обслуговування та діагностики тягового рухомого складу. Завдяки впровадженню IoT до систем обслуговування, з'явилася можливість підвищення точності моніторингу, зменшення часу на виявлення несправностей і забезпечення безперервної роботи обладнання.

IoT забезпечує прямий зв'язок між фізичними компонентами тягового рухомого складу та інтелектуальними системами діагностики. Сучасні сенсори й датчики встановлюються на основні елементи тягового обладнання, як-от двигуни, гальмівні системи, трансмісії та підшипники. Ці пристрої фіксують широкий спектр параметрів, серед яких температура, тиск, вібрація, рівень зношення та інші критичні показники. Усі дані збираються в реальному часі та передаються на аналітичні платформи через інтернет або локальні мережі. Основні компоненти IoT є сенсори та датчики, які встановлюються на різні частини тягового рухомого складу, такі як двигуни, підшипники, гальма, трансмісії та інші критичні компоненти. Ці сенсори можуть вимірювати такі параметри, як температура, вібрація, тиск, шум, рівень масла, швидкість та інші показники. Зібрані дані

передаються до централізованої системи управління через бездротові мережі або інтернет.

Однією з переваг використання IoT є можливість цілодобового моніторингу технічного стану обладнання. Це дозволяє швидко виявляти відхилення від норми та оперативно реагувати на потенційні загрози. Наприклад, якщо сенсори фіксують аномальні показники, такі як надмірна вібрація чи перегрів, система може негайно передати ці дані для аналізу штучному інтелекту, який оцінює їх і визначає необхідні дії [12]. ШІ використовує зібрані дані для створення моделей, які прогнозують можливі поломки та визначають оптимальні терміни проведення технічного обслуговування. Алгоритми машинного навчання дозволяють виявляти закономірності в даних і передбачати майбутні події на основі історичних даних. Це дозволяє здійснювати превентивні заходи для запобігання відмовам та забезпечувати високу надійність тягового рухомого складу.

Зібрані IoT-дані аналізуються алгоритмами машинного навчання, які допомагають виявляти приховані закономірності. На основі цих моделей можна прогнозувати можливі поломки, оптимізувати графіки технічного обслуговування та визначати найбільш ризиковані вузли обладнання. Це сприяє не лише запобіганню аварій, а й економії ресурсів, оскільки обслуговування виконується в точно визначені терміни, без зайвих витрат.

Одним із найбільш перспективних напрямів є впровадження концепції цифрових двійників – віртуальних моделей реального обладнання, які оновлюються в режимі реального часу завдяки даним, що надходять від IoT-пристроїв. Ці моделі дозволяють проводити симуляції, аналізувати поведінку системи та приймати обґрунтовані рішення щодо технічного обслуговування. Таким чином, IoT сприяє не лише моніторингу, але й створенню інтерактивних інструментів для покращення якості діагностики.

Хмарні платформи, інтегровані з IoT, забезпечують централізоване зберігання та аналіз даних. Це дозволяє отримувати доступ до інформації з будь-якого місця та в будь-який час, що особливо важливо для підприємств, які працюють у різних регіонах. Обробка даних у хмарі забезпечує високу швидкість

та точність аналізу, а також можливість масштабування системи у разі зростання кількості пристроїв чи обсягу інформації.

IoT створює умови для автоматизації діагностичних процесів, що знижує вплив людського фактора та мінімізує ймовірність помилок. Завдяки цьому досягається підвищення надійності роботи тягового рухомого складу. Наприклад, якщо система фіксує критичне збільшення температури в двигуні, IoT-інфраструктура може автоматично знизити навантаження або вимкнути обладнання до початку серйозних пошкоджень.

Ще одним важливим аспектом є інтеграція IoT із корпоративними інформаційними системами, такими як ERP (управління ресурсами підприємства) та MES (системи виконання виробництва). Це дозволяє створити єдиний інформаційний простір для управління всіма процесами обслуговування, включно з плануванням, виконанням та аналізом результатів. Такий підхід сприяє оптимізації витрат та підвищенню загальної ефективності підприємства.

Застосування IoT у технічному обслуговуванні тягового рухомого складу має значний економічний ефект. Завдяки прогнозуванню несправностей і оптимізації процесів можна скоротити витрати на аварійні ремонти, зменшити кількість простоїв та підвищити ефективність використання ресурсів. Окрім того, аналіз зібраних даних допомагає ідентифікувати конструктивні недоліки, які можуть бути усунуті через модернізацію.

Інтернет речей є частиною сучасних систем діагностики та обслуговування тягового рухомого складу. Використання IoT забезпечує безперервний збір і аналіз даних, створюючи нові можливості для підвищення якості та ефективності технічного обслуговування. Інтеграція IoT із сучасними технологіями, такими як хмарні обчислення, цифрові двійники та ERP-системи, сприяє розвитку інноваційних рішень, що забезпечують надійність, безпеку та економічність залізничного транспорту. Застосування IoT у зборі даних для підтримки ІІІ у діагностиці технічного стану тягового рухомого складу також дозволяє підвищити ефективність процесів обслуговування та ремонту. Завдяки аналізу даних можна визначати оптимальні терміни проведення технічного обслуговування, що дозволяє уникати незапланованих простоїв та забезпечувати безперервну роботу

обладнання. Крім того, аналіз даних дозволяє виявляти слабкі місця в конструкції та проводити їхню модернізацію, що підвищує загальну надійність тягового рухомого складу.

Іншим важливим аспектом використання IoT у зборі даних є можливість інтеграції з іншими системами управління, такими як ERP (Enterprise Resource Planning) або MES (Manufacturing Execution System). Це дозволяє забезпечити єдиний інформаційний простір для управління всіма процесами обслуговування та ремонту, що підвищує ефективність роботи підприємства.

Використання IoT також сприяє розвитку концепції «цифрових двійників» – віртуальних моделей реальних об'єктів, які дозволяють здійснювати симуляції та аналіз стану обладнання в режимі реального часу. Це забезпечує більш точне прогнозування поломок та оптимізацію процесів обслуговування.

Загалом, роль інтернету речей у зборі даних для підтримки штучного інтелекту при діагностиці технічного стану тягового рухомого складу є надзвичайно важливою. Використання IoT дозволяє забезпечити високу точність та оперативність збору даних, що є необхідним для ефективного функціонування систем ІІІ. Інтеграція IoT з хмарними технологіями, системами управління та концепцією цифрових двійників створює комплексне рішення для моніторингу та управління технічним станом тягового рухомого складу, що сприяє підвищенню надійності, безпеки та ефективності його експлуатації.

4 Забезпечення якості з урахуванням інформаційно-вимірювальних технологій в процесі обслуговування та ремонту тягового рухомого складу

Якість обслуговування та ремонту тягового рухомого складу відіграє вирішальну роль у забезпеченні безперебійної експлуатації залізничного транспорту. Удосконалення цих процесів завдяки впровадженню інформаційно-вимірювальних технологій відкриває нові можливості для підвищення надійності та ефективності технічного обслуговування. Ці технології дозволяють виконувати точні діагностику, моніторинг і управління станом обладнання, що сприяє зменшенню витрат і покращенню експлуатаційних характеристик.

Сучасні вимоги до надійності рухомого складу потребують високої точності діагностики технічного стану [3]. Інформаційно-вимірювальні технології забезпечують можливість реєстрації великого обсягу даних з сенсорів, які встановлюються на несучих вузлах та агрегатах локомотивів. Ці дані дозволяють виявляти навіть найдрібніші відхилення у функціонуванні систем, що є критично важливим для своєчасного прийняття рішень.

Основою цих технологій є сенсори, які реєструють параметри, такі як вібрація, температура, тиск, рівень зносу та електричні характеристики. Використання сенсорів у поєднанні з програмними рішеннями дозволяє збирати, обробляти та аналізувати дані в режимі реального часу. Наприклад, моніторинг температури підшипників або вібрації двигуна може вказувати на приховані дефекти, які можуть призвести до поломок.

В якості прикладу розглянемо одну з частих проблем, з яким стискаються локомотивні бригади та ремонтний персонал в обслуговуванні пасажирських електровозів серії ЧС. Проблема несправності тягового електродвигуна викликає більша частина факторів, яких навіть людина не в змозі оцінити фактори ризику та природи виникнення поломки. Завдяки діаграмі Ісікави ми проаналізуємо теорію, факти та вихід з ситуації, як можна запобігти уникненню даної несправності в контексті використання штучного інтелекту (рис. 4.1)

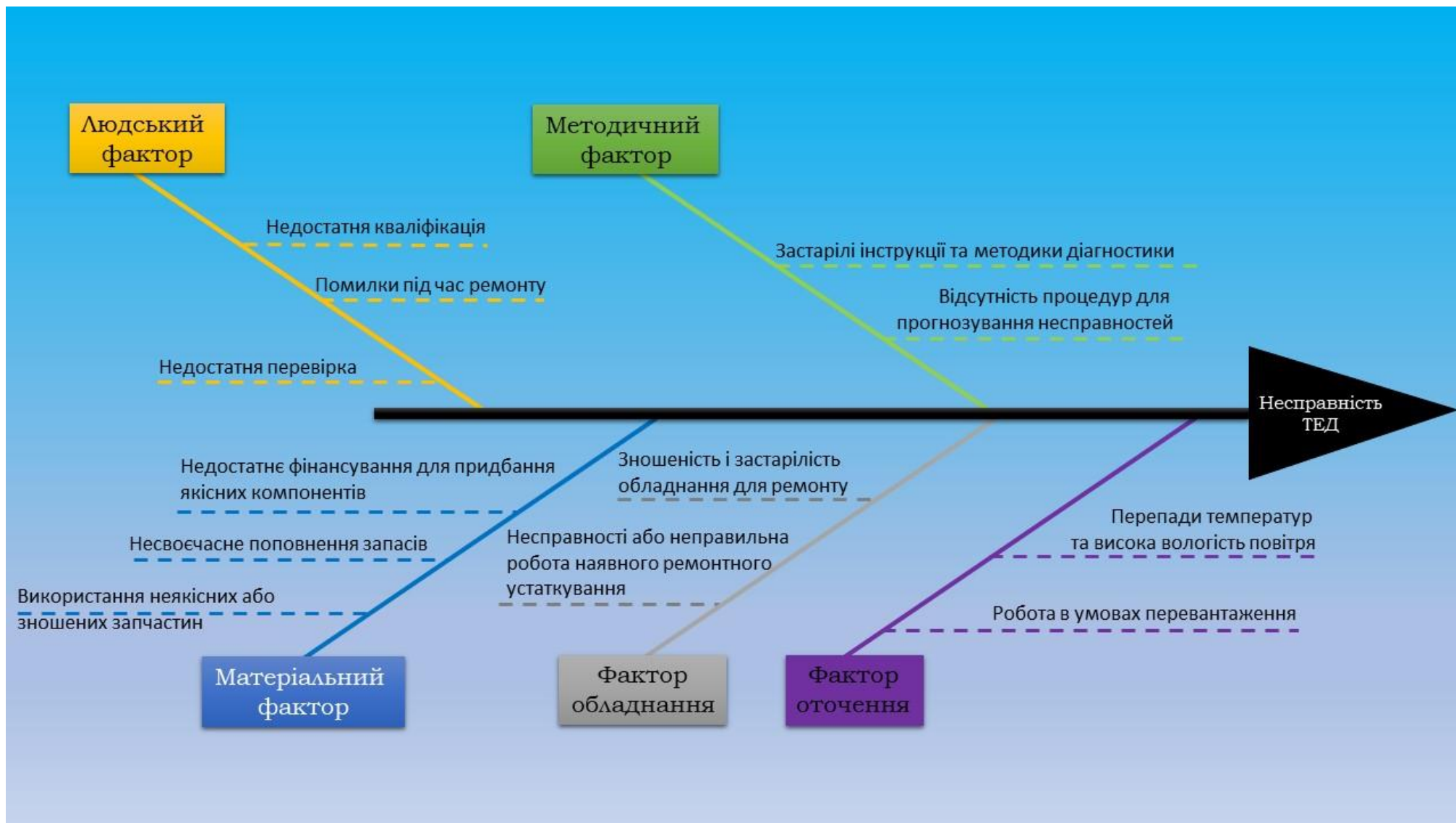


Рисунок 4.1 – Застосування діаграми Ісікави під час пошуку факторів несправності тягового електродвигуна

Несправність тягового електродвигуна електровоза є серйозною проблемою, яка може значно вплинути на експлуатацію всього залізничного складу. Відмови в роботі тягових електродвигунів можуть призводити до затримок у перевезеннях, збільшення витрат на ремонт, а також до потенційних ризиків для безпеки. Розглянемо основні аспекти та причини, які можуть викликати ці несправності.

Значна частина причин несправності тягових електродвигунів пов'язана з людським фактором. Недостатня кваліфікація технічного персоналу, помилки під час ремонтних робіт або недостатній контроль якості обслуговування можуть призводити до неправильного встановлення або налаштування електродвигунів. Навіть незначні помилки можуть викликати серйозні відмови, що підвищує ризик аварійних ситуацій.

Матеріальні фактори також відіграють важливу роль у виникненні несправностей. Зношення компонентів електродвигунів, такі як підшипники, обмотки або щітки, може спричинити їхній вихід з ладу. Відсутність належного технічного обслуговування, такого як своєчасна заміна мастила або очищення компонентів, може прискорити процес зношування. Дефекти виробництва, які можуть виникати під час виготовлення електродвигунів, також можуть бути причиною їхньої відмови. Наприклад, недоліки в ізоляції обмоток можуть призвести до коротких замикань, що може пошкодити електродвигун.

Фактори оточення також мають значний вплив на роботу тягових електродвигунів. Перевантаження двигунів, що часто трапляється під час експлуатації, може спричинити перегрів і пошкодження компонентів. Неправильна експлуатація, така як часті запуски та зупинки, також може збільшувати знос електродвигунів. Невчасне або недостатнє технічне обслуговування, яке не враховує специфічні умови експлуатації, може призвести до передчасного виходу з ладу електродвигунів. Високі або низькі температури, вологість, пил або агресивні хімічні середовища можуть прискорити зношення компонентів. Корозія, викликана впливом вологи або хімічних речовин, може призвести до пошкодження обмоток та інших частин електродвигуна. Пил та інші забруднення можуть потрапляти всередину двигуна, що може спричинити збої в його роботі.

Фактор обладнання стосується якості й стану інструментів і пристроїв, які використовуються для ремонту та обслуговування тягових електродвигунів. Багато депо стикаються з проблемою застарілого обладнання, яке вже не відповідає сучасним вимогам точності та надійності. Відсутність сучасних засобів діагностики, таких як автоматизовані системи моніторингу, значно ускладнює процес визначення технічного стану електродвигуна. Несправності самого ремонтного обладнання часто залишаються поза увагою через недоліки у його обслуговуванні, що також негативно впливає на якість ремонтних робіт. Крім того, недостатня кількість необхідного обладнання змушує працівників використовувати менш ефективні методи, що збільшує ризик помилок і знижує продуктивність праці. Усе це ускладнює процес підтримки електродвигунів у належному стані, сприяючи підвищенню частоти несправностей і зменшенню терміну їх експлуатації.

Методичний фактор у несправностях тягового електродвигуна відіграє вагомий роль, оскільки відсутність сучасних і точних методик діагностики та ремонту часто стає причиною помилок під час технічного обслуговування. Застарілі інструкції, що не враховують новітніх технологій, значно ускладнюють процес діагностики, що призводить до невчасного виявлення несправностей або їх ігнорування. Неправильні або недосконалі графіки обслуговування не дозволяють вчасно проводити необхідні ремонтні роботи, що сприяє накопиченню зношування та появі критичних пошкоджень. Також велике значення має відсутність чітко прописаних процедур прогнозування несправностей, що могли б зменшити кількість аварійних ситуацій. Невідповідність методичних рекомендацій реальним умовам експлуатації електродвигунів також є ключовою проблемою, яка потребує вирішення шляхом розробки більш адаптованих і актуальних підходів до технічного обслуговування.

Важливим аспектом є впровадження сучасних систем діагностики та управління, які можуть допомогти виявляти та усувати проблеми на ранніх стадіях. Відсутність таких систем призводить до того, що несправності виявляються лише тоді, коли вони вже спричинили серйозні пошкодження. Використання систем моніторингу в режимі реального часу дозволяє оперативно реагувати на будь-які

відхилення від нормальної роботи, що допомагає запобігти серйозним відмовам та зменшити витрати на ремонт.

Для підвищення надійності та ефективності експлуатації тягових електродвигунів необхідно також забезпечити належну підготовку технічного персоналу. Обов'язкове навчання та підвищення кваліфікації інженерів та техніків допоможуть уникнути багатьох помилок під час обслуговування та ремонту. Важливо забезпечити доступ до сучасних інструкцій та стандартів, які враховують новітні технології та методи діагностики.

Забезпечення належного технічного обслуговування також включає регулярну перевірку та заміну зношених компонентів. Використання високоякісних матеріалів та компонентів під час ремонту допоможе збільшити термін служби електродвигунів. Важливо проводити регулярні огляди та діагностику стану електродвигунів, щоб вчасно виявляти будь-які проблеми та усувати їх до того, як вони спричинять серйозні пошкодження.

Іншим важливим аспектом є оптимізація експлуатаційних умов. Необхідно уникати перевантаження двигунів та дотримуватися рекомендованих режимів роботи. Регулярне технічне обслуговування повинно враховувати специфічні умови експлуатації, такі як кліматичні умови, частота запусків та зупинок, навантаження тощо.

Таким чином, несправність тягового електродвигуна електровоза є багатогранною проблемою, яка потребує комплексного підходу для її вирішення. Важливо враховувати всі можливі причини та фактори, які можуть вплинути на роботу електродвигунів, і вживати превентивних заходів для їх запобігання. Впровадження сучасних технологій, забезпечення належного технічного обслуговування та підготовки персоналу, а також оптимізація експлуатаційних умов допоможуть підвищити надійність та ефективність роботи тягових електродвигунів, що в свою чергу забезпечить безперебійну роботу залізничного транспорту.

Використання інформаційно-вимірювальних технологій у процесі обслуговування та ремонту тягового рухомого складу значно підвищує якість надання послуг та ефективність експлуатації обладнання. Це пояснюється рядом

ключових аспектів, які включають точність діагностики, оперативність реагування, зниження витрат та забезпечення безпеки.

Перш за все, інформаційно-вимірювальні технології дозволяють забезпечити високоточну діагностику стану тягового рухомого складу. Сенсори та датчики, встановлені на різних компонентах обладнання, постійно моніторять його стан у режимі реального часу. Це включає вимірювання таких параметрів, як температура, вібрація, тиск, рівень зношування компонентів, витрата енергії та інші критичні показники. Зібрані дані передаються до централізованої системи управління, де вони обробляються та аналізуються за допомогою алгоритмів штучного інтелекту. Це дозволяє оперативно виявляти аномалії та передбачати можливі відмови, що забезпечує своєчасне втручання та запобігання серйозним несправностям.

Оперативність реагування є ще одним важливим аспектом використання інформаційно-вимірювальних технологій. Дані, зібрані сенсорами, можуть бути автоматично передані до технічного персоналу або системи управління, що дозволяє швидко реагувати на будь-які відхилення від норми. Наприклад, якщо система виявляє підвищений рівень вібрації в одному з електродвигунів, вона може автоматично відправити сповіщення інженеру, який негайно перевірить стан обладнання та вживатиме необхідних заходів. Це значно скорочує час простою та забезпечує безперебійну роботу тягового рухомого складу.

Зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт є ще однією перевагою використання інформаційно-вимірювальних технологій. Завдяки точній діагностиці та прогнозуванню можливих відмов, можна планувати технічне обслуговування на основі фактичного стану обладнання, а не за заздалегідь визначеним графіком. Це дозволяє уникнути непотрібних замін компонентів та зниження витрат на матеріали та роботу. Крім того, зменшується ризик виникнення серйозних поломок, що потребують дорогого ремонту або заміни великих вузлів та агрегатів.

Забезпечення безпеки експлуатації тягового рухомого складу є ще одним важливим аспектом використання інформаційно-вимірювальних технологій. Своєчасне виявлення несправностей та аномалій дозволяє уникнути аварійних ситуацій та зменшити ризик для пасажирів і технічного персоналу. Наприклад,

виявлення перегріву двигуна або зносу підшипників на ранній стадії дозволяє вжити превентивних заходів, таких як заміна підшипників або налаштування системи охолодження, що запобігає серйозним аваріям та збоїв у роботі.

Важливим аспектом використання інформаційно-вимірювальних технологій є також підвищення прозорості та контролю за процесами обслуговування та ремонту. Всі дані про стан обладнання зберігаються в централізованій системі, що дозволяє технічному персоналу отримувати доступ до необхідної інформації в будь-який момент. Це забезпечує повний контроль над станом тягового рухомого складу та дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо технічного обслуговування та ремонту.

Інтеграція інформаційно-вимірювальних технологій з існуючими системами управління, такими як ERP (Enterprise Resource Planning) та MES (Manufacturing Execution System), дозволяє створити єдиний інформаційний простір для управління всіма процесами обслуговування та ремонту. Це забезпечує високу ефективність управління ресурсами та оптимізацію виробничих процесів. Наприклад, дані про стан обладнання можуть бути використані для планування запасів матеріалів, що необхідні для ремонту, або для оптимізації розкладу технічного обслуговування.

Інформаційно-вимірювальні технології також сприяють підвищенню рівня кваліфікації технічного персоналу. Доступ до сучасних інструментів діагностики та аналізу дозволяє інженерам та технікам краще розуміти стан обладнання та оперативно виявляти та усувати несправності [4]. Це сприяє підвищенню ефективності роботи та зниженню ризику виникнення помилок під час технічного обслуговування та ремонту.

Використання інформаційно-вимірювальних технологій також сприяє розвитку інноваційних підходів до технічного обслуговування та ремонту. Наприклад, застосування методів прогностичного технічного обслуговування (Predictive Maintenance, PdM) дозволяє передбачати можливі відмови на основі аналізу даних та приймати превентивні заходи для їх запобігання. Це забезпечує більш високу надійність та безпеку експлуатації обладнання, а також знижує витрати на ремонт та обслуговування.

Загалом, використання інформаційно-вимірювальних технологій у процесі обслуговування та ремонту тягового рухомого складу має значний позитивний вплив на якість надання послуг. Це забезпечує точну діагностику та прогнозування можливих відмов, оперативне реагування на проблеми, зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт, підвищення безпеки та прозорості процесів, а також розвиток інноваційних підходів до технічного обслуговування та ремонту. Впровадження сучасних інформаційно-вимірювальних технологій дозволяє забезпечити високу ефективність та надійність роботи тягового рухомого складу, що в свою чергу сприяє підвищенню якості надання послуг у залізничному транспорті.

4.1 Застосування предиктивного обслуговування на основі аналізу даних

Предиктивне обслуговування (Predictive Maintenance, PdM) – це сучасний підхід до технічного обслуговування обладнання, який базується на аналізі даних для прогнозування можливих несправностей ще до їх виникнення. Використання цього методу в тяговому рухомому складі дозволяє значно підвищити ефективність експлуатації, мінімізувати простой та знизити витрати на ремонт.

Предиктивне обслуговування, засноване на аналізі даних, є важливим інструментом для забезпечення стабільної та економічно ефективної роботи тягового рухомого складу. Його впровадження дозволяє залізничним операторам перейти від реактивного до превентивного обслуговування, значно підвищуючи загальний рівень експлуатаційної ефективності.

Предиктивне обслуговування (Далі – Predictive Maintenance, PdM) є одним із найбільш інноваційних підходів у сфері технічного обслуговування обладнання. Цей метод базується на використанні великих обсягів даних і аналітичних інструментів для прогнозування можливих несправностей і оптимізації процесів обслуговування. Завдяки впровадженню сучасних технологій, таких як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання, предиктивне

обслуговування дозволяє значно підвищити надійність технічних систем, знизити витрати на ремонти та мінімізувати простой.

Основною ідеєю предиктивного обслуговування є перехід від реактивного або планово-попереджувального підходу до проактивного. Традиційні методи ТОiP передбачають обслуговування за фіксованим графіком або після виникнення несправностей. У випадку з предиктивним обслуговуванням роботи виконуються лише тоді, коли аналіз даних вказує на ризик відмови. Це дозволяє оптимізувати використання ресурсів і забезпечити обслуговування обладнання саме тоді, коли це дійсно необхідно.

Елементом PdM є збір даних з обладнання в реальному часі. Для цього використовуються сенсори, що вимірюють різні параметри, такі як вібрація, температура, тиск, швидкість, електричні характеристики тощо [13]. Дані, зібрані з сенсорів, передаються до центральної аналітичної системи через мережі IoT. Система аналізує ці дані за допомогою алгоритмів машинного навчання, які визначають закономірності та відхилення від нормального стану.

Одним із основних методів аналізу даних у PdM є пошук аномалій. Алгоритми порівнюють поточні параметри обладнання з історичними даними та виявляють відхилення, які можуть свідчити про початок процесу деградації. Наприклад, якщо рівень вібрації двигуна перевищує допустимі межі або температура підшипника починає повільно зростати, система може сигналізувати про можливу несправність і рекомендувати технічну перевірку.

Ще одним важливим методом є побудова прогнозних моделей. Завдяки використанню статистичних методів і нейронних мереж система може передбачити, коли саме відбудеться відмова. Це дозволяє планувати обслуговування заздалегідь і зменшувати ризик непередбачених зупинок обладнання. Наприклад, якщо аналіз показує, що термін служби фільтра в системі закінчиться через два тижні, його можна замінити в рамках планового ремонту, уникнувши раптової поломки.

Цифрові двійники також широко використовуються в предиктивному обслуговуванні. Це цифрові копії реальних систем, які моделюють їхній стан у режимі реального часу. Цифровий двійник дозволяє не лише аналізувати поточний

стан обладнання, а й моделювати різні сценарії експлуатації та їхній вплив на знос компонентів. Це особливо корисно для складних систем, таких як тяговий рухомий склад, де кожен вузол впливає на загальну працездатність.

Предиктивне обслуговування має значні переваги перед іншими підходами. По-перше, воно дозволяє значно знизити витрати на ремонти завдяки скороченню кількості аварійних ситуацій і оптимізації витрат на обслуговування. По-друге, PdM підвищує надійність систем, оскільки дозволяє уникнути непередбачених відмов, що можуть призвести до значних збитків. По-третє, цей підхід сприяє зменшенню простоїв обладнання, оскільки всі роботи виконуються заздалегідь сплановано, без втручання в робочий процес.

Застосування PdM є особливо актуальним для залізничного транспорту, де надійність обладнання має вирішальне значення для безпеки пасажирів і ефективності перевезень. Наприклад, використання предиктивного обслуговування на тяговому рухомому складі дозволяє вчасно виявляти зношення компонентів, таких як колісні пари, підшипники, двигуни та гальмівні системи. Це забезпечує стабільну роботу поїздів і знижує ризик виникнення аварійних ситуацій.

Однак впровадження предиктивного обслуговування має свої виклики. По-перше, для створення ефективних систем PdM потрібні значні інвестиції в сенсори, мережеву інфраструктуру та програмне забезпечення. По-друге, для аналізу великих обсягів даних потрібні потужні обчислювальні ресурси й передові алгоритми. По-третє, важливим є навчання персоналу, який має розуміти принципи роботи системи та вміти використовувати її в повсякденній роботі.

Крім того, успішність PdM значною мірою залежить від якості даних. Якщо дані, зібрані з обладнання, є неповними або неточними, це може призвести до неправильних висновків і рішень. Тому підприємства мають забезпечувати регулярне технічне обслуговування сенсорів і систем збору даних.

Перспективи розвитку предиктивного обслуговування включають інтеграцію з іншими інтелектуальними системами, такими як штучний інтелект, квантові обчислення та блокчейн. Наприклад, блокчейн може забезпечити прозорість і безпеку зберігання даних, а квантові обчислення дозволять значно прискорити аналіз складних моделей. Крім того, з розвитком технологій Інтернету речей

з'являються нові можливості для створення ще більш точних і масштабованих систем PdM.

Застосування предиктивного обслуговування на основі аналізу даних відкриває нові можливості для підприємств у різних галузях. Це інноваційне рішення дозволяє знижувати витрати, підвищувати надійність технічних систем і оптимізувати використання ресурсів. У сучасному світі, де конкуренція й темпи змін постійно зростають, PdM стає важливим інструментом для забезпечення стабільності та ефективності бізнесу.

4.2 Інтеграція штучного інтелекту в системи автоматизованого управління ремонтами

Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) у системи автоматизованого управління ремонтами (САУР) є одним із важливих напрямків цифрової трансформації у сфері технічного обслуговування та ремонту. Сучасні технології дозволяють поєднувати можливості машинного навчання, великих даних і Інтернету речей для створення інтелектуальних рішень, які значно підвищують ефективність та надійність обслуговування тягового рухомого складу. Це особливо важливо для залізничного транспорту, де будь-які несправності можуть призводити до значних фінансових витрат і ризиків для безпеки.

Однією з основних переваг використання ШІ є здатність аналізувати великі обсяги даних з різних джерел: датчиків на обладнанні, журналів обслуговування, експлуатаційних звітів та історичних даних про несправності [23]. Ці дані можуть бути використані для виявлення закономірностей і прихованих зв'язків, які не завжди очевидні при традиційному аналізі. Наприклад, алгоритми машинного навчання здатні виявляти ранні ознаки зносу деталей, що дозволяє запобігати їхній передчасній відмові.

ШІ також дозволяє впроваджувати методи прогнозного обслуговування, які базуються на аналізі фактичного стану обладнання. Замість фіксованих

регламентів, що часто не враховують індивідуальних умов експлуатації, обслуговування проводиться у відповідь на реальні потреби. Це не тільки знижує ризик аварійних ситуацій, але й дозволяє оптимізувати використання ресурсів, зменшити простої техніки та скоротити витрати на ремонти.

Однією з важливих функцій ІІІ в САУР є автоматизація прийняття рішень. Наприклад, система може автоматично визначати пріоритетність ремонтів залежно від критичності несправності, генерувати замовлення на запчастини чи планувати роботу ремонтних бригад. Це значно знижує навантаження на персонал і дозволяє уникнути людських помилок у процесі управління ремонтами. Більш того, такі системи можуть надавати інженерам обґрунтовані рекомендації, спираючись на аналіз реальних даних і моделей, побудованих на основі машинного навчання.

Інтеграція ІІІ в САУР також покращує управління запасами. Система може прогнозувати потребу в запасних частинах, ґрунтуючись на аналізі історичних даних і поточних прогнозах несправностей. Це дозволяє знизити витрати на зберігання надлишкових запасів і водночас уникнути затримок у ремонтах через відсутність необхідних компонентів. Таким чином, забезпечується баланс між наявністю запасів і витратами на їхнє утримання.

Важливою складовою впровадження ІІІ є моніторинг стану обладнання в режимі реального часу. Дані з IoT-сенсорів передаються до аналітичних платформ, де вони обробляються та аналізуються. Це дозволяє швидко реагувати на аномалії в роботі систем, запобігаючи потенційним несправностям. Крім того, ці дані використовуються для оновлення моделей прогнозування, що забезпечує їхню актуальність і точність навіть у змінних умовах експлуатації.

Однією з перспективних технологій, пов'язаних із ІІІ, є цифрові двійники – віртуальні копії фізичних об'єктів, які дозволяють моделювати їхню поведінку у різних умовах. Цифровий двійник тягового обладнання може бути використаний для прогнозування його стану, тестування різних сценаріїв обслуговування чи навіть навчання персоналу без необхідності втручання в реальне обладнання. Це відкриває нові горизонти для впровадження інновацій у сфері технічного обслуговування та ремонту.

Попри численні переваги, інтеграція ШІ в САУР супроводжується певними викликами. По-перше, це висока вартість впровадження, що включає встановлення сенсорів, розробку програмного забезпечення, навчання персоналу та модернізацію інфраструктури. По-друге, для успішної роботи системи необхідно забезпечити якісний збір і підготовку даних, оскільки їхня неповнота або неточність можуть знижувати ефективність алгоритмів. По-третє, важливим аспектом є інтеграція ШІ з існуючими системами управління, що може вимагати значних зусиль і адаптації.

Під час впровадження ШІ слід дотримуватися поступового підходу, починаючи з аналізу потреб і визначення пріоритетів. Наприклад, можна спочатку зосередитися на найбільш критичних компонентах обладнання, а потім поступово розширювати охоплення системи. Важливим етапом є навчання персоналу, адже для ефективного використання інтелектуальних систем потрібні нові навички й підходи до роботи.

Інтеграція штучного інтелекту в системи автоматизованого управління ремонтами є не лише технічним викликом, а й стратегічним рішенням, яке визначатиме майбутнє галузі. Це дозволяє значно підвищити ефективність управління ремонтами, скоротити витрати, забезпечити високу надійність та безпеку обладнання. У поєднанні з іншими інноваціями, такими як цифрові двійники, роботизація і хмарні технології, ШІ стає потужним інструментом для створення сучасної, ефективною та стійкої системи технічного обслуговування.

4.3 Оптимізація графіків обслуговування і ремонту

Оптимізація графіків обслуговування і ремонту є складовою ефективного управління технічним станом тягового рухомого складу. В сучасних умовах, коли залізнична галузь стикається зі зростаючими вимогами до продуктивності, економічної ефективності та безпеки, грамотне планування технічного обслуговування та ремонтів стає важливим інструментом для досягнення стратегічних цілей. Використання сучасних технологій, таких як штучний інтелект

(ШІ), великі дані та Інтернет речей (ІоТ), дозволяє створювати адаптивні та оптимізовані графіки, що враховують реальний стан обладнання, його ресурс та експлуатаційні навантаження.

Однією з головних проблем у традиційних підходах до планування є залежність від фіксованих регламентів обслуговування. Такі графіки, як правило, формуються на основі нормативів, які не враховують реальних умов експлуатації або індивідуальних особливостей роботи обладнання. Це призводить до ситуацій, коли технічне обслуговування виконується або занадто часто, що створює зайві витрати, або занадто рідко, що підвищує ризик аварійних відмов. Оптимізація графіків дозволяє вирішити ці проблеми шляхом переходу до індивідуалізованого планування, орієнтованого на фактичний стан обладнання.

Сучасні технології дають змогу аналізувати великий обсяг даних з різних джерел, таких як сенсори, що моніторять стан компонентів, історичні дані про ремонтні роботи, графіки руху поїздів та операційне навантаження. Наприклад, сенсори, що вимірюють вібрацію, температуру або рівень зношення деталей, дозволяють у режимі реального часу отримувати точну інформацію про технічний стан вузлів і агрегатів. Дані передаються в аналітичні системи, де вони обробляються за допомогою алгоритмів машинного навчання для оцінки залишкового ресурсу компонентів і прогнозування потенційних відмов.

Інтеграція цих даних у систему управління обслуговуванням і ремонтами забезпечує створення динамічних графіків, які адаптуються до змін у стані обладнання. Наприклад, якщо сенсори фіксують підвищену вібрацію в підшипниках, система може автоматично рекомендувати проведення додаткової перевірки або заміни компонента до настання критичного рівня зношення. У той же час, обладнання, яке працює в нормальному режимі, може залишатися в експлуатації довше без необхідності у завчасному обслуговуванні.

Одним із інструментів для оптимізації графіків є методи прогнозного обслуговування (Predictive Maintenance, PdM). Цей підхід дозволяє планувати роботи на основі аналітики, яка враховує не тільки поточний стан техніки, але й умови її експлуатації. Наприклад, тяговий рухомий склад, який працює в складних умовах – при низьких температурах або високих навантаженнях, – може

потребувати більш частого обслуговування, ніж аналогічне обладнання, що експлуатується у сприятливих умовах. Застосування прогностного обслуговування забезпечує точність планування, мінімізує ризики несподіваних відмов та оптимізує витрати.

Автоматизація процесів планування є ще одним важливим аспектом оптимізації графіків. Інтелектуальні системи управління, інтегровані з базами даних та системами моніторингу, дозволяють автоматично формувати графіки, враховуючи доступність ресурсів, рівень завантаження ремонтних депо та пріоритетність робіт. Наприклад, у разі необхідності одночасного ремонту кількох одиниць техніки система може запропонувати оптимальний порядок виконання робіт, який мінімізує простої та забезпечить ефективне використання ремонтних потужностей.

Важливу роль у процесі оптимізації відіграють також економічні аспекти. Сучасні системи управління дозволяють оцінювати витрати на кожен вид робіт і враховувати їх у процесі планування. Наприклад, можна проаналізувати, чи доцільно виконувати заміну деталей до закінчення їхнього ресурсу, якщо це дозволить уникнути дорогого аварійного ремонту [11]. Такий підхід забезпечує раціональне використання фінансових ресурсів і сприяє зниженню загальної вартості обслуговування.

Крім того, оптимізація графіків технічного обслуговування і ремонту сприяє підвищенню загальної експлуатаційної надійності техніки. Завдяки тому, що всі роботи виконуються вчасно, знижується ймовірність відмов, які можуть вплинути на безпеку перевезень. Це особливо важливо для тягового рухомого складу, від якого залежить стабільність роботи залізничної інфраструктури.

Окремо варто відзначити вплив цифрових двійників на оптимізацію графіків. Ця технологія дозволяє створювати віртуальні моделі реальних об'єктів, які відображають їхній технічний стан у режимі реального часу. Цифровий двійник може бути використаний для моделювання різних сценаріїв роботи обладнання, тестування впливу експлуатаційних умов на його ресурс і навіть перевірки ефективності запропонованих графіків обслуговування. Такий підхід забезпечує додаткову гнучкість і точність у процесі планування.

Успішна оптимізація графіків залежить також від навчання персоналу та зміни підходів до організації роботи. Важливо, щоб інженери та менеджери мали необхідні знання та навички для роботи з інтелектуальними системами. Наприклад, вони повинні вміти інтерпретувати дані, які надає система, розуміти принципи роботи алгоритмів ШІ та враховувати їхні рекомендації у прийнятті рішень.

Попри численні переваги, впровадження оптимізованих графіків може стикатися з певними викликами. До них належать висока вартість обладнання та програмного забезпечення, необхідність модернізації існуючої інфраструктури, складність інтеграції з наявними системами управління та недостатня якість даних для аналізу. Однак ці труднощі є тимчасовими і можуть бути подолані за умови правильного планування та поступового впровадження інновацій.

Таким чином, оптимізація графіків обслуговування і ремонту є не лише технічним завданням, але й стратегічним інструментом для підвищення ефективності роботи залізничного транспорту. Використання сучасних технологій, таких як ШІ, IoT, великі дані та цифрові двійники, дозволяє створювати адаптивні системи управління, які забезпечують високу надійність, безпеку та економічну ефективність. Впровадження таких рішень сприяє розвитку галузі, відповідаючи на виклики сучасності та забезпечуючи її сталий розвиток у майбутньому.

5 Забезпечення якості послуг з урахування міжнародного досвіду

Моделювання та аналіз результатів є частиною процесу впровадження інноваційних рішень у сфері діагностики та технічного обслуговування тягового рухомого складу. Ці процеси дозволяють не лише передбачати можливі результати від впровадження нових технологій, але й забезпечують їхню оптимізацію ще на етапі проєктування. Використання сучасних підходів до моделювання, таких як цифрові двійники, алгоритми штучного інтелекту (ШІ) та методи обчислювального моделювання, дозволяє значно підвищити точність оцінок і забезпечити прийняття обґрунтованих рішень.

Моделювання – це процес створення математичних або цифрових моделей реальних систем, які дозволяють аналізувати їхню поведінку у різних умовах. У сфері технічного обслуговування тягового рухомого складу моделі можуть відображати роботу окремих вузлів і агрегатів, функціонування всієї системи в цілому або навіть взаємодію між різними компонентами. Наприклад, можна створити модель роботи тягового електродвигуна, яка враховує такі параметри, як температура, вібрація, напруга і струм, щоб визначити вплив експлуатаційних умов на його ресурс.

Із інструментів моделювання є цифрові двійники. Ця технологія дозволяє створити віртуальну копію фізичного об'єкта, яка відображає його технічний стан у реальному часі [19]. Цифрові двійники використовуються для симуляції різних сценаріїв роботи, аналізу впливу зовнішніх факторів на стан обладнання та тестування ефективності запропонованих заходів технічного обслуговування. Наприклад, цифровий двійник локомотива може моделювати наслідки впровадження нових методів діагностики або оцінювати, як зміни у графіку обслуговування вплинуть на надійність техніки.

Моделювання дозволяє вирішувати завдання прогнозування. Використовуючи історичні дані про експлуатацію, алгоритми машинного навчання можуть передбачати ймовірність виникнення несправностей, залишковий ресурс компонентів або ефективність технічного обслуговування. Наприклад, алгоритми

прогнозування можуть виявити, що певний вузол систематично виходить з ладу за схожих умов експлуатації, що дає змогу своєчасно розробити заходи для запобігання цим відмовам.

Аналіз результатів моделювання є наступним важливим етапом процесу. Він включає оцінку отриманих даних, визначення основних закономірностей та формування рекомендацій для впровадження в практику. Наприклад, результати моделювання можуть показати, що підвищення частоти обслуговування певного вузла дозволить значно знизити ризик аварійних відмов. У такому разі графік обслуговування може бути переглянутий і оптимізований відповідно до нових даних.

Однією з важливих переваг моделювання є можливість зниження витрат. Тестування нових технологій чи рішень на реальному обладнанні може бути дорогим і ризикованим, особливо якщо йдеться про критично важливі системи. Цифрові моделі дозволяють перевіряти різні сценарії роботи без необхідності втручання у фізичне обладнання. Це забезпечує більш безпечне та економічно вигідне тестування інновацій.

Аналіз результатів також дозволяє ідентифікувати слабкі місця в існуючих системах обслуговування та ремонту. Наприклад, моделювання може показати, що певний компонент обладнання має значно нижчий ресурс у порівнянні з іншими вузлами, що призводить до частих зупинок через ремонти. У такому разі можна розглянути можливість модернізації або заміни цього компонента на більш надійний.

Інтеграція ІІІ в процеси моделювання та аналізу відкриває нові можливості для підвищення точності й ефективності. Алгоритми машинного навчання здатні обробляти великі обсяги даних, виявляти приховані закономірності та пропонувати оптимальні рішення. Наприклад, ІІІ може аналізувати вплив різних режимів роботи обладнання на його знос і рекомендувати оптимальні налаштування для продовження ресурсу. Крім того, системи ІІІ можуть працювати в режимі реального часу, постійно оновлюючи моделі на основі нових даних, що забезпечує їхню актуальність навіть за змінних умов.

Моделювання також відіграє важливу роль у навчанні персоналу. Віртуальні моделі можуть бути використані для створення симуляторів, які дозволяють інженерам і технікам навчатися без ризику для реального обладнання. Наприклад, симулятор може моделювати аварійну ситуацію, яка вимагає швидкої діагностики та прийняття рішень, що дозволяє відпрацювати необхідні навички у безпечному середовищі.

Попри численні переваги, процеси моделювання та аналізу результатів мають певні виклики. Серед них можна відзначити високу складність створення точних моделей, які б повністю враховували всі фактори, що впливають на роботу системи. Крім того, для ефективного аналізу потрібні якісні дані, збір і обробка яких можуть вимагати значних ресурсів. Іншим викликом є необхідність інтеграції моделювання з існуючими системами управління, що може вимагати додаткових технічних рішень.

Для успішної реалізації проєктів з моделювання та аналізу результатів важливо забезпечити міждисциплінарний підхід, що включає участь інженерів, математиків, програмістів та експертів у галузі технічного обслуговування. Спільна робота дозволяє створювати більш точні та практично застосовні моделі, які враховують реальні потреби й особливості галузі.

У перспективі розвиток моделювання та аналізу результатів буде все більше зосереджуватись на інтеграції нових технологій, таких як квантові обчислення, що забезпечують ще більшу швидкість і точність обробки даних. Крім того, очікується, що цифрові двійники будуть ще тісніше інтегровані з реальним обладнанням, дозволяючи не лише прогнозувати його стан, але й автоматично вносити корективи у процеси управління.

Таким чином, моделювання та аналіз результатів є потужними інструментами, які дозволяють підвищити ефективність та надійність технічного обслуговування і ремонту тягового рухомого складу. Вони забезпечують можливість тестування інновацій, оптимізації існуючих процесів і підвищення безпеки експлуатації обладнання. Використання цих технологій відкриває нові горизонти для розвитку галузі, забезпечуючи її стійкий розвиток у майбутньому.

5.1 Моделювання сценаріїв технічного обслуговування з використанням ШІ

Моделювання сценаріїв технічного обслуговування з використанням штучного інтелекту (ШІ) є сучасним підходом до оптимізації експлуатації, підтримки та ремонту складних технічних систем, таких як тяговий рухомий склад. У цьому контексті ШІ забезпечує нові можливості для прогнозування, аналізу та адаптації планів технічного обслуговування, що підвищує надійність, зменшує витрати й мінімізує ризики відмов.

Традиційні методи планування технічного обслуговування, як правило, базуються на заздалегідь визначених регламентних графіках, які орієнтовані на середні експлуатаційні умови [20]. Однак ці графіки не враховують індивідуальних особливостей кожного об'єкта, таких як інтенсивність експлуатації, умови довкілля, зношеність компонентів і якість проведених ремонтів. У результаті обладнання може обслуговуватися занадто часто або недостатньо, що призводить до збільшення витрат або до аварійних збоїв. Використання ШІ у моделюванні сценаріїв технічного обслуговування дозволяє подолати ці недоліки, пропонуючи персоналізований підхід до кожного об'єкта.

Моделювання сценаріїв технічного обслуговування із застосуванням ШІ базується на зборі, обробці та аналізі великих обсягів даних. Ці дані можуть включати історичну інформацію про відмови, результати діагностики, параметри експлуатації, погодні умови, графіки руху поїздів і багато інших факторів. Для аналізу таких складних наборів даних використовуються алгоритми машинного навчання, які здатні виявляти приховані закономірності, формувати прогнози й адаптувати моделі в реальному часі.

Елементом моделювання є створення сценаріїв технічного обслуговування. Сценарії описують різні варіанти розвитку подій, пов'язані з технічним станом об'єктів, можливими відмовами, плануванням ресурсів і організацією ремонтних робіт. Наприклад, сценарій може враховувати можливість зношення певного вузла через підвищену вібрацію і прогнозувати, як це вплине на інші компоненти системи.

ІІІ дозволяє автоматично генерувати й аналізувати такі сценарії, визначаючи оптимальні стратегії обслуговування. Наприклад, якщо алгоритм виявляє, що певний вузол перебуває у критичному стані, система може запропонувати виконати ремонтні роботи раніше, ніж це передбачено регламентом. У той же час для компонентів, які перебувають у задовільному стані, роботи можуть бути перенесені на пізніший термін, що дозволяє раціонально розподілити ресурси.

Однією з важливих складових моделювання сценаріїв є застосування цифрових двійників. Цифровий двійник – це віртуальна модель фізичного об’єкта, яка оновлюється в реальному часі на основі даних із сенсорів та інших джерел. У контексті технічного обслуговування цифровий двійник дозволяє моделювати роботу об’єкта у різних умовах, аналізувати вплив експлуатаційних факторів на його стан та перевіряти ефективність запропонованих заходів.

Наприклад, цифровий двійник локомотива може моделювати наслідки підвищення температури в тяговому двигуні та прогнозувати, як це вплине на його ресурс. На основі такого аналізу система може запропонувати виконати охолодження або заміну мастила для зниження температури й уникнення аварійної ситуації. Завдяки такому підходу обслуговування стає не лише реактивним, а й превентивним, що значно підвищує надійність системи.

Моделювання сценаріїв технічного обслуговування також включає оцінку ризиків і витрат. За допомогою ІІІ можна створювати моделі, які враховують як технічні, так і економічні аспекти. Наприклад, алгоритм може проаналізувати, чи вигідніше провести позаплановий ремонт зараз, чи почекати до наступного запланованого обслуговування, з огляду на потенційні витрати на усунення відмови, простої обладнання та витрати на запчастини.

ІІІ забезпечує автоматизацію процесів моделювання та аналізу сценаріїв. Замість того, щоб інженери вручну створювали й аналізували моделі, система може самостійно генерувати сценарії, оцінювати їхню ефективність і надавати рекомендації. Це значно скорочує час і зусилля, необхідні для прийняття рішень, і забезпечує вищу точність завдяки обробці великої кількості даних.

Ще однією перевагою моделювання сценаріїв із використанням ІІІ є його здатність адаптуватися до змін. Наприклад, якщо умови експлуатації змінюються,

система може автоматично оновити моделі й сценарії на основі нових даних. Це забезпечує актуальність рекомендацій навіть у динамічному середовищі.

Реалізація моделювання сценаріїв технічного обслуговування з використанням ІІІ передбачає інтеграцію кількох ключових компонентів:

- Це сенсори, моніторингові пристрої та інформаційні системи, які забезпечують постійний потік даних про стан об'єктів.
- Вони відповідають за обробку даних, аналіз закономірностей і формування прогнозів.
- Засоби для відображення результатів моделювання й рекомендацій, які дозволяють інженерам приймати обґрунтовані рішення.

Попри численні переваги, впровадження моделювання сценаріїв із використанням ІІІ може супроводжуватися певними викликами. Серед них:

- Поєднання нових технологій із існуючими системами може вимагати значних зусиль і ресурсів.
- Для ефективної роботи ІІІ потрібні точні й повні дані, збір яких може бути складним завданням.
- Розробка та впровадження систем моделювання вимагає інвестицій, які можуть бути значними на початкових етапах.

Однак ці виклики є тимчасовими і можуть бути подолані за допомогою планомірного підходу до реалізації проєктів. У перспективі моделювання сценаріїв технічного обслуговування з використанням ІІІ стане стандартом для галузі, забезпечуючи новий рівень надійності та ефективності експлуатації обладнання.

Таким чином, моделювання сценаріїв технічного обслуговування з використанням ІІІ є потужним інструментом, який дозволяє адаптувати процеси обслуговування до реальних умов експлуатації, підвищувати надійність обладнання та оптимізувати витрати. Завдяки інтеграції передових технологій, таких як цифрові двійники, алгоритми машинного навчання та автоматизація аналізу, цей підхід відкриває нові можливості для розвитку залізничної галузі, сприяючи її сталому розвитку у майбутньому.

5.2 Аналіз економічної ефективності впровадження ШІ в обслуговування та ремонт

Впровадження штучного інтелекту (ШІ) у процеси обслуговування та ремонту тягового рухомого складу стає важливим елементом модернізації галузі. Ця технологія спрямована на підвищення ефективності, зниження витрат та оптимізацію управління технічним станом обладнання. Однак, для обґрунтування доцільності такого впровадження необхідний детальний аналіз економічної ефективності, який враховує як прямі, так і непрямі вигоди, витрати на впровадження, експлуатацію та супутні ризики.

Економічна ефективність впровадження ШІ визначається через співвідношення витрат і отриманих переваг у коротко- та довгостроковій перспективі. Одним із головних аспектів є зменшення витрат на обслуговування завдяки впровадженню інтелектуальних систем діагностики, прогнозування відмов і оптимізації ремонтних робіт.

Основною перевагою використання ШІ є здатність прогнозувати стан обладнання на основі аналізу великих обсягів даних. Завдяки цьому можна своєчасно ідентифікувати потенційні проблеми, уникнути непередбачених простоїв і знизити аварійність. Наприклад, у разі виявлення ознак зносу вузлів система може автоматично формувати рекомендації щодо їх заміни або ремонту. Це дозволяє знизити кількість аварійних ремонтів, які зазвичай є значно дорожчими, ніж планове обслуговування.

Ще одним аспектом економічної вигоди є оптимізація використання людських ресурсів. ШІ дозволяє автоматизувати низку рутинних завдань, таких як моніторинг стану обладнання, аналіз діагностичних даних і планування ремонтів. Це знижує потребу у великій кількості технічного персоналу та дозволяє сконцентрувати зусилля фахівців на більш складних завданнях, що потребують їхньої уваги. Наприклад, система може самостійно аналізувати дані з сенсорів і формувати звіти для інженерів, що скорочує час на діагностику.

Важливим фактором економічної ефективності є зниження витрат на запчастини. Традиційний підхід до технічного обслуговування часто базується на заздалегідь визначених регламентах, які можуть не враховувати реальний стан компонентів [16]. Це може призводити до заміни вузлів, які ще не вичерпали свій ресурс. Застосування ІІІ дозволяє визначати оптимальний час для заміни, що мінімізує витрати на придбання нових деталей і знижує обсяги відходів.

ІІІ також сприяє зменшенню тривалості простоїв обладнання. Завдяки прогнозуванню можливих відмов можна заздалегідь планувати ремонтні роботи та організовувати їх під час перерв між експлуатацією, що дозволяє уникати незапланованих зупинок. Наприклад, система може рекомендувати виконати ремонт уночі, коли рух потягів мінімальний, що забезпечує безперервність роботи транспорту в години пікових навантажень.

Додатковим економічним ефектом є підвищення безпеки експлуатації обладнання. Аварії та збої можуть спричинити значні фінансові втрати через пошкодження обладнання, втрату вантажів або пасажирів, компенсації за затримки та інші витрати. Інтелектуальні системи діагностики дозволяють мінімізувати ці ризики, що має як економічне, так і соціальне значення.

Однак, впровадження ІІІ в обслуговування та ремонт потребує значних початкових інвестицій. Витрати включають придбання апаратного забезпечення (сенсори, сервери, мережеві пристрої), розробку та впровадження програмного забезпечення, навчання персоналу, інтеграцію з існуючими системами та технічну підтримку. Крім того, необхідно враховувати витрати на збір, зберігання та обробку великих обсягів даних, які є основою для роботи ІІІ.

Попри високі початкові витрати, довгострокові вигоди зазвичай перевищують витрати. Аналіз окупності таких проєктів показує, що більшість інвестицій повертаються через зниження витрат на обслуговування, підвищення ефективності роботи та зменшення ризиків. Наприклад, дослідження показують, що впровадження предиктивного обслуговування із застосуванням ІІІ може скоротити витрати на технічне обслуговування на 20-30%, а аварійні простої – на 50%.

Ще одним аспектом економічної ефективності є можливість використання даних, зібраних системами ІІІ, для прийняття стратегічних рішень. Аналіз даних дозволяє виявляти слабкі місця в конструкції обладнання, планувати модернізацію чи оптимізацію окремих вузлів, що сприяє підвищенню загальної ефективності системи.

Для обґрунтування економічної ефективності впровадження ІІІ доцільно використовувати такі індикатори, як:

- Період окупності інвестицій (Payback Period). Це час, необхідний для того, щоб отримані вигоди компенсували початкові витрати.
- Чиста приведена вартість (Net Present Value, NPV). Цей показник оцінює різницю між доходами й витратами проєкту з урахуванням дисконтування.
- Внутрішня норма рентабельності (Internal Rate of Return, IRR). Вона показує рентабельність проєкту з урахуванням усіх витрат і вигод.

Щоб оцінити ефективність впровадження ІІІ, необхідно провести детальний аналіз усіх аспектів, враховуючи як економічні, так і технічні фактори. Наприклад, необхідно врахувати вартість збоїв, які можна було б уникнути завдяки використанню ІІІ, витрати на заміну вузлів і агрегатів, що їхній ресурс використано не повністю, а також економію, досягнуту через скорочення простоїв.

Крім того, важливо враховувати непрямі вигоди, такі як підвищення рівня задоволеності клієнтів завдяки більшій надійності транспорту, покращення репутації компанії та зменшення екологічного впливу завдяки оптимізації ресурсів.

Таким чином, аналіз економічної ефективності впровадження ІІІ в обслуговування та ремонт демонструє, що ця технологія має значний потенціал для підвищення ефективності, зниження витрат і покращення загальної продуктивності. Незважаючи на високі початкові витрати, довгострокові вигоди значно перевищують вкладення, забезпечуючи сталий розвиток і конкурентоспроможність галузі в умовах сучасного ринку.

5.3 Порівняння результатів традиційних методів з методами, що використовують штучний інтелект

Підходи до обслуговування та ремонту технічних систем, зокрема тягового рухомого складу, постійно еволюціонують. Традиційні методи, що базуються на регламентних графіках і реактивному ремонті, поступово поступаються місцем інноваційним підходам, які використовують штучний інтелект (ШІ). Це обумовлено тим, що сучасні технології дозволяють отримувати більш точні прогнози, оптимізувати використання ресурсів і підвищувати надійність обладнання. Порівняння цих двох підходів дає змогу оцінити переваги й обмеження кожного з них, а також визначити перспективи подальшого розвитку.

1. «Реактивність проти Прогнозування». Традиційні методи обслуговування часто характеризуються реактивним підходом, коли дії здійснюються тільки після виникнення проблеми або відмови. Наприклад, обладнання ремонтується лише тоді, коли воно виходить з ладу. Такий підхід є досить простим в організації, але супроводжується високими витратами через аварійні простої, дорогі позапланові ремонти та втрати продуктивності.

Методи з використанням ШІ, навпаки, ґрунтуються на прогнозуванні можливих відмов і плануванні превентивних дій. Інтелектуальні системи аналізують історичні дані, параметри роботи обладнання та експлуатаційні умови, щоб визначити ймовірність виникнення збоїв [17]. Це дозволяє здійснювати обслуговування в оптимальні моменти, уникати аварій і зменшувати витрати на ремонти.

2. Ефективність використання ресурсів. Традиційні методи зазвичай передбачають обслуговування за фіксованими інтервалами часу або після певного обсягу роботи обладнання. Наприклад, деякі вузли змінюються чи ремонтуються навіть тоді, коли вони ще не досягли межі свого ресурсу. Це призводить до нераціонального використання матеріальних і трудових ресурсів.

ШІ дозволяє адаптувати графіки обслуговування до реального стану обладнання. Алгоритми аналізують дані про зношення компонентів і враховують

індивідуальні умови їхньої експлуатації, такі як частота використання, навантаження, температурний режим тощо. У результаті обслуговування виконується лише тоді, коли це дійсно необхідно, що мінімізує витрати і збільшує тривалість роботи компонентів.

3. Швидкість і точність діагностики. Традиційні методи діагностики часто залежать від людського фактора. Інженери чи технічний персонал проводять візуальний огляд, тестування або використовують базові інструменти для виявлення несправностей. Хоча ці методи можуть бути ефективними для простих систем, вони виявляються недостатньо точними або повільними для складних технічних об'єктів.

Методи з використанням ІІІ базуються на обробці великих обсягів даних із сенсорів та інших джерел. Інтелектуальні системи здатні швидко аналізувати дані, виявляти приховані закономірності й сигналізувати про потенційні проблеми задовго до їхнього виникнення. Наприклад, алгоритм може визначити підвищення вібрації в двигуні як ознаку зносу підшипника, ще до того як це стане очевидним для технічного персоналу.

4. Надійність і безпека. Традиційні методи обслуговування мають обмежену здатність до запобігання аварій. Вони не враховують багатьох чинників, таких як вплив довкілля, а також не можуть адаптуватися до змінних умов експлуатації. У результаті виникає ризик непередбачених відмов, що може призвести до значних збитків і навіть до небезпечних ситуацій.

ІІІ значно підвищує надійність і безпеку експлуатації обладнання. Завдяки постійному моніторингу та прогнозуванню відмов, система може вчасно сигналізувати про необхідність вжити заходів, таких як зупинка обладнання чи заміна зношених компонентів [22]. Це мінімізує ризики для персоналу, пасажирів і навколишнього середовища.

5. Вартість реалізації та експлуатації. Однією з переваг традиційних методів є їхня відносно низька вартість впровадження. Для реалізації таких підходів не потрібні значні інвестиції в обладнання чи програмне забезпечення. Однак їхня експлуатація в довгостроковій перспективі може виявитися дорожчою через високу

частоту аварійних ремонтів, нераціональне використання ресурсів і втрати від простоїв.

Впровадження ІІІ потребує значних початкових інвестицій у сенсори, обчислювальні потужності, розробку алгоритмів і навчання персоналу. Однак у довгостроковій перспективі ці витрати окуповуються завдяки зниженню витрат на обслуговування, оптимізації ресурсів і підвищенню ефективності. Наприклад, дослідження показують, що системи предиктивного обслуговування знижують загальні витрати на технічне обслуговування на 20-30%.

6. Гнучкість і адаптивність. Традиційні методи є жорсткими і не враховують динамічних змін у роботі обладнання чи зовнішніх умовах. Наприклад, графік обслуговування за регламентом залишається незмінним, навіть якщо обладнання працює в умовах підвищеного навантаження чи в екстремальних температурних умовах.

Методи з використанням ІІІ є більш гнучкими. Алгоритми машинного навчання здатні постійно оновлювати свої моделі на основі нових даних і адаптувати графіки обслуговування до змінних умов. Це забезпечує актуальність і точність прогнозів навіть у нестандартних ситуаціях.

7. Екологічний вплив. Традиційні методи не враховують екологічного аспекту обслуговування, наприклад, обсягів викидів чи відходів, які утворюються під час ремонту або заміни компонентів.

ІІІ дозволяє зменшити екологічний вплив завдяки оптимізації ресурсів і зниженню кількості замінюваних компонентів. Наприклад, система може запропонувати виконати регенерацію або ремонт компонентів замість їхньої заміни, що зменшує кількість відходів і витрати матеріалів.

Порівняння традиційних методів із методами, що використовують ІІІ, показує, що останні мають значні переваги в більшості аспектів. Вони забезпечують точність діагностики, ефективність використання ресурсів, підвищення надійності та безпеки, а також зниження витрат у довгостроковій перспективі. Однак для їх впровадження потрібні значні початкові інвестиції, підготовка персоналу та модернізація інфраструктури.

Попри це, впровадження ІІІ стає неминучим кроком для галузей, які прагнуть підвищити свою конкурентоспроможність і відповідати сучасним вимогам ринку. Традиційні методи зберігають своє значення в умовах обмеженого бюджету або відсутності складної інфраструктури, але з часом поступово поступатимуться місцем інноваційним підходам із використанням ІІІ.

Висновки

Дослідження, проведене в межах дипломної роботи, підтверджує значущість і актуальність впровадження сучасних технологій, зокрема штучного інтелекту, у процеси технічного обслуговування та ремонту тягового рухомого складу. Застосування системи «NextElectroLoco» демонструє значні переваги над традиційними методами, особливо у забезпеченні прогнозованості, економічної ефективності та загальної надійності технічних процесів.

У ході роботи були виявлені важливі проблеми, які притаманні традиційним підходам, такі як недостатня ефективність планування ремонтів, залежність від людського фактору, високі витрати на обслуговування та великий ризик аварійних зупинок. На основі аналізу існуючих технологій було розроблено концепцію централізованої системи «NextElectroLoco», яка дозволяє ефективно вирішувати ці проблеми за рахунок інтеграції сучасних інструментів штучного інтелекту та Інтернету речей.

Система «NextElectroLoco» пропонує проактивний підхід до обслуговування, що дозволяє завчасно прогнозувати несправності та оптимізувати витрати завдяки аналізу даних у реальному часі. Використання цифрових двійників і алгоритмів машинного навчання забезпечує постійний моніторинг технічного стану тягового рухомого складу, що значно підвищує його надійність і безпеку експлуатації.

Економічний аналіз показав, що впровадження цієї системи дозволяє скоротити витрати на технічне обслуговування та ремонти на 20...30% завдяки мінімізації аварійних простоїв і раціоналізації використання ресурсів. Крім того, система створює нові можливості для вдосконалення управлінських процесів і знижує ризик людських помилок завдяки автоматизації важливих етапів обслуговування.

Разом із перевагами було виявлено й виклики, пов'язані з реалізацією системи «NextElectroLoco». До них належать високі початкові інвестиції, необхідність модернізації існуючої інфраструктури, а також потреба у навчанні

персоналу для роботи з новими технологіями. Попри це, довгострокові вигоди від впровадження таких систем значно перевищують короткострокові витрати.

Важливим підсумком дослідження є підтвердження перспективності застосування штучного інтелекту в технічному обслуговуванні залізничного транспорту. Система «NextElectroLoco» може стати важливим елементом цифрової трансформації галузі, сприяючи підвищенню її конкурентоспроможності та забезпечуючи стабільну й ефективну роботу залізничного транспорту навіть в умовах сучасних викликів.

Результати дипломної роботи створюють підґрунтя для подальших досліджень у напрямку вдосконалення алгоритмів машинного навчання, інтеграції із зовнішніми системами управління ресурсами та розширення функціональності системи. Запропоновані рекомендації можуть бути використані як основа для практичного впровадження сучасних технологій у галузі технічного обслуговування та ремонту тягового рухомого складу.

Список використаних джерел

1. В помощь локомотивной бригаде при обслуживании электровоза ЧС7 серии Е5, Е6, Е7, Е9. К.: «Шепетовская межрайонная типография», 2006. 223 с.: ил.
2. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 30, ст.1008).
3. Комарова Г.Л. Букін Р.В. Практичне вивчення метрології, стандартизації і контролю якості. Матеріали 19-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика», Одеса, 09-13 вересня 2019р.: Тези доповідей. Київ: АТМ України, – С.67-69.
4. Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: Підручник / В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т. Володарський, В.В. Грабко. – Херсон: Олді-плюс, 2013. – 538 с.
5. М.О. Гром «Застосування штучного інтелекту під час написання наукових робіт», на Всеукр. кр. ст.Академічна доброчесність: правові проблеми, Одеса, 2023. с. 37-41.
6. Наказ №305/Н від 11.06.2024 року «Про затвердження Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування рухомого складу (локомотиви та моторвагонний рухомий склад) АТ «Укрзалізниця».
7. Пассажирский электровоз ЧС2. Раков В. А. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Транспорт», 1976, 320 с.
8. Правила технічного обслуговування та поточних ремонтів електровозів ЧС2, ЧС4, ЧС7, ЧС8» ЦТ-0039, затверджені наказом від 30.01.2002 № 40-Ц.
9. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навч. пос. / М. Паламар, М. Стрембіцький, А. Паламар. – Тернопіль, 2018. – 150 с.
10. Р.С. Бердо, В. Л. Расюн та В. А. Величко, «Штучний інтелект та його вплив на етичні аспекти наукових досліджень в українських закладах освіти», Академічні візії, № 22, 2023.
11. Розпорядження від 30 травня 2018 р. № 430-р «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року».

12. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем: підручник / В. П. Бабак, С. В. Бабак, В. С. Єременко та ін. – 2-е вид., перероб. і доп. – Електронні текстові дані. – Київ : Ун-т новітніх технологій; НАУ, 2017. – 496 с.
13. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем: Підручник /Л.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Єременко та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака /2-е вид., перероб. і доп.– К.: Ун-т новітніх технологій; НАУ, 2017. – 496 с.
14. Тимофеева Л.А. Фактори підвищення конкурентоспроможності продукції // Збірник наукових праць УкрДУЗТ (електронне видання). Вип.11, Харків, – 2015. С.107-113.
15. ДСТУ 4496:2005 Залізничний транспорт. Безпечність руху залізничного транспорту. Терміни та визначення понять.
16. ДСТУ 8647:2016 Надійність техніки. Оцінювання та прогнозування надійності за результатами випробувань і/або експлуатації в умовах малої кількості відмов.
17. ДСТУ EN ISO/IEC 17020:2014 Оцінка відповідності. Вимоги до роботи різних типів органів з інспектування (EN ISO/IEC 17020:2012, IDT).
18. ДСТУ ISO 9000:2015 (ISO 9000:2015, IDT) Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів.
19. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) Системи управління якістю. Вимоги.
20. ДСТУ ISO/IEC 17000:2007 Оцінювання відповідності. Словник термінів і загальні принципи (ISO/IEC 17000:2004, IDT).
21. СТП 10-004:2019 «Якість і безпека продукції. Атестація виробництва. Порядок здійснення», введено в дію наказом АТ «Укрзалізниця» від 26.02.2019 № 142.
22. ISO 9001:2018 Quality management systems – Requirements.
23. Kalsi H.S. Electronic instrumentation; edition by H.S. Kalsi. – Third edition. – New Delhi: Tata McGraw-Hill Education, 2012. – 829 p.
24. Martynenko L.G, Komarova A.L. Resonance method of electromagnetic to mechanical energy transformation. Electric Electron Tech Open Acc J. 2017;1(1):43-45.