

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра «Локомотиви»

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

М. І. Капіца

«_____» _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня ***«магістр»***

Галузь знань **27 Транспорт**

Спеціальність **273 Залізничний транспорт**

Освітньо-професійна програма ***Локомотиви та локомотивне господарство***

Тема **УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УТРИМУВАННЯ ЛОКОМОТИВІВ
ПРОМИСЛОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Theme **PERFECTION OF THE SYSTEM OF HOLDING LOCOMOTIVES OF
INDUSTRIAL RAILWAY TRANSPORT**

Керівник дипломної
роботи

М. І. Капіца

Нормоконтролер

Л. В. Колодій

Студент групи ЛГ1926

Д. А. Петрига

Student

Petriga Dmitro

Дніпро, 2020

РЕФЕРАТ

Магістерська дипломна робота на тему «Удосконалення системи утримування локомотивів промислового залізничного транспорту» загальним обсягом 6 аркушів демонстраційного матеріалу та 81 аркуш розрахунково-пояснювальної записки яка складається з 4 розділів. Робота містить 19 ілюстрацій, 21 таблицю та список літературних джерел з 18 найменувань.

Об'єктом в магістерській дипломній роботі виступає – система утримання локомотивів. Метою магістерської дипломної роботи є удосконалення системи утримування локомотивів для умов промислового залізничного транспорту.

Виконано аналіз та визначено шляхи утримання локомотивів. При огляді закордонного досвіду організації технічних обслуговувань та поточних ремонтів тягового рухомого складу визначено фактори, які визначають терміни експлуатації локомотивів. Для оцінки надійності обладнання локомотивів змодельовано прогнозування технічного стану тягового рухомго складу. Особливу увагу приділено несучим конструкціям локомотивів, оскільки вони безпосередньо впливають на безпеку руху.

При удосконаленні системи технічного обслуговування та ремонтів локомотивів запропоновано основні діагностичні параметри оцінки технічного стану устаткування тепловозів, серед яких електрична міцність ізоляції, опір ізоляції високовольтних кіл, перехідний опір контактів комутуючого обладнання, омичний опір обмоток та кіл електричних машин і апаратів та рівномірність завантаження циліндрів, максимальна і мінімальна температура вихлопних газів, відхилення від середньої температури, тиск масла, тиск палива.

Ключовими словами в магістерській дипломній роботі являються: УТРИМУВАННЯ, СИСТЕМА, ЕКСПЛУАТАЦІЯ, ЛОКОМОТИВ, МОДЕЛЬ, НАПРАЦЮВАННЯ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ПЕРІОДИЧНІСТЬ, ЦИКЛІЧНІСТЬ, РЕМОНТ, ДІАГНОСТУВАННЯ.

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД ТА ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМІВ УТРИМАННЯ ЛОКОМОТИВІВ ПРОМИСЛОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ	8
1.1 Аналіз технічного стану парку тягового рухомого складу промислового залізничного транспорту.....	8
1.2 Огляд закордонного досвіду організації технічних обслуговувань та поточних ремонтів тягового рухомого складу	9
1.3 Аналіз витрат на життєвий цикл тягового рухомого складу	12
1.4 Розрахунок лімітованого терміну експлуатації локомотивів.....	16
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ	21
2.1 Визначення показників надійності тягового рухомого складу для оцінки технічного стану	21
2.2 Концептуальний аналіз надійності обладнання локомотивів	25
2.3 Аналіз відмов тепловозів	30
2.4 Первинний аналіз статистичних даних про надійність. Визначення основних характеристик та закону розподілу напрацювання до відмови.....	38
2.5 Визначення кількісних характеристик надійності	46
3 УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО УТРИМУВАННЯ ЛОКОМОТИВІВ ПРОМИСЛОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ	51
3.1 Підходи до системи утримання локомотивів	51
3.2 Довговічність обладнання локомотивів як параметр системи ТО та ПР.....	56
3.3 Діагностування технічного стану локомотивів	58
3.4 Коригування системи утримання локомотивів.....	65

					0032.196374.000.03МР.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Петрига				Удосконалення системи утримання локомотивів промислового залізничного транспорту	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Капіца					н	5	81
Реценз.						ДНУЗТ, гр. ЛГ1926		
Н. Контр.	Колодій							
Затверд.	Капіца							

4 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УТРИМУВАННЯ ЛОКОМОТИВІВ ПРОМИСЛОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ	70
ВИСНОВКИ	79
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	80

					0032.196374.000.03MP.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Підвищення ефективності використання локомотивів є однією з передумов стабільного функціонування всіх галузей залізниць. Це передбачає пошук резервів при визначенні граничного терміну експлуатації локомотивів. Як показує досвід експлуатації рухомого складу в сумісних галузях промисловості, в ряді випадків можливо отримати суттєвий економічний ефект.

Проблемам підвищення ефективності використання локомотивів присвячені численні дослідження в нашій країні і за кордоном. В основному напрямок цих досліджень має пріоритет у визначенні оптимальної структури ремонтних циклів, впровадженні засобів діагностування в технологічні процеси обслуговування та ремонту і оцінки технічного стану до та після ремонту.

Ефективне функціонування залізничного транспорту пов'язане з наступними факторами:

- удосконаленням його організаційної структури;
- оновленням основних фондів і рухомого складу;
- впровадженням новітніх технологій;
- збільшенням прибутковості перевезень вантажів.

У зв'язку з фізичним і моральним зносом рухомого складу, зокрема локомотивного парку, важливим напрямком забезпечення експлуатаційної роботи залізничного транспорту в досяжній перспективі є раціональне використання наявного рухомого складу в межах термінів його служби.

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМІВ УТРИМАННЯ ЛОКОМОТИВІВ ПРОМИСЛОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

1.1 Аналіз технічного стану парку тягового рухомого складу промислового залізничного транспорту

Аналіз сучасного стану і тенденцій розвитку залізничного транспортного комплексу показує, що його виробничо-технічна база по багатьом параметрам не відповідають зростаючим потребам.

З наявного парку локомотивів промислового підприємства термін служби, використали майже всі тепловози.

Більшість локомотивів, які експлуатуються, за своїм станом:

- потребують на 40-60% більше витрат на технічне обслуговування (ТО) та поточні (ПР) та капітальні (КР) ремонти;
- мають низьку економічність, у порівнянні із сучасними локомотивами, і виявляють підвищений негативний вплив на навколишнє середовище.
- впритул наблизилися до свого граничного терміну служби за умовами безпеки.

Враховуючи постійне недофінансування програм відновлення рухомого складу, низький технічний рівень й інтенсивне старіння наявного експлуатаційного парку, підприємства змушені займатися його модернізацією.

В цих умовах першочерговими і перспективними завданнями модернізації і організації капітального ремонту рухомого складу повинні вважатися заходи з удосконалення системи утримання локомотивів та подовження терміну служби тепловозів.

Таким чином комплексний аналіз стану і напрямків розвитку залізничної галузі свідчать про суттєві проблеми:

- локомотивний парк вичерпав або наближається до граничного ресурсу;
- через застарілість локомотивного парку значно ростуть витрати на його утримання;

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- домінуючим залишається принцип планово-попереджувального ремонту.

Для забезпечення ефективного використання локомотивів за життєвий цикл слід враховувати необхідність розробки методів щодо коригування системами утримання. Системний науково-технічний аспект і забезпечення тривалих термінів функціонування і використання локомотивного парку вимагає підвищення ефективності утримання локомотивів на основі нових знань в області експлуатації складних технічних систем.

1.2 Огляд закордонного досвіду організації технічних обслуговувань та поточних ремонтів тягового рухомого складу

Організація ТО та ПР тягового рухомого складу залежить не тільки від особливості конструкції, але й від прийнятого регламенту виконання робіт.

Компанія Talgo, виступаючи у ролі ремонтного підприємства, автоматично формує технологічний цикл ТО та ПР. Система технічного обслуговування рухомого складу, розроблена цією компанією відповідно до законів, розпоряджень, національних і міжнародних стандартів, являє собою комбінацію планових заходів з роботами, проводимими з урахуванням технічного стану комплектуючих. Важливим елементом системи при цьому є інструкції з технічного обслуговування, складені за період багаторічного досвіду експлуатації, що постійно доповнюються практикою.

Вказана компанія проводить профілактичну заміну зношених вузлів тільки тоді, коли це необхідно із причин *безпеки*. В іншому виконується програма планового техогляду з метою визначення стану конструктивних елементів і вузлів. Завданням цих оглядів є розпізнавання відмов, що зароджуються, з наступним попередженням їх розвитку. Ці заходи проводяться з метою визначення моменту, коли необхідне проведення робіт з технічного обслуговування. Цей момент визначають по наявним конкретним даним або шляхом прогнозування.

Поряд з подальшим прогресом в області вимірювальної й випробувальної

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

техніки в майбутньому головна увага буде приділятися її більш інтенсивному використанню, тому що це сприяє зниженню витрат на життєвий цикл тягового рухомого складу (ТРС).

Будівництво підприємств з технічного обслуговування і ремонту моторвагонних поїздів компанією Siemens Transportation Systems (Siemens TS) передбачає забезпечення їх максимальної надійності й експлуатаційної готовності за рахунок сервісу в депо, що спроектовані та оснащені з урахуванням конструктивних особливостей рухомого складу й умов його експлуатації [1].

Комп'ютерне моделювання використовується для планування й відстеження всієї процедури тимчасового вилучення рухомого складу з експлуатації для технічного обслуговування або ремонту, починаючи від моменту відправлення в депо і закінчуючи моментом прибуття на станцію, звідки рухомий склад знову повертається в експлуатацію.

Для забезпечення фахівцям депо мережі West Coast Train care TMS компанії Alstom можливості протягом дня контролювати стан усього парку бортове обладнання поїзних систем керування TMS регулярно передають на сервер компанії Alstom дані для аналізу і обробки. Дані про серйозні відмови виводяться на монітори технічних експертів, які можуть більш детально вивчити проблему і видати рекомендації відповідним фахівцям по виконанню необхідних робіт.

Технологічний процес у цілому спрямований на те, щоб мінімізувати вплив на експлуатацію будь-яких відмов і запобігати появі повторних несправностей.

Відповідно до регламенту Національного суспільства залізних дорог Франції (SNCF) є п'ять ступенів технічного обслуговування рухомого складу.

- Технічне обслуговування 1 ступеня проводиться машиністом локомотива й містить у собі, наприклад, перевірку обладнання безпеки.
- При технічному обслуговуванні 2 ступеня рухомий склад не вилучають із обороту, а тільки перевіряють, проводять обмивання та очищення на станційній або запасній колії.
- При технічному обслуговуванні 3 ступеня рухомий склад відправляють у

					0032.196374.000.03MP.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ремонтні майстерні або депо, де, наприклад, міняють гальмові накладки.

– При технічному обслуговуванні 4 ступеня проводиться загальна ревізія з відновленням інтер'єру.

– При технічному обслуговуванні 5 ступеня можуть вноситися конструктивні зміни і доробки у відповідність із останніми технічними вимогами.

Планується введення в експлуатацію системи GMAO (Gestion de Maintenance Assisted par Ordinateur – комп'ютерне керування поточним утриманням).

На ситуацію з технічним обслуговуванням і ремонтом рухомого складу Федеральних залізниць Швейцарії (SBB) впливає кілька факторів: жорстка конкуренція, ціновий тиск, надлишок виробничих потужностей у загальноєвропейському масштабі, інтенсифікація експлуатації рухомого складу, що проявляється з кожною зміною графіка, зменшення тривалості простою і т.п.

З урахуванням конкуренції відділення пасажирських перевезень SBB вибрало систему Kaizen, яку компанія Toyota (Японія) застосовує і удосконалює протягом уже більш 30 років. Система включає методи і засоби для систематичної ідентифікації й усунення зайвих невиробничих витрат і зосередження наявних ресурсів на діяльності, що приносить додаткові прибутки.

Результатами аналізу особливостей технічного обслуговування і ремонту рухомого складу залізниць провідними закордонними компаніями визначені основні тенденції в цій області. Їх доцільно використовувати на вітчизняних підприємствах з ремонту рухомого складу з урахуванням специфіки нормативної бази і особливостей технології ремонту.

Розмір собівартості визначається як відношення повної суми витрат за винятком залишкової вартості локомотива при кожному числі ремонтних циклів за термін його служби до сумарного наробітку від початку експлуатації [2]

$$Z_A = \left(S + \sum_{i=1}^n R_i + \sum_{i=1}^n P_i - O_n \right) / \sum_{i=1}^n l_i, \quad (1.1),$$

					0032.196374.000.03MP.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де S – витрати на придбання, транспортування ТРС;

O_n – залишкова вартість ТРС при n ремонтних циклах за термін служби;

R_i – витрати на капітальний ремонт в i -м ремонтному циклі;

P_i – сума експлуатаційних витрат в i -му ремонтному циклі.

1.3 Аналіз витрат на життєвий цикл тягового рухомого складу

Для визначення оптимального терміну експлуатації локомотивів на вісі часу позначимо початок їх експлуатації точкою H (рис. 1.1), та через встановлені інтервали наробітку (пробігів) – капітальні ремонти (точки KP), а також початкову вартість локомотива через C_0 , вартість капітальних ремонтів через C_1, C_2, C_3 . Проміжок часу роботи до першого капітального ремонту позначимо через t_1 , міжремонтний термін між першим і другим ремонтами – t_2 , між другим і третім – t_3 і так далі.

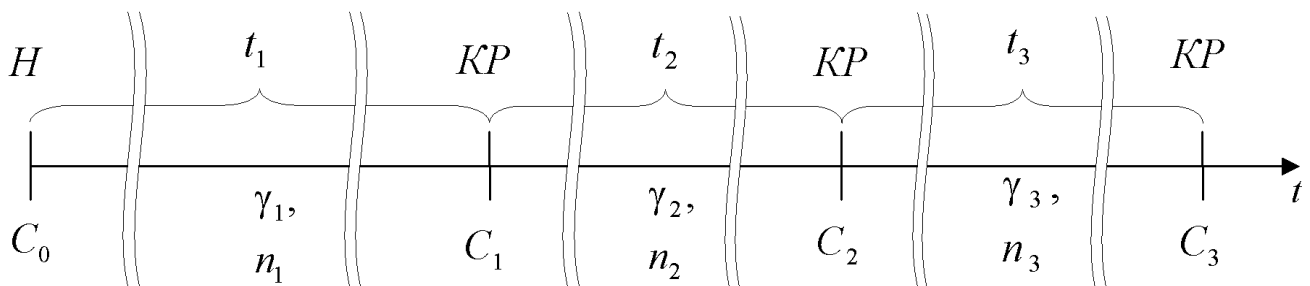


Рисунок 1.1 – Розподіл витрат за основними етапами життєвого циклу локомотива

Середню вартість ТО та ПР, які приходяться на одну годину роботи в межах першого періоду – γ_1 , в межах другого періоду – γ_2 і так далі. Сюди входить вартість всіх видів ТО та ПР до відповідного капітального ремонту. Через $n_1, n_2, n_3, \dots$ позначимо продуктивність локомотива у відповідних інтервалах.

Для середніх собівартостей в загальному вигляді для n -го етапу можна записати наступне рівняння [3]

$$S_n = \frac{C_0 + \sum_{i=1}^n \gamma_i t_i + \sum_{i=1}^n C_i}{\sum_{i=1}^n n_i t_i}, \quad (1.2)$$

де C_i – вартість i -го капітального ремонту.

Розглянемо випадок, коли вартість всіх капремонтів однакова $C_1 = C_2 = C_3 = C$; і припустимо, що міжремонтні періоди, продуктивності в міжремонтній період та вартості ТО, ПР також однакові: $t_1 = t_2 = t_3 = t$, $n_1 = n_2 = n_3 = n$, $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma$. В цьому випадку з (1.2) отримуємо [3]

$$S_1 = \frac{C_0}{n_1 t_1} + \frac{\gamma_1}{n_1}; \quad (1.3)$$

$$S_2 = \frac{C_0 + C_1}{2n_1 t_1} + \frac{\gamma_1}{n_1}; \quad (1.4)$$

$$S_3 = \frac{C_0 + C_1 + C_2}{3n_1 t_1} + \frac{\gamma_1}{n_1}. \quad (1.5)$$

Оскільки зазвичай $C_1 < C_0$, то з цих рівнянь отримуємо, що $S_2 < S_1$, $S_3 < S_1$ і так далі, тобто вигідніше весь час виконувати капітальні ремонти, ніж купувати новий локомотив. Насправді так не буває тому, що прийняті вище припущення в експлуатації неможливі. Так, перше припущення полягало в тому, що вартість всіх капітальних ремонтів однакова.

Поступово, із збільшенням числа ремонтів, продуктивність знижується, міжремонтні терміни теж не залишаються постійними. Термін між початком експлуатації і першим капітальним ремонтом зазвичай вище, ніж між першим і другим ремонтами. Міжремонтні терміни експлуатації локомотивів коригуються на зменшення. Вартості ТО та ПР також не залишаються постійними. Із збільшенням наробітку через старіння, знос, вартість ТО та ПР поступово зростає,

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зростають також витрати на паливно-мастильні матеріали на одиницю часу тощо. Тому, реальна ситуація відрізняється від тієї, що описується рівняннями (1.3-1.5).

В якості прикладу розрахунків щодо обґрунтування терміну експлуатації локомотивів, які враховують собівартість одиниці продуктивності локомотива протягом життєвого циклу, розглянемо дані експлуатації тепловоза ТЭМ7, для якого за пробігом 50 км та середньою масою складу поїзда 2500 т прийmemo:

- $n_1 = n_2 = n_3 = 7,3 \text{ грн}/\{(10^4 \text{ т} \cdot \text{км}) \cdot \text{год}\};$
- $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 60 \text{ грн/год.}$
- початкова вартість локомотива $C_0 = 5 \cdot 10^6 \text{ грн};$
- вартості капітальних ремонтів в грн

$$C_1 = 1 \cdot 10^6, C_2 = 2 \cdot 10^6, C_3 = 3 \cdot 10^6, C_4 = 4 \cdot 10^6;$$

- терміни експлуатації між КР в год

$$t_1 = 12 \cdot 10^3, t_2 = 11 \cdot 10^3, t_3 = 10^4, t_4 = 9 \cdot 10^3.$$

За розрахунками отримуємо в грн/(10⁴т·км)

$$S_1 = 65,4; S_2 = 44,0; S_3 = 41,5; S_4 = 44,2.$$

Бачимо, що спочатку приведена собівартість є порівняно високою, оскільки при її розрахунку враховується вартість нового локомотива (рис. 1.2). Потім собівартість падає і далі знову починає зростати.

Отже для даних локомотивів в першому наближенні доцільно припинити їх експлуатацію при досягненні терміну експлуатації, близькому до третього капітального ремонту, оскільки сумарна середня собівартість використання буде найменшою.

Коли враховувати моральний знос локомотива, може виявитися, що вигідніше буде припинити експлуатацію у період після терміну другого капітального ремонту за умови, випуску промисловістю нових серій локомотивів з кращими показниками ефективності.

Дані експлуатації тепловозів 2ТЭ10В розрахунки зводимо в табл. 1.1.

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

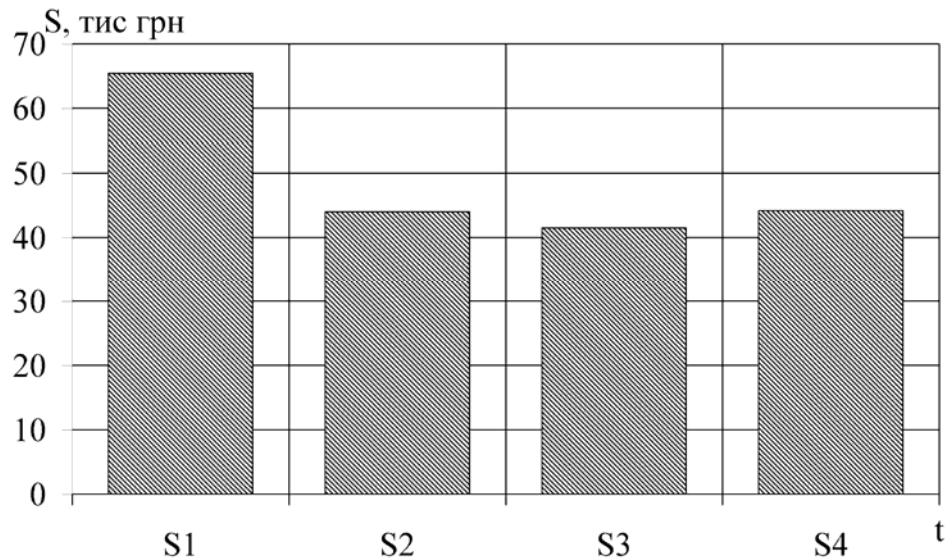


Рисунок 1.2 – Обґрунтування терміну експлуатації локомотивів серії ТЭМ7

Таблиця 1.1 – Визначення граничного терміну експлуатації локомотивів 2ТЭ10В

№ ремонтного циклу	Термін циклу		Термін використання		Експлуатаційні витрати, млн грн			Витрати КР, млн грн
	Рік t_i	Наробіток $l_i \cdot 10^3, \text{км}$	В роках T	В одиницях наробітку $L \cdot 10^3, \text{км}$	ПР і ТО r_i	Інші витрати l_i	Всього R_i	K_i
1	14	1800	14	1800	0,637	123,74	124,4	0
2	14	1800	28	3600	0,66	136,153	136,8	2
3	7	900	35	4500	0,367	80,426	80,8	2,5

Визначаємо собівартість наробітку локомотивів при різних значеннях терміну служби:

- один ремонтний цикл $З_{н1} = 71,9$ грн/км;
- два ремонтних цикли $З_{н2} = 74,8$ грн/км;
- при подовженні терміну служби на 7 років (до 35 років експлуатації) $З_{н3} = 78,1$ грн/км.

Як видно з отриманих результатів найменша собівартість наробітку досягається при експлуатації локомотивів в межах одного ремонтного циклу, тобто 14 років. При рості терміну експлуатації спостерігається збільшення

показника собівартості, що пояснюється ростом витрат на КР-2, збільшення витрат на ТО та ПР з кожним ремонтним циклом і значними витратами на паливо-мастильні матеріали. Зрозуміло, що за умови зменшення цих витрат було б можливо при проведенні кожного КР забезпечувати незначний ріст витрат на паливо, що на жаль не вдається, в тому числі через інфляційні процеси. Слід відмітити, що навіть при скороченні терміну ремонтного циклу приведена собівартість зростає інтенсивніше в кожному наступному циклі.

1.4 Розрахунок лімітованого терміну експлуатації локомотивів

В ряді досліджень визначається, що ресурс слід розглядати як термін ремонтного циклу, по закінченню якого підсумковий залишковий ресурс обладнання локомотивів приймає мінімальне допустиме значення.

Однак слід відмітити, що це не завжди відповідає дійсності. За умови дефіциту ремонтного фонду і необхідності виконання експлуатаційних задач використовують як старе, так і нове обладнання, що перевищує граничне залишкове допустиме значення ресурсу по окремому обладнанню.

Тому слід визначити залишковий і граничний ресурс по базових вузлах і агрегатах локомотивів, а надлишковий ресурс іншого обладнання необхідно підтримувати за рахунок коригування ТО, ПР.

Поставимо задачу таким чином, що потрібно сформувати ремонтний цикл такого терміну $L_{\text{ПР}}$, відносно якого підсумкова різниця між заданими $L_1, L_2, \dots, L_N$ значеннями ресурсів і шуканими $l_1, l_2, \dots, l_N$ міжремонтними напрацюваннями обладнання досягнуть мінімуму.

Скористаємося формулою для визначення втрат від недовикористання ресурсів обладнання [3]

$$H(L_{\text{ПР}}) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{C_i(L_i - l_i)}{L_N} - \frac{C_i \Pi_i(L_i - l_i)}{\Pi_{\text{ТРС}}} \right] \rightarrow \min, \quad (1.6)$$

де C_i – витрати на відповідне ТО та ПР обладнання локомотива, грн/км;

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Π_i – середній прибуток на виконану роботу, грн;

$\Pi_{\text{ТРС}}$ – вартість локомотива, грн.

Формула фінансових втрат має вигляд

$$H(L_{\text{ПР}}) = \sum_{i=1}^N \frac{L_i - l_i}{L_N} \rightarrow \min. \quad (1.7)$$

Окремо зазначимо, що при визначенні шуканих значень ресурсів витримується умова $l_i \leq L_i$.

Розрахунки прив'язуємо до довговічності базового обладнання локомотива, причому $L_{\text{ПР}} < L_N$. Для простоти розрахунків будемо дотримуватися кратності міжремонтних пробігів $l_i / l_{i-1} = a_i$, де $a_i = 1, 2, \dots$ – ціле число.

Відзначимо, що відносне значення $H(L_{\text{ПР}})$, як критерій оптимальності ремонтного циклу, визначає частку підсумкового залишкового ресурсу обладнання, що приходить на одиницю ресурсу локомотива.

Мінімальне значення цієї величини характеризує граничний рівень ресурсу, при якому його подальше використання недоцільно і небезпечно.

Рішення поставленої задачі полягає у визначенні значень $l_1, l_2, \dots, l_N$ наробітку між замінами обладнання локомотива, що мінімізують цільову функцію. При цьому значення наробітку базового обладнання локомотива визначає термін ремонтного циклу і відповідне значення граничного ресурсу за умови, що не передбачаються додатків обсяги робіт щодо оцінки його технічного стану і стану окремого обладнання.

Визначити термін служби, за який локомотива реалізує свій ресурс, можна з рівняння

$$T = \frac{L_{\text{ПР}}}{365 \cdot S}, \quad (1.8)$$

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де S – значення середньодобового пробігу локомотива, км/добу або
напацювання гок год/добу.

Для визначення оптимальних варіантів ремонтного циклу, що визначає обґрунтований ресурс локомотива, будемо дотримуватися умов, що перепробіги для ПР і КР допускаються в межах 20%. Для основних серій локомотивів 2ТЭ10М та 2ТЭ10В значення пробігів зводимо в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Значення пробігів для тепловозів 2ТЭ10М, 2ТЭ10В

Вид ТО, ПР, КР	в тис км		
	Мінімальний $L_{\min}$	Нормативний L_H	Максимальний $L_{\max}$
ПР-1	42,5	50	60,5
ПР-2	127,5	150	180
ПР-3	255	300	360
КР-1	720	900	1080
КР-2	1440	1800	2160

На рис. 1.3 наведені два з варіантів міжремонтного циклу.

Таблиця 1.3 – Терміни служби локомотивів в залежності від середньодобового пробігу

$L_{\text{ПР}}$, тис км	3000	3100	3200	3300	3400	3700	3900	4100	4400	4500
T при $S_1=300$ км/добу	27,40	28,31	29,22	30,14	31,05	33,79	35,62	37,44	40,18	41,10
T при $S_2=350$ км/добу	23,48	24,27	25,05	25,83	26,61	28,96	30,53	32,09	34,44	35,23
T при $S_3=400$ км/добу	20,55	21,23	21,92	22,60	23,29	25,34	26,71	28,08	30,14	30,82

В табл. 1.4, 1.5 визначена кількість ТО, ПР для кожного з варіантів і відповідні витрати на ТО, ПР, непланові ремонти, паливо – мастильні матеріали. В табл. 1.6 наведені значення $H(L_{\text{ПР}})$ для цих варіантів ремонтного циклу.

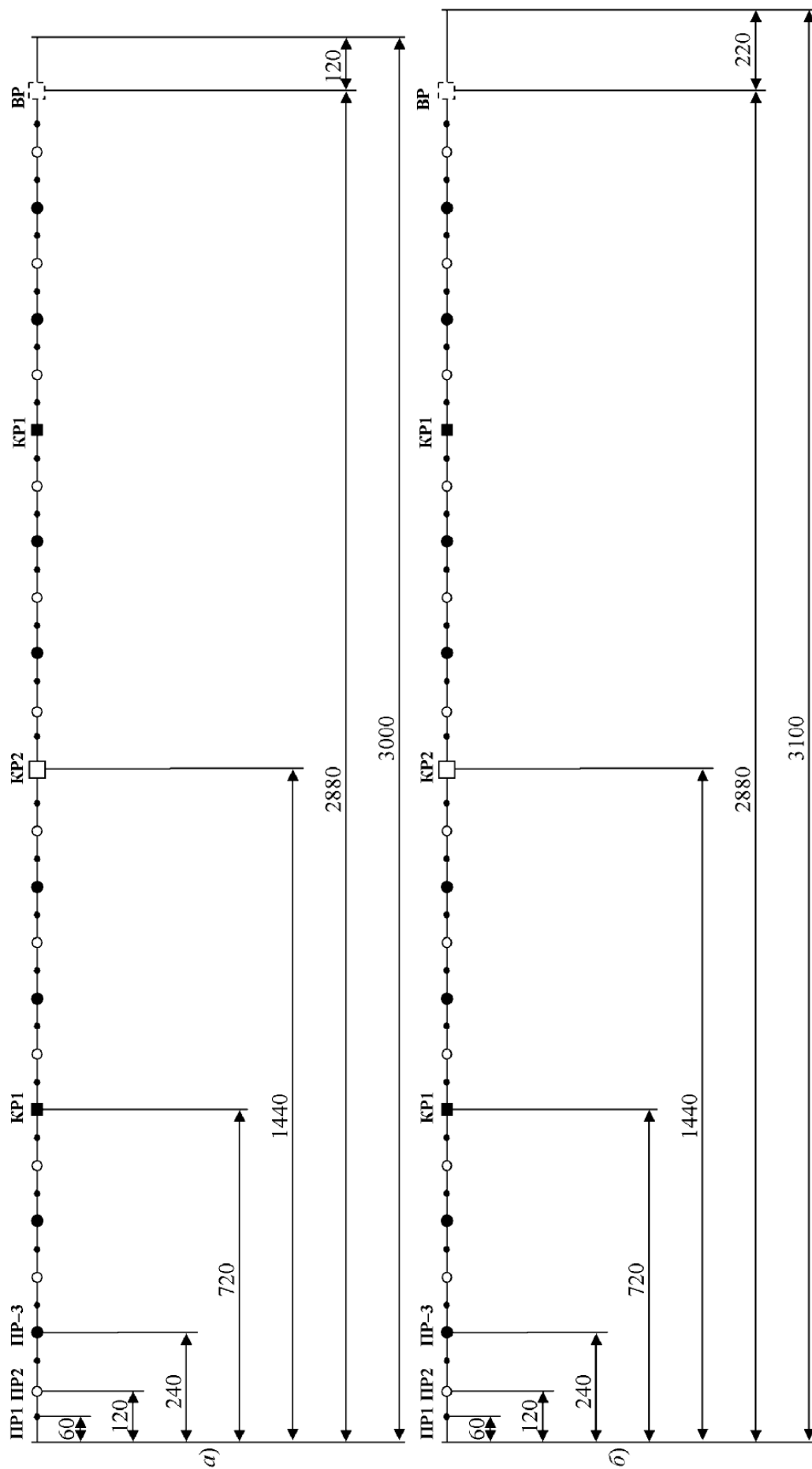


Рисунок 1.3 – Варіанти міжремонтних циклів (L , тис. км)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.196374.000.03МР.ПЗ

Арк.

19

Таблиця 1.4 – Витрати на плановий ремонт локомотивів

$L_{\text{ПР}}$, тис км	3000	3100	3200	3300	3400	3700	3900	4100	4400	4500
$\sum C_{\text{пл}}$, тис грн	7815	7815	7695	7695	7695	8415	8775	8775	8295	8795

Таблиця 1.5 – Витрати на непланові ремонти

$L_{\text{ПР}}$, тис км	3000	3100	3200	3300	3400	3700	3900	4100	4400	4500
$\sum C_{\text{пл}}$, тис грн	360	360	216	216	216	432	432	540	288	540

Таблиця 1.6 – Витрати від недовикористання ресурсів обладнання

$L_{\text{ПР}}$, тис.км	3000	3100	3200	3300	3400	3700	3900	4100	4400	4500
$H(L_{\text{ПР}})$ при $S_1=300\text{км/добу}$	0,212	0,237	0,136	0,205	0,228	0,547	0,304	0,184	0,21	0,204
$H(L_{\text{ПР}})$ при $S_2=350\text{км/добу}$	0,169	0,196	0,072	0,142	0,168	0,498	0,232	0,134	0,146	0,62
$H(L_{\text{ПР}})$ при $S_3=400\text{км/добу}$	0,126	0,154	0,008	0,08	0,107	0,449	0,159	0,084	0,082	0,12

Термін експлуатації визначає, що за відповідних умов його можна подовжити з 22 до 40 років, оскільки ресурс локомотивів залежить від інтенсивності використання (величина середньодобового пробігу S_d) і може змінюватись в межах 7÷10 років.

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

2.1 Визначення показників надійності тягового рухомого складу для оцінки технічного стану

Витрати на експлуатацію локомотива в функції часу мають тенденції до зростання, що пов'язано з необхідністю підтримувати його технічний стан за рахунок проведення технічних оглядів (ТО) і поточних ремонтів (ПР), а за умови старіння окремого обладнання локомотивів призводить до необхідності вкладати дедалі більші кошти для відновлення втрачених властивостей [3].

Прибуток у функції часу спочатку зростає, а потім починає знижуватися, оскільки витрати на проведення ТО, ПР знижують ефективність локомотива. Графічна інтерпретація динаміки затрат на утримання локомотиву у функції часу представлена на рис. 2.1.

Динаміка прибутку має тенденцію росту, але з часом темпи росту його уповільнюються за ряду причин, що, зокрема, пов'язано зі зменшенням обсягів перевезень, конкуренцією, з боку інших видів транспорту. А динаміка затрат на експлуатацію локомотивів, навпаки з часом приймає все більшу тенденцію до зростання їх темпів. Таким чином, функція прибутку $Z(t)$ досягає максимуму і два рази перетинає вісь абсцис t .

Згідно з представленою графічною залежністю можливі два шляхи щодо збільшення часу прибуткового використання локомотивів. Найбільш простий, але обмежений за ефективністю дії, це шлях підвищення тарифів на перевезення.

В умовах реструктуризації галузі і підвищення активності щодо надання послуг іншими видами транспорту це може привести до втрати привабливості залізничних перевезень і додатково сприятиме скороченню їх обсягів.

Інший шлях – це модернізація діючого рухомого складу. Досвід проведення модернізації локомотивного парку в нашій країні показує, що значна частка робіт в цьому напрямку пов'язана з заміною силового обладнання на обладнання, що поставляють ведучі зарубіжні країни, такі як Німеччина та США [1].

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

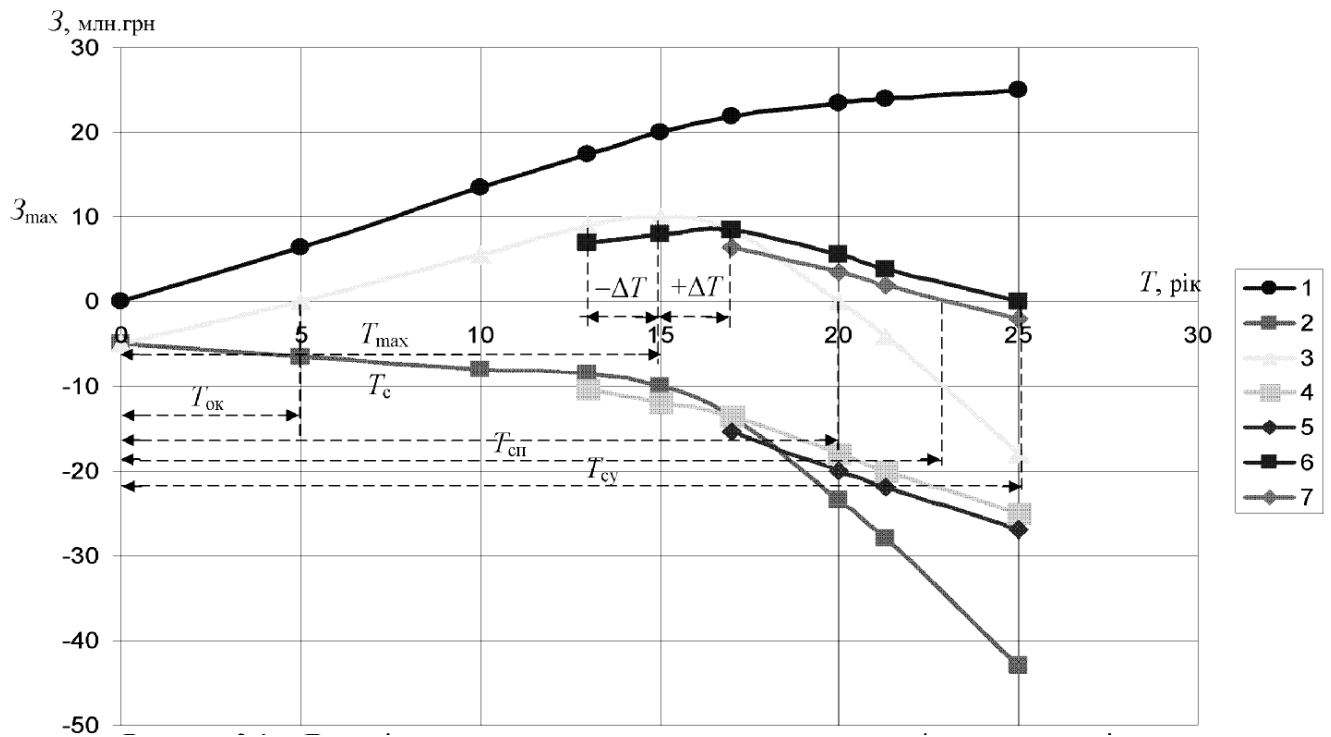


Рисунок 2.1 – Динаміка витрат на утримання локомотиву за період експлуатації:
 1 – зміна прибутковості за час експлуатації; 2 – динаміка експлуатаційних затрат;
 3 – зміна ефективності використання локомотива; 4 – зміна експлуатаційних затрат після модернізації або проведені заходів з подовження терміну служби до досягнення максимальної ефективності використання; 5 – те ж після досягнення максимальної ефективності; 6 – динаміка ефективності використання локомотивів до досягнення максимальної ефективності; 7 – те ж після досягнення максимальної ефективності

Наведемо математичний опис процесів зміни станів обладнання локомотивів при експлуатації [6].

Нехай у момент t локомотив піддають технічному діагностуванню, у результаті якого визначили зміну (збільшення) параметра . У випадку заданого прогнозованого наробітку (перше завдання) розв'язок зводиться до відповіді на запитання: чи не перевищує значення $u(t)$ величини параметру, що допускається, коли локомотив повинен ще працювати протягом t_M . Якщо t_M не задане, то розв'язок зводиться до знаходження залишкового ресурсу по параметру при невідомих t і $u(t)$ (друге завдання).

Розглянемо випадок розв'язку завдання, коли зміна параметра характеризується гладкими, опуклими або ввігнутими кривими, тобто однієї елементарною функцією ($Z = 0$). Будемо вважати, що характеристики випадкової функції зміни параметра, зокрема, показник ступені α , відомі. Зазначені характеристики звичайно встановлюють на основі аналізу реалізацій параметра сукупності даних елементів у минулому.

При визначенні t і $u(t)$ знаходять показник швидкості зміни параметра [6]

$$V_t = \frac{u(t)}{t^\alpha} = \frac{u_1(t) - u_1}{t^\alpha}. \quad (2.1)$$

Потім проводимо екстраполяцію, беручи до уваги майбутній наробіток t_M , якщо він заданий. При зміні параметра

$$u(t + t_M) = V_t (t + t_M)^\alpha, \quad (2.2)$$

не перевищуючому граничну величину u_{II} , даний елемент не буде вимагати попереджувального обслуговування. Залишковий же ресурс, коли t_M не заданий, підраховують

$$t_{ocm} = t \left[\left(\frac{u_{II}}{u(t)} \right)^\alpha - 1 \right]. \quad (2.3)$$

Відхилення Z реалізації від екстраполяційної функції залежить від її приросту, тому це відхилення можна виразити через $V' \Delta u$, де V' – випадкова величина швидкості зміни відхилення. У цьому зв'язку можна розглядати як лінійну елементарну випадкову функцію, значення якої прямо пропорційно Δu .

У цьому випадку можна використовувати два критерії: по довірчій імовірності та питомим витратам. У першому випадку визначають такий залишковий ресурс або допустиме відхилення параметра, які обумовлюють

					0032.196374.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

наперед задану довірчу імовірність. Застосування економічного критерію пов'язане з дотриманням умови (цільової функції): імовірні питомі витрати, що виникають при усуненні відмови за прогнозований період t_M і при заміні наприкінці періоду, повинні бути меншими питомих витрат на заміну в момент прогнозу t . Умова дотримується у випадку нерівності [6]

$$\frac{C}{t} \geq \frac{Q(t_M)A}{t_\phi} + \frac{[1 - Q(t_M)]C}{t_\phi} \quad (2.4)$$

або

$$t_\phi = Q(t_M)t_{cp} + [1 - Q(t_M)](t + t_M)t_\phi, \quad (2.5)$$

де t_ϕ – середній ресурс обладнання;

t_{cp} – середній ресурс обладнання, що відмовляє в інтервалі $t - (t + t_M)$.

Помилка екстраполяції з'являється у зв'язку з тим, що індивідуальна швидкість зміни параметра визначається в момент t із певною похибкою, викликаною величиною Z за попередній період роботи обладнання.

Розв'язок завдання в основному зводиться до знаходження імовірності відмови $Q(t_M)$ і середнього ресурсу елемента t_ϕ .

Середній залишковий ресурс є особливим випадком залишкового ресурсу з довірчою імовірністю, рівною 0,5. Граничний залишковий ресурс перетворює вираз (2.5) у рівність, а оптимальний залишковий ресурс обумовлює мінімум цього виразу. При визначенні залишкових ресурсів застосовують економічний критерій питомих витрат. Цільова функція оптимального залишкового ресурсу при прогнозуванні по реалізації має вигляд

$$Q(t_{ocm}) = F_7[u(t), t, V_c, u_{II}, \alpha, v_Z]; \quad (2.6)$$

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_{\phi} = F_8[u(t), t, V_c, u_{II}, \alpha, v_Z] t_{\phi} = F_8[u(t), t, V_c, u_{II}, \alpha, v_Z]. \quad (2.7)$$

Задаючись певною довірчою імовірністю $F_0(B)$ й $P(t_M)$, одержимо залишковий ресурс при нормальному розподілі помилки прогнозування

$$t_{ocm} = t \left(\frac{\frac{u_{II}}{u(t)} + B v_Z}{1 + B v_Z} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1, \quad (2.8)$$

де B – нормована величина, залежна від довірчої імовірності.

Величина B встановлюється по таблицях значень нормальної функції розподілу, тобто довірчої імовірності.

2.2 Концептуальний аналіз надійності обладнання локомотивів

Працездатність обладнання локомотивів, що мінімізує його ресурс характеризується рядом критеріїв [7]:

- міцністю;
- зносостійкістю;
- жорсткістю;
- теплостійкістю;
- вібростійкістю;
- точністю.

Розрахунки працездатності зводиться до порівняння за окремими критеріями розрахункових параметрів з їхніми граничними величинами:

- характеристиками міцності (межою міцності, плинності, витривалості);
- граничним навантаженням;
- ресурсом;
- граничними переміщеннями (пружними, зносними, температурними);

- теплостійкістю масла і матеріалів;
- граничними частотами і амплітудами коливань;
- динамічною стійкістю.

Граничні величини розрахункових параметрів критерію вибирають за нормативними або довідковими даними або встановлюють шляхом випробувань або спостережень в експлуатації.

Працездатність обладнання за заданим критерієм забезпечена, якщо розрахунковий параметр критерію Y менше його граничного значення Y_{lim} . У загальному випадку параметр Y не повинен виходити за граничне значення.

Основне застосування набули розрахунки за допомогою, заздалегідь заданих коефіцієнтів безпеки n , і виконання відповідної розрахункової умови $Y \leq Y_{lim}/n$. Для забезпечення імовірності P визначається

$$\bar{Y} - \bar{Y}_{lim} = u_p S, \quad (2.9)$$

де $\bar{Y}, \bar{Y}_{lim}$ – середнє значення величин Y і Y_{lim} ;

S – середнє квадратичне відхилення різниці двох випадкових величин Y_{lim} і Y ;

S_{lim}, S_Y – середнє квадратичне відхилення величин Y_{lim} і Y ;

u_p – квантиль нормованого нормального розподілу функції від P .

$$S = \sqrt{S_{lim}^2 + S_Y^2}. \quad (2.10)$$

Імовірність безвідмовної роботи P за заданим критерієм визначають по таблиці залежно від квантиля, знайденої з наведеної вище умови

$$u_p = \frac{\bar{Y} - \bar{Y}_{lim}}{\sqrt{S_{lim}^2 + S_Y^2}}. \quad (2.11)$$

Статистичний аналіз навантаженості обладнання локомотивів різних серій

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

показує, що при всьому різноманітті спектрів навантажень їх можна звести до декількох типових.

Для опису спектрів навантажень використовуються функції:

- важкого, легкого й особливо легкого режимів бета-розподілу;
- для середнього рівноімовірного режиму – функція рівноімовірного розподілу;
- для середнього нормального – функція нормального розподілу.

При змінних режимах, спектри навантажень зручно задавати їхніми початковими моментами μ_k .

Розрахунки на опір утоми базуються на гіпотезі лінійного підсумовування пошкоджень. При визначенні еквівалентного числа циклів змін напружень використовують коефіцієнт еквівалентності циклів k_{EN} , що дорівнює початковому моменту k -го порядку μ_k , тобто $k_{EN} = \mu_k$. При визначенні еквівалентного навантаження використовують коефіцієнт еквівалентності режиму навантажень $K_{реж}$, що дорівнює

$$K_{реж} = \sqrt[k]{\mu_k}, \quad (2.12)$$

де порядок початкового моменту збігається з показником ступеня k . Так, при напруженнях, пропорційних навантаженню, $k = m$. При контактних напруженнях, пропорційних кореню квадратному з навантаження, порядок початкового моменту $k = m/2$.

У середньому коефіцієнт варіації навантаження приймає значення $\nu_F = 0,1 \div 0,15$.

У розрахунках на опір утоми коефіцієнт варіації навантаження відповідає коефіцієнту варіації еквівалентного навантаження F , тобто навантаження постійного режиму навантажень еквівалентного по утомленому впливу змінному режиму

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$F = F_{max} K_{реж} \sqrt[k]{N_{\Sigma} / N_G} \leq F_{max}, \quad (2.13)$$

де F_{max} – максимальне навантаження спектра;

N_{Σ} – сумарне число циклів змін напруг за весь термін служби;

N_G – число циклів до перелому кривої втоми;

$K_{реж}$ – коефіцієнт еквівалентності режиму навантажень;

k – показник ступеня ($k = m$, де m – показник ступеня кривої втоми, якщо напруження пропорційні навантаженню, і $k = m/2$ – при розрахунках по контактних напругах, пропорційних кореню квадратному з навантаження).

Коефіцієнт варіації еквівалентного навантаження F як добуток двох випадкових незалежних величин F_{max} і $K_{реж}$ дорівнює квадратичній сумі коефіцієнтів варіації максимального навантаження спектра v_{max} і коефіцієнта режиму

$$v_F = \sqrt{v_{max}^2 + v_{реж}^2}. \quad (2.14)$$

У якості розрахункових параметрів Y при розрахунках надійності за критерієм напруженості вибирають розрахункове напруження або навантаження. Відповідно граничними величинами Y_{lim} є межі міцності, плинності, витривалості або несуча спроможність.

У розрахунках основних деталей обладнання локомотивів міцність визначають по співвідношенню розрахункової напруги σ_a і граничної за критерієм міцності напруги деталі σ_d , перевищення якого викликає відмову.

Напруження σ_a і σ_d розглядають як незалежні випадкові величини, розподілені за нормальним законом. Кількісно напруження σ_a і σ_d задають числовими характеристиками:

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- середніми значеннями $\bar{\sigma}_a$ і $\bar{\sigma}_d$;
- середніми квадратичними відхиленнями S_a й S_d ;
- коефіцієнтами варіації v_a і v_d .

Імовірність безвідмовної роботи із критерію міцності P , що називають також імовірністю неруйнування, визначають як імовірність того, що розрахункові напруження σ_a не перевищують граничних σ_d , тобто $P(<\sigma_d)$. Числове значення імовірності неруйнування визначають по таблицях нормального розподілу залежно від квантилю

$$u_P = -\frac{\bar{\sigma}_d - \bar{\sigma}_a}{\sqrt{S_d^2 + S_a^2}} = -\frac{\bar{n} - 1}{\sqrt{\bar{n}^2 v_d^2 + v_a^2}}, \quad (2.15)$$

де $\bar{n} = \bar{\sigma}_d / \bar{\sigma}_a$ – коефіцієнт запасу міцності по середніх напруженнях.

Змінність режиму навантажень і термін служби у звичайних розрахунках ураховують або при виборі напруження, що допускається, з попереднім визначенням еквівалентного числа циклів змін напружень, або при виборі еквівалентного навантаження. Відповідно при першій формі розрахунків базове напруження, що допускається, множать на коефіцієнт K_L довговічності, а при другій максимальне навантаження ділять на K_L коефіцієнт, якщо напруження пропорційні навантаженню. При контактних напруженнях, пропорційних кореню квадратному з навантаження, максимальне навантаження ділять на квадрат коефіцієнта K_L . Результати при розрахунках по еквівалентних циклах і еквівалентним напругам повинні бути однакові.

Коефіцієнт довговічності визначають відповідно до прийнятої гіпотези накопичення утомлених пошкоджень. У найпростішому випадку, коли передбачається лінійне підсумовування утомлених пошкоджень, коефіцієнт

$$K_L = m \sqrt{\frac{N_G}{N_E}} \geq 1, \quad (2.16)$$

де N_E – еквівалентне число циклів напружень;

k_{EN} – коефіцієнт еквівалентності циклів, дорівнює початковому моменту k -го порядку спектра навантажень.

$$N_E = k_{EN} N_\Sigma. \quad (2.17)$$

Значення коефіцієнта варіації розрахункових напружень v_a приймають рівним коефіцієнту варіації еквівалентного навантаження v_F , якщо напруження пропорційні навантаженню.

Коефіцієнт запасу визначається як

$$n = \frac{\bar{\sigma}_R \bar{K}_L}{\bar{\sigma}_{max}}, \quad (2.18)$$

де $\bar{\sigma}_R$ – середнє значення границі витривалості;

$\bar{\sigma}_{max}$ – середнє значення максимальної напруження, викликаного дією середньої з максимальних значень навантажень $\bar{F}_{max}$, яке можна розглядати як максимальне навантаження усередненого спектра навантажень;

$\bar{K}_L$ – середнє значення коефіцієнта довговічності для K_L , де замість початкового моменту μ_k слід підставляти його середнє значення $\bar{\mu}_k$ [7].

2.3 Аналіз відмов 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

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 [8].

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.

Аналіз відмов тепловозів локомотивного депо промислового підприємства пропонуємо провести відповідно до передач тепловозів. При аналізі основних пошкоджень та заходів на непланові ремонти тепловозів встановлено, що відмови по тепловозах розподіляються наступним чином (табл. 2.1, 2.2 та рис. 2.2 та 2.3).

Таблиця 2.1 – Розподіл пошкоджень та відмов тепловозів з електричною передачею по всіх типах обладнання

Вузол тепловоза	Кількість пошкоджень (відмов), одиниць			
	2016	2017	2018	2019
Дизель	45	46	39	41
Допоміжне обладнання	18	11	6	8
Гальмівне обладнання	1	3	4	2
Електричне обладнання	7	16	14	18
Колісні пари та букси	32	27	24	21
МВП	4	8	4	5
Інше обладнання	4	11	10	7
Всього	111	122	101	102

При розгляді відмов та пошкоджень безпосередньо по дизелю тепловоза, можна відмітити, що найбільша кількість відмов та пошкоджень припадає на циліндрово-поршневу групу (табл. 2.3, 2.4 та рис. 2.4, 2.5).

Таблиця 2.2 – Розподіл пошкоджень та відмов тепловозів з гідравлічною передачею по всіх типах обладнання

Вузол тепловоза	Кількість пошкоджень (відмов), одиниць			
	2016	2017	2018	2019
Дизель	92	86	95	81
Гідропередача	42	38	31	37
Допоміжне обладнання	2	6	4	10
Гальмівне обладнання	37	31	25	35
Колісні пари	2	9	6	4
Інше обладнання	9	16	20	14
Всього	184	186	181	181

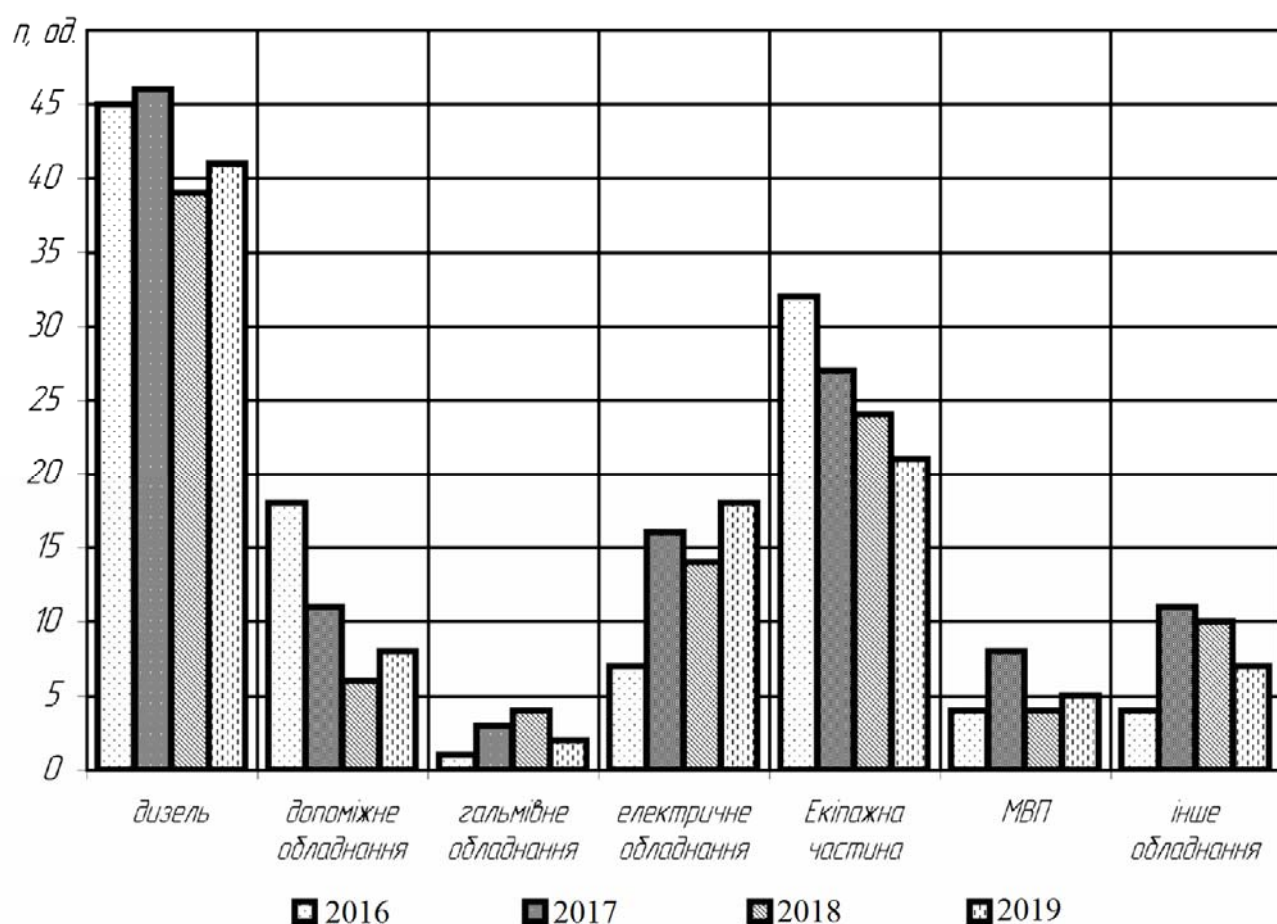


Рисунок 2.2 – Пошкодження та відмови тепловозів з електричною передачею по всіх типах обладнання

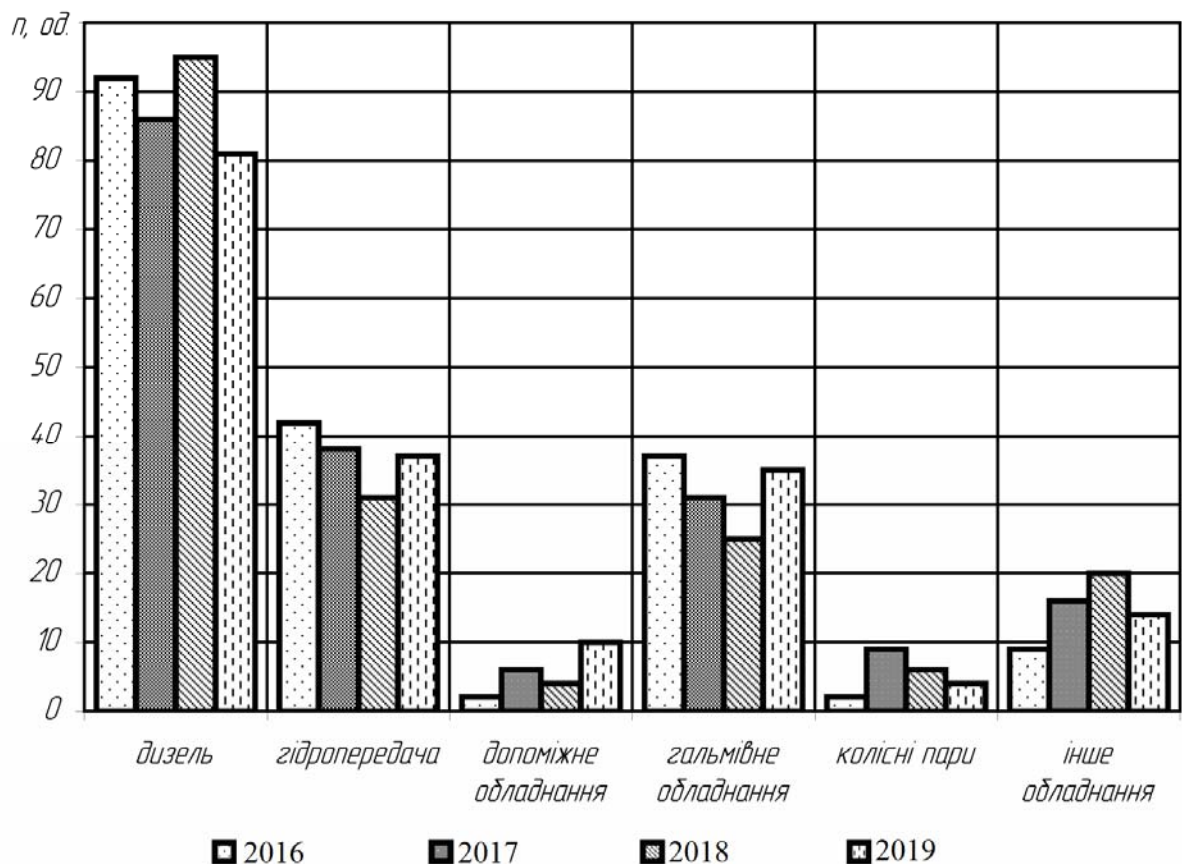


Рисунок 2.3 – Пошкодження та відмови тепловозів з гідравлічною передачею по всіх типах обладнання

Таблиця 2.3 – Розподіл пошкоджень та відмов по вузлах та системах, які пов'язані з пошкодженням дизеля тепловоза з електричною передачею

Вузол або система дизеля	Кількість пошкоджень (відмов), одиниць			
	2016	2017	2018	2019
1	2	3	4	5
Блок дизеля	0	0	1	0
Колінчастий вал, підшипники	1	1	1	2
Циліндрова втулка	12	12	8	10
Шатунно-поршнева група	15	13	14	17
Паливне обладнання	16	18	13	10
Повітрянагнітачі	0	0	1	1
Система охолодження	1	2	1	1
Всього	45	46	39	41

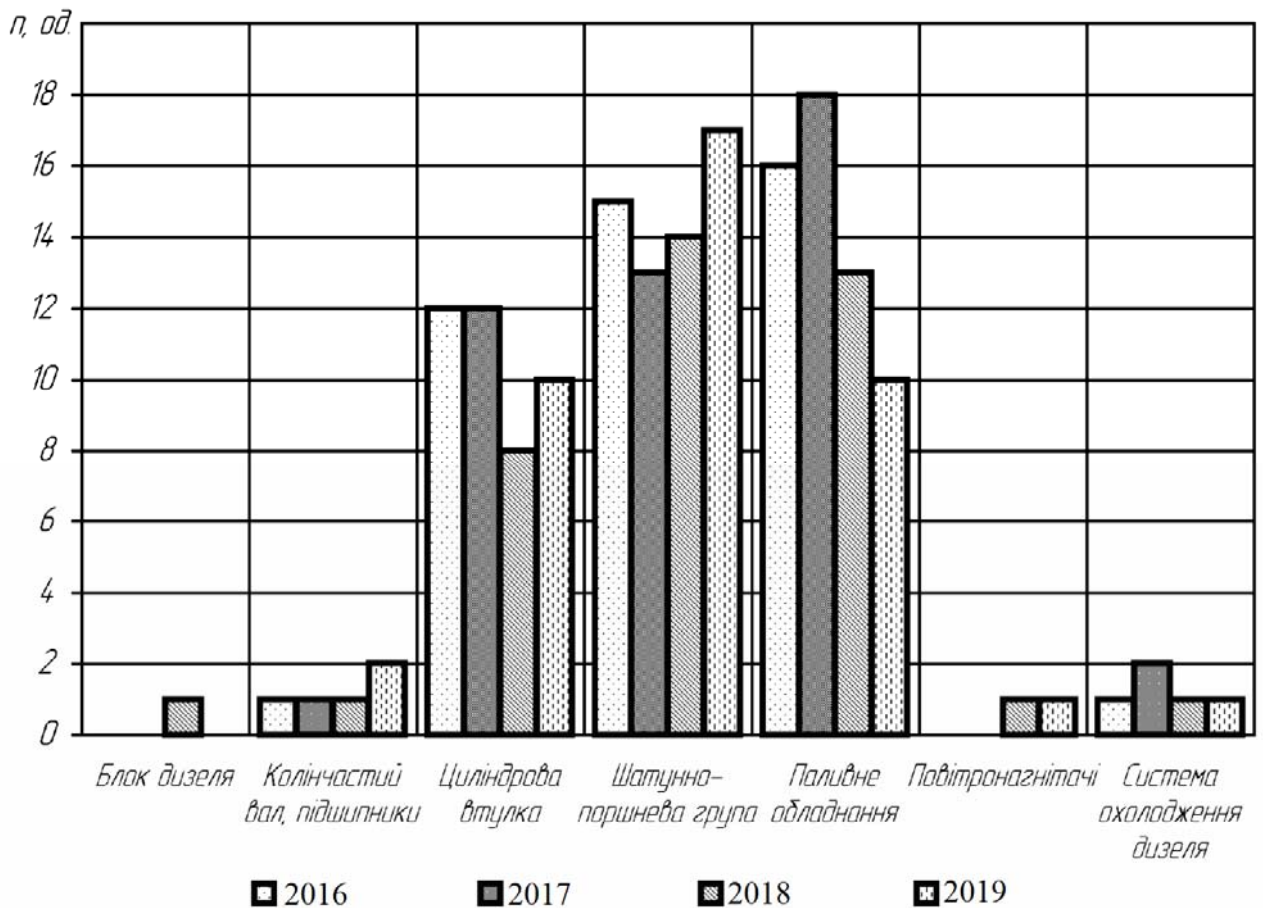


Рисунок 2.4 – Розподіл пошкоджень та відмов по вузлах та системах, які пов’язані з пошкодженням дизеля тепловоза з електричною передачею

Таблиця 2.4 – Розподіл пошкоджень та відмов по вузлах та системах, які пов’язані із пошкодженням дизеля тепловоза з гідравлічною передачею

Вузол або система дизеля	Кількість пошкоджень (відмов), одиниць			
	2016	2017	2018	2019
Блок дизеля	1	1	3	2
Колінчастий вал, підшипники	2	3	2	2
Циліндрова втулка	23	24	28	18
Шатунно-поршнева група	30	24	22	26
Паливне обладнання	34	31	36	26
Повітронагнітачі	1	1	1	3
Система охолодження	1	2	3	4
Всього	92	86	95	81

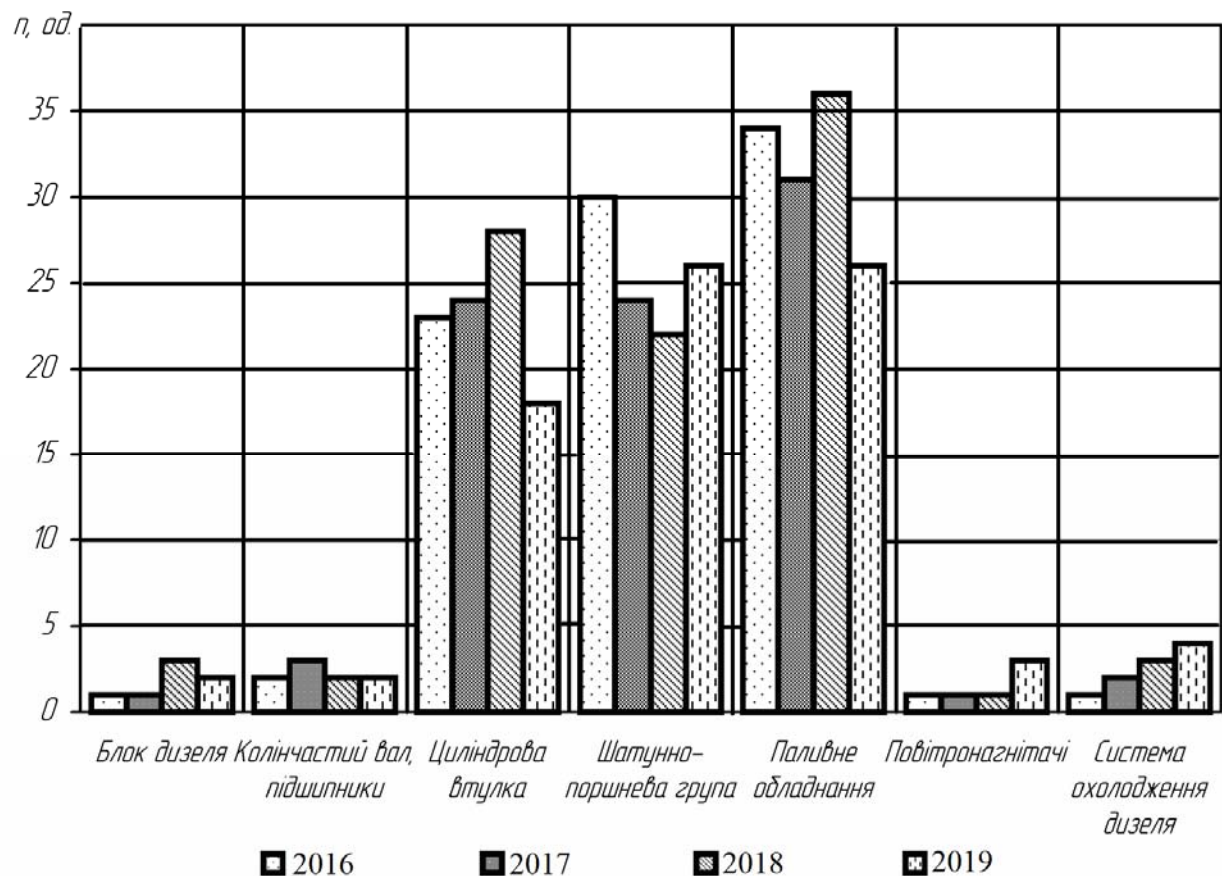


Рисунок 2.5 – Розподіл пошкоджень та відмов по вузлах та системах, які пов’язані із пошкодженням дизеля тепловоза з гідравлічною передачею

Якщо більш детально розглядати екіпажну частину тепловоза з електричною передачею, то можна виділити вузли, які мають найменшу надійність (табл. 2.5 та рис. 2.6).

Таблиця 2.5 – Розподіл пошкоджень та відмов по вузлах, які пов’язані із пошкодженням екіпажної частини тепловоза з електропередачею

Вузол екіпажної частини	Кількість пошкоджень (відмов), одиниць			
	2016	2017	2018	2019
1	2	3	4	5
Рама тепловоза	2	3	2	1
Рама візка	2	3	2	3
Шкворневий вузол	3	2	2	1

Продовження табл. 2.5

1	2	3	4	5
Бокові опори	3	4	3	3
Букси	4	3	4	2
Колісні пари	8	6	5	6
Пружне підвішування	10	6	6	5
Всього	32	27	24	21

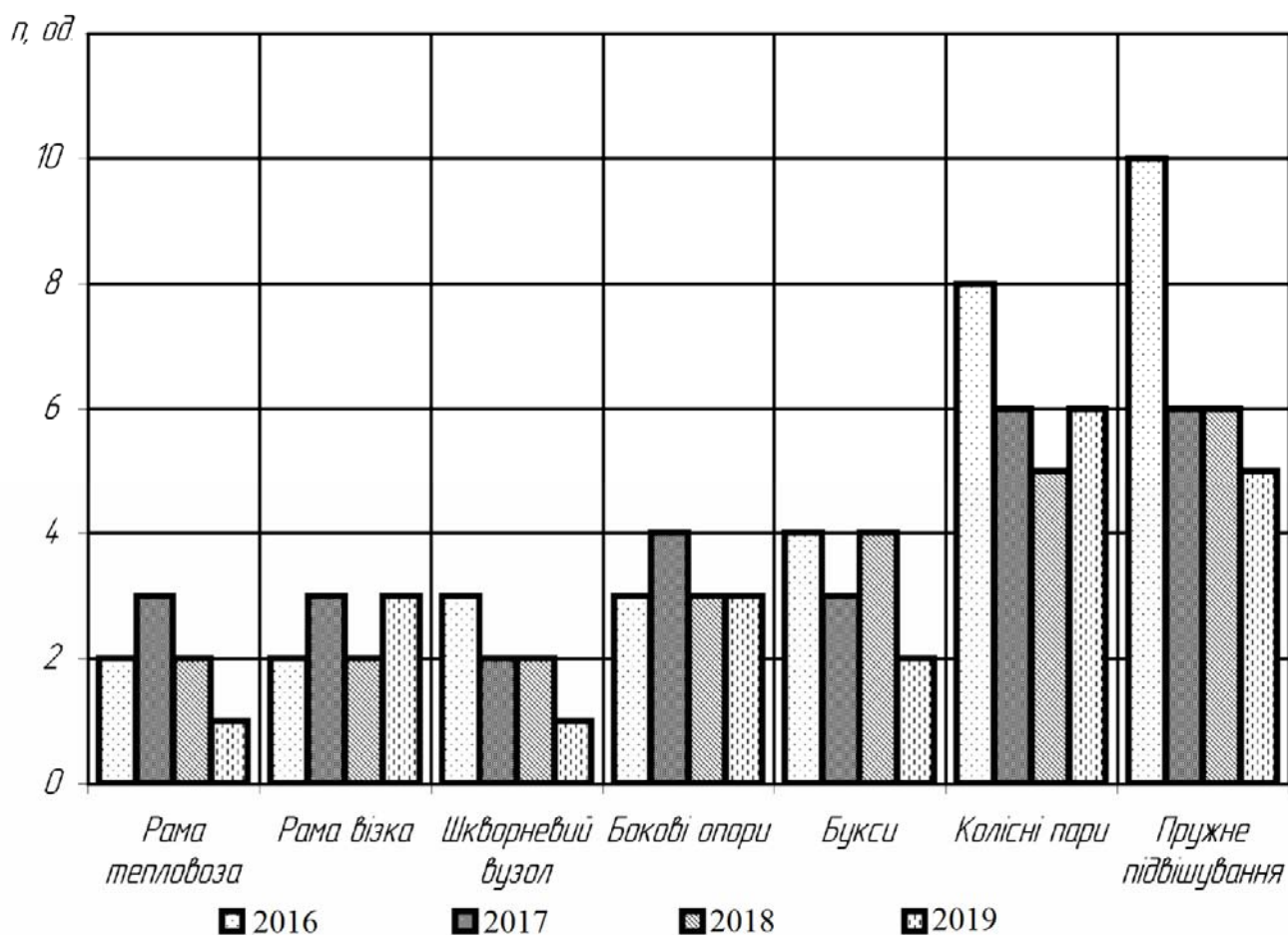


Рисунок 2.6 – Розподіл пошкоджень та відмов по вузлах, які пов’язані із пошкодженням екіпажної частини тепловоза з електропередачею

При розгляді відмов передачі тепловоза з гідравлічною передачею можна виділити частини, які мають найменшу надійність (табл. 2.6 та рис. 2.7).

Таблиця 2.6 – Розподіл пошкоджень та відмов по частинах, які пов’язані з пошкодженням передачі тепловоза з гідравлічною передачею

Вузол екіпажної частини	Кількість пошкоджень (відмов), одиниць			
	2016	2017	2018	2019
Гідроапарати	8	8	7	7
Вали	5	4	6	5
Зубчасті зачеплення	7	6	4	5
Насоси	5	5	3	4
Муфти	5	4	5	4
Пневмоприводи	5	6	4	6
Система управління	7	5	3	5
Всього	42	38	32	36

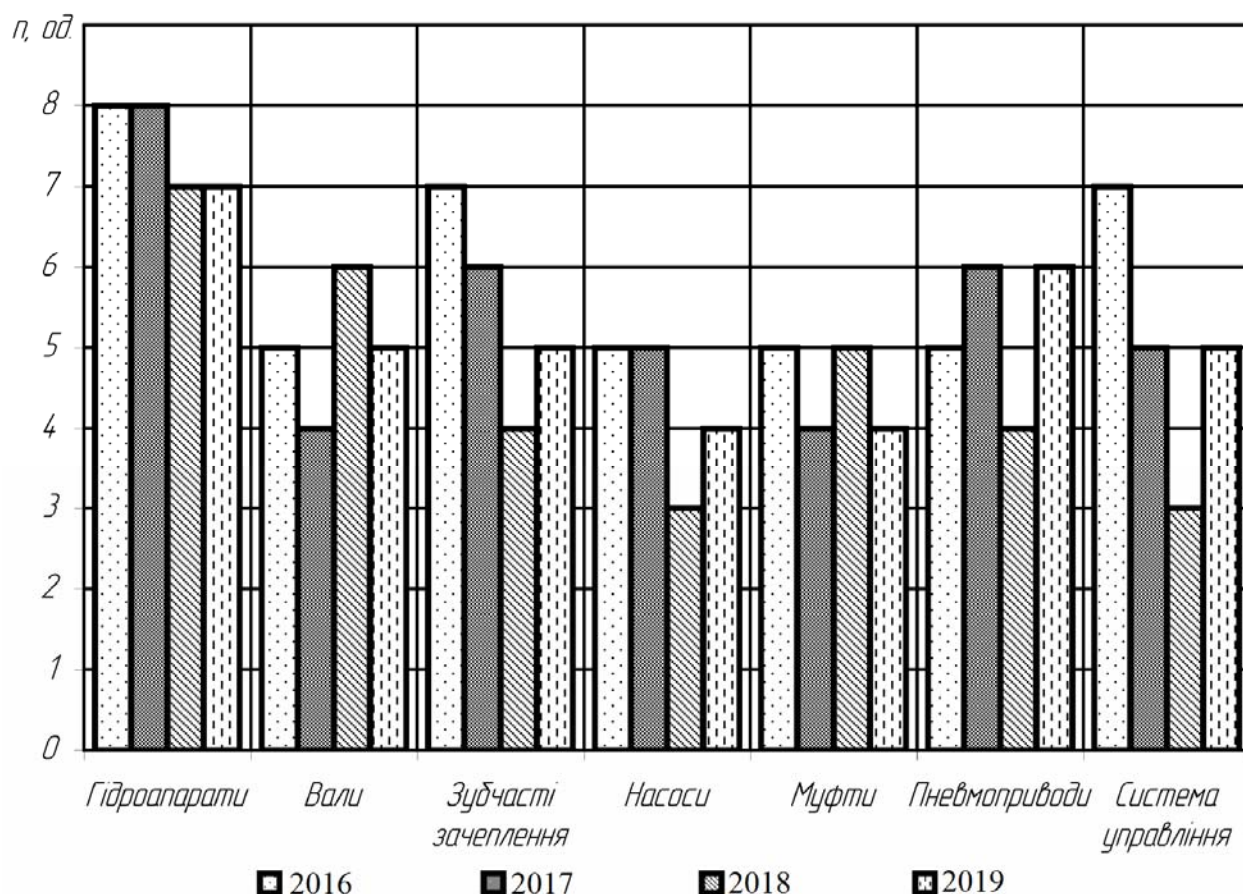


Рисунок 2.7 – Розподіл пошкоджень та відмов по частинах, які пов’язані з пошкодженням передачі тепловоза з гідравлічною передачею

На підставі наведених графіків можна стверджувати, що найбільша кількість пошкоджень відмов тепловозів з електричною передачею припадає на дизель та екіпажну частину. При більш широкому розгляді екіпажної частини бачимо, що відмови розподіляються найбільш рівномірно, але переважають відмови колісних пар та пружного підвішування.

Для тепловозів з гідравлічною передачею найбільше характерні відмови по дизелю, серед яких можна виділити циліндрові втулки, шатунно-поршкову групу та паливне обладнання.

2.4 Первинний аналіз статистичних даних про надійність. Визначення основних характеристик та закону розподілу напрацювання до відмови

Розглянемо відмови екіпажної частини тепловозів серії ТЭМ2, що призвели до заходу на неплановий ремонт. Оскільки екіпажна частина тепловозів складається з достатньо великої кількості деталей та вузлів, зосередимо увагу на рамі візка, так як вона виступає найбільш навантаженою та важливою частиною. Дані про відмови надаємо у вигляді напрацювання до відмови в годинах за останні чотири роки (табл. 2.7).

Діапазон зміни значень напрацювань, у середині якого мали місце відмови, визначається за формулою [8]:

$$R = t_{\max} - t_{\min} ; \quad (2.19)$$

$$R = 2156 - 21900 = 19744 \text{ год.}$$

Для розрахунку оптимальної величини інтервалу Δt в годинах використовуємо формулу:

$$\Delta t = \frac{R}{1 + 3,322 \cdot \lg N}, \quad (2.20)$$

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7 – Напрацювання екіпажної частини тепловозів серії ТЭМ2 до відмови

В годинах

2156	8440	10861	14369	17141
2223	8535	11092	14429	17384
4056	8564	11107	14696	17473
4292	9894	11183	14756	17977
4351	10200	11264	14785	18090
5270	10303	11275	14810	18135
6899	10354	12915	14816	19359
7033	10422	12983	15112	20654
7746	10473	13081	16962	20970
7912	10509	13641	16970	21262
8249	10517	13945	17034	21447
8385	10616	14005	17105	21900

де N – кількість об'єктів спостереження, $N=34$ візка тепловозів ТЭМ2.

$$\Delta t = \frac{19744}{1 + 3,322 \cdot \lg 34} = 3243 \text{ год.}$$

Кількість інтервалів розбиття напрацювань до відмови визначаємо, виходячи зі такого співвідношення:

$$k = \frac{R}{\Delta t}; \quad (2.21)$$

$$k = \frac{19744}{3243} = 6,0.$$

Величина інтервалу округлюється в більшу сторону до цілого значення. Приймаємо $k = 6$.

Після цього проводиться об'єднання пробігів до відмови по інтервалах в

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Результати розрахунку характеристик напрацювання до відмови

Межі інтервалу, год		Середнє значення напрацювання в інтервалі $\bar{t}_i$, год	Абсолютна частота відмов n_i	Відносна частота відмов m_i	Відносна накопичена частота відмов m'_i	Щільність імовірності настання відмови $\bar{f}_i$
2156	5399	3778	6	0,100	0,100	0,000031
5399	8642	7021	9	0,150	0,250	0,000046
8642	11885	10264	15	0,250	0,500	0,000077
11885	15128	13507	14	0,233	0,733	0,000072
15128	18371	16750	10	0,167	0,900	0,000051
18371	21900	20136	6	0,100	1,000	0,000031
			$\Sigma=60$	$\Sigma=1,000$	$\Sigma=1,000$	

Для прикладу розраховуємо показники надійності для першого інтервалу розбиття напрацювань до відмови ($i=1$).

Середні значення напрацювань в i -му інтервалі визначають за формулою

$$\bar{t}_i = \frac{t_{\text{поч.}i} + t_{\text{кін.}i}}{2}, \quad (2.22)$$

де $t_{\text{поч.}i}$ – початкова величина напрацювання в i -му інтервалі, год;

$t_{\text{кін.}i}$ – кінцева величина напрацювання в i -му інтервалі, год.

$$\bar{t}_i = \frac{2156 + 5399}{2} = 3778 \text{ год.}$$

Відносна частота відмов m_i обчислюється за формулою

$$m_i = \frac{n_i}{N}, \quad (2.23)$$

де n_i – кількість відмов в i -му інтервалі, $n_1 = 3$;

N – загальна кількість об'єктів спостереження, $N = 34$.

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$m_i = \frac{6}{34} = 0,100.$$

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

$$m'_i = m'_{i-1} + m_i. \quad (2.24)$$

$$m'_i = 0 + 0,100 = 0,100.$$

Щільність імовірності настання відмови $\bar{f}(t_i)$ визначають за формулою

$$\bar{f}(t_i) = \frac{n_i}{\Delta t \cdot N}; \quad (2.25)$$

$$\bar{f}(t_i) = \frac{6}{3243 \cdot 34} = 0,000031.$$

Середнє напрацювання до першої відмови визначається за формулою:

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k n_i \cdot \bar{t}_i; \quad (2.26)$$

$$\bar{t} = \frac{1}{34} (6 \cdot 3778 + 9 \cdot 7021 + 15 \cdot 10264 + 14 \cdot 13507 + 10 \cdot 16750 + 6 \cdot 20136) = 11953 \text{ год.}$$

Середнє квадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (\bar{t}_i - \bar{t})^2 \cdot n_i}{N}}; \quad (2.27)$$

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma = \sqrt{\frac{(3778 - 11953)^2 \cdot 6 + (7021 - 11953)^2 \cdot 9 + (10264 - 11953)^2 \cdot 15 +}{34} + \frac{(13507 - 11953)^2 \cdot 14 + (16750 - 11953)^2 \cdot 10 + (20136 - 11953)^2 \cdot 6}{34}} = 4705 \text{ год.}$$

Коефіцієнт варіації визначається за формулою

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{t}}; \quad (2.27)$$

$$\nu = \frac{4705}{11953} = 0,394.$$

За результатами розрахунків будуюмо гістограму розподілу (рис. 2.8), щільність імовірності розподілу напрацювань (рис. 2.8) та кумулятивну криву (рис. 2.9). Для побудови гістограми розподілу по осі абсцис відкладаємо межі інтервалів, а по осі ординат відповідні частоти n_i . Для кожного інтервалу будуюмо прямокутник шириною Δt та висотою n_i та з'єднуємо середини інтервалів. Щільність імовірності розподілу напрацювань $\bar{f}(t_i)$ будуюмо на спільної з гістограмою осі абсцис. Кумулятивну криву будуюмо аналогічно, тільки по осі ординат відкладаємо значення накопиченої частоти m'_i . На обох рисунках позначаємо та вказуємо значення $\bar{t}_i$.

Розраховуємо квантіль нормованого відхилення для обох меж кожного інтервалу $u_{\text{поч.}i}$ та $u_{\text{кін.}i}$ за формулами

$$u_{\text{поч.}i} = \frac{t_{\text{поч.}i} - \bar{t}}{\sigma}; \quad (2.28)$$

$$u_{\text{поч.}i} = \frac{2156 - 11953}{4705} = -2,08;$$

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.8 – Гістограма розподілу та щільність імовірності розподілу напрацювань

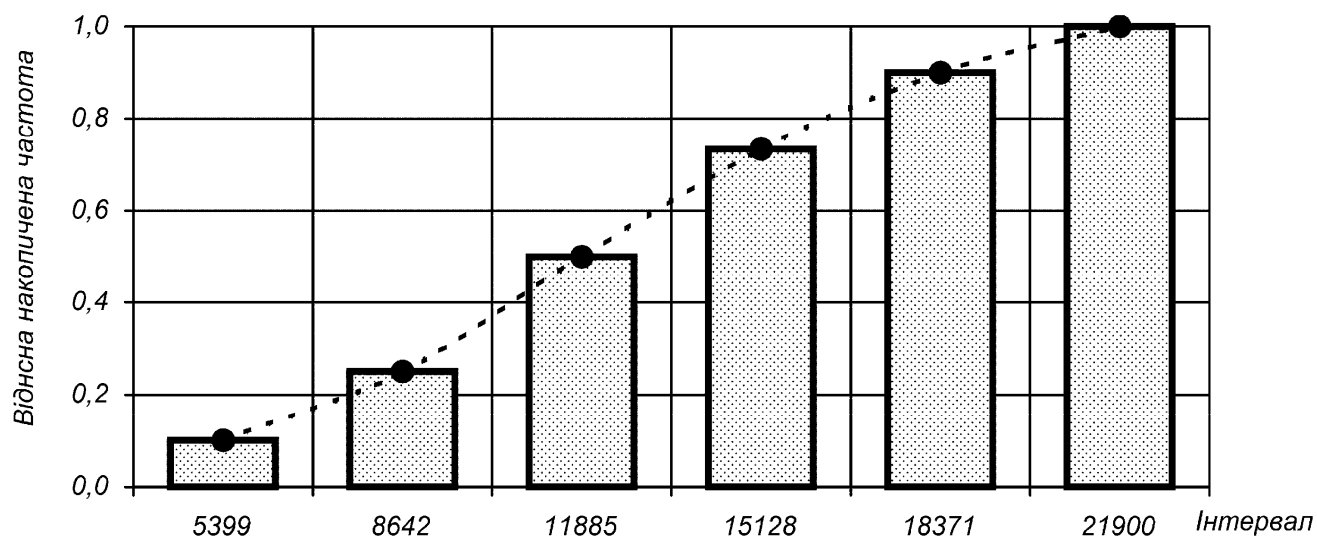


Рисунок 2.9 – Кумулятивна крива відмов

$$u_{\text{кін.}i} = \frac{t_{\text{кін.}i} - \bar{t}}{\sigma}; \quad (2.29)$$

$$u_{\text{кін.}i} = \frac{5399 - 11953}{4705} = -1,39.$$

За величинами $u_{поч.i}$ та $u_{кін.i}$ визначаємо величини функції Лапласа для обох меж кожного інтервалу $\Phi(u_{поч.i})$ та $\Phi(u_{кін.i})$ [2].

$$\Phi(-2,08) = -1,5891; \Phi(-1,39) = -0,9173.$$

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

$$p_i = \Phi(u_{кін.i}) - \Phi(u_{поч.i}); \quad (2.30)$$

$$p_1 = -1,5891 - (-0,9173) = 0,6718.$$

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

$$p_1 \cdot N = 0,6718 \cdot 34 = 2,54.$$

Визначаємо величину «хі-квадрат» за формулою

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - p_i N)^2}{p_i N}; \quad (2.31)$$

$$\chi^2 = 4,71 + 0,03 + 0,43 + 3,64 + 4,18 + 1,36 = 14,36.$$

Результати розрахунку зводимо в табл. 2.9.

Накладаємо значення ймовірностей теоретичного нормального розподілу p_i на гістограму емпіричних частот (рис. 2.10).

Перевіряємо гіпотезу про відповідність емпіричного розподілу нормальному закону за критеріями узгодження К. Пірона та В. І. Романовського.

За критерієм К. Пірсона гіпотеза про нормальний закон розподілу не спростовується та розбіжності між теоретичними та емпіричними частотами

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.9 – Результати розрахунку на відповідність відмов нормальному закону розподілу

$t_{поч.i} - t_{кін.i}$, год		n_i	$u_{поч.i} - u_{кін.i}$		$\Phi(u_{поч.i}) - \Phi(u_{кін.i})$		p_i	$p_i N$	$\frac{(n_i - p_i N)^2}{p_i N}$
2156	5399	6	-1,50	-1,20	-1,0112	-0,7570	0,2542	8,6	0,81
5399	8642	9	-1,20	-0,70	-0,7570	-0,3971	0,3599	12,2	0,86
8642	11885	15	-0,70	-0,01	-0,3971	-0,0129	0,3842	13,1	0,29
11885	15128	14	-0,01	0,67	-0,0129	0,2513	0,2642	8,98	2,80
15128	18371	10	0,67	1,36	0,2513	0,4112	0,1600	5,44	3,82
18371	21900	6	1,36	2,11	0,4112	0,4855	0,0742	2,52	4,79
2156	5399	6	-1,50	-1,20	-1,0112	-0,7570	0,2542	8,6	0,81
5399	8642	9	-1,20	-0,70	-0,7570	-0,3971	0,3599	12,2	0,86
Сума		34							13,37

пояснюються впливом випадкових обставин при виконанні нерівності

$$\chi^2 \leq \chi_m^2, \quad (2.32)$$

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

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

Величина довірчої імовірності $\alpha=0,995$, а число степенів свободи визначається як

$$r = k - 3; \quad (2.33)$$

$$r = 6 - 3 = 3.$$

При $r = 3$ та довірчій ймовірності $\alpha=0,995$, $\chi_m^2=14,9$.

$$13,37 < 14,9.$$

За критерієм К. Пірсона гіпотеза про нормальний закон розподілу не спростовується.

За критерієм В. І. Романовського визначаємо величину

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.10 – Імовірність теоретичного нормального розподілу відмов

$$R = \frac{\chi^2 - r}{\sqrt{2r}}; \quad (2.34)$$

$$R = \frac{13,37^2 - 3}{\sqrt{2 \cdot 3}} = 71.$$

Гіпотеза про нормальний закон розподілу випадкової величини спростовується, якщо $R < 3$.

Так як $71 > 3$, то гіпотеза про нормальний закон розподілу випадкової величини спростовується.

2.5 Визначення кількісних характеристик надійності

Вихідні дані для розрахунку кількісних характеристик надійності наведені в табл. 2.10.

Імовірність безвідмовної роботи за статистичними даними про відмови розраховуємо за формулою

$$P^c(t) = \frac{N - n(t)}{N}, \quad (2.35)$$

де $n(t)$ – кількість об'єктів, що відмовили за час t .

Для прикладу розраховуємо кількісних характеристик надійності за

Таблиця 2.10 – Вихідні дані для розрахунку кількісних характеристик надійності

Межі інтервалу, год		Кількість об'єктів, що відмовили в інтервалі, од.
2156	5399	6
5399	8642	9
8642	11885	15
11885	15128	14
15128	18371	10
18371	21900	6
2156	5399	6
5399	8642	9

статистичним даними про відмови для першого інтервалу.

$$P^c(t_1) = \frac{34 - 6}{60} = 0,9.$$

Ймовірність відмови за статистичним даними визначаємо за формулою

$$Q^c(t) = \frac{n(t)}{N}; \quad (2.36)$$

$$Q^c(t_1) = \frac{6}{60} = 0,1.$$

Частоту відмов за статистичним даними про відмови визначаємо за виразом

$$f^c(t) = \frac{\Delta n(t)}{N \cdot \Delta t}, \quad (2.37)$$

де $\Delta n(t)$ – кількість об'єктів, що відмовили протягом пробігу Δt .

$$f^c(t_1) = \frac{6}{60 \cdot 3243} = 0,00003.$$

Інтенсивність відмов за статистичним даними про відмови визначаємо за формулою

$$\lambda^c(t) = \frac{\Delta n(t)}{N_{\text{сер}}(t) \cdot \Delta t}, \quad (2.38)$$

де $N_{\text{сер}}(t)$ – кількість працездатних об'єктів в середині інтервалу пробігу Δt .

$$\lambda^c(t_1) = \frac{6}{(60 - 6 / 2) \cdot 3243} = 0,00003.$$

Середній пробіг безвідмовної роботи об'єкта за статистичним даними оцінюється виразом

$$T_{\text{сер}}^c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i, \quad (2.39)$$

де t_i – пробіг (час) безвідмовної роботи i -го об'єкта.

$$T_{\text{сер}}^c = \frac{1}{60} \cdot 752387 = 12539 \text{ год.}$$

Розрахунки зводимо в табл. 2.11. Графічна інтерпретація кількісних характеристик надійності наведена на рис. 2.11-2.13.

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.11 – Результати розрахунків кількісних характеристик надійності за статистичним даними про відмови

Межі інтервалу, год		Середнє напрацювання в інтервалі, год	Кількість відмов в інтервалі, од	Імовірність без відмовної роботи $P^c(t)$	Імовірність відмови $Q^c(t)$	Частота відмов $f^c(t)$	Інтенсивність відмов $\lambda^c(t)$
2156	5399	3778	6	0,90	0,10	0,00003	0,000032
5399	8642	7020,5	9	0,75	0,25	0,00005	0,000056
8642	11885	10263,5	15	0,50	0,50	0,00008	0,000123
11885	15128	13506,5	14	0,27	0,73	0,00007	0,000188
15128	18371	16749,5	10	0,10	0,90	0,00005	0,000280
18371	21900	20135,5	6	0,00	1,00	0,00003	0,000617

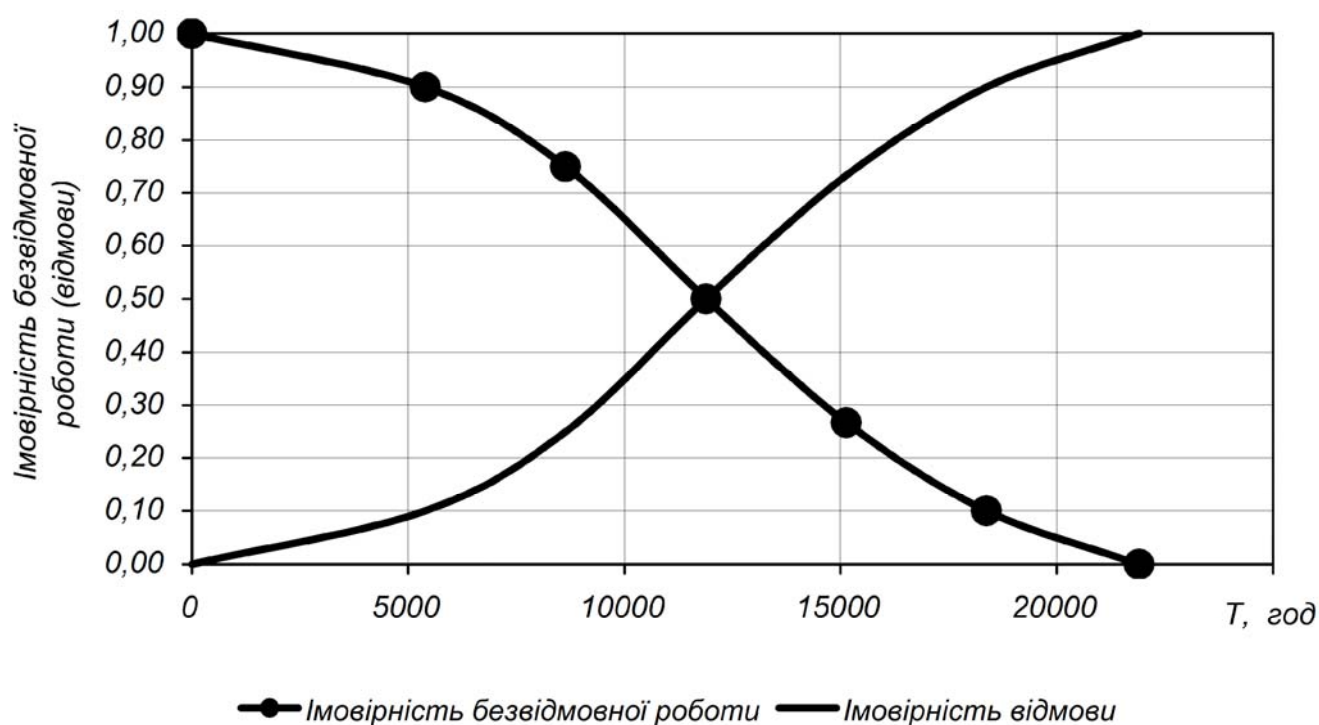


Рисунок 2.11 – Імовірність безвідмовної роботи та імовірність відмови

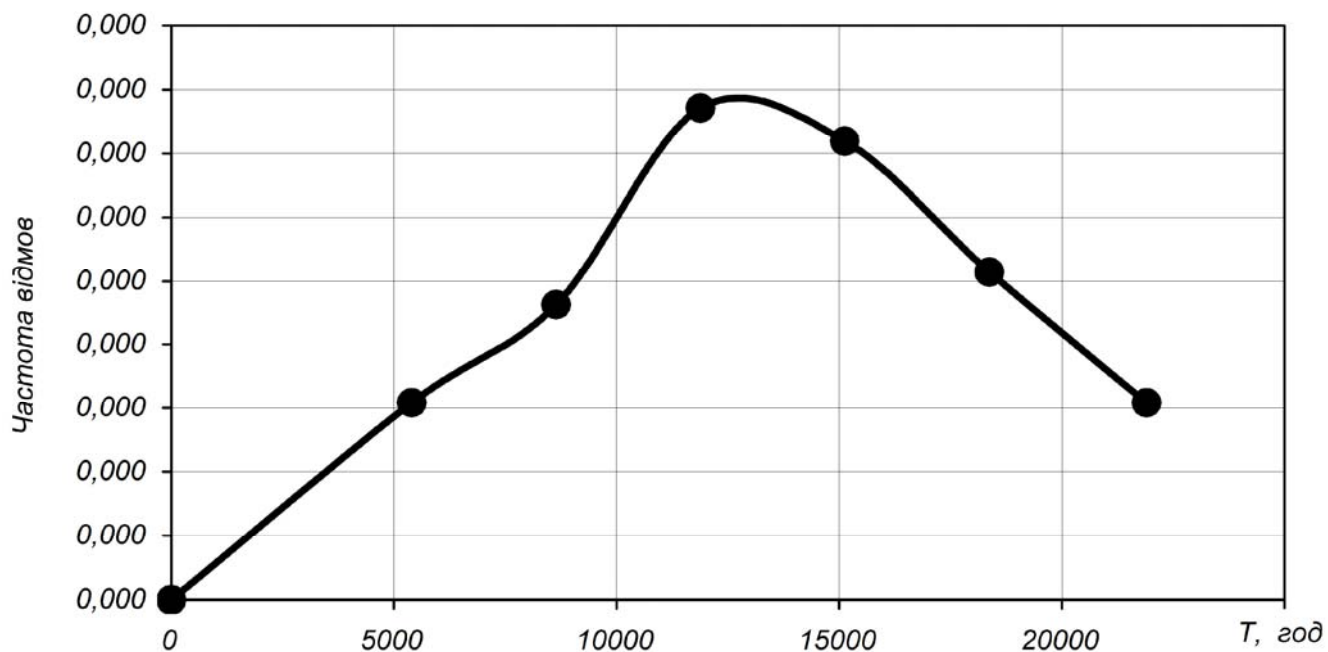


Рисунок 2.12 – Частота відмов

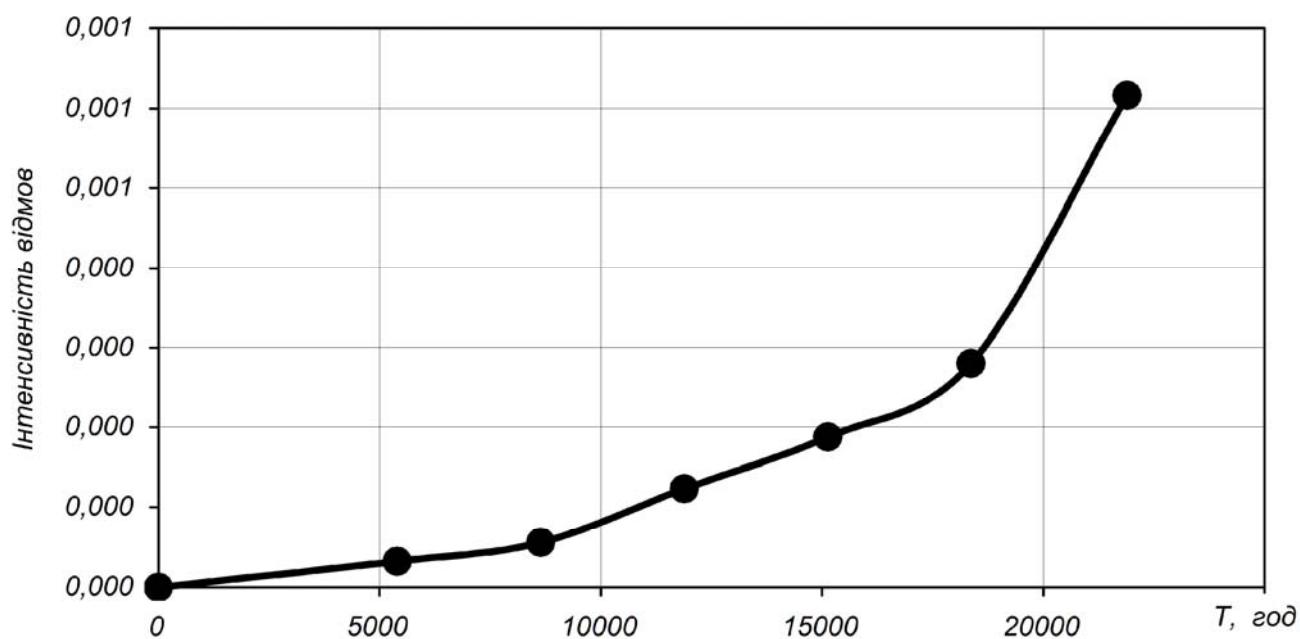


Рисунок 2.13 – Інтенсивність відмов

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.196374.000.03МР.ПЗ

Арк.

50

3 УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО УТРИМУВАННЯ ЛОКОМОТИВІВ ПРОМИСЛОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

3.1 Підходи до ситеми утримання локомотивів

Як правило, при планово-попереджувальній системі ТО та ПР індивідуальні ресурси деталей, вузлів і обладнання не довикористовуються. Крім того, збільшується трудомісткість ремонту, а розбирання і складання устаткування локомотива без об'єктивної необхідності тільки погіршують технічні параметри його роботи [5].

Щоб скоротити витрати на утримання локомотивів в експлуатації, необхідно створити систему ТО та ПР, яка б ураховувала індивідуальний технічний стан устаткування за терміном його роботи. Така система базується на використанні в ремонтній практиці засобів контролю і діагностики, за допомогою яких здійснюється безперервне або періодичне спостереження за параметрами, що характеризують технічний стан вузлів і агрегатів.

В основу нових підходів до ТО та ПР локомотивів доцільно прийняти інформаційно-технологічний підхід, за допомогою якого можна створити систему, що дозволяє контролювати витрати на ТО та ПР, підвищити ступінь готовності устаткування до експлуатації і керувати ТО та ПР на основі інформації в реальному масштабі часу.

Існуючі системи ТО та ПР базуються на підходах, що хронологічно відповідають їх першому, другому і третьому поколінням.

У системах першого покоління передбачений ремонт при відмові устаткування.

Основою систем другого покоління є регулярні планово-попереджувальні огляди і ремонти як спосіб зниження частоти відмов.

У системах третього покоління оцінка технічного стану устаткування проводиться з метою прогнозування очікуваних відмов. Це дозволяє проводити ремонти до фактичного прояву відмов, зводячи до мінімуму тривалість

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відволікання устаткування від експлуатації.

Системи нового четвертого покоління базуються на визначенні причин виникнення несправностей локомотивів і формують можливі шляхи зниження відмов (рис. 3.1) [11].



Рисунок 3.1 – Схема системи ТО та ПР локомотивів четвертого покоління

Система ТО та ПР четвертого покоління складається із трьох основних складових, об'єднаних відкритою комп'ютерною мережею і утворює систему підтримки ТО та ПР:

- інформаційно-керуючої системи для оцінки поведінки рухомого складу в експлуатації на основі бази даних про несправності, що відбулися, і усунених на ремонтних роботах;
- модель безперервного прогнозування для можливих несправностей;
- експертної системи комплексної технічної діагностики.

Структура інформаційної системи підтримки наведена на рис. 3.2 [11].

За допомогою стратегії формування інформації проводяться наступні процедури:

- загальна обробка статистики причин несправностей по кожному

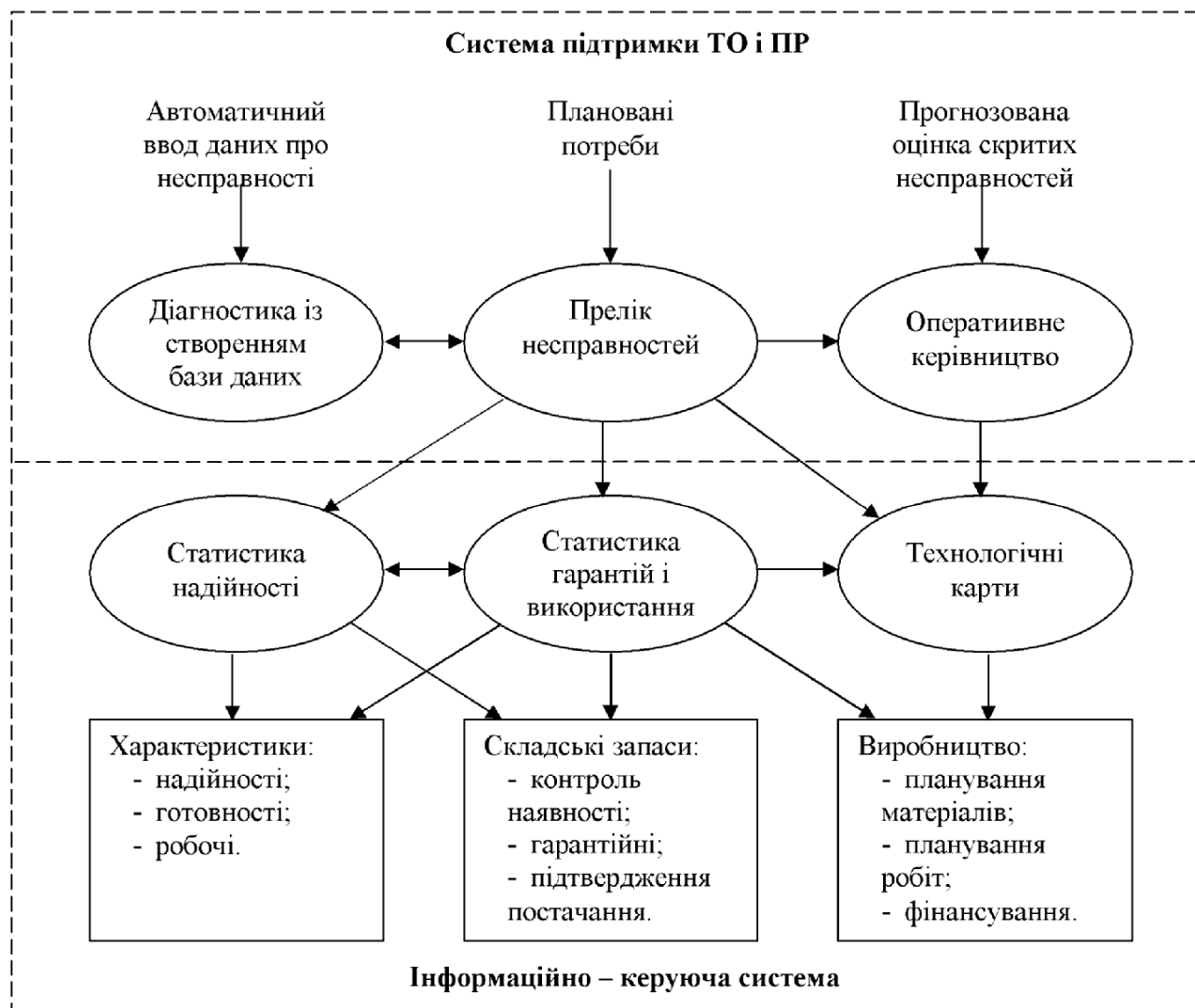


Рисунок 3.2 – Схема системи підтримки технічного обслуговування і ремонтів локомотивів

локомотиву;

- створення оперативного посібника і ремонту з усуненням характерних несправностей;
- формування програми робіт із прив'язкою ремонтних робіт до конкретних несправностей з роздруківкою необхідних технологічних карт;
- діагностика основних причин несправностей;
- статистичний аналіз надійності.

Проблема терміну роботи тягового рухомого складу набула особливої актуальності в сучасних умовах. Це обумовлюється рядом чинників, основним з

яких є недостатні темпи заміни діючого ТРС на новий, повільне переоснащення ремонтної бази і достатній запас ресурсу по деякому обладнанню локомотива.

В найближчий час важко очікувати, що промисловість прискорить темпи будівництва нових локомотивів і буде переоснащене ремонтне господарство новим обладнанням.

Тому задоволення потреб в локомотивах повинно бути забезпечене на деякий період за рахунок подовження терміну служби діючих локомотивів з урахуванням оптимального поєднання випуску нових локомотивів і ремонту діючих.

Концептуально для виявлення доцільності такого підходу слід співставити основні показники, що визначають ефективність ремонту, відносно витрат на нові локомотиви, і показники, що характеризуються співвідношенням експлуатаційних характеристик відремонтованого локомотива і нового.

Для визначення доцільності проведення ремонту після вичерпання нормативного ресурсу необхідно розрахувати витрати на ремонт і витрати на створення локомотива. Загалом витрати на ремонт локомотивів можна оцінити за формулою [15]

$$Z_{рем} = C_{Г} \cdot \sum_{i=1}^n T_{pi} \cdot (1 + \alpha) \cdot \frac{T_{екс}}{T_{ц}}, \quad (3.1)$$

де $C_{Г}$ – середні питомі витрати на ТО, ПР за годину;

T_{pi} – середня трудомісткість ТО, ПР за ремонтний цикл;

α – коефіцієнт накладних витрат (матеріали, амортизація обладнання, оснащення);

$T_{екс}$ – термін служби локомотива, рік;

$T_{ц}$ – ремонтний цикл, рік.

В загальному вигляді собівартість локомотива в цілому можна оцінити із

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залежності

$$S = A \cdot I^B \cdot N^C \cdot P^D, \quad (3.2)$$

де A – емпіричний коефіцієнт, що залежить від серії локомотива;

B – емпіричний коефіцієнт, що визначає вплив інтегрального показника локомотива;

I – інтегральний показник локомотива;

C – емпіричний коефіцієнт, що визначає вплив потужності локомотива на собівартість;

N – потужність локомотива, кВт;

D – емпіричний коефіцієнт, що визначає вплив маси локомотива;

P – зчіпна маса локомотива, т.

Інтегральний показник можна оцінити за методикою виробничого об'єднання «ЛТ»

$$I_i = \frac{\Pi_c}{3_c \cdot \phi_t + 3_e}, \quad (3.3)$$

де Π_c – сумарний річний ефект від експлуатації локомотивного парку, ткм;

3_c – сумарні капітальні витрати на створення локомотивів, грн;

ϕ_t – коефіцієнт, що залежить від терміну служби локомотивів;

3_e – сумарні експлуатаційні витрати, що відносяться до одного року, грн

Пошук оптимального рішення буде визначатися досягненням умови:

$$E(T_{екс}) = \min \sum (3_{рем} - S). \quad (3.4)$$

Виходячи з наведеного, відмітимо, що обґрунтування терміну подовження експлуатації локомотива, який пройшов нормативний термін, повинно

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

враховувати економічні важелі витрат на ремонт і придбання нового локомотива.

3.2 Довговічність обладнання локомотивів як параметр системи ТО та ПР

Одночасний ремонт або заміна ряду вузлів чи агрегатів, з одного боку, забезпечує зниження трудомісткості ремонту і скорочення простоїв, тобто підвищує його ефективність, але, з іншого боку, включає недовикористання ресурсу деталей. Це визначає необхідність пошуку деякого оптимального розв'язку цього протиріччя.

Більшість досліджень, присвячених відшукуванню оптимальної системи ремонту локомотивів, вирішують це завдання, не пов'язуючи її з терміном служби локомотива. Однак не можливо формувати систему ремонту, яка була б оптимальною для будь-якого терміну служби локомотива. Система ремонту, яка відповідає умовам оптимальності при даному терміні служби локомотива, може виявитися не оптимальною при іншому терміні служби, навіть коли останній незначно відрізняється від першого.

Сучасні локомотиви можуть експлуатуватися безгранично довго, тому що існуючий рівень ремонтного виробництва і конструкція локомотива дозволяють робити кількаразову заміну будь-якої деталі обладнання локомотива. Однак заміна деяких найбільш дорогих базових агрегатів локомотивів є недоцільним процесом у випадку заміни в результаті нормального зношування, а не відмови в експлуатації або недоброякісного виготовлення. Для будь-якого локомотива можна прийняти за максимально можливий термін служби, обмежений довговічністю якоїсь найбільше дорогого обладнання чи агрегату.

Термін служби локомотивів, для якого потрібно встановити оптимальну систему ремонту, може становити будь-яку величину, меншу деякої максимальної, тому що величина фактичного терміну служби може змінюватися в широких межах, що залежать від цілого ряду факторів. Хоча в принципі локомотив може мати будь-який термін служби, що не перевищує зазначену максимальну величину, але раціональними термінами виявляються лише ті, які

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повністю використовують ресурс до ремонту або заміни хоча б деякої частини її агрегатів.

Збільшення терміну служби локомотивів ускладнює вибір оптимального варіанта системи ремонту, тому що з'являється значно більше можливих варіантів організації ремонту різних сполучень вузлів як за рахунок збільшення номенклатури замінених вузлів, так і за рахунок зростання кількості замін вузлів за термін служби локомотива. Необхідне проведення спеціальних досліджень, за допомогою яких можна було б вибрати найкращий варіант із ряду альтернативних.

За даними витрати β і простої θ при сумісному виконанні ТО, ПР для різних вузлів у середньому змінюються в такий спосіб [14]

$$\theta = \tau_{\max} + \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^m \tau_{ij} - \tau_{\max} \right), \quad (3.4)$$

тобто величина витрат при спільному ТО, ПР дорівнює вартості ТО, ПР найбільш дорогого вузла (агрегату) плюс три чверті суми витрат при роздільному ТО, ПР інших вузлів, яких у цьому випадку здійснюється спільно. Аналогічно, час простою локомотива через ремонт дорівнює часу простою по найбільш трудомісткій деталі, плюс половина часу, необхідного для роздільного ТО, ПР заміни інших вузлів.

У загальному випадку умова оптимальності системи ремонту може бути забезпечена тільки при нерівних по величині міжремонтних періодах.

Із практики експлуатації відомо, що при збільшенні загального терміну служби локомотива все більш вузлів і агрегатів вимагають заміни або відновлення. Крім того, спостерігається зміна періодів між необхідністю проведення ремонтів або заміною окремих вузлів, а звідси змінюються і сполучення комбінацій ефективності цих вузлів при ремонті.

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Незважаючи на вимоги до системи ТО, ПР зберігати протягом усього терміну служби локомотивів структуру і тривалість ремонтних циклів, останні фактично змінюються. Причому зі збільшенням терміну служби локомотивів тривалість циклів зменшується, а число планових ремонтів у циклі зростає. Фактично немає кількарázового повторення процесу ремонту.

Трудовіткість і собівартість планових ремонтів одного найменування, тобто, що мають приблизно однаковий перелік ремонтних робіт, фактично не залишається стабільним, а змінюються зі збільшенням загального терміну служби, що підтверджується фактичними даними.

Виходячи з цього є перспективним послідовне використання розглянутих методів для коригування системи ремонту локомотивів. На основі даних про довговічність окремих вузлів формують можливі доцільні варіанти системи ремонту локомотивів, а потім на основі розрахунків, зміни собівартості одиниці приведених витрат на експлуатацію локомотивів, вибирається найкращий варіант.

Прагнення підвищити ефективність використання локомотивів вимагає, щоб система ремонту кожного локомотива відповідала в можливо більшому ступені умовам оптимальності. Це викликає необхідність деякого ускладнення системи ремонту, а звідси і ускладнення планування і обліку в ремонтних службах.

3.3 Діагностування технічного стану локомотивів

У якості основних критеріїв оцінки технічного стану устаткування тепловозів за даними [12] приймають електричну міцність ізоляції, опір ізоляції високовольтих кіл, перехідний опір контактів комутуючого обладнання, омичний опір обмоток і кіл електричних машин і апаратів і т.п. Ці критерії в загальному випадку визначаються виразами (3.5)-(3.11).

$$I_{ym.i}(U_{ucn.don.i}) < I_{ym.don.i}; \quad (3.5)$$

$$R_{uz.i} = U_{ucn.zad.i} / I_{ym.i} > R_{uz.don.i}; \quad (3.6)$$

					0032.196374.000.03MP.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{пер.i} = U_{пер.i} / I_{пер.зад.i} < R_{пер.дон.i}; \quad (3.7)$$

$$R_{ц.i} = U_{ц.i} / I_{ц.i} \in (R_{ц.min i}, R_{ц.max i}); \quad (3.8)$$

$$U_{сраб.i} \in (U_{сраб.min i}, U_{сраб.max i}); \quad (3.9)$$

$$I_{сраб.i} \in (I_{сраб.min i}, I_{сраб.max i}); \quad (3.10)$$

$$T_{сраб.i} \in (T_{сраб.min i}, T_{сраб.max i}), \quad (3.11)$$

де

$I_{ут.}$ – струм витоку;

$I_{ут.дон.}$ – припустиме значення струму витоку;

$U_{исп.дон.}, U_{исп.зад.}$ – припустимі і задані значення випробувальної напруги для певного вигляду перевірки ізоляції;

$R_{из.}, R_{из.дон.}$ – вимірюваний і припустимий опір ізоляції;

$R_{пер.}, R_{пер.дон.}$ – вимірюваний і припустимий перехідний опір контактів;

$U_{пер.}$ – перехідна напруга на контактах при заданому струмі через контакти ;

$R_{ц.}, R_{ц.}$ – активний опір контрольованого апарата або кола;

$R_{ц.min}, R_{ц.max}$ – мінімальне і максимальне припустиме значення ;

$U_{сраб.}, I_{сраб.}, U_{сраб.}, I_{сраб.}$ – вимірювані значення напруги при струмі спрацьовування захисної апаратури;

$U_{сраб.min}, U_{сраб.max}, I_{сраб.min}$ – припустимі значення уставок спрацьовування по напрузі або струмі захисної апаратури;

$T_{сраб.}$ – вимірюване значення часу спрацьовування захисної апаратури;

$T_{сраб.min} T_{сраб.max}$ – припустимі значення уставок спрацьовування за часом захисної апаратури;
 i – вигляд устаткування, що перевіряється.

Для раннього виявлення дефектів і підвищення достовірності діагностики, передбачені прогнозні оцінки не лінійності опору ізоляції залежно від високовольтної випробувальної напруги і коефіцієнта абсорбції ізоляції електричних машин:

$$K_{нел.i} = U_{исп.min} i I_{ут.max} i / U_{исп.тфч} i I_{ут.тии} i \in (K_{нел.min} i, K_{нел.max} i), \quad (3.12)$$

де $U_{исп.min}, I_{ут.min}$ – мінімальне значення випробувальної напруги і струм витоку при цій напрузі;

$U_{исп.max}, I_{ут.max}$ – максимальне значення випробувальної напруги і струм витоку при цій напрузі;

$K_{нел}, K_{нел.min}, K_{нел.max}$ – вимірюване і гранично припустиме значення коефіцієнта не лінійності.

$$K_{абс.} = R_{ут60ci} (U_{исп.зад}) / R_{ут15ci} (U_{исп.зад.i}), \quad (3.13)$$

де $K_{абс.}$ – коефіцієнт абсорбції,

$R_{ут60c}, R_{ут15c}$ – опір витоку, вимірюваний відповідно

через 60 і 15 секунд після подачі заданої випробувальної напруги ,

$K_{абс.min}, K_{абс.max} K_{абс.min}, K_{абс.max}$ – діапазон припустимих значень коефіцієнта абсорбції.

Технічно для здійснення діагностики тепловоза через контрольні точки подаються стимулюючі перевірочні сигнали і вимірюються параметри

устаткування. Після тестування діагностичного комплексу перевіряється послідовність роботи обладнання і апаратів у часі; високовольтні перевірки починаються з малих випробувальних напруг, при цьому контролюється величина струму витоку і наявність часткових розрядів.

Організація діагностики тепловозного дизеля в несталому режимі при експлуатації представляється досить складною, тому зазвичай в депо проводять діагностування в сталому режимі роботи дизель-генераторної установки (ДГУ).

Критерії сталого режиму наступні

$$(Pe_{\max} - Pe_{\min}) / Pe < 0,1; \quad (3.14)$$

$$(n_{Д\max} - n_{Д\min}) / n_{Д} < 0,05; \quad (3.15)$$

$$(Lint_{\max} - Lint_{\min}) / Lint < 0,1; \quad (3.16)$$

$$(tg_{\max} - tg_{\min}) / tg < 0,1, \quad (3.17)$$

де Pe – середня за період спостереження потужність на клеммах випрямної установки (ВУ);

$n_{Д}$ – середня за період спостереження частота обертання двигуна (хв.⁻¹);

$Lint$ – середня по циліндрах за період спостереження температура вихлопних газів, (°C);

$tg_{\max}, tg_{\min}$ – відповідно максимальне і мінімальне значення температури вихлопних газів за період спостереження.

Режим вважається сталим, коли виконуються умови (3.14)-(3.17). Алгоритми аналізу роботи двигуна базується на певній сукупності вимірів і оцінок технічного стану.

По-перше, перевіряється рівномірність завантаження циліндрів, для чого

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірюється температура газів по циліндрами. Визначається максимальна (tg_{max}) і мінімальна (tg_{min}) температура газів по всіх циліндрах і максимальний розкид температур:

$$tg_{max} - tg_{min} = \Delta tg . \quad (3.18)$$

Потім перевіряється критеріальна умова:

$$\Delta tg < 120^{\circ}\text{C}. \quad (3.19)$$

Якщо ця умова виконується, циліндри завантажені рівномірно і діагноз закінчений.

Якщо $\Delta tg > 120^{\circ}\text{C}$, то розраховується середнє значення

$$tg = \sum_{i=1}^n tg_i / n , \quad (3.20)$$

де i – номер циліндра.

Далі для кожного циліндра визначаються відхилення від середньої температури і перевіряється попадання відхилень у поле допуску:

$$\Delta tg_k = tg - tg_k . \quad (3.21)$$

Для перевірки настроювання тепловозної характеристики визначається розбивка частоти обертання:

$$n(n_k)^H < n_D < n(n_k)^G , \quad (3.22)$$

де $n(n_k)^H$ й $n(n_k)^G$ – відповідно нижня і верхня границі частоти обертання на позиції контролера (ПК).

Якщо ця умова не виконується на якій-небудь позиції, необхідно перевірити

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

частоту обертання. Перевіряється настроювання потужності по позиціях контролера, (вище 2-ої) для чого виміряються напруга і струм на клеммах випрямної установки і обчислюється середня за період спостереження потужність ($Pe_{\phi y}$).

З урахуванням умов навколишнього середовища і відносного часу роботи компресора визначається фактична потужність дизеля

$$Pe^{\phi} = 1,06Pe^{\phi y} + 49,5 + 17,3 + 37S_k + 13,2, \quad (3.23)$$

де $Pe^{\phi y}$ – середня за період спостереження потужність на клеммах випрямної установки,

n_e – відносна частота обертання ($n_D / 1000$);

T_a – температура навколишнього повітря, ° К;

B – атмосферний тиск, мм.рт.ст.;

S_k – відносний час роботи компресора за період спостереження.

Розраховується область припустимих значень експлуатаційної потужності дизеля:

– по обмежувальній характеристиці:

$$Pe^{(\phi)} = 1,02(-900 + 960 + 1915 - 514); \quad (3.24)$$

– по мінімальній характеристиці:

$$Pe^{(\phi)} = 0,98(1000 + 683 - 202). \quad (3.25)$$

Перевіряється умова:

$$Pe^{(n)} < Pe^{(\phi)} < Pe^{(\phi)}. \quad (3.94)$$

Якщо умова не виконується, розрегульована електросхема керування

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

тяговим генератором тепловоза (завищена/занижена потужність).

Вимірюються (і визначаються середні за період спостереження): тиск масла на вході в дизель Pe^0 , перед фільтром тонкого очищення масла (ФТОМ) $Pe_{ФТОМ}^1$, після ФТОМ $Pe_{ФТОМ}^2$ і перевіряються умови

$$\frac{P_m^0}{P_m^{исх}} > 0,95; \quad (3.26)$$

$$0,5 < \frac{P_m^0}{P_m^{исх}} < 0,8; \quad (3.27)$$

$$0,82 < \frac{P_{ФТОМ}^2}{P_{ФТОМ}^1} < 0,97, \quad (3.28)$$

де $P_m^{исх}$ – тиск масла для дизеля згідно нормативних вимог.

- Виконання спільно умов (3.26) і (3.27) означає справний стан масляної системи в цілому.
- Виконання тільки умови (3.26) означає справний стан фільтра тонкого очищення масла.
- Виконання спільно умов (3.27) і (3.28) і невиконання умови (3.26) означає несправність масляного насоса, зміна гідравлічної характеристики, викликана зносами або витоками в системі змащення.
- Виконання умови (3.28) і невиконання умови (3.27) означає несправність фільтра грубою очищення масла або засмічення теплообмінних апаратів.

Для оцінки технічного стану системи паливоподачі визначаються середні за період спостереження значення тиску палива на вході фільтра очищення палива (ФТОП) $P_{ФТОП}^1$ за ФТОП $P_{ФТОП}^2$, після чого перевіряються умови

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$0,7 < \frac{P_{\Phi TOT}^2}{P_{\Phi TOT}^1} < 0,92; \quad (3.29)$$

$$P_{\Phi TOT}^2 > 1,6 \text{ (кгс/см}^2\text{)}. \quad (3.30)$$

- Невиконання умови (3.29) означає забруднення ФТОП.
- Невиконання умови (3.30) при виконанні умови (3.29) означає несправність паливопідкачуючого насоса або забруднення ФТОП.

Наведені підходи визначають «відмови» енергетичної установки, що впливають на продуктивність тепловоза, його економічні показники, а також, у деяких випадках, забезпечують можливість прогнозування розвитку «відмови» в аварійну ситуацію.

Для більш детальної оцінки технічного стану дизель-генераторної установки, налаштування електропривода, контролю економічних і екологічних показників двигуна доцільне введення додаткових вимірювальних каналів.

3.4 Коригування системи утримання локомотивів

Аналіз методів розрахунків технологічних процесів показав практичну відсутність прийнятних аналогів при розрахунках по коригуванню ТО та ПР локомотивів.

Процедуру коригування технології утримання локомотивів пропонується виконати в такий спосіб. Визначити обсяги обов'язкових робіт і робіт, що проводяться за потребою.

Як показує практика, в експлуатації проявляється незбалансованість регламенту ТО та ПР і наявність у технологічних процесах наступних груп робіт.

Контрольних, що призначені тільки для контролю стану певних вузлів, агрегатів і систем локомотива і виконуваних в основному за допомогою штатних приладів.

Контрольно-профілактичних, що призначені для оцінки стану складальних одиниць і деталей і, якщо буде потреба проведення кріпильних, регулювальних, ремонтних і інших робіт.

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Профілактичних, що призначені для планового очищення, промивання, змащення, кріплення, регулювання і т.і. певних складальних одиниць і деталей.

Відбір проб охолоджувальної рідини і змащування для хімічного аналізу.

Досвід проведення ТО та ПР локомотивів показує, що виконання суворо регламентованого переліку робіт для кожного локомотива досягти неможливо.

Поряд з обов'язковими операціями практично на кожному ТО, ПР крім них виконується значна частка робіт, яку виконують як додаткову. Звідси задача формування структури технології ТО та ПР має визначальне значення.

Задача утримання локомотивів полягає у виділенні додаткових відносно обов'язкового переліку робіт з наступною прив'язкою їх до номера ТО та ПР у ремонтному циклі і сезону експлуатації.

Алгоритм процедури коректування ТО та ПР локомотивів зводиться до:

- кодування вихідної інформації. Програма кодування вихідної інформації призначена для побудови математичної моделі коректування технологічного процесу в автоматизованому режимі;

- кодування фреймів і їх відділення. Програма кодування фреймів і їх відділення є проміжним етапом для розв'язку задачі присвоєння свого коду і перенумерації чарунок;

- упорядкування кількості фреймів і видача їх кодів. Програма призначена для кодування сформованої множини і виділенні впорядкованих кодів фреймів для розрахунків параметрів функціонала;

- визначення центрів ваги фреймів. Програма призначена для виконання процедури обчислення координат центру ваги кожного локального фрейму з метою визначення параметрів, що описують функціонал;

- визначення найкоротшого незамкнутого шляху. Програма призначена для визначення порядку з'єднання координат вихідних масивів робіт, що забезпечує мінімальну величину шляху, що з'єднує ці координати. Програма застосовується при формуванні найкоротшого незамкнутого шляху, що з'єднує координати центрів ваги фреймів, а також при визначенні параметрів критерію

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

якості задачі формування фреймів по кожному з фреймів.

– визначення функціонала F . Програма є заключним етапом розрахунків по коректуванню структури робіт на ТО та ПР. Зміст програми передбачає розрахунки значення функціонала F на підставі розрахованих параметрів. Вибір параметрів моделі і визначення кількості фреймів проводиться по максимальній величині критерію F .

Аналіз несправностей і відмов у роботі систем, зокрема, тепловозів показав необхідність коригування технологічних процесів ТО та ПР. Виникла необхідність розробки процедури формування динаміки додаткових робіт, яка являє собою процес зміни технічного стану конкретного локомотива. Далі приводиться реалізація методики для тепловозів.

Динаміка додаткових робіт формується на основі динаміки параметричних відмов і несправностей систем локомотивів за період спостереження.

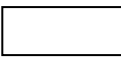
Для компактного представлення такої динаміки найменуванню обладнання ставиться у відповідності символ – геометрична фігура згідно з табл. 3.1.

Подібним чином були позначені технічні обслуговування ТО-3, поточні ремонти ПР-1 і непланові ремонти НР локомотивів, які наносилися на координатне поле – по осі абсцис, номер локомотива – по осі ординат. Допоміжні роботи, виконані на певному ТО-3, ПР-1, НР, заносилися усередину знака, що зображує ТО-3, ПР-1 і вигляд устаткування відповідно до ідентифікації робіт.

Як видно із представленої динаміки, практично на кожному плановому ТО-3, ПР-1 виникають різні комбінації додаткових робіт. Таким чином у процесі експлуатації, технічного обслуговування і поточного ремонту тепловозів проявляється неоднорідність у їхньому технічному стані, яка характеризується наявністю на агрегатах, системах і вузлах тепловозів більшого числа різних комбінацій робіт по ТО і ремонту. При цьому кожна комбінація робіт має певну імовірність появи. Роботи, що входять у комбінації, характеризуються крім імовірності появи кореляційним зв'язком, певною технологічною складністю, трудомісткістю і т.д., що викликає потребу в різних засобах оснащення і

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Позначення груп робіт по обладнанню

Найменування груп робіт по обладнанню	Символ	Вид ТО, ПР	Символ
Дизель		ТО-3	
Електроустаткування		ПР-1	
Екіпажна частина		НР	
Допоміжне устаткування		ПР-3	

породжує різноманіття організаційних форми методів проведення ТО та ПР, чого не передбачає існуюча технологія.

Відповідно до вищенаведених положень формується технологія ТО та ПР відповідно алгоритму (рис. 3.3) Перелік додаткових робіт може бути сформований на основі аналізу діагностичних параметрів на посту комплексної діагностики, номери ТО-3, ПР-1 у ремонтному циклі, порі року (сезонні роботи). Виходячи із цього формування повного технологічного процесу відбувається в результаті додавання до обов'язкового обсягу робіт перелік робіт, що складаються додаткові, обумовлені зазначеними факторами.

Попередньо на основі аналізу існуючого переліку операцій технологічного процесу встановлюється перелік обов'язкових робіт.

З обліком цього кожний логічний блок алгоритму формує доданок у перелік додаткових робіт.

Розрахунки скоригованого технологічного процесу ТО та ПР включає наступні етапи.

Формування динаміки параметричних відмов на планових ТО, ПР і НР.

Виходячи з динаміки параметричних відмов, проведення ідентифікації технологічних операцій розрахунків масивів $P_{i,j}$ і $r_{i,j}$. Із цією метою проведені



Рисунок 3.3 – Реалізація удосконалення ТО та ПР локомотивів

процедури об'єднання ряду близьких по технологічному змісту робіт з кожної системи і їх остаточне кодування.

За сформованими даними проводяться розрахунки по визначенню структури додаткових робіт, що вимагають виконання на ТО та ПР.

В експлуатації реалізація цих заходів представляється в такий спосіб. При постановці локомотива на ремонтну позицію визначається номер ТО та ПР даного локомотива, по якому видається інформація про додаткові роботи по відношенню до обов'язкового обсягу робіт.

При збігу часу проведення ТО та ПР з відповідними комісійними оглядами проводяться необхідні роботи.

Стосовно до роботи ремонтної ділянки передбачається досягнення декількох цілей: проектування маршрутної технології, проектування операційної технології, видача підсумкових технологічних документів та інше на кожний локомотив.

4 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УТРИМУВАННЯ ЛОКОМОТИВІВ ПРОМИСЛОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Своєчасні по глибині та обсягах профілактичні роботи з ТО та ПР дозволяють не тільки підтримувати технічні характеристики локомотива і його систем, але і поліпшувати показники їхньої надійності, скорочувати експлуатаційні витрати. У ряді випадків можна досягти необхідних показників надійності локомотивів взагалі шляхом оптимальної організації робіт з ТО та ПР.

Це вимагає прийняття одного з рішень: або продовжувати експлуатацію локомотива, хоча ефективність її знизилася до певного рівня, або проводити спеціальні профілактичні заходи. На практиці в більшості випадків існує можливість організації комплексу заходів з ТО та ПР, які дозволяють мінімізувати сумарні витрати, що враховують витрати власне на ТО та ПР і витрати в результаті погіршення ефективності.

Можливо проводити два типи відновлювальних робіт: планові ТО та ПР, які призначаються при досягненні локомотивом заданого наробітку, і позапланові ремонти, які призначаються у момент виявлення відмови. Виявлення відмови обладнання локомотива може здійснюватися миттєво у випадку безперервного контролю, або через якийсь час після виникнення у випадку періодичного контролю. Можливі ситуації, коли виявити відмову буває практично неможливо без демонтажу обладнання. Тоді для локомотива проводять попереджувальні планові заходи, під час яких у випадку відмови проводиться ремонт.

Вибравши відповідним чином період проведення планових ТО та ПР, можна досягти необхідних значень показників якості функціонування локомотивів. В якості оцінки ефективності основних показників функціонування локомотивів можна використовувати наступні показники надійності:

- коефіцієнт готовності,
- коефіцієнт оперативної готовності,
- економічні показники: середній питомий прибуток від експлуатації

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

локомотивів в одиницю часу, середні сумарні витрати, що віднесені до одиниці часу роботи.

Можливо застосовувати наступні стратегії (варіанти) організації ТО та ПР локомотивів.

- Ремонт виконуються тільки після виникнення відмови з повним відновленням параметрів локомотива.
- Планові ТО та ПР і позапланові ремонти(НР) з повним відновленням локомотива за результатами діагностування, причому НР проводять відразу ж після виникнення відмови.
- Виконуються тільки планові ТО та ПР, які повністю відновлюють локомотив, причому при виявленні відмови виконується НР систем локомотива.
- Для локомотива проводять позапланові ремонти після виникнення відмов окремих агрегатів.
- Для локомотива проводять позапланові ремонти окремих агрегатів, які відмовили, а також планові ТО та ПР всіх систем локомотива в моменти, коли наробіток досягає заданої величини (у результаті ТО та ПР система повністю оновлюється).

Розглянемо особливості процесів, що відповідають цим варіантам.

Для варіанту 1 розглядається окремий агрегат, вузол чи локомотив в цілому, для якого проводиться позаплановий ремонт. Передбачається, що фіксація відмови відбувається в середньому через час T_i (час прояву відмови) після виникнення. Протягом цього часу агрегат перебуває в непрацездатному стані (схована відмова). У випадковий момент фіксації відмови починається ремонт, що триває в середньому протягом часу T_a . Після цього система повністю відновлюється. По закінченні ремонту весь процес функціонування локомотива повторюється.

Для оцінки ефективності цього варіанту організації ремонту визначають:

- функцію розподілу часу роботи агрегату до відмови - $F(t)$;
- середній час роботи агрегату до відмови - T ;

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- середній час прояву відмови - t_n ;
- середня тривалість позапланового ремонту - T_a ;
- втрати за одиницю часу при наявності схованої відмови - c_c ;
- втрати за одиницю часу при проведенні позапланового ремонту агрегату - c_a ;
- прибуток, одержуваний за одиницю часу безвідмовної роботи - c_0 ;
- оперативний час роботи агрегату, необхідний для виконання завдання - t_0 .

На підставі цих даних визначені показники для розглянутих та інших варіантів, наведені в табл. 4.1.

Для варіанту 2 організація ремонту локомотивів проводиться в наступній послідовності.

Якщо локомотив не відмовив до призначеного моменту, то проводяться планові ТО та ПР, середня тривалість яких дорівнює T_n . Якщо ж відмова локомотива відбулася раніше, то в момент відмови починається позаплановий ремонт, що триває в середньому T_a . Після проведення необхідних робіт локомотив повністю оновлюється. Час наступних ТО, ПР корегується і далі процес обслуговування повторюється. Передбачається, що під час проведення ТО та ПР локомотив непрацездатний.

Додатково до вище заданих параметрів організації ТО, ПР і експлуатації визначаються:

- інтенсивність відмов - $\lambda(t)$;
- середня тривалість планових ТО та ПР - T_n ;
- витрати за одиницю часу при проведенні планових ТО та ПР - c_n ;

Оцінку оптимальних величин показників якості функціонування і оптимальних періодів ТО та ПР визначають по аналітичним формулам, що наведені в табл. 4.1.

Для варіанту 3 попередження, виявлення і усунення відмов у локомотива

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Показники якості функціонування для варіантів організації ТО та ПР

Вар	Коефіцієнт готовності, K_{Γ}	Коефіцієнт оперативної готовності, $R(t_0)$	Середні питомі витрати, C^*	Середні питомі прибутки, C
I	$\frac{T}{T + t_c + T_a}$	$\frac{T - \int_0^{t_0} [1 - F(x)] dx}{T + t_c + T_a}$	$\frac{c \cdot t_c + c \cdot T_a}{T}$	$k(c_0 - C^*) = \frac{c_0 T - c \cdot t_c - c \cdot T_a}{T + t_c + T_a}$
II	$\frac{T_n}{T_a - T_n} = -F(\tau) + \lambda(\tau) \int_0^{\tau} P(x) dx = -F(\tau) + \lambda(\tau) \int_0^{\tau} P(x) dx$	$\frac{T_n}{T_a - T_n + t_0} = -F(\tau) + \lambda(\tau) \int_0^{\tau} P(x) dx - \frac{T_n t_0 \lambda(\tau)}{T_a - T_n + t_0}$	$\frac{c \cdot T_n}{c \cdot T_a - c \cdot T_n} = -F(\tau) + \lambda(\tau) \int_0^{\tau} P(x) dx$	$\frac{(c_0 + c) T_n}{(c_0 + c) T_a - (c_0 + c) T_n} = -F(\tau) + \lambda(\tau) \int_0^{\tau} P(x) dx + \lambda(\tau) \frac{(c_a - c_n) T_n}{(c_0 + c) T_a - (c_0 + c) T_n}$
III	$\frac{T_n}{T_a - T_n} = -F(\tau) + \lambda(\tau) \int_0^{\tau} P(x) dx + \frac{\int_0^{\tau} x dF(x)}{(T_a - T_n) P(\tau)}$	$\frac{T_n}{T_a - T_n} = -F(\tau) + \lambda(\tau) \frac{P(\tau)}{P(\tau + t_0)} \int_0^{\tau} P(x + t_0) dx + \frac{\int_0^{\tau} x dF(x + t_0)}{(T_a - T_n) P(\tau + t_0)}$	$\frac{c \cdot T_n}{c \cdot T_a - c \cdot T_n} = -F(\tau) + \lambda(\tau) \int_0^{\tau} P(x) dx + \frac{c \cdot \int_0^{\tau} x dF(x)}{(c \cdot T_a - c \cdot T_n) P(\tau)}$	$\frac{(c_0 + c) T_n}{(c_0 + c) (T_a - T_n)} = -F(\tau) + \lambda(\tau) \int_0^{\tau} P(x) dx + \frac{\int_0^{\tau} x dF(x)}{(T_a - T_n) P(\tau)} + \frac{(c_a - c_n) T_n P(\tau)}{(c_0 + c) (T_a - T_n) P(\tau) + T_a T_n (c_a - c_n) + \tau [T_a (c_a - c_n) + T_n (c_c - c_n)]}$
IV	$\frac{1}{1 + \sum_{i=1}^M (t_i + t_c)}$		$\sum_{i=1}^M \frac{c \cdot t_i + c \cdot t_c}{T_i}$	$(c_0 - C^*) K = \frac{\sum_{i=1}^M \frac{1}{T_i} (c \cdot t_i + c \cdot t_c)}{1 + \sum_{i=1}^M \frac{1}{T_i} (t_i + t_c)}$
V	$\tau \sum_{i=1}^m t_i H_i(\tau) - \sum_{i=1}^m t_i H_i(\tau) = T_n$	$\frac{\tau \sum_{i=1}^m [P_i(x + t_0) + \int_0^x P_i(x + t_0 - y) dH_i(y)] dx}{\tau + T_n + \sum_{i=1}^m t_i H_i(\tau)} = \frac{\tau \sum_{i=1}^m [P_i(\tau_0 + t_0) + \int_0^{\tau} P_i(\tau_0 + t_0 - y) dH_i(y)]}{1 + \sum_{i=1}^m t_i H_i(\tau)}$	$\tau \sum_{i=1}^m t_i H_i(\tau) - \sum_{i=1}^m c \cdot t_i H_i(\tau) - c \cdot T_n$	$\sum_{j=1}^m t_j H_j(\tau) (c_j - c_i) + T_n \sum_{i=1}^m t_i H_i(\tau) (c_i - c_n) + \tau \sum_{i=1}^m t_i H_i(\tau) (c_0 - c_i) - \sum_{i=1}^m t_i H_i(\tau) (c_0 - c_j) = T_n (c_0 - c_n)$

передбачається проведенням тільки планових ТО та ПР, під час яких проводиться і позаплановий ремонт, якщо локомотив до цього моменту відмовив. Середні тривалості ТО та ПР і позапланового ремонту відповідно рівні і T_a .

Встановлюється наступна черга проведення відновлювальних робіт. У початковий момент призначається проведення планових робіт через певний час. Якщо до призначеного моменту локомотив не відмовив, то проводяться планові ТО та ПР. Якщо ж до призначеного моменту локомотив відмовив, то замість ТО та ПР проводиться позаплановий ремонт. Від моменту відмови до початку планового ремонту локомотив простоє в непрацездатному стані. Після закінчення відновлювальних робіт планується новий момент для проведення планових ТО та ПР на наступному періоді експлуатації, і процес обслуговування повторюється.

Додатково з розглянутими варіантами 1 і 2 вихідними даними для розрахунку є:

- щільність розподілу часу роботи до відмови $f(t) = F'(t)$;

Показники якості і періоди проведення планових відновлювальних робіт можна також визначити за формулами, що наведені в табл. 4.1.

Для варіанту 4 розглядається локомотив, що умовно складається з m послідовно з'єднаних агрегатів, при відмові одного з них настає відмова всього локомотива. Припускається, що відмова, що з'явилася, проявляється не миттєво, а в середньому через час T_n незалежно від іншого агрегату, що відмовив. При виявленні відмови i -го агрегату локомотива проводиться позаплановий ремонт (заміна цього агрегату на новий), середня тривалість якого дорівнює $(i = 1, \dots, m)$. Процес функціонування і відновлення даного локомотива можна описати наступним чином.

Локомотив працює до відмови. У випадковий момент виявлення відмови починається позаплановий ремонт агрегату, що відмовив. Після відновлення працездатності локомотива знову функціонує до відмови, і процес обслуговування повторюється. Передбачається, що при простої локомотива та

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заміні агрегату, що відмовив, працездатні агрегати вимикаються, тобто не погіршують своїх характеристик безвідмовності.

В розглянутому варіанті обслуговування не передбачається проведення робіт, повністю оновлюючих локомотивів.

Показники якості функціонування розраховуються за формулами, що наведені в табл. 4.1.

Для варіанту 5 розглядається локомотив, що складається з m послідовних агрегатів (підсистем). Під агрегатом розуміємо частину систем локомотива, яка при ремонті може бути замінена як єдине ціле.

Припускається, що на локомотиві можливе проведення планових ТО та ПР, що повністю його відновлюють, і позапланових ремонтів агрегатів, причому індикація відмови, що з'явилася, відбувається миттєво.

Встановлюється наступний порядок проведення відновлювальних робіт. У початковий момент призначається проведення ТО та ПР по досягненні певного заданого наробітку. Якщо до моменту проведення ТО та ПР відбувається відмова системи локомотива, то проводиться позаплановий ремонт агрегату, що відмовив. Припускається, що під час проведення позапланового ремонту локомотива характеристики надійності агрегатів не погіршуються і наробіток не збільшується. Це проводиться доки наробіток не досягне заданої величини. У цей момент починають проводити планові ТО та ПР незалежно від інших факторів, включаючи позапланові ремонти за даний період. У результаті проведення ТО, ПР локомотив повністю відновлюється. У момент закінчення ТО та ПР призначається величина наробітку на наступний період, по досягненні якого проводять ТО, ПР, і процес обслуговування повторюється.

Вихідні дані, які використовуються в розрахунках, аналогічні попереднім.

Додатково вводиться. Для кожного i -го агрегату функція відновлення $H_i(t)$ з рівняння:

$$H_i(t) = F_i(t) + \int_0^t H_i(t-x) dF_i(x), \quad (4.1)$$

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що отримується за допомогою перетворення Лапласа:

$$H_i^*(\mu) = \frac{F_i^*(\mu)}{1 - F_i^*(\mu)}, \quad (4.2)$$

де $H_i^*(\mu)$ – перетворення Лапласа для функції $H_i(t)$;

$F_i^*(\mu)$ – перетворення Лапласа для функції $F_i(t)$.

Показників якості функціонування розраховуються за формулами, що наведені в табл. 4.1.

Розглянуті варіанти ТО та ПР дозволяють в конкретних випадках обрати оптимальні параметри ефективної експлуатації локомотивів, що особливо важливо на перехідний період експлуатації діючого і нового локомотива.

На підставі розглянутих можливих стратегій обслуговування і ремонту локомотивів для термінів: 360, 420, 450, 500 тис км проведені розрахунки показників їх ефективності. Кожен з пробігів мав модифікацію, пов'язану з можливими варіантами чередування ТО та ПР. Тобто ці терміни визначали варіанти організації чередування ТО та ПР і відповідних характеристик параметрів стану відмов. Для кожного варіанту виражалися наробітки на відмову T , в рамках яких мінялися показники середнього часу простою на ТО, ПР – t_n і часу простою на позапланових ремонтах t_c . Для t_n приймався розподіл від 31 год до 60 год, для t_c від 10 год до 20 год [29, 34].

Час виявлення позапланового ремонту t_a був прийнятий рівним 1 год.

За даними роботи декількох депо і нормативними показниками середніх питомих прибутків від експлуатації локомотивів на одиницю часу, середні сумарні витрати прийняті рівними $c_0 = 200$ грн/год, а витрати при проведенні позапланових ремонтів C_a визначається, як $T_a \cdot c_0 / T$. Витрати на одиницю часу від наявності скритої відмови приймаємо як $c_c = 0,5 c_a$.

Для можливості визначення впливу середньодобового пробігу були

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прийняті з експлуатації середні дані щодо мінімальних і максимальних пробігів і використані в дослідженні відповідно 300, 320, 340, 360, 380, 400км.

Отримані за такими даними результати дають можливість проаналізувати вплив прийнятих варіантів організації ТО та ПР для кожного з періодів експлуатації локомотивів. Наведені залежності змін показників коефіцієнту готовності K_G , коефіцієнту оперативної готовності R , середніх питомих витрат на експлуатацію C^* і середніх питомих прибутків C від пробігів: $360 \cdot 10^3$, $420 \cdot 10^3$, $450 \cdot 10^3$, $500 \cdot 10^3$ км, для трьох стратегій обслуговування.

Слід відмітити, що варіанти IV і V не можуть бути прийняті в якості таких варіантів, що можливо і доцільно реалізувати для локомотивів.

Для варіантів I – III наведена динаміка зміни коефіцієнту готовності від понад нормативного пробігу. Як видно з цих залежностей для кожного з цих варіантів характерна тенденція зменшення K_G відносно збільшення пробігів.

При чому, якщо застосування I і II варіантів практично дають ідентичні результати зміни K_G , то для III варіанту цей параметр зменшується більш інтенсивно. Так для пробігу $360 \cdot 10^3$ км $K_G=0,9997$ для стратегій I, II, то для III стратегії при цьому ж пробігу $K_G=0,9840$. Ще більше проявляється розбіжність при збільшенні величини понад нормативного пробігу.

Разом з цим аналіз динаміки коефіцієнту оперативної готовності відрізняється по кожній стратегії від призначеного пробігу.

На рис. 4.1 приведена номограма змін показників C^* , C від величини ΔL .

Застосування I і II стратегій дають практично ідентичні результати зміни K , а для III стратегії цей параметр зменшується більш інтенсивно. Динаміка коефіцієнту оперативної готовності відрізняється по кожній стратегії. Однак стратегія II по цих показниках більш сприятлива.

Динаміка середніх витрат на ТО, ПР для стратегії I і II значно відрізняється від стратегії III, причому для стратегії I і II характерна відмінність темпу росту витрат на ТО, ПР. При цьому стратегія II привабливіша, що пояснюється адаптацією під умови експлуатації при організації ТО, ПР з діагностуванням.

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

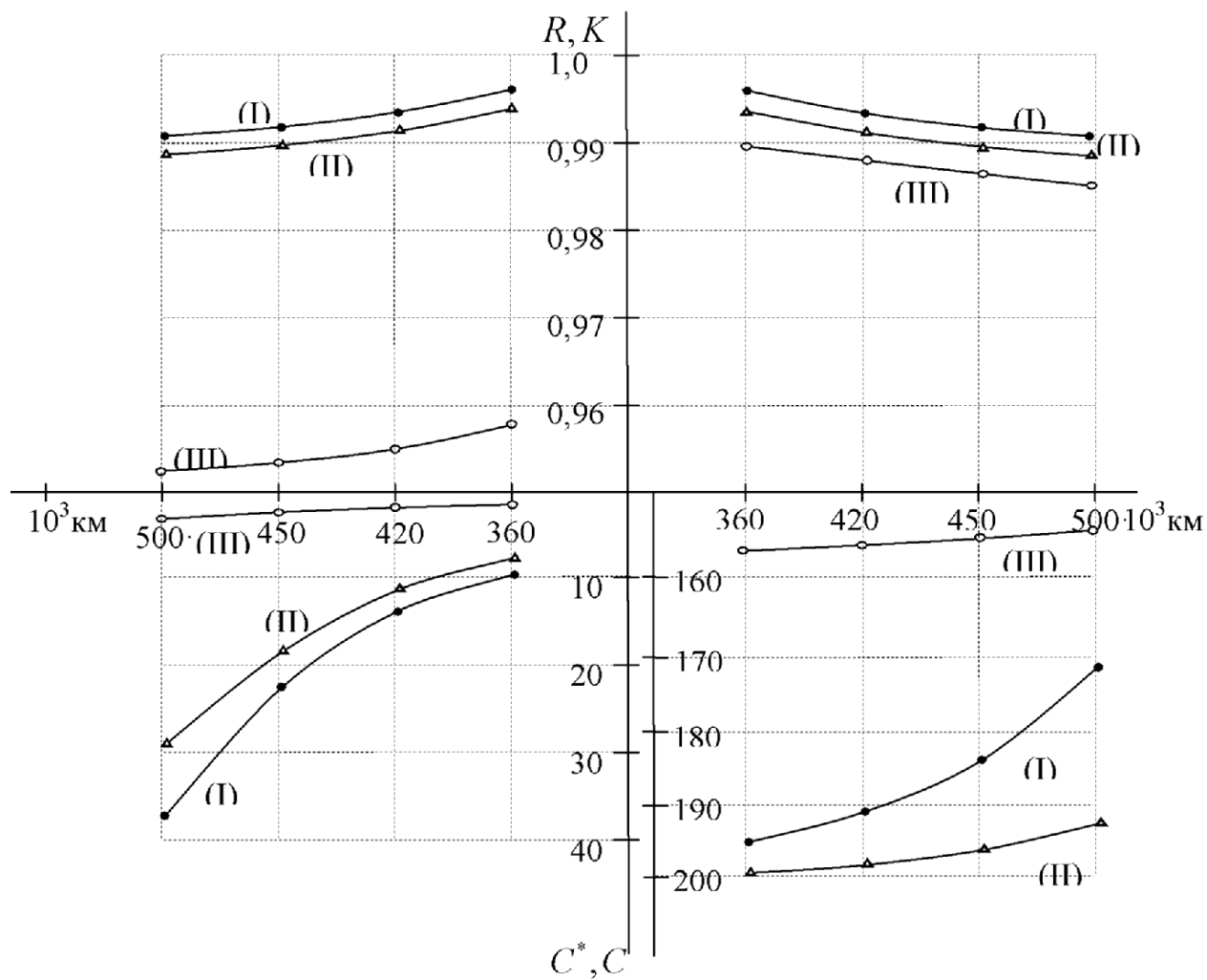


Рисунок 4.1 – Номограма зміни коефіцієнтів K, R, C^*, C від величини пробігу

ВИСНОВКИ

При розробці теми магістерської дипломної роботи «Удосконалення системи утримування локомотивів промислового залізничного транспорту» розглянуто одне з основних питань забезпечення безперебійної роботи залізничних цехів промислових підприємств, а саме питання організації підтримування справного стану тягового рухомого складу.

Виконано аналіз та визначено шляхи утримання локомотивів. Переважна більшість локомотивів наявного парку майже використали термін експлуатації. При огляді закордонного досвіду організації технічних обслуговувань та поточних ремонтів тягового рухомого складу визначено фактори, які визначають терміни експлуатації локомотивів.

Для оцінки надійності обладнання локомотивів змодельовано прогнозування технічного стану тягового рухомого складу. Особливу увагу приділено несучим конструкціям локомотивів, оскільки вони безпосередньо впливають на безпеку руху.

При удосконаленні системи технічного обслуговування та ремонтів локомотивів запропоновано основні діагностичні параметри оцінки технічного стану устаткування тепловозів, серед яких електрична міцність ізоляції, опір ізоляції високовольтних кіл, перехідний опір контактів комутуючого обладнання, омичний опір обмоток та кіл електричних машин і апаратів та рівномірність завантаження циліндрів, максимальна і мінімальна температура вихлопних газів, відхилення від середньої температури, тиск масла, тиск палива.

Для компенсації неоднорідностей технічного стану локомотивів у процесі експлуатації, ТО та ПР запропоновано впровадження додаткових індивідуальних контрольно-ремонтних робіт для окремих локомотивів.

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рендлер К. Опыт модернизаций Немецкой железной дороги /К. Рендлер, Т. Ноак, А. Рудаков //Локомотив-информ. – 2010. – №6. – С. 49 62.
2. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание /Ф. Байхельт, П. Франкен; пер. с нем. М. Г. Коновалова. – М.: “Радио и связь”, 1988. – 390 с.
3. Барзилович Е. Ю. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем /Е. Ю. Барзилович, В. А. Каштанов. – М.: Советское радио, 1971. – 373 с.
4. Барзилович Е. Ю. Эксплуатация авиационных систем по состоянию /Е. Ю. Барзилович, В. Ф. Воскобоев. – М.: Транспорт, 1981. – 197 с.
5. Бельдей В. В. Неразрушающий контроль деталей подвижного состава /В. В. Бельдей и др. //Железнодорожный транспорт. – 1994. – № 4. – С. 40 – 42.
6. Биргер И. А. Техническая диагностика /И. А. Бюргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 238 с.
7. Вознюк В. И. Надежность тепловозов /В. И. Вознюк, И. Ф. Пушкарев. – М.: Транспорт, 1991. – 155 с.
8. Надійність і 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.
9. Волков Д. П. Надежность строительных машин и оборудования /Д. П. Волков, С. Н. Николаев. – М.: Высшая школа, 1979.
10. Волков П. Н. Ремонтопригодность машин /П. Н. Волков и др. – М.: “Машиностроение”, 1975.
11. Горский А. В. Влияние системы ремонта локомотивов на обслуживание поездов /А. В. Горский, А. В. Воробьев, В. А. Козырев, В. М. Куанашев //Железнодорожный транспорт. – 1994. – № 11. – С. 51 – 53.
12. Исаев И. П. Методологические основы определения оптимальной периодичности и объемов планово – предупредительных ремонтов

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

электроподвижного состава (электровозов ВЛ8) /И. П. Исаев, А. В. Горский и др. //Подвижной состав и его автоматизация. – М.: Транспорт, 1980. – С. 96 – 130.

13. Калько В. А. Техническое диагностирование тепловозов в депо /В. А. Калько, Э. Д. Тартаковский //Железнодорожный транспорт. – 1984. – № 1. – С. 48 – 52.

14. Кокс Д. Теория восстановления /Д. Кокс, В. Смит. – М.: Мир, 1967.

15. Колегаев Р. Н. Определение наивыгоднейших сроков службы машин /Р. Н. Колегаев. – М.: Экономиздат, 1963. – 227 с.

16. Колегаев Р. Н. Определение оптимальной долговечности технических систем /Р. Н. Колегаев. – М.: “Советское радио”, 1967.

17. Решетов Д. Н. Надежность машин /Д. Н. Решетов, А. С. Иванов, В. З. Фадеев. – М.: Высшая школа, 1988. – 235 с.

18. Технические средства диагностирования: справочник /В. В. Ключев, П. П. Пархоменко, В. Е. Абрамчук и др.; под общ. ред. В. В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.

					0032.196374.000.03МР.ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		