

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАЦІОНАЛЬНА ШКОЛА МАЙСТЕРНОСТІ І ПРОФЕСІЙ
СНАМ, ФРАНЦІЯ

“ДО ЗАХИСТУ”

Зав. кафедрою Б. Боднар Борис БОДНАР

“ 18 ” 01 ” 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи *магістра*

на тему: “**Удосконалення технологічних процесів під час виконання технічних обслуговувань та поточних ремонтів локомотивів відповідно до вимог інтероперабельності**”

за освітньою програмою: “**Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті**”

зі спеціальності **273 “Залізничний транспорт”**
галузі знань **27 “Транспорт”**

Виконав: студент групи **ІН2226**

ХХХ Святослав ХАНИК
Керівник Д Дмитро КИСЛИЙ

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент ХХХ

Дніпро, 2024

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Кафедра: «Локомотиви»

Рівень вищої освіти: *другий (магістерський)*

Освітня програма: «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

Спеціальність: 273 «Залізничний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. Кафедрою «Локомотиви»

 Борис БОДНАР

«20» 01 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

студенту групи ІН2226

Ханика Святослава Васильовича

1. Тема кваліфікаційної роботи: **Удосконалення технологічних процесів під час виконання технічних обслуговувань та поточних ремонтів локомотивів відповідно до вимог інтероперабельності**

Керівник роботи: Кислий Дмитро Миколайович, к.т.н.

Затверджена наказом по університету від «28» квітня 2023 р. №360ст

2. Строк подання студентом роботи: «12» січня 2024 р.

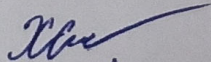
3. Вихідні дані до роботи: тривалість критичного шляху мережевого графіка ПР-2 тепловоза серії 2ТЕ116 – 269,68 год; статистичні дані про відмови тягових електродвигунів; кількість об'єктів спостереження – 68 тягових електродвигунів.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):
- 4.1 Огляд та аналіз організації і управління системою технічних обслуговувань та поточних ремонтів тягового рухомого складу
 - 4.2 Автоматизація керування технологічними процесами ТО та ПР локомотивів
 - 4.3 Впровадження цифрової трансформації при керуванні технологічними операціями ТО та ПР локомотивів
 - 4.4 Розробка пропозицій з удосконалення технологічних процесів та систем експлуатації та ремонтів тепловозів

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

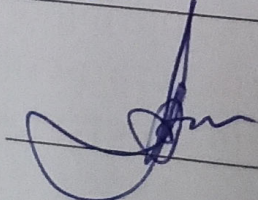
№ з/п	Назва етапу кваліфікаційної роботи	Обсяг розділу, %	Рекомендована кількість слайдів
1	Огляд та аналіз організації і управління системою технічних обслуговувань та поточних ремонтів тягового рухомого складу	25	4
2	Автоматизація керування технологічними процесами ТО та ПР локомотивів	25	3
3	Впровадження цифрової трансформації при керуванні технологічними операціями ТО та ПР локомотивів	25	4
4	Розробка пропозицій з удосконалення технологічних процесів та систем експлуатації та ремонтів тепловозів	25	5

Студент



Святослав ХАНИК

Керівник роботи



Дмитро КИСЛИЙ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАЦІОНАЛЬНА ШКОЛА МАЙСТЕРНОСТІ І ПРОФЕСІЙ
СНАМ, ФРАНЦІЯ

“ДО ЗАХИСТУ”

Зав. кафедрою _____ Борис БОДНАР

“ _____ ” _____ 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи *магістра*

на тему: “**Удосконалення технологічних процесів під час виконання технічних обслуговувань та поточних ремонтів локомотивів відповідно до вимог інтероперабельності**”

за освітньою програмою: “**Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті**”

зі спеціальності 273 “**Залізничний транспорт**”
галузі знань 27 “**Транспорт**”

Виконав: студент групи **ІН2226**

_____ Святослав ХАНИК

Керівник _____ Дмитро КИСЛИЙ

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Дніпро, 2024

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES
NATIONAL SCHOOL OF SKILLS AND PROFESSIONS
CNAM, FRANCE

EXPLANATORY NOTE
to Master's Thesis

master

on the topic: **“Improvement of technological processes during
maintenance and current repairs of locomotives in accordance with
interoperability requirements ”**

according to educational curriculum: **“Interoperability and safety in rail transport”**
in the Speciality **273 “Railway transport”**
field of knowledge **27 “Transport”**

Done by the student of the group **IN2226:**

Sviatoslav KHANYK

Scientific Supervisor: Dmytro KYSLYI

Dnipro, 2024

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Кафедра: *«Локомотиви»*

Рівень вищої освіти: *другий (магістерський)*

Освітня програма: *«Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»*

Спеціальність: *273 «Залізничний транспорт»*

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. Кафедрою «Локомотиви»

_____ Борис БОДНАР

«____» _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу магістра
студенту групи ІН2226
Ханика Святослава Васильовича

1. Тема кваліфікаційної роботи: **Удосконалення технологічних процесів під час виконання технічних обслуговувань та поточних ремонтів локомотивів відповідно до вимог інтероперабельності**

Керівник роботи: Кислий Дмитро Миколайович, к.т.н.

Затверджена наказом по університету від «28» квітня 2023 р. №360ст

2. Строк подання студентом роботи: «12» січня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: тривалість критичного шляху мережевого графіка ПР-2 тепловоза серії 2ТЕ116 – 269,68 год; статистичні дані про відмови тягових електродвигунів; кількість об'єктів спостереження – 68 тягових електродвигунів.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):
- 4.1 Огляд та аналіз організації і управління системою технічних обслуговувань та поточних ремонтів тягового рухомого складу
 - 4.2 Автоматизація керування технологічними процесами ТО та ПР локомотивів
 - 4.3 Впровадження цифрової трансформації при керуванні технологічними операціями ТО та ПР локомотивів
 - 4.4 Розробка пропозицій з удосконалення технологічних процесів та систем експлуатації та ремонтів тепловозів

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапу кваліфікаційної роботи	Обсяг розділу, %	Рекомендована кількість слайдів
1	Огляд та аналіз організації і управління системою технічних обслуговувань та поточних ремонтів тягового рухомого складу	25	4
2	Автоматизація керування технологічними процесами ТО та ПР локомотивів	25	3
3	Впровадження цифрової трансформації при керуванні технологічними операціями ТО та ПР локомотивів	25	4
4	Розробка пропозицій з удосконалення технологічних процесів та систем експлуатації та ремонтів тепловозів	25	5

Студент _____ Святослав ХАНИК

Керівник роботи _____ Дмитро КИСЛИЙ

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська робота на тему «Удосконалення технологічних процесів під час виконання технічних обслуговувань та поточних ремонтів локомотивів відповідно до вимог інтероперабельності» загальним обсягом 68 аркушів розрахунково-пояснювальної записки, яка складається з 4 розділів, містить 16 ілюстрацій, 16 таблиць та список літературних джерел з 18 найменувань.

Об'єктом дослідження в дипломній магістерській роботі виступає система технічних обслуговувань та ремонтів магістральних тепловозів, а за мету дослідження обрано її удосконалення з урахуванням вимог інтероперабельності. Предмет дослідження – технологічні процеси системи ТО та ПР.

В роботі розглянуто одну з базових складових системи утримання локомотивів – система управління технічним станом локомотивів.

Під час виконання огляду та аналізу організації і управління системою ТО та ПР тягового рухомого складу досліджено сучасні підходи в технічному обслуговуванні та ремонті тягового рухомого складу залізниць, які базуються на діагностичних комплексах та відстежуванні зміни параметрів локомотивів в експлуатації.

Аналіз організації і управління локомотивними депо при розподілі на експлуатаційну та ремонтну складові довів доцільність реструктуризації залізничного господарства й переходу до фірмового обслуговування рухомого складу, що має стабілізувати простій в ремонтах, скоротити витрати ремонтного господарства та зменшити кількість непланових ремонтів.

Огляд системи технічних обслуговувань та ремонтів для сучасного рухомого складу визначив необхідність узгодження експлуатаційних параметрів локомотивів з показниками надійності.

Аналіз технологічних процесів при технічних обслуговуваннях та поточних ремонтах в локомотивному депо довів актуальність обраного напрямку досліджень з урахуванням інтенсифікації різнотипних виробничих процесів ремонтного господарства й великого значення відсотка позапланових ремонтів.

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До розробки пропозицій з удосконалення технологічних процесів під час виконання технічних обслуговувань та поточних ремонтів локомотивів ми підійшли з аналізу експлуатаційної надійності тепловозів. На підставі аналізу відмов вузлів тепловозів ми визначили один з найбільш навантажених вузлів, для якого навели огляд пошкоджень. Для підвищення експлуатаційної надійності ми визначили найбільш актуальні методи визначення стану і опору ізоляції. Відповідно до статистичних даних відмов тягових електродвигунів ми виконали первинний аналіз статистичних даних про надійність, визначили основні характеристики та закону розподілу напрацювання тягових електродвигунів до відмови й визначили кількісні характеристики надійності. Шляхом проведення аналізу побудованих залежностей, в тому числі інтенсивності відмов із застосуванням диференційного обчислення, ми надали рекомендації щодо коригування міжремонтних періодів для тепловозів.

Ключовими словами в кваліфікаційній магістерській роботі виступають: СИСТЕМА ЕКСПЛУАТАЦІЇ, СИСТЕМА РЕМОНТУ, РЕМОНТ, СЕРВІСНЕ ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ, ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН, ОПІР ІЗОЛЯЦІЇ, НАДІЙНІСТЬ, ВІДМОВА, НАПРАЦЮВАННЯ.

					0032.0000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ОРГАНІЗАЦІЇ І УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ ТЕХНІЧНИХ ОБСЛУГОВУВАНЬ ТА ПОТОЧНИХ РЕМОНТІВ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ	10
1.1 Огляд сучасних підходів в технічному обслуговуванні та ремонті тягового рухомого складу залізниць	10
1.2 Аналіз організації і управління локомотивними депо при розподілі на експлуатаційну та ремонтну складові	12
1.3 Огляд системи технічного обслуговування і ремонту для сучасного рухомого складу	14
1.4 Аналіз технологічних процесів при технічних обслуговуваннях та поточних ремонтах в локомотивному депо М.	16
2 АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ТО ТА ПР ЛОКОМОТИВІВ	21
3 ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПРИ КЕРУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОПЕРАЦІЯМИ ТО ТА ПР ЛОКОМОТИВІВ	26
3.1 Актуальність цифрового моделювання при керуванні сервісним обслуговуванням локомотивів	26
3.2 Математичне моделювання технічного обслуговування й ремонту	27
3.3 Математична модель технічного обслуговування й ремонту локомотива	32
3.4 Альтернативний метод математичного моделювання технічного обслуговування та ремонту	33

					<i>0032.000000.000.03КР.ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Ханик</i>			<i>Удосконалення технологічних процесів під час виконання технічних обслуговувань та поточних ремонтів локомотивів відповідно до вимог інтегрованості</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		<i>Кислий</i>					6	68
Реценз.						<i>УДУНТ, зр. ІН2226</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		<i>Боднар</i>						

4 РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ З УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТІВ ТЕПЛОВОЗІВ.....	37
4.1 Аналіз відмов вузлів тепловозів	37
4.2 Огляд пошкоджень тягових електродвигунів	37
4.3 Методи визначення стану і опору ізоляції	41
4.4 Первинний аналіз статистичних даних про надійність тягових електродвигунів	49
4.5 Визначення основних характеристик та закону розподілу напрацювання тягових електродвигунів до відмови	54
4.6 Визначення кількісних характеристик надійності за статистичним даними про відмови тягових електродвигунів.....	57
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66

ВСТУП

Залізничний транспорт сьогодні є найбільш фундаментальним соціально-економічним утворенням господарського комплексу України. Його функціонування пронизує усі площини економіки і суспільного життя. Тому його пристосування до зовнішнього середовища, де відбуваються економічні та соціально-суспільні трансформації, має надзвичайно важливе значення.

В Україні визначився шлях пристосування залізниць до роботи в ринкових умовах – через корпоратизацію і реструктуризацію. І хоча сьогодні галузь працює стабільно і прибутково, все ж виникають обставини, які змушують активно рухатися далі на шляху реформування. Одна з цих обставин, зношеність тягового рухомого складу. Зношеність парку тепловозів в Україні становить 97%, електровозів – 90%. Упродовж останніх років з інвентарного парку через зношеність буде вилучено майже 200 електровозів і 350 тепловозів. Переважну частину парку складають електровози, магістральні тепловози, маневрові тепловози та інші локомотиви, спроектовані і виготовлені у 50-60 роках минулого століття.

За даними залізничників, більша частина застарілого тягового рухомого складу потребує на 40-60% більше витрат на ремонти.

Замість придбання нового рухомого складу Укрзалізниця змушена проводити капітальні ремонти із подовженням встановленого заводами-виробниками нормативного терміну служби з обов'язковим визначенням остаточного ресурсу несучих конструкцій локомотивів. Зокрема передбачається оздоровити капітальним ремонтом та модернізацією в умовах заводів більше 100 електровозів та 50 тепловозів, а також поточними ремонтами майже 8 тис. електровозів, 2,5 тис тепловозів.

Через значну зношеність тягового рухомого складу, який експлуатується із перевищенням термінів служби, встановлених заводами виробниками, залізничники проводять велику кількість позапланових ремонтів. У останньому році їх здійснено понад 3 тис, з них по тепловозах – більше 1 тис випадків, по електровозах – понад 2 тис випадків. Тільки за 4 місяці поточного року

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

позапланових ремонтів вже проведено більше 1 тис.

Реформування локомотивного господарства Укрзалізниці передбачає послідовне вирішення конкретних завдань, направлених на створення окремої вертикалі управління локомотиворемонтною базою з метою підвищення ефективності її розвитку в умовах формування конкурентних відносин на ринку ремонту тягового рухомого складу.

Реформування локомотивного господарства залізниць України проводиться для досягнення:

- підвищення ефективності та якості роботи локомотивного господарства залізниць за рахунок введення ринкових відносин між її підприємствами;
- сприятливих умов залучення інвестицій для технічного переоснащення підприємств локомотивного господарства та оновлення тягового рухомого складу;
- збільшення прибутків підприємств локомотивного господарства і підвищення доходів їх працівників;
- фінансової прозорості усіх видів діяльності підприємств локомотивного господарства залізниць.

					0032.0000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ОРГАНІЗАЦІЇ І УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ ТЕХНІЧНИХ ОБСЛУГОВУВАНЬ ТА ПОТОЧНИХ РЕМОНТІВ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

1.1 Огляд сучасних підходів в технічному обслуговуванні та ремонті тягового рухомого складу залізниць

В даний час найважливішим фактором, який впливає на ефективність виробничо-господарської діяльності, є технологічне обслуговування ремонту рухомого складу, оскільки саме воно відображає конкурентні переваги того чи іншого економічного суб'єкта порівняно з конкурентами. Від ефективності застосовуваних механізмів організації ремонту залежать конкурентоспроможність залізничного підприємства, фінансові результати діяльності, темпи розширеного відтворення, фінансовий стан господарюючого суб'єкта [1].

Ефективна робота залізничних підприємств залежить не тільки від результатів перевізної (транспортної) роботи, але й від організації технічної служби, що забезпечує підтримку парку рухомого складу в працездатному стані.

Несправний локомотив, який простоє, не приносить грошей, а лише є джерелом витрат. До того ж останнім часом почастишали випадки транспортних подій, пов'язані з тим, що на лінію випускається техніка у вкрай зношеному або навіть аварійному стані. До того ж ще зношування двигуна, інших вузлів і агрегатів призводить до підвищеної витрати палива, що також негативно впливає на ефективність експлуатації локомотивів.

Сучасні умови ведення бізнесу диктують підвищення вимог до економічності, безпеки руху, до охорони навколишнього середовища, ресурсозбереження й інтенсифікації. Тому технічне обслуговування, вирішуючи питання підвищення якості, збільшення надійності, керування тривалістю строку служби ТРС, повинно організовуватися таким чином, щоб у центрі уваги перебувало завдання збільшення доходів. Тільки це дозволить в умовах перебудови системи ремонту ТРС здійснити перехід від її збитковості до прибутковості.

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для реалізації такого підходу на залізничному транспорті необхідно створити глобальну інформаційну систему, яка дозволяє одержувати необхідні відомості про технічний стан кожної тягової одиниці, необхідних матеріалах, устаткуванню, запасних частинах та ін. для забезпечення життєвого циклу ТРС на етапі його експлуатації. На підставі цього здійснюється планування робіт з технічного обслуговування й ремонту, а також оперативне керування.

Найбільш ефективне планування технічного обслуговування вдається вирішувати за допомогою інформаційних технологій – спеціального програмного забезпечення, завдяки якому комп'ютер складе виробничий план технічного обслуговування та ремонту, підрахує трудомісткість із урахуванням установлених нормативів і конкретних умов експлуатації для кожної одиниці рухомого складу.

Маючи у своєму розпорядженні планові й фактичні дані по кількості виконаних ТО, періодичності, трудомісткості операцій, пропускну здатності постів, забезпеченості робочою силою, по витратах, порівнянням кількості заявок на ПР із попереднім періодом, можна зробити аналіз як по кожній одиниці рухомого складу, так і в цілому по підприємству [2].

Тут слід зазначити, що однією з головних складових цієї системи повинна бути діагностика, яка вирішує завдання оцінки фактичного стану ТРС у процесі експлуатації, даючи необхідну вихідну інформацію для відповідної організації ремонтного циклу.

Серед всієї сукупності застосовуваних на залізничному транспорті діагностичних комплексів, найбільш інформативними й розвиненими в цей час є віброакустичні. Вони дозволяють оцінювати стан устаткування по параметрах динамічних (віброакустичних) процесів, що відбуваються у вузлах ТРС при їхньому вібраційному огляді, коли виконують технічне обслуговування або ремонт. Отримані й узагальнені дані, що характеризують частоту ремонту агрегатів локомотивів однієї серії, що працюють в однакових умовах, дозволяють судити про придатність цих локомотивів для експлуатації в певних умовах.

Перехід на комп'ютерну систему обліку й планування ТО та ремонтів дозволить проводити індивідуальні планування технічного обслуговування для

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конкретних локомотивів, а також допоможе домагатися стійкого скорочення прямих витрат на технічне обслуговування й ремонт рухомого складу [3].

1.2 Аналіз організації і управління локомотивними депо при розподілі на експлуатаційну та ремонтну складові

Аналізуючи роботу залізничного транспорту за останні роки, слід зазначити, що рівень зношеності основних засобів залізничного транспорту дуже високий. А це в свою чергу негативно впливає на прибутковість залізниці. Отже, враховуючи зношеність рухомого складу, необхідно звернути увагу на частку затрат в собівартості продукції, що направлена на технічне обслуговування і ремонт, яка в середньому становить 10-50%.

З метою підвищення ефективності функціонування галузі одним із основних завдань реформування залізничного транспорту є створення умов розвитку конкурентного середовища. Це передбачає застосування таких заходів, як розмежування природно-монопольного і конкурентного секторів, створення умов для демонополізації окремих сфер діяльності та розвитку конкуренції, забезпечення доступності інфраструктури залізниць для користувачів, формування структури управління за видами комерційної діяльності, поступове роздержавлення конкурентного сектору та ін [4].

Однією з основних складових залізничного транспорту є локомотивне господарство. Але, перш ніж застосовувати вищеназвані заходи, необхідно вирішити проблему розподілу існуючих депо на експлуатаційну та ремонтну частини.

При реформуванні підприємств Укрзалізниці, які мають стратегічне значення для економіки держави, центральними органами виконавчої влади доцільно створити спеціальні галузеві комісії з питань реформування підприємств відповідної галузі. Галузеві комісії в свою чергу визначають перелік підприємств, що підлягають реформуванню, визначають форму та порядок проведення даного процесу.

В свою чергу, в депо, яке підлягає реформуванню, створюється робоча

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

група та комісія з метою проведення аналізу економічного стану підприємства та підготовки проекту реструктуризації. Для забезпечення своєчасної розробки проекту та реалізації необхідних заходів розробляється відповідний план-графік проведення робіт, у якому визначаються терміни виконання заходів та відповідальні виконавці.

Організаційне забезпечення процесу реформування депо передбачає реалізацію окремих етапів: створення комісії, яка є тимчасово діючим органом для вирішення завдань, передбачених планом реформування підприємств. Робота проводиться як самими працівниками депо, так і за участю сторонніх осіб. До складу комісій, які перебувають у державній формі власності, можуть залучатися представники центральних та місцевих органів влади, органів приватизації – Фонду державного майна та його регіональних відділень.

До основних завдань і питань, які вирішує комісія з реформування депо належать:

- визначення напрямів та змісту заходів з реформування;
- розробка проекту реформування;
- вдосконалення системи управління, а саме розгляд пропозицій органів управління, а також потенційних інвесторів та інших осіб щодо плану заходів з реформування депо;
- організація розробки проекту реформування;
- узгодження підготовлених керівництвом підприємства або правлінням та спостережною радою товариства пропозиції щодо використання майна та доцільності створення нових юридичних осіб;
- розгляд та погодження запропонованих бізнес-планів; здійснення контролю за реалізацією заходів з реформування.

Науково-технічний, виробничий та експортний потенціал окремих депо залізничного транспорту потребує економічно обґрунтованого підходу до вибору форм реструктуризації. У процесі реформування підприємства необхідно адаптувати бізнес-процеси до існуючого ринкового середовища, що дало б змогу депо активно реалізувати свій потенціал [3].

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При розгляданні даного питання доречно виділити такі види реструктуризації як корпоративна і виробничо-технічна.

Корпоративна реструктуризація тісно пов'язана з процесами приватизації та реорганізації депо. Цей вид реструктуризації сприяє новому перерозподілу влади, обов'язків і відповідальності за кінцеві результати діяльності депо. Виникають нові шляхи взаємодії депо із зовнішнім середовищем.

Виробничо-технологічна реструктуризація передбачає зміну виробничої структури та модернізацію виробництва.

При проведенні реструктуризації локомотивного господарства доцільно використовувати такі рекомендації:

- локомотивні депо, які експлуатують рухомий склад, в якого закінчився строк експлуатації (більше 25 років) та виконують його ремонт не рекомендується розділяти;
- новий рухомий склад бажано концентрувати в одних депо, а організовувати систему експлуатації, технічного обслуговування та ремонту слід з урахуванням вимог та рекомендацій заводів-виробників;
- доцільним є перегляд концепції створення нового рухомого складу з точки зору врахування розподілу експлуатаційних та ремонтних робіт;
- при створенні вимог до нового рухомого складу необхідно враховувати експлуатацію та ремонт його в нових ринкових умовах [4].

1.3 Огляд системи технічного обслуговування і ремонту для сучасного рухомого складу

Рухомий склад сучасного розвитку має потребу в якісному обслуговуванні, яке відрізняється від діючої системи технічного обслуговування і ремонту (СТОР) [5].

Основним завданням системи технічного обслуговування і ремонту є підтримка локомотивів в справному стані. Надійність виступає найважливішим показником реалізації цього завдання. Такі показники теорії надійності як надійність, довговічність, очевидно, залежать від правильності організації

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічного обслуговування та ремонту. Але і сама конструкція і якісні властивості локомотива помітно впливають на показники надійності, особливо на ремонтпридатність і збережуваність [6].

Ремонтпридатність – є середній час відновлення справного стану локомотивів. Цей показник характеризує ефективність системи обслуговування і ремонту з одного боку і адаптивність конструкції з іншого.

З цього можна зробити висновок, що успішна реалізація підтримання справного стану локомотивів в основному залежить від правильного співвідношення організації локомотиворемонтного виробництва і конструктивних особливостей конкретних серій локомотивів.

Система технічного обслуговування і ремонту розвивається і вдосконалюється протягом всього часу свого існування. Вона відчула на собі ряд істотних змін, викликаних спочатку механізацією, автоматизацією, впровадженням потокових ліній і автоматики. Останнім часом отримали широке розповсюдження засоби технічної діагностики й контролю, які базуються на сучасних інформаційних технологіях. Це має задовольняти потребам нових технічних рішень в якісному обслуговуванні та ремонті. Якщо раніше локомотиворемонтні потужності створювалися на досить тривалий термін, то зараз побудова цехів по ремонту і обслуговуванню локомотивів повинна бути більш гнучкою і готовою до постійних змін, модернізаціям, реконструкціях. Вже зараз існують проблеми у створенні належної системи обслуговування нових серій наукомістких локомотивів з їх сучасною електронікою і іншими особливостями. Так, застосування швидкохідних дизелів, приміром, на тепловозі ЧМЕЗП з використанням охолоджуючої рідини замість води виключає цілу систему водопідготовки в депо.

Можливий варіант розвитку системи може полягати в зосередженні технічного обслуговування і ремонту, або іншими словами, сервісу на заводах виробника.

Таким чином, слід звернути увагу на співвідношення розвитку нових серій локомотивів з розвитком виробництва з їх обслуговування, а також на зміну

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

структури організації і управління ремонтних виробництв у зв'язку з переходом на нову систему обслуговування за станом [3].

1.4 Аналіз технологічних процесів при технічних обслуговуваннях та поточних ремонтах в локомотивному депо М.

На сьогоднішній день в депо, діє планово-попереджувальна система технічного обслуговування і ремонту локомотивів, яка характеризується:

- постановкою локомотивів в ремонт після нормованого пробігу або часу роботи;
- профілактичним проведенням ремонтних робіт з метою попередження відмов обладнання.

До основних факторів, які здійснюють безпосередній вплив на технічний стан (ТС) тепловоза при існуючій на цей час планово- попереджувальній системі ремонту (ППР), належать умови й технологія його експлуатації, а також періодичність, склад і якість профілактичних і відбудовних робіт на ремонтах і ТО (рис. 1.1) [7].

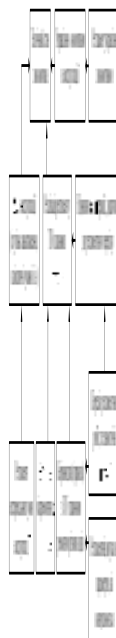


Рисунок 1.1 – Структура основних факторів, які визначають технічний стан локомотива

В локомотивному депо М. технічне обслуговування виконується в об'ємі ТО-2, ТО-3, ТО-4.

ТО-2 проводять в пунктах технічного обслуговування локомотивів (ПТОЛ), яке знаходиться на території депо. До технічного обслуговування належить також екіпірування локомотивів. Екіпірування електровозів полягає в постачанні піском, мастильними та обтиральними матеріалами, зовнішньому обмиванні та обтиранні. До екіпірування тепловозів, крім того, входить постачання дизельним паливом і дистильованою водою для охолодження дизеля. Екіпіровку локомотивів, як правило, поєднують з ТО-2 для кращого використання локомотивів. ТО-3 та ТО-4 виконується ремонтними бригадами слюсарів.

При будь-якому виді технічного обслуговування усувають видимі дефекти, змазують трущіся частини, регулюють гальмівну систему, закріплюють деталі, оглядають тягові двигуни, електричні машини і апарати, підтримують чистоту їх ізолюючих частин і контактних поверхонь.

Депо також спеціалізується на проведенні поточного ремонту локомотивів об'ємі ПР-1, ПР-2 та ПР-3.

В табл. 1.1 наводимо кількість поточних ремонтів і технічних обслуговувань локомотивів депо за останні три роки.

Поточні ремонти ПР-1, ПР-2, ПР-3 проводять з метою ревізії, заміни або відновлення зношених вузлів і деталей, а також випробування і регулювання апаратів і приладів, підвищення працездатності електрорухомого складу.

При поточних ремонтах ПР-1 та ПР-2 проводять часткове розбирання обладнання, якщо несправність його не може бути визначена зовнішнім оглядом, а також призводять до норми зазори у вузлах тертя. В процесі поточного ремонту оглядають, ремонтують, замінюють зношені деталі, змазують трущіся частини, виконують ревізію таких відповідальних вузлів, як зубчасті передачі, моторно-осьові підшипники, компресори, струмоприймачі, автогальмове обладнання, автозчепні пристрої, гідравлічні амортизатори, опори кузова, захисна апаратура і багато інших.

При поточному ремонті ПР-3 знімають тягові двигуни та допоміжні

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Кількість ПР та ТО-3 локомотивів депо за 2020-2022 роки

Вид ремонту	Тип тяги	Кількість по роках		
		2020	2021	2022
ПР-3У	Електровоз	7	6	-
	Тепловоз			
ПР-3	Електровоз			
	Тепловоз			
ПР-2	Електровоз			
	Тепловоз			
ПР-1	Електровоз			
	Тепловоз			
ТО-3	Електровоз			
	Тепловоз			
Приведена програма ремонту	Електровоз	1035,8	1019	219,6
	Тепловоз	894,7	1061,9	231

машини, викочують колісні пари і демонтують інші вузли обладнання, розбираючи їх для перевірки та ремонту. Виконують підймання кузова, викочування, очищення та ремонт рам візків, кожухів зубчастих передач, пісочних труб, деталей підвіски тягових електродвигунів, огляд колісних пар; ревізію і ремонт букс, ресорного підвішування, гальмівної важельної передачі, опор кузова, гідравлічних амортизаторів, міжвізкових з'єднань, забарвлення кузова, візків, ремонт електричних машин, пневматичного устаткування з гідравлічним випробуванням резервуарів.

У ремонтну базу депо входять: цехи ПР-1, ПР-2, ПР-3 тепловозів, електромашинний цех, дизель-агрегатний цех, паливний цех, механічний цех. Окрім цехів в депо є: просочувальне відділення, ковальське відділення, зварювальне відділення, відділення по регулювання і балансуванню карданних

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

валів і коліс вентиляторів, колісно-роликове відділення, гальванічне відділення, фільтрувальне відділення.

Цехи ПР-1, ПР-2, ПР-3 спеціалізуються на виконанні ремонту тепловозів. Роботи виконувані в цих цехах, сприяють підтримці головних експлуатаційних характеристик тепловозів. Позиції в цих цехах обладнані платформами, оглядовими канавами і мостовими кранами вантажопідйомністю 5, 10, 15 і 30 т. У цих цехах з тепловозів знімають устаткування що потребує ремонту, яке ремонтують на відповідних ділянках цих цехів або передають в інші цехи для ремонту

Окрім цехів по ремонту тепловозів в локомотивному депо є цех по ремонту електровозів, в якому виконують поточні ремонти електровозам ВЛ8, ВЛ11, ЧС2, ЧС7 і підймальний ремонт електровозам ВЛ8, ЧС2. Цех ЕРС обладнаний 5 і 10-тонними кранами.

В депо технічне обслуговування та ремонт виконують не тільки для локомотивів власного парку, але й для локомотивів інших депо.

Через значну зношеність локомотивів, які експлуатуються із перевищенням термінів служби, встановлених заводами виробниками, в депо проводять велику кількість позапланових ремонтів. В табл. 1.2 наводимо кількість позапланових ремонтів за останні три роки.

Таблиця 1.2 – Кількість позапланових ремонтів в локомотивному депо М.
за 2020-2022 роки

Показник	Одиниця вимірювання	Кількість по роках		
		2020	2021	2022
Кількість позапланових ремонтів	од./ год			

Слід відзначити, що система планово-попереджувального ремонту (ППР) локомотивів є недосконалою тому, що профілактичні і ремонтні роботи

проводяться через рівні і кратні періоди, виражені в кілометрах пробігу або в календарних термінах. Однак, при рівності і кратності призначених міжремонтних термінів система ППР не враховує зміну технічного стану і надійності, що виникає в наслідок дії різних умов експлуатації. Відсутність обліку цих особливостей є однією з причин підвищеної пошкоджуваності локомотивів в експлуатації, приводить до зменшення числа зайнятих у перевізному процесі локомотивів.

Це говорить про те, що технічний стан локомотивів залежить не тільки від умов експлуатації, але й від системи технічного обслуговування і ремонту.

Тому одним з основних шляхів збільшення часу роботи локомотивів між відповідними видами ремонтів є подальше удосконалювання планування постановки локомотивів у ремонт з урахуванням їх технічного стану.

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ТО ТА ПР ЛОКОМОТИВІВ

Рациональне планування і якісні ТО та ПР локомотивів можливі за рахунок створення автоматизованої системи управління (АСУ) «Мережевий графік». Базовою технологією її реалізації є перехід на систему виконання ремонтних робіт у сервісних локомотивних депо. Оперативне керування й робота АСУ «Мережевий графік» припускає оснащення терміналами для видачі й реєстрації вбрань на роботи з ТО та ПР локомотиві. Використання терміналів дозволить оперативно відслідковувати графік виконання циклів ТО та ПР [8].

Розробка первинних мережевих графіків ТО та ПР локомотивів серії 2ТЕ116.

Для забезпечення прозорості й інформативності АСУ мережеві графіки на проведення ТО та ПР тепловозів серії 2ТЕ116 розробляються по рівнях за допомогою операції «свердління». Під «свердлінням» розуміється перехід з головного рівня мережевого графіка на підлеглий рівень. На верхньому рівні будується мережевий графік на тепловоз у цілому, що включає укрупнені роботи із груп устаткування, а також роботи, пов'язані з постановкою машини в ремонт та її випуском з ремонту (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Мережевий графік поточного ремонту ПР-2 тепловоза серії 2ТЕ116

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рис. 2.1 Тривалість критичного шляху 269,68 год [9].

Вихідні дані для розрахунку мережевих графіків сформовані на підставі типових норм часу на слюсарні роботи із груп устаткування. Як приклад представимо шаблон робіт для розрахунку мережевого графіка по верхньому рівню (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Шаблон робіт мережевого графіка ПР-2 тепловоза серії 2ТЕ116 [10]

Початок роботи	Завершення роботи	Зміст роботи	Норма часу, нормо-год.
0	1	Перевірка устаткування до ремонту	4,68
1	2	Демонтаж допоміжного устаткування	
1	3	Демонтаж гальмового обладнання	
3	4	Демонтаж, ремонт, монтаж механічного устаткування	
2	5	Демонтаж, ремонт, монтаж електроустаткування	
2	6	Демонтаж, ремонт, монтаж контрольно-вимірювальних приладів	
2	7	Ремонт допоміжного устаткування	
2	8	Демонтаж паливної апаратури	
8	9	Демонтаж дизельної групи	
3	10	Ремонт гальмового обладнання	
5	11	Ремонт електричних машин	
9	12	Ремонт дизельної групи	
12	13	Ремонт, регулювання паливної апаратури	
12	14	Ремонт циліндро-поршневої групи	
10	15	Монтаж гальмового обладнання	
14	16	Монтаж дизельної групи	
16	17	Монтаж паливної апаратури	
17	18	Монтаж допоміжного устаткування	
18	19	Перевірка, регулювання устаткування після ремонту	17,11

Використовуючи шаблон робіт мережевого графіка, розраховується визначник робіт (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Визначник робіт мережевого графіка «Поточний ремонт ПР-2 тепловоза серії 2ТЕ116» [9, 10, 14]

Ро- бо- та	Зміст роботи	Норма часу, нормо- год	$T_{p.n.}$	$T_{n.i.}$	$T_{p.o.}$	$T_{n.o.}$	Резерв
1	2	3	4	5	6	7	8
0-1	Перевірка устаткування до ремонту	4,68					0
1-2	Демонтаж допоміжного устаткування	8,37					0
1 3	Демонтаж гальмового обладнання	1,19					216,76
3-4	Демонтаж, ремонт, монтаж механічного устаткування	29,938					216,76
2-5	Демонтаж, ремонт, монтаж електроустаткування	19,71					212,49
2-6	Демонтаж, ремонт, монтаж контрольно-вимірювальних приладів	9,908					229,61
2-7	Ремонт допоміжного устаткування	14,81					224,71
2-8	Демонтаж паливної апаратури	6,08					0
8-9	Демонтаж дизельної групи	24,32					0
3-10	Ремонт гальмового обладнання	19,89	5,87	230,91	25,76	250,8	225,04

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
5-11	Ремонт електричних машин	7,32	32,76	245,25	40,08	252,57	212,49
9-12	Ремонт дизельної групи	40,07					0
12-13	Ремонт, регулювання паливної апаратури	49					97,58
12-14	Ремонт циліндро-поршневої групи	102,72					0
10-15	Монтаж гальмового обладнання	1,77					225,04
14 16	Монтаж дизельної групи	43,86					0
16-17	Монтаж паливної апаратури	9,44					0
17-18	Монтаж допоміжного устаткування	13,03					0
18-19	Перевірка, регулювання устаткування після ремонту	17,11	252,57	252,57	269,68	269,68	0

Результати розрахунків і аналіз статистичних даних по виконанню циклів ТО та ПР локомотивів серії 2ТЕ116 представлений у табл. 2.3.

Розробка первинних ескізних мережевих графіків показує, що час ремонту по циклах ТО-3 та ПР-1 відповідає нормам часу [11], але для реалізації пропонованих мережевих графіків необхідно оптимізувати поточний виробничий процес. Час ремонту відповідно первинному ескізованому мережевому графіку по циклу ПР-2 не відповідає нормативам часу [11]. Виходячи із цього, необхідно оптимізувати мережевий графік по циклу ПР-2 з урахуванням виробничого процесу.

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Дані про час простою локомотивів

Серія тепловоза	Вид ремонту	Норма простою, год	Час виконання ремонту по мережевих графіках, год	Середній простій за даними депо, год
2TE116				32,77
2TE116				41,78
2TE116				604,8

					0032.0000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПРИ КЕРУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОПЕРАЦІЯМИ ТО ТА ПР ЛОКОМОТИВІВ

«Цифровий двійник» – одне з базових напрямків цифрової трансформації. У даному розділі розглянутий варіант застосування технології «Цифровий двійник» при автоматизованому керуванні технічним обслуговуванням і ремонтом локомотивів. При постановці локомотива на ремонт, після визначення його технічного стану й складання індивідуального лінійного графіка ремонту проводиться моделювання процесу технічного обслуговування й ремонту. Розраховується ймовірність виконання ремонту за можливі тривалості. У результаті планується підв'язка локомотива під поїзд після ремонту [12, 13].

На залізничному транспорті активно використовується моделювання поїзної обстановки для керування рухом поїздів як при розробці графіків руху поїздів, так і в режимі online для оперативного диспетчерського керування рухом поїздів, особливо при виникненні нестандартних ситуацій, що дозволяє суттєво підвищити пропускну здатність ділянок, уникнути збоїв руху.

«Цифрові двійники» широко використовуються при організації виробничих процесів. Розроблені спеціальні програми для моделювання виробничих процесів з метою вибору оптимального варіанта розташування устаткування, визначення пропускну здатності виробничих ліній.

3.1 Актуальність цифрового моделювання при керуванні сервісним обслуговуванням локомотивів

При виготовленні локомотива розробляються «цифрові двійники» виробництва й виробів – локомотива і його устаткування. При експлуатації локомотива створюється «цифровий двійник» перевізного процесу. При сервісному обслуговуванні потрібні «цифровий двійник» самого ТО та ПР, тому що час його виконання T і ризики невидачі локомотива в очікуваний час суттєво впливають як на число локомотивів, що перебувають в експлуатаційному парку, так і на надійність перевізного процесу в цілому.

Технологічний процес ТО та ПР складається з послідовності операцій,

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кожна з яких має свої імовірнісні характеристики часу її виконання. Експлуатація АСУ дозволяє нагромадити статистику, обробка якої визначає закон розподілу цієї випадкової величини і її параметри.

Таким чином, після постановки локомотива на ремонт і визначення обсягу й послідовності робіт в АСУ уводиться індивідуальний графік ремонту (так званий «лінійний графік»), після чого по заздалегідь накопиченій статистиці в АСУ автоматично розраховується очікуваний час ремонту. При цьому використовуються методи імітаційного моделювання. Багаторазове моделювання (більш 1000 раз) процесу ремонту з використанням «цифрового двійника» дозволяє одержати розподіл очікуваного часу ремонту. При цьому загальний час моделювання займає кілька секунд.

3.2 Математичне моделювання технічного обслуговування й ремонту

При постановці локомотива на ремонт проводиться оцінка його технічного стану, формується діагностична карта (рис. 3.1), індивідуальний лінійний графік ТО та ПР цього локомотива. При цьому сам лінійний графік складається зі стандартних блоків (функціональних модулів), що зберігаються в базі даних АСУ (блок 3). По кожному модулю в процесі ТО та ПР накопичується статистика, у тому числі час виконання цієї операції (блок 5). Його слід розглядати як випадкову величину.

По складеному мережевому графіку (блок 2) і статистиці тривалості робіт (блок 5) оперативно формується «цифровий двійник» ТО та ПР (блок 4) і проводиться моделювання (блок 6) з метою імовірнісного розрахунку часу виконання ТО та ПР. Якщо отримані результати влаштовують (блок 7), то приступають до ремонту. А якщо ні, то роблять коректування лінійного графіка з повторним розрахунком з використанням «цифрового двійника» або коректують графік підв'язки локомотивів (блок 8).

Технологічний процес ТО та ПР складається з послідовності операцій – функціональних блоків F_i , кожний з яких має свої імовірнісні характеристики часу виконання операції ΔT_i . Експлуатація АСУ ТО та ПР дозволяє нагромадити

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.1 – Алгоритм використання «цифрового двійника» технічного обслуговування та ремонту

статистику, обробка якої допоможе визначити закон розподілу цієї випадкової величини та її параметри. У моделі розглянуті наступні закони розподілу:

– Дискретний час виконання операції:

$$\Delta T_i = const. \quad (3.1)$$

– Нормальний розподіл часу виконання операції $f(x)$ підкоряється нормальному закону розподілу випадкової величини зі статистично певним значенням математичного очікування часу виконання операції ΔT_i і середньоквадратичним відхиленням σt .

– Розподіл часу виконання операції підкоряється експонентному закону розподілу випадкової величини:

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t), \quad (3.2)$$

де λ – інтенсивність.

– Логнормальний розподіл часу виконання операції.

Для моделювання операції i і часу її виконання Δt_i використовується генератор випадкових чисел.

Згідно із центральною теоремою, розподіл випадкових величин прагне до нормального, тому випадкова подія при її нормальному розподілі R_2 можна розрахувати по формулі:

$$R_2 = \sum_{1}^{12} R_i - 6. \quad (3.3)$$

Тоді при моделюванні випадковий час операції ΔT_2 буде

$$\Delta T_2 = M + SR_2, \quad (3.4)$$

де M – математичне очікування часу операції;

S – середньоквадратичне відхилення часу операції.

Крім моделювання роботи функціонального модуля в штатному режимі, що підкоряється одному з можливих законів розподілу випадкової величини, необхідно врахувати появу форсмажорних обставин:

- відсутність запасних частин;
- невихід слюсаря на роботу та ін.

Форсмажорні обставини J можуть з'являтися випадковим образом з імовірністю P_J , яка також визначається зі статистики роботи депо:

$$P_j = \frac{N_f}{N_\Sigma}, \quad (3.5)$$

де N_f – число операцій, при яких відбувся форсмажор;

N_Σ – загальне число виконання операції за розглянутий період.

Усунення форсмажору також підкоряється одному з можливих законів

розподілу випадкової величини. Таким чином, для завдання в моделі можливого форсмажору J слід вказати ймовірність його появи P_J , закон розподілу часу його усунення Z і параметри цього закону (M , σ та ін.).

У моделі передбачена поява будь-якого числа форсмажорних обставин, по кожному з яких відбувається моделювання. На практиці очікується 3-12 форсмажорів:

- зайнятість ремонтних позицій;
- відсутність запасних частин;
- відсутність маневрового локомотива й ін.

Після моделювання вибирається максимальний час усунення форсмажору.

Алгоритм моделювання функціонального елемента наступний: запускається генератор випадкових чисел. Функція визначає змодельований випадковий час виконання чергової операції по заданому закону розподілу і його статистично певним параметрам.

Повністю робота функціонального модуля моделюється функцією, що враховує наявність форсмажорних обставин. Спочатку розраховується випадкова тривалість основного процесу Δt , потім – кожного із заданих форсмажорних обставин Δt_i з вибором максимального часу $\Delta t_{\phi m} = \max(\Delta t_i)$. Змодельований час роботи функціонального елемента складається із двох: $\Delta t = \Delta t + \Delta t_{\phi m}$.

Алгоритм математичного моделювання роботи «цифрового двійника» наведений на рис. 3.2. Після зчитування параметрів «цифрового двійника» і числа заданих ітерацій $N_{MAX} > 20$ (блок 2) програма послідовно N_{MAX} разів (блоки 3-8) моделює його роботу (блоки 5-8) з розрахунком N_{MAX} разів випадкового часу виконання ТО та ПР T_N . У результаті формується база даних про N_{MAX} випадкових часах виконання ТО та ПР T_N .

По закінченню моделювання в обсязі N_{MAX} разів проводиться статистична обробка масиву даних часу виконання ТО та ПР T_N з визначенням математичного очікування часу ТО та ПР $T_{сер}$, середньоквадратичного відхилення σ , мінімального T_{min} і максимального T_{max} значень часу виконання ТО та ПР з N_{MAX}

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.2 – Моделювання з використанням «цифрового двійника» технічного обслуговування й ремонту

ітерацій моделювання (блок 10):

					0032.0000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{сер} = \sum_{n=1}^{N_{max}} \frac{T_n}{N_{max}}; \quad (3.6)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N_{max}-1} \sum_{n=1}^{N_{max}} (T_n - T_c)^2}. \quad (3.7)$$

Далі будується гістограма розподілу часу роботи цифрової моделі, для чого діапазон $T_{min} - T_{max}$ розбивається на задане число ділянок K із кроком

$$\Delta N = \frac{T_{max} - T_{min}}{K}. \quad (3.8)$$

Розраховується число влучень N_K у кожну з ділянок. У результаті ймовірність P_K того, що час виконання операції за час T_K буде відповідати періоду K дорівнює

$$P_K = \frac{N_K}{N_{max}}, \quad (3.9)$$

а ймовірність того, що ремонт буде виконаний за час, що не перевищує T_K складе:

$$P_{K<} = \sum_{1}^K P_K. \quad (3.10)$$

3.3 Математична модель технічного обслуговування й ремонту локомотива

Моделювання «цифрового двійника» ТО та ПР виконано в середовищі «MS Excel». Для запису вихідних даних моделі створюється новий документ. Нижче наведений приклад «цифрового двійника» мережевого графіка, який складається з 10 функціональних елементів (рис. 3.3). Для моделювання роботи такої моделі слід задати закони розподілу випадкових величин кожного з функціональних елементів і взаємодії блоків між собою [16].

Програма послідовно моделює процес ТО та ПР задану кількість разів. За результатами кожної ітерації розраховується випадковий час. Результати

					0032.0000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.3 – Лінійний графік, що полягає з імовірнісних елементів

розрахунків послідовно зберігаються. По закінченні моделювання розраховуються математичне очікування, середньоквадратичне відхилення й інші параметри процесу.

На заключному етапі моделювання розраховуються імовірнісні параметри процесу й будується гістограма (табл. 3.1, рис. 3.4). У верхньому лівому куті задається число стовпців гістограми. У стовпцях «MIN» та «MAX» вказуються розрахункові межі діапазонів стовпців, у стовпці «N» – число влучень у діапазон ($\Sigma N = 1000$). У стовпці «P» приводиться ймовірність влучення в цей діапазон, а в стовпці « ΣP » – ймовірність наростаючим підсумком, що ремонт буде виконаний до цього часу. Наприклад, ймовірність того, що ремонт буде виконуватися 14 год складе 0,492, ймовірність того, що час ремонту не перевищить 14 год – 75%, а ймовірність того, що ремонт протриває більш доби складе 0,6%.

3.4 Альтернативний метод математичного моделювання технічного обслуговування та ремонту

Описаний «цифровий двійник» депо дозволяє за відомими законами розподілу випадкової величини часу виконання кожної операції й можливих

					0032.000000.000.03KP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Таблиця 3.1 – Імовірнісні результати 1000 моделювань



Рисунок 3.4 – Розподіл очікуваного часу ТО та ПР

форсмажорних подій розрахувати ймовірність виконання ТО та ПР у заданий термін. При практичному використанні моделі можуть виникнути труднощі при визначенні закону розподілу випадкової величини, особливо при перевірці P за критерієм Пірсона. При роботі із цифровим двійником можливий альтернативний

підхід, коли моделювання можна виконати без визначення закону розподілу випадкової величини з використанням гістограми розподілу.

У кожного процесу заздалегідь відомий нормативний час його виконання, який умовно можна прийняти за математичне очікування $M(T_{сер})$. Також приблизно відомий можливий розкид цього часу – 6σ (для надійності можна прийняти як 8σ). Тоді весь діапазон можливих часів виконання операції можна розбити на N діапазонів (звичайно $N = 10$), тривалість кожного з яких Δt буде:

$$\Delta t = \frac{(M + 3\sigma) - (M - 3\sigma)}{N} = \frac{6\sigma}{N} \quad (3.11)$$

По мірі експлуатації АСУ накопичується статистика реального часу виконання операції T_j . При влученні цього значення в один з можливих діапазонів, його лічильник збільшується на одиницю:

$$\Delta N_j = \Delta N_j + 1. \quad (3.12)$$

Також на одиницю збільшується й загальне число статистичних даних:

$$Max = Max + 1. \quad (3.13)$$

У цьому випадку ймовірність P_i влучення в діапазон i складе:

$$P_i = \frac{\Delta N}{Max}. \quad (3.14)$$

При такому підході до моделювання формжорні обставини окремо враховувати не треба, тому що вони вже входять у загальну статистику.

Таким чином, «цифровий двійник» можна реалізувати як з використанням законів розподілу випадкової величини для моделювання кожного функціонального модуля з окремим моделюванням формажорних обставин, так і з використанням накопичувальної статистики.

Отже, при розробці АСУ ТО та ПР застосування технології «цифровий двійник» дозволяє реалізувати імовірнісне прогнозування часу видачі

локомотива [17].

Модель ТО та ПР, що дозволяє в міру нагромадження статистичних даних, а також після формування лінійного графіка ремонту конкретного локомотива (з урахуванням параметрів його діагностичної карти) моделювати процес ТО та ПР, результатом якого є імовірнісний очікуваний час ремонту.

					0032.0000000.0000.03КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

4 РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ З УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТІВ ТЕПЛОВОЗІВ

4.1 Аналіз відмов вузлів тепловозів

Найбільш об'єктивні відомості про надійність тепловозів виробів можна одержати на основі використання статистичних даних про відмови, що отримані у процесі експлуатації (виписки журналів форти ТУ-152). Без інформації про відмови, що міститься у первинної документації, неможливо визначити показники надійності, виявити недоліки конструкції, ступінь впливу на надійність умов експлуатації й на підставі цих даних прийняти заходи щодо підвищення надійності об'єкта. Але у первинної документації містяться неупорядковані дані, з яких важко доглянути будь-яку закономірність [18].

Слід зазначити, що для працівників депо та ремонтних заводів важливі дані про ремонтпригодність, замінюваність деталей на непланових та планових ремонтах, а також про пробіги тепловозів до планових розбирань дизелів.

При аналізі основних пошкоджень та заходів на непланові ремонти тепловозів встановлено, що відмови по тепловозах розподіляються наступним чином (табл. 4.1 та рис. 4.1).

З табл. 4.1 та рис. 4.1 бачимо, що найбільша кількість відмов припадає на дизель. Але з урахуванням того, що відмови серед вузлів дизеля розподіляються по різних його системах, які працюють в різних режимах, то пропонуємо для коригування системи технічного обслуговування та ремонту обрати тягові електродвигуни.

4.2 Огляд пошкоджень тягових електродвигунів

Тягові двигуни відносяться до найбільш навантаженого обладнання магістральних тепловозів з точки зору комплексного впливу теплових, електричних та кліматичних факторів. Їх пошкодженість в експлуатації складає біля 20% по псуванню і 30 % по числу заходів на неплановий ремонт від

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Розподіл пошкоджень та відмов тепловозів по всіх типах обладнання

Вузол тепловоза	Кількість пошкоджень (відмов), одиниць			
	2019	2020	2021	2022
Дизель	45	46	39	41
Тягові електродвигуни				
Тяговий генератор				
Допоміжне обладнання				
Гальмівне обладнання				
Електричне обладнання				
Колісні пари та букси				
МВП				
Інше обладнання	4	11	10	7
Всього	111	122	101	102

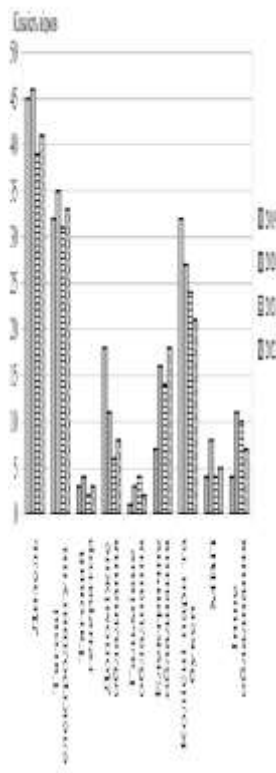


Рисунок 4.1 – Розподіл пошкоджень та відмов магістральних тепловозів відповідних видів відмов по всьому обладнанню. Найбільш часто двигуни

попадають в ремонт із-за пошкодження ізоляції (30%), низького її опору (5%), пережогів кругового вогню по колектору (15%), пошкодження якірних підшипників (15%).

Усунення цих відказів, а також планові регламентні роботи по ремонту і поточному обслуговуванню щітково-колекторного вузла, ізоляційних конструкцій і підшипникових вузлів складають основну долю затрат на утримання тягових двигунів в експлуатації. Використовування резервів підвищення експлуатаційної надійності даних вузлів залишається актуальною задачею як при створенні нових перспективних локомотивів, так і при розробці конструктивно-технологічних заходів для експлуатуємого парку локомотивів.

Щітково-колекторний вузол. Наявність цього вузла в тяговому двигуні є однією з головних причин переходу на безколекторний електропривід. Трудомісткість його поточного обслуговування складає основну долю затрат на утримання двигуна в цілому. Особливо трудомісткі обточка колекторів, усунення наслідків кругових вогнів і „наволакування” міді в межламельних проміжках. Оскільки ці явища принципово взаємопов’язані, кардинальне рішення проблеми надійності щітково-колекторного вузла лежить на шляху комплексного використання існуючих резервів.

Підшипникові вузли. Експлуатаційні витрати на обслуговування якірних підшипників кочення і моторно-осьових ковзання великі. Перші з них потребують з періодичністю один раз в 3-4 місяця дозаправки консистентного мастила, другі – з періодичністю один раз в 2-3 доби контролю наявності рідкого осьового мастила в буксах моторно-осьових підшипників (МОП) і при необхідності, поповнення її. Зниженню даних витрат сьогодні приділяється велика увага.

Моторно-якірні підшипники. Крім якості виготовлення і обслуговування підшипників їх надійність в основному визначається рівнем напруги по радіальним, осьовим навантаженням і швидкісному фактору. Вони в свою чергу, визначаються кінематичною схемою механічного тягового привода.

В найгірших умовах працюють опорні підшипники зі сторони приводної

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шестерні при односторонній передачі обертаючого моменту в приводах першого класу, аналогічних застосованих на тепловозах Коломенського тепловозобудівного заводу. В найкращих умовах працюють якірні підшипники тягових двигунів в приводах другого класу. Інші типи приводів займають проміжне положення.

Головний резерв підвищення надійності моторно-якірних підшипників для проектуємих тепловозів заснований в раціональному виборі типу тягового привода, а для парку експлуатації – в обґрунтованому виборі типу застосовуваного мастила і регламент обслуговування (кількість поповнюємого мастила і періодичність). В цьому зв'язку в теперішній час необхідно проаналізувати обґрунтованість переводу всього парку тепловозів на мастило „Буксол” замість ЖРО. Досвід підконтрольної експлуатації тепловозів 2ТЕ116 впродовж року з моменту переходу на мастило „Буксол” показує, що, володіє підвищеною текучістю, вона дуже погано підтримується лабіринтно-щільовими ущільнювачами. Часто спостерігається її викид як назовні, так і усередину тягових двигунів, що може викликати тяжкі наслідки. З мастилом ЖРО таких явищ не спостерігається.

Моторно-осьові підшипники. Для парку експлуатації вантажних тепловозів з моторно-осьовими підшипниками ковзання реальним резервом підвищення надійності і зниження витрат на обслуговування цих вузлів являє обладнання вкладишами із композиційного бронзо-графітного матеріалу „Романіт”. В зв'язку з опублікованими технічними характеристиками, ці вкладиші мають в 5-7 разів більш високу зносостійкість в порівнянні з вкладишами з бабітовим антифрикційним шаром і забезпечує пробіг тепловоза до заміни 0,8-1 млн. км.

Вкладиші постачають в комплекті, готовим до установки серійні моторно-осьові підшипники вантажних тепловозів всіх типів замість латунних вкладишів без яких-небудь дороблень. Проте, зважаючи на відсутність значного досвіду експлуатації таких вкладишів на українських тепловозах, впроваджувати їх треба партіями та підвищувати по мірі підтвердження позитивного ефекту.

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для ново проєктованих магістральних тепловозів найбільш раціонально застосовування МОП кочення, радикально вирішуючи проблему технічного обслуговування цих вузлів.

Ізоляційні системи. В наш час ізоляційні системи забезпечують ресурс роботи без заміни ізоляції на пробіг 5 млн. км. Серед них можна відзначити чотири основних.

Одна з них – система „Моноліт” класу нагрівостійкості F. Вона використовується для якорів, головних і додаткових полюсів моноблочного виконання на основі непросочуваних або попередньо просочуваних стрічок з вакуум-нагнітальною пропіткою в епоксидному компаунді. Система відрізняється найвищою з використовуваних систем вологостійкістю, теплопровідністю і механічною міцністю. Може бути рекомендована також для модернізації тягових двигунів ЕД-118 всіх індексів, ЕД-119 при капітальних ремонтах з заміною ізоляції.

Із статистичних даних зібраних в депо про пробій та прогар у тепловозів 2ТЕ116 за 3 останні роки, що наведені в таблиці 4.2, 4.3, 4.4, можна зрозуміти, що ізоляції треба приділяти більше уваги.

В 2022 році прогару та пробою в тягових електродвигунах тепловозів 2ТЕ116 було набагато більше ніж за 2017. Це зв'язано з вологим та холодним січнем 2018 року, де пробою обмотки збудження було 6 випадків, а за цілий рік 13 випадків. В середньому в місяць біля 20 тепловозів мають зниження опору ізоляції. Тому в депо повинні впроваджувати нові методи визначення стану та опору ізоляції.

4.3 Методи визначення стану і опору ізоляції

Часто виникає плутанина через те, що ці два різні методи для визначення якості ізолятора неправомірно ототожнюють один з одним.

Діелектричний тест виражає здатність ізолятора витримувати надмірну напругу середньої тривалості без виникнення дуги (іскрового розряду).

Головна ціль діелектричного тесту - переконатися в тому, що масштаби

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Пробій у тягових двигунів тепловозів 2ТЕ116 за 2020 рік

Місяць	Кількість пробоїв у тягових електродвигунів по видах			
	головного полюса	додаткового полюса	обмотки збудження	обмотки якоря
Січень	1	-	-	-
Лютий	-	1	-	1
Березень				
Квітень				
Травень				
Червень				
Липень				
Серпень				
Вересень				
Жовтень				
Листопад				
Грудень	-	-	-	-
Всього	1	1	2	2

Таблиця 4.3 – Пробій у тягових двигунів тепловозів 2ТЕ116 за 2021 рік

Місяць	Кількість пробоїв у тягових електродвигунів по видах			
	головного полюса	додаткового полюса	обмотки збудження	обмотки якоря
Січень	-	1	6	1
Лютий	-	1	2	2
Березень				
Квітень				
Травень				
Червень				
Липень				
Серпень				
Вересень				
Жовтень				
Листопад				
Грудень	-	2	-	-
Всього	1	7	13	4

Таблиця 4.4 – Пробій у тягових двигунів тепловозів 2ТЕ116 за 2022 рік

Місяць	Кількість пробоїв у тягових електродвигунів по видах			
	головного полюса	додаткового полюса	обмотки збудження	обмотки якоря
Січень		-	2	-
Лютий	-	1	-	1
Березень				
Квітень				
Травень				
Червень				
Липень				
Серпень				
Вересень				
Жовтень				
Листопад				
Грудень	-	-	-	1
Всього	1	2	3	6

витоку по поверхні (просочування) і дистанції повітряної ізоляції в даній конструкції продовжують залишатися такими, як вони визначені в нормах і стандартах. Цей тест часто проводиться шляхом додатку напруги змінного струму, але він також може бути виконаний з використанням надмірної напруги постійного струму.

Одержуваним результатом є якась величина напруги, що звичайно виражається в кіловольтах (кВ). Коли діелектричний тест проводиться на якомусь несправному ізоляторі, то він має, в тій чи іншій мірі, руйнуючий характер залежно від потужності тестового інструменту, що використовується. От чому цей тест резервується для нового або реконструйованого якісного устаткування, і лише ті пристрої, які проходять цей тест, вводяться в дію.

Вимірювання опору ізоляції є неруйнуючим методом вимірювання, коли він виконується за нормальних тестових умов. Вимірювання проробляється за допомогою додатку напруги постійного струму, більш низького ніж що використовується для діелектричного тесту, і ціль його полягає в тому, щоб дати результат, виражений в кОм, МОм або ГОм. Ця величина опору виражає якість

ізоляції між двома провідними елементами і дає хорошу вказівку відносно ризику протікання струму витoku. Неруйнуючий характер цього методу корисний при здійсненні стеження за старінням ізоляції на якій-небудь ділянці електричного устаткування або на промисловій установці у міру ходу часу; із тієї ж причини цей метод також може ефективно використовуватися як один із засобів планово-запобіжного ремонту. Це вимірювання виконується з використанням тестера ізоляції, який також відомий як "Мегаомметр".

Перепади температури, попадання снігу всередину тягових двигунів через неущільнення колекторних люків, повітроводів а також фільтрів приводять до зволоження ізоляції, яке призводить до різкого зменшення її опору і зниження рівня надійності тягових двигунів. Своєчасний і ефективний контроль стану ізоляції тягових двигунів – необхідна умова для попередження її пошкодження і подовження строку служби. Інтенсивне зволоження ізоляції відбувається при поставленні тепловозів в опалювальний цех, коли тягові двигуни мають відносно низьку температуру.

Визначення вологості ізоляції багато в чому залежить від умов виміру, до яких відносять вологість повітря, температуру ізоляції, значення і час прикладення напруги.

Використовуваний для цієї мети мегаомметр з ручним приводом не відповідає пред'являємим вимогам, тому що напруга на виході не є постійною і залежить від частоти обертання рукоятки. Крім того, неточність підрахунку часу по секундоміру і коливання стрілки при вимірах приводять до додаткових похибок. Трохи ліпші результати отримують при використанні мегаомметра з моторним приводом.

В умовах експлуатації часто опір ізоляції тягових двигунів знижується до мінімально допустимих значень (0,5-1 МОм і нижче). При цьому показники звичайного мегаомметра бувають близькі до нульового значення. В таких випадках важко визначити, чим викликано зниження опору ізоляції – або іншими причинами. Неоднозначне визначення причини може привести до помилкової заміни тягового двигуна замість відновлення його ізоляції шляхом сушіння. Тому

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначення вологості тягових двигунів через коефіцієнт абсорбції є важливою практичною задачею. Коефіцієнт абсорбції знаходимо з формули (4.1).

$$Ka = \frac{R_{60}}{R_{15}}, \quad (4.1)$$

де R_{15} і R_{60} – опір ізоляції через 15 і 60 с після початку виміру.

Підприємства випускають спеціальні прилади, які дозволяють з достатньою точністю вимірювати опір ізоляції і коефіцієнт абсорбції. До їх числа відносяться мегаомметр Ф4108/1. Принцип дії мегаомметра заснований на методі виміру струму, який знаходиться в прямій залежності від вимірюваного опору при певному значенні напруги. Прибор має два значення вихідної вимірювальної напруги: 1000 + 50 В, які отримуються перетворенням низьковольтової напруги постійного струму в змінний з послідовним його помноженням і випрямленням.

Для визначення коефіцієнта абсорбції є реле з витримкою часу 15 і 60 с і відповідно сигналізація, яка показує моменти відліку.

Крім того випускаються мегаомметри (без виміру коефіцієнта абсорбції) Ф4102/1 і Ф4102/2 з максимальною вимірювальною напругою відповідно 1000 і 2500 В.

Завод „Автоматика” випускає прибори ємнісного контролю ізоляції типу ПЕКИ-1. Прибор призначений для визначення вологості ізоляції методом визначення відношення C_2 / C_{50} (де C_2 і C_{50} – ємності контрольованої ізоляції, виміряні відповідно на частоті 2 і 50 Гц).

Опір ізоляції тягових двигунів вимірюється при кожному заході тепловоза в депо на ремонт по циклу ПР-1. В проміжках між ремонтами на тепловозах опір ізоляції не контролюється і тільки в випадках її пробою на корпус спрацьовує реле захисту. В експлуатації ізоляція часто схильна до вологості і її опір може значно зменшитись за короткий час. Більшість числа пробоїв ізоляції можна було б уникнути при своєчасному виявленню зменшенню її опору і прийняття заходів по сушінню. Для цього потрібно обладнання, яке постійно слідкує за рівнем

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

опору ізоляції і сигналізує по його недопустимому зменшенні.

Сьогодні депо і локомотиворемонтні заводи мають обладнання технічної діагностики, які не відповідають стандарту ISO9000. Щоб підвищити надійність електричних машин потребуються комплекс заходів:

- розробка і впровадження нових ізоляційних лакофарбових матеріалів і компаундів;
- використання прискорених методів випробувань ізоляційних матеріалів;
- організація експлуатаційних випробувань електричних машин з ізоляцією більш високого класу;
- розвиток технологій просочувань;
- підвищення ресурсу електричних машин локомотивів, в тому числі при капітальному ремонті;
- удосконалення методів неруйнуючого контролю і технічного діагностування.

Комплексне управління якістю ремонту електричних машин необхідно здійснювати, перш за все, контролем параметрів їх технічного стану як в експлуатації, так і в процесі ремонту. В експлуатації його необхідно виконувати з використанням вмонтованих систем діагностування, при ремонті – на автоматизованій випробувальній станції, обладнаною сучасними технічними засобами.

У відповідності з „Концепцією комплексної системи діагностування тягового рухомого складу” комплекс засобів діагностування електричних машин може бути поділений на чотири групи, які представлені в табл. 4.5.

Організація чотирирівневої системи контролю і технічного діагностування дозволить реалізовувати принцип управління технічним станом електричних машин локомотивів, успішно використовується на ряді західноєвропейських залізниць. Керуючими рішеннями при цьому є заключення:

- по величині залишкового ресурсу ізоляції електричної машини;
- по необхідності відновлення її параметрів при технічному обслуговуванні тепловоза (наприклад за рахунок регулювання щіток, нейтралі і ін.);

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.5 – Чотирирівнева система контролю і діагностування електричних машин

Група	Найменування діагностичного комплексу	Область застосування
1	Комплекс засобів неруйнуючого контролю і технічного діагностування при капітальному і ПР-3 ремонтах локомотивів	Локомотиворемонтні заводи і базові депо
2	Автоматизована система післяремонтних випробувань електричних машин	Випробувальні станції заводів і депо
3	Діагностичний комплекс переносних засобів контролю і діагностування технічного стану електричних машин	Цех поточного ремонту локомотивів і цех по ремонту електричних машин
4	Вмонтовані системи діагностування на локомотивах	Локомотиви

– по можливості її подальшої експлуатації при досягненні граничних значень одного або декількох параметрів.

Комплексне діагностування тягових двигунів – нове на сьогодні напрямлення у розвитку систем неруйнуючого контролю. Є відомим ряд методів діагностування струмопровідних вузлів – виміру величини опору ізоляції, тангенса кута діелектричних втрат, яка складає витік постійного струму при живленні змінним струмом, часткових розрядів і ін.

На основі досліджень, проведених на японських залізницях при використанні методу випробування складової постійного струму, встановлено: причина незадовільного стану ізоляції обумовлена тривалим впливом вологості, та пошкодження її в певних місцях.

Вимір величини опору ізоляції показало, що даний метод, навпаки, реагує на

кількісну оцінку вологості.

Наступний по ефективності контроль ізоляції тягового двигуна – метод тангенса діелектричних втрат.

На основі цих і інших випробувань спеціалісти електромеханічних приборів розробили автоматизовану систему контролю технічного стану ізоляції „Тангенс-2000”. На базі локомотиворемонтного заводу експериментально перевірили можливість використання системи „Тангенс-2000” для оцінки технічного стану електродвигунів тягового рухомого складу.

Отримані дані, які підтверджують адекватність розробки приборобудівників до умов залізничного транспорту. Основна перевага автоматизованої системи контролю стану ізоляції „Тангенс-2000” – можливість виявлення дефекту. Доповнення обчислювального блоку програмою його прогнозування можливо в зв’язку з відмінною кореляцією даних, які получають в процесі діагностування.

В якості діагностичних систем третього рівня широке поширення в світовій практиці отримали автоматизовані тестери для перевірки технічного стану електродвигунів. Відома компанія „Baker Instrument” (США) серійно виготовляє тестери типу AST-8800, які працюють в програмі тестів на високу напругу (постійного і змінного струму), опір, а також стрибок напруги.

Тест електродвигуна на стрибок напруги несе достатньо високу інформативність по його технічному стану, охоплюючи такі вузли, як якір, обмотки головних і додаткових полюсів, колекторно-щітковий вузол. Також за допомогою цього тесту можуть бути виявлені дефекти міжвиткової, міжслойної, і міжфазної ізоляції.

Таким чином, впровадження комплексної технології і технічного діагностування електричних машин на ремонтних підприємствах залізничного транспорту дозволить отримати реальну інформацію по стану в експлуатації і якості ремонту електричних машин. Стане можливим планувати відновлювальні роботи тягових двигунів при технічному обслуговуванні локомотивів. Комплексна технологія контролю є базовим модулем в створенні автоматизованої системи ремонту тягового рухомого складу [17].

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4 Первинний аналіз статистичних даних про надійність тягових електродвигунів

Найбільш об'єктивні відомості про надійність тягових електродвигунів можна одержати на основі використання статистичних даних про відмови, що отримані у процесі експлуатації (табл. 4.6). Без інформації про відмови тягових електродвигунів, що міститься у первинній документації, неможливо визначити показники надійності, виявити недоліки конструкції, ступінь впливу на надійність умов експлуатації й на підставі цих даних прийняти заходи щодо підвищення надійності тягових електродвигунів. Але у первинній документації містяться неупорядковані дані, з яких важко доглянути будь-яку закономірність.

Таблиця 4.6 – Статистичні дані про відмови тягових електродвигунів виборки 68 одиниць

В ТИС КМ

Пробіг ТЕД до відмови			
9	125	208	278
9			282
20			287
25			289
37			294
50			304
58			309
71			315
94			330
101			334
104			347
108			347
111			358
113			378
113			391
114	200	260	406
120	207	263	406

Діапазон зміни значень напрацювань, у середині якого мали місце відмови тягових електродвигунів, визначається за формулою:

$$R = l_{\max} - l_{\min}, \quad (4.2)$$

$$R = 415 - 9 = 406 \text{ тис км.}$$

Для розрахунку оптимальної величини інтервалу Δl відмов тягових електродвигунів в тис км використовуємо формулу:

$$\Delta l = \frac{R}{1 + 3,322 \cdot \lg N}, \quad (4.3)$$

де N – кількість об'єктів спостереження – 68 тягових електродвигунів.

$$\Delta l = \frac{406}{1 + 3,322 \cdot \lg 68} = 57 \text{ тис км.}$$

Кількість інтервалів відмов тягових електродвигунів визначаємо, виходячи зі такого співвідношення:

$$k = \frac{R}{\Delta l}; \quad (4.4)$$

$$k = \frac{406}{57} = 7,12.$$

Величина інтервалу відмов тягових електродвигунів округлюється в більшу сторону до цілого значення. Приймаємо $k = 8$.

Після цього провадиться об'єднання по інтервалах в табл. 4.7.

Середні значення напрацювань тягових електродвигунів в i -му інтервалі визначають за формулою:

$$\bar{l}_i = \frac{l_{\text{поч.}i} + l_{\text{кін.}i}}{2}, \quad (4.5)$$

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $l_{поч.i}$ – початкова величина напрацювання тягових електродвигунів в i -му інтервалі, тис км;

Таблиця 4.7 – Результати розрахунку характеристик напрацювання тягових електродвигунів до відмови

Верхня межа інтервалу	Нижня межа інтервалу	Середнє значення напрацю- вання в ін- тервалі $\bar{l}_i$, тис км	Абсолютна частота (вага), n_i	Відносна частота (частість), m_i	Відносна накопичена частота, m'_i	Щільність імовірності настання відмови, $\bar{f}(l_i)$
9	66	37,5	7	0,103	0,103	0,0018
67						0,0026
124						0,0028
181						0,0031
238						0,0039
295						0,0021
352	408	380	5	0,074	1,000	0,0013

$l_{кін.i}$ – кінцева величина напрацювання тягових електродвигунів в i -му інтервалі, тис км.

Відносна частота відмов m_i тягових електродвигунів обчислюється за формулою:

$$m_i = \frac{n_i}{N}. \quad (4.6)$$

Відносна накопичена частота m'_i тягових електродвигунів утворюється шляхом додавання попереднього значення відносної накопиченої частоти до

поточного значення відносної частоти відмов тягових електродвигунів

$$m'_i = m'_{i-1} + m_i. \quad (4.7)$$

Щільність імовірності настання відмови тягових електродвигунів:

$$\bar{f}(l_i) = \frac{n_i}{\Delta l \cdot N}. \quad (4.8)$$

Середнє напрацювання до першої відмови тягових електродвигунів визначається за формулою:

$$\bar{l} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k n_i \cdot \bar{l}_i, \quad (4.9)$$

$$\bar{l} = \frac{1}{68} (7 \cdot 37,5 + 10 \cdot 95 + 11 \cdot 152 + 12 \cdot 209 + 15 \cdot 266 + 8 \cdot 323 + 5 \cdot 380) = 204 \text{ тис км.}$$

Середнє квадратичне відхилення відмов тягових електродвигунів

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (\bar{l}_i - \bar{l})^2 \cdot n_i}{N}}, \quad (4.10)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(37,5 - 204)^2 \cdot 7 + (95 - 204)^2 \cdot 10 + (152 - 204)^2 \cdot 11 + (209 - 204)^2 \cdot 12}{68} + \frac{(266 - 204)^2 \cdot 15 + (323 - 204)^2 \cdot 8 + (380 - 204)^2 \cdot 5}{68}} = 99,2.$$

Коефіцієнт варіації відмов тягових електродвигунів:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{l}}, \quad (4.11)$$

					0032.0000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$v = \frac{99,2}{204} = 0,486.$$

За результатами розрахунків будуємо гістограму розподілу (рис. 4.2), щільність імовірності розподілу напрацювань (рис. 4.2) та кумулятивну криву (рис. 4.3) відмов тягових електродвигунів. Для побудови гістограми розподілу відмов тягових електродвигунів по осі абсцис відкладаємо межі інтервалів, а по осі ординат відповідні частоти n_i . Для кожного інтервалу будуємо прямокутник шириною Δl та висотою n_i і з'єднуємо середини інтервалів. Щільність імовірності розподілу напрацювань $\bar{f}(l_i)$ тягових електродвигунів будуємо на спільної з гістограмою осі абсцис, а масштаб осі ординат збігався так, щоб висота i -го прямокутника гістограми n_i збігалася зі значенням $\bar{f}(l_i)$. Кумулятивна крива відмов тягових електродвигунів будується аналогічно, тільки по осі ординат відкладаються значення накопиченої частоти m'_i відмов тягових електродвигунів. На обох рисунках позначаємо та вказуємо значення $\bar{l}_i$.

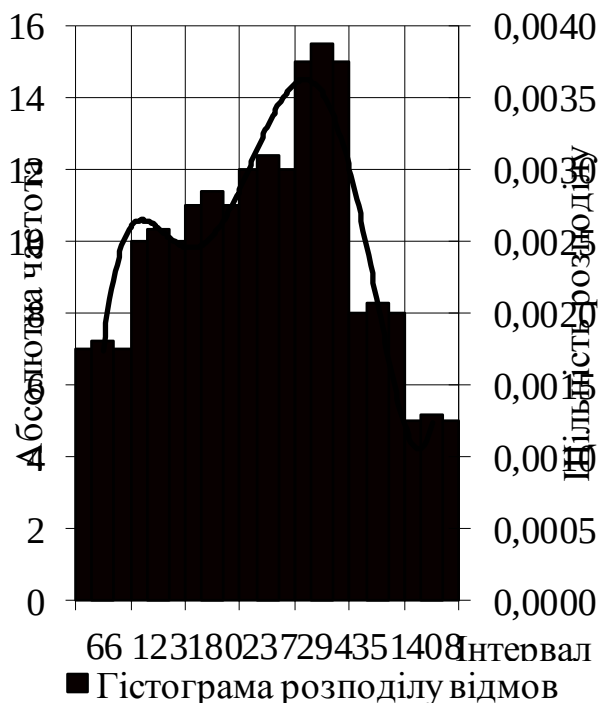


Рисунок 4.2 – Гістограма розподілу та щільність імовірності розподілу напрацювань тягових електродвигунів

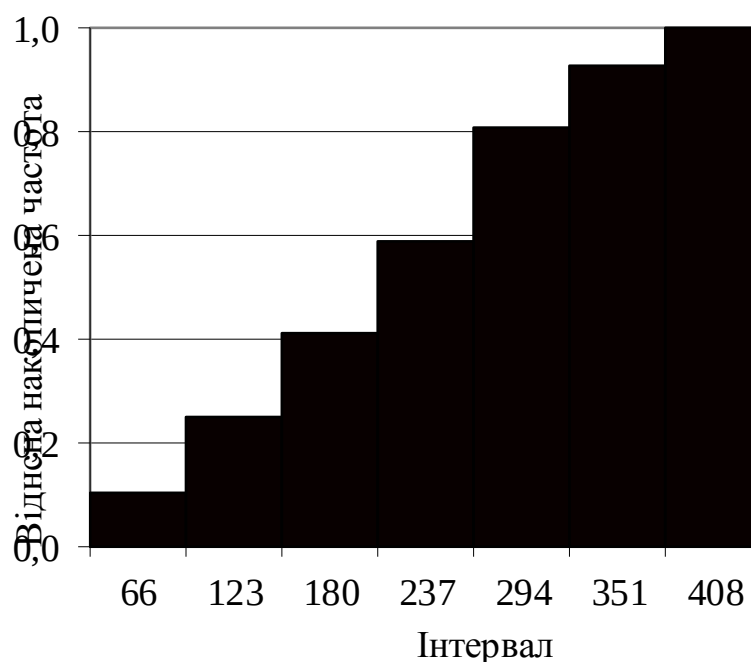


Рисунок 4.3 – Кумулятивна крива відмов тягових електродвигунів

4.5 Визначення основних характеристик та закону розподілу напрацювання тягових електродвигунів до відмови

Розраховуємо квантіль нормованого відхилення відмов тягових електродвигунів для обох меж кожного інтервалу $u_{поч.i}$ та $u_{кін.i}$ за формулами:

$$u_{поч.i} = \frac{l_{поч.i} - \bar{l}}{\sigma}; \quad (4.12)$$

$$u_{кін.i} = \frac{l_{кін.i} - \bar{l}}{\sigma}. \quad (4.13)$$

За величинами $u_{поч.i}$ та $u_{кін.i}$ визначають величини функції Лапласа [18] для обох меж кожного інтервалу $\Phi(u_{поч.i})$ та $\Phi(u_{кін.i})$ відмов тягових електродвигунів.

Визначаємо теоретичну імовірність попадання напрацювання тягових електродвигунів в i -й інтервал p_i як різниця між $\Phi(u_{кін.i})$ та $\Phi(u_{поч.i})$.

Розраховуємо теоретичну частоту попадання тягових електродвигунів в i -й інтервал як добуток N та p_i .

Результати розрахунку зводимо в табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Результати розрахунку на відповідність нормальному закону розподілу тягових електродвигунів

$l_{поч.i} - l_{кін.i},$ 10^3 км		n_i	$u_{поч.i} - u_{кін.i}$		$\Phi(u_{поч.i}) - \Phi(u_{кін.i})$		p_i	$p_i N$	$\frac{(n_i - p_i N)^2}{p_i N}$
9	66	7	-1,97	-1,39	-0,4756	-0,4162	0,0594	4,04	2,17
67	123	10							0,34
124	180	11							0,41
181	237	12							0,59
238	294	15							0,45
295	351	8							0,04
352	408	5	1,49	2,06	0,4319	0,4803	0,0484	3,29	0,89
		68					0,9415	64,0	4,9

Визначаємо величину «хі-квадрат» за формулою:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - p_i N)^2}{p_i N}; \quad (4.14)$$

$$\chi^2 = 6,68 + 0,34 + 0,41 + 0,59 + 0,45 + 0,04 + 0,89 = 4,9.$$

Накладаємо значення імовірностей теоретичного нормального розподілу p_i відмов тягових електродвигунів на гістограму емпіричних частот (рис. 4.4).

Перевіremo гіпотезу про відповідність емпіричного розподілу відмов тягових електродвигунів нормальному закону за критеріями узгодження К. Пірона та В. І. Романовського.

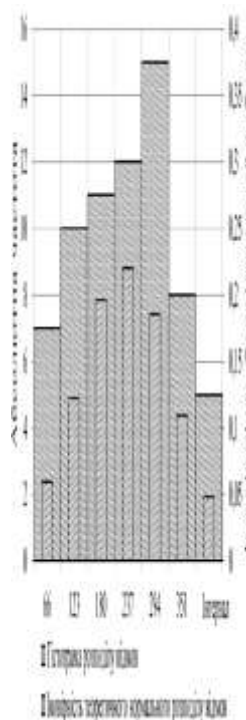


Рисунок 4.4 – Імовірність теоретичного нормального розподілу p_i

За критерієм К. Пірсона гіпотеза про нормальний закон розподілу відмов тягових електродвигунів не спростовується та розбіжності між теоретичними і емпіричними частотами пояснюються впливом випадкових обставин при виконанні нерівності

$$\chi^2 \leq \chi_m^2, \quad (4.15)$$

де χ_m^2 – критичне значення величини «хі-квадрат».

χ_m^2 залежить від довірчої імовірності α та числа ступенів свободи r .

Величина довірчої імовірності $\alpha=0,99$, а число ступенів свободи визначається як

$$r = k - 3; \quad (4.16)$$

$$r = 8 - 3 = 5.$$

При $r = 5$ та $\alpha = 0,99$ $\chi_m^2 = 15,09$. За критерієм К. Пірсона гіпотеза про нормальний закон розподілу відмов тягових електродвигунів не

спростовується [18].

За критерієм В. І. Романовського визначаємо величину коефіцієнта [18]

$$R = \frac{\chi^2 - r}{\sqrt{2r}}; \quad (4.17)$$

$$R = \frac{4,9^2 - 5}{\sqrt{2 \cdot 5}} = 5,99.$$

Гіпотеза про нормальний закон розподілу відмов тягових електродвигунів не спростовується, якщо $R < 3$.

Так як $5,99 > 3$, то гіпотеза про нормальний закон розподілу відмов тягових електродвигунів спростовується.

4.6 Визначення кількісних характеристик надійності за статистичним даними про відмови тягових електродвигунів

Вихідні дані для розрахунку кількісних характеристик надійності тягових електродвигунів наведені в табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Вихідні дані для розрахунку кількісних характеристик надійності тягових електродвигунів

Межа інтервалу, 10^3 км		Кількість об'єктів, що відмовили за пробіг l , 10^3 км
9	66	7
67	123	10
124		
181		
238		
295		
352	408	5

Імовірність безвідмовної роботи тягових електродвигунів за статистичними даними про відмови оцінюється за формулою:

$$P^c(l) = \frac{N - n(l)}{N}, \quad (4.18)$$

де $n(l)$ – кількість тягових електродвигунів, що відмовили за час t ;

Ймовірність відмови тягових електродвигунів за статистичним даними розраховується за формулою:

$$Q^c(l) = \frac{n(l)}{N}. \quad (4.19)$$

Частота відмов тягових електродвигунів за статистичним даними про відмови визначається виразом

$$f^c(l) = \frac{\Delta n(l)}{N \cdot \Delta l}, \quad (4.20)$$

де $\Delta n(l)$ – кількість тягових електродвигунів, що відмовили протягом пробігу Δl .

Інтенсивність відмов тягових електродвигунів за статистичним даними про відмови визначається за формулою:

$$\lambda^c(l) = \frac{\Delta n(l)}{N_{сер}(l) \cdot \Delta l}, \quad (4.21)$$

де $N_{сер}(l)$ – кількість працездатних тягових електродвигунів в середині інтервалу пробігу Δl .

Середній пробіг безвідмовної роботи тягових електродвигунів за статистичним даними оцінюється виразом:

					0032.0000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_{сер}^c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N l_i, \quad (4.22)$$

де l_i – час безвідмовної роботи i -го тягового електродвигуна.

Розрахунки зводимо в табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Результати розрахунків кількісних характеристик надійності за статистичним даними про відмови тягових електродвигунів

Межа інтервалу, 10^3 км		Середнє напрацювання в інтервалі	Кількість об'єктів, що відмовили за пробіг l , 10^3 км	Імовірність безвідмовної роботи $P^c(l)$	Імовірність відмови $Q^c(l)$	Частота відмов $f^c(l)$	Інтенсивність відмов $\lambda^c(l)$
9	66	38	7	0,90	0,10	0,00181	0,0019
67	123						0,0031
124	180						0,0042
181	237						0,0062
238	294						0,0128
295	351						0,0156
352	408	380	5	0,00	1,00	0,00129	0,0351

Графічна інтерпретація кількісних характеристик надійності тягових електродвигунів наведена на рис. 4.5 – 4.7.

Виконаємо інтерполяцію інтенсивності відмов $\lambda^c(l)$ тягових електродвигунів та побудуємо графік першої похідної $\frac{d\lambda^c(l)}{dl}$ на рис. 4.8.

Для одержання значення пробігу, відповідного необхідному виконанню

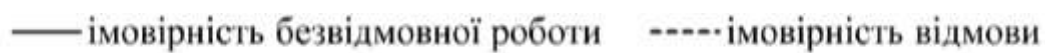


Рисунок 4.5 – Імовірність безвідмовної роботи $P^C(l)$ та імовірність відмови $Q^C(l)$ тягових електродвигунів

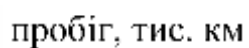


Рисунок 4.6 – Частота відмов $f^c(l)$ тягових електродвигунів

					<i>0032.0000000.000.03КР.ПЗ</i>	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



пробіг, тис. км

Рисунок 4.7 – Інтенсивність відмов $\lambda^c(l)$ тягових електродвигунів

ПР-3 тягових електродвигунів побудуємо другу похідну $\frac{d^2\lambda^c(l)}{dl^2}$ на рис. 4.9.

Отже, виконання покладених на локомотив задач повинно забезпечуватись ефективною експлуатацією комплексу його технічних засобів. Підвищення ефективності процесу технічної експлуатації може бути досягнуто за рахунок удосконалення системи управління ефективністю процесу технічної експлуатації, в тому числі обґрунтування програм по технічному обслуговуванню і поточному ремонту тягового рухомого складу.

Для тепловозів серії 2ТЕ116 напрацювання до виконання ремонту в обсязі ПР-3 становить 330 тис км, але виходячи з проведеного аналізу графіків та таблиць, які були отримані під час розрахунків, спостерігається збільшення кількості відмов та значного підвищення інтенсивності відмов обладнання локомотива, в тому числі тягових електродвигунів, при досягненні напрацювання 320 тис км, тому при постановці локомотива на ремонт обсягом ПР-3 він вже



Рисунок 4.8 – Графік першої похідної інтенсивності відмов $\lambda^c(l)$ тягових електродвигунів



Рисунок 4.9 – Графік другої похідної інтенсивності відмов $\lambda^c(l)$ тягових електродвигунів

матиме ряд відмов, які можуть викликати постановку на непланові ремонти, а саме відмови пов'язані з моторно-якірними підшипниками, моторно-осьовими підшипниками або з ізоляційними системами. Якщо у випадку з моторно-якірними підшипниками та моторно-осьовими підшипниками проведення ремонту можливе без повного розбирання тягового двигуна, то з ізоляційними системами необхідно вилучати тепловоз з безпосередньої роботи.

Тому проведення ремонту обсягом ПР-3 рекомендуємо проводити при напрацюванні 320×10^3 км, але також треба враховувати те, що необхідно переглянути обсяги напрацювання тепловозів для інших видів ремонтів (рис. 4.10).

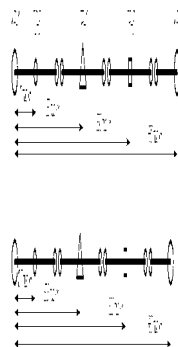


Рисунок 4.10 – Порівняння систем технічних обслуговувань та ремонтів

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі магістра за темою «Удосконалення технологічних процесів під час виконання технічних обслуговувань та поточних ремонтів локомотивів відповідно до вимог інтероперабельності» нами розглянуто одну з базових складових системи утримання локомотивів – система управління технічним станом локомотивів.

Під час виконання огляду та аналізу організації і управління системою технічних обслуговувань та поточних ремонтів тягового рухомого складу ми дослідили сучасні підходи в технічному обслуговуванні та ремонті тягового рухомого складу залізниць, які базуються на діагностичних комплексах та відстежуванні зміни параметрів локомотивів в експлуатації.

Аналіз організації і управління локомотивними депо при розподілі на експлуатаційну та ремонтну складові довів доцільність реструктуризації залізничного господарства й переходу до фірмового обслуговування рухомого складу, що має стабілізувати простій в ремонтах, скоротити витрати ремонтного господарства та зменшити кількість непланових ремонтів.

Виконання огляду системи технічних обслуговувань та ремонтів для сучасного рухомого складу визначила необхідність узгодження експлуатаційних параметрів локомотивів з показниками надійності.

Аналіз технологічних процесів при технічних обслуговуваннях та поточних ремонтах в локомотивному депо довів актуальність обраного напрямку досліджень з урахуванням інтенсифікації різнотипних виробничих процесів ремонтного господарства й великого значення відсотка позапланових ремонтів.

Впровадження АСУ ТО та ПР із застосуванням технології «цифровий двійник» дозволяє реалізувати імовірнісне прогнозування часу видачі локомотива. Модель ТО та ПР, що дозволяє в міру нагромадження статистичних даних, а також після формування лінійного графіка ремонту конкретного локомотива (з урахуванням параметрів його діагностичної карти) моделювати процес ТО та ПР, результатом якого є імовірнісний очікуваний час ремонту.

До розробки пропозицій з удосконалення технологічних процесів під час

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконання технічних обслуговувань та поточних ремонтів локомотивів ми підійшли з аналізу експлуатаційної надійності тепловозів. На підставі аналізу відмов вузлів тепловозів ми визначили один з найбільш навантажених вузлів, для якого навели огляд пошкоджень. Для підвищення експлуатаційної надійності ми визначили найбільш актуальні методи визначення стану і опору ізоляції. Відповідно до статистичних даних відмов тягових електродвигунів ми виконали первинний аналіз статистичних даних про надійність, визначили основні характеристики та закону розподілу напрацювання тягових електродвигунів до відмови й визначили кількісні характеристики надійності. Шляхом проведення аналізу побудованих залежностей, в тому числі інтенсивності відмов із застосуванням диференційного обчислення, ми надали рекомендації щодо коригування міжремонтних періодів для тепловозів.

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Тартаковский Э.Д., Подчесов Э.Д., Устенко А.В. Основы автоматизации технического обслуживания и ремонта локомотивов. – Харьков: ХИИТ, 1986. – 75 с.
- 2 Дацун Ю.М., Клименко О.В., Максимов М.В., Данько В.М. Основы технології ремонту локомотивів. Ч. 1: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – 69 с.
- 3 Бабанін О.Б., Кохан О.Л. Оцінка якості сервісного технічного обслуговування тепловозів //Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків, 2012. – №129. – С. 31.
- 4 Говорущенко Н. Я. Системотехника транспорта: в 2 ч. /Н. Я. Говорущенко. – Харьков.: РИО ХГАДТУ, 1998. – 225 с.
- 5 Правила технічної експлуатації залізниць України. – К.: Укрзалізниця, 1998. – 264 с.
- 6 Положення про планово–попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро та дизель–поїздів) [Текст]: Наказ №093–ЦЗ. – Затв. Укрзалізницею 30.06.2010. — К.: Укрзалізниця, 2010. – 27 с.
- 7 Інструкція з технічного обслуговування тепловозів в експлуатації: №ЦТ-0056. – Затв. Укрзалізницею 27.12.2002 р. – Видання офіційне – К.: Укрзалізниця, 2003. – 146 с.
- 8 Організація та планування виробництва: методичні рекомендації для виконання розрахунково-графічної роботи /Уклад.: Б.Є. Боднар, О.Б. Очкасов; Україн. держ. ун-т науки і технол. – Дніпро, 2022. – 47 с.
- 9 Організація та планування виробництва: практикум /уклад.: Д. В. Бобирь, О. Б. Очкасов, Н. І. Колодій. – Дніпро: Укр. держ. ун-т науки і

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологій, 2022. – 62 с.

- 10 Правила технічного обслуговування та поточних ремонтів тепловозів 2ТЕ116, які затверджені наказом Укрзалізниці від 20.03.2013 №075-Ц/од. – К.: вид-во Укрзалізниці, 2013. – 47 с.
- 11 Правила технічного обслуговування та поточних ремонтів тепловозів 2ТЕ116. ЦТ–0043. – Київ: Укрзалізниця, 2002. – 38 с.
- 12 Експлуатація локомотивів і тягових агрегатів в умовах промислового залізничного транспорту: Методичні вказівки до дипломного проектування /Уклад.: Л.Ф. Гагін, М.І. Капіца, Д.В. Бобирь. – Дніпропетровськ: Дніпропетр. націон. універ. залізнич. трансп. ім. ак. В.Лазаряна, 2011. – 22 с.
- 13 Експлуатація локомотивів та локомотивне господарство. Організація ремонтного та екіпірувального господарства: підручник /Б.Є. Боднар, М.І. Капіца, Є.Б. Боднар, О.Б. Очкасов /Під ред. д-ра техн. наук, проф. Б.Є. Боднара. – Електрон. вид. – Дніпро: Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2022. – 220 с.
- 14 Правила технічного обслуговування та поточних ремонтів тепловозів ТЕМ2У, які затверджені наказом Укрзалізниці від 20.03.2013 №075-Ц/од. – К.: вид-во Укрзалізниці, 2013. – 45 с.
- 15 Некрашевич В.И., Сальченко В.Л., Ковалев В.Н. Автоматизация управления локомотивными парками //Железнодорожный транспорт. – 2000. – №5. – С. 8-10.
- 16 Надійність техніки: Аналіз надійності. Основні положення: ДСТУ 2861-94. – К.: Держстандарт України, 1995. – 32 с.
- 17 АСУ в локомотивному господарстві: методичні вказівки до практичних занять / уклад.: Д. В. Бобир, Д. М. Кислий. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – 45 с.

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 18 Надійність та технічна діагностика рухомого складу: Методичні вказівки до практичних занять /Дніпропетр. націон. універ. залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна; Уклад.: Б. Є. Боднар, Д. В. Бобирь, Я. В. Болжеларський, О. Б. Очкасов. – Дніпропетровськ, 2005. – 30 с.

					0032.000000.000.03КР.ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		