

ЗАЯВА

Я, Ковальська Олександр Миколайович
(ПІБ повністю)

Студені групи УН2026
(шифр групи)

Спеціальності 273 Заїзничий транспорт
(код та назва спеціальності)

освітньої програми Інтероперабельність і безпека на заїзничих лініях
(назва освітньої програми)

освітнього ступеня підготовки магістр
(бакалавр, магістр)

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:

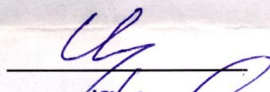
Технологічна система утримання маневрових
тепловозів відносно вищої інтероперабельності

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.


Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайомена з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

Дата 09.12.2026

Підпис 

Керівник

Підпис 

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра «Локомотиви»

НАЦІОНАЛЬНА ШКОЛА МАСТЕРСТВА І ПРОФЕСІЙ

СНАМ, ФРАНЦІЯ

«ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО»

В.о. завідуючого кафедрою

д.т.н., проф.  Б.С. Боднар

« 14 »  2021 р.

ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА

ДО ДИПЛОМНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

ОКР «магістр»

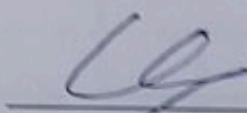
Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

ОП Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті

Тема: Удосконалення системи утримання маневрових тепловозів відповідно
вимог інтероперабельності


Theme: Improvement of the maintenance system of shutter locomotives in accordance
with the requirements of interoperability

Виконав:



О.М. Ковальчук

Керівник:

д.т.н., проф. 

М.І. Капіца

Нормоконтролер:



Л.В. Колодій

Дніпро

2021

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИПЛОМНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ	6
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ УТРИМАННЯ МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ	8
1.1 Аналіз робіт, пов'язаних з визначенням технічного рівня тягового рухомого складу	8
1.2 Огляд способів утримання рухомого складу	14
1.3 Огляд підходів визначення характеристик маневрових тепловозів.....	18
1.4 Оцінка технічного стану маневрового локомотива відповідно вимог інтероперабельності	22
2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗА	31
2.1 Прогнозування показників надійності маневрового тепловоза.....	31
2.2 Розробка моделі розрахунку показників надійності маневрових тепловозів	41
2.3 Адаптивна модель системи утримання маневрових тепловозів.....	44
3 КОРИГУВАННЯ ДІЮЧИХ СИСТЕМ УТРИМАННЯ МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ.....	74
3.1 Визначення кількості ремонтів залежно від закону розподілу пробігів локомотивів	74
3.2 Аналіз відмов маневрових тепловозів	77
3.3 Первинний аналіз статистичних даних про надійність маневрових тепловозів	85

					<i>0032.206544.ДР.2021.001</i>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
<i>Розроб.</i>		<i>Ковальчик</i>			<i>Удосконалення системи утримання маневрових тепловозів відповідно вимог інтероперабельності</i>		Літ.	Арк.	Аркушів	
<i>Перевір.</i>		<i>Капіца</i>					3	110		
<i>Реценз.</i>							<i>УДУНТ, зр. ІН2026</i>			
<i>Н. Контр.</i>		<i>Колодій</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Боднар</i>								

3.4	Визначення основних характеристик та закону розподілу напрацювання до відмови.....	90
3.5	Визначення кількісних характеристик надійності.....	94
3.6	Пропозиції удосконалення системи утримання маневрових тепловозів	98
	ВИСНОВКИ.....	99
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	101
	СПИСОК РИСУНКІВ.....	104
	СПИСОК ТАБЛИЦЬ.....	106
	АННОТАЦІЯ ТА КЛЮЧОВІ СЛОВА.....	108
	СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	110

ВСТУП

В теперішній час згідно статистичним даним на залізницях України маневрова і маневрово-вивізна робота здійснюються парком тепловозів в основному 98% чеського виробництва. При цьому маневрові тепловози серії ЧМЭЗ займають більше 83%.

Враховуючи те, що маневрові тепловози масово закуповувались в період з 1970 по 1987 роки, а в даний момент вони в основному відпрацювали свій ресурс, через що виникла необхідність оновлення парку цих локомотивів. Вхід України в Європейську спільноту держав та досвід розвинутих країн показує, що характеристики нових тепловозів повинні бути раціональними не тільки для умов вітчизняних залізниць, а й відповідати стандартам внітероперабельності по усім своїм характеристикам. При цьому такі локомотиви найбільш доцільно мати вітчизняного виробництва.

Для умов транспорту, в яких виконується великий і різноманітний по величині обсяг перевезень, доцільно було б мати ряд локомотивів одного типажу. На це вказує те, що маневрова робота більш ніж на 50% станцій має невеликі обсяги, тому використання локомотивів середньої потужності наявних серій є економічно недоцільним. По цій причині створення маневрового тепловоза невеликої потужності викликає великий науково-практичний інтерес.

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИПЛОМНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Актуальність проблеми.

Актуальність теми роботи підкреслюється незадовільним станом маневрових тепловозів на залізницях України. Сучасна уніфікація експлуатаційних характеристик маневрових тепловозів залізниць України вже не відповідає сучасним вимогам. На даному етапі широкий діапазон маневрових операцій висуває до маневрового тепловоза різні, іноді суперечливі вимоги. Одні з них вимагають урахування домінуючого впливу на параметри потужності маневрових тепловозів за видом роботи. Інші при виборі цих характеристик вимагають враховувати максимальну масу поїздів, а треті вважають головним для такого вибору ступінь завантаженості локомотива.

Об'єкт дослідження.

Об'єктом дослідження у магістерській дипломній роботі є процес утримання маневрових тепловозів.

Предмет дослідження.

Предметом дослідження є методи та технології, які спрямовані на покращення стратегій утримання маневрових тепловозів.

Мета та завдання дослідження.

Метою роботи є удосконалення системи утримання маневрових тепловозів відповідно вимог інтероперабельності.

Для досягнення мети поставлені такі задачі: виконати огляд та аналіз систем утримання маневрових тепловозів; розробити математичну модель визначення технічного стану та прогнозування показників надійності маневрового тепловоза; виконати коригування діючих систем утримання маневрових тепловозів.

Методи дослідження.

Для вирішення сформульованих завдань використано сучасні методи математичного моделювання. При моделюванні прогнозування технічного стану застосовано методи апроксимації у пакеті «MathLab».

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Матеріал дослідження.

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).

Наукове значення.

Наукова значущість роботи полягає у розробці підходу до вирішення проблеми покращення системи утримання маневрових тепловозів.

Практична значимість.

Практична значимість полягає у покращенні таких показників: коефіцієнт готовності маневрового тепловоза, зменшення відсотку несправних локомотивів.

Положення, які виносяться на захист:

Огляд та аналіз систем утримання маневрових тепловозів. Розробка математичної моделі визначення технічного стану та прогнозування показників надійності маневрового тепловоза. Коригування діючих систем утримання маневрових тепловозів.

Структура роботи.

Магістерська дипломна робота складається зі списку умовних скорочень, вступу, трьох розділів, висновків, списку літератури із 34 найменувань. Загальний обсяг роботи складає ___ сторінки.

Подяки.

Автор хоче висловити свою подяку за консультативну допомогу та поради при виконанні магістерської роботи усім співробітникам та викладачам кафедри «Локомотиви» Українського державного університету науки і технологій.

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ УТРИМАННЯ МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ

1.1 Аналіз робіт, пов'язаних з визначенням технічного рівня тягового рухомого складу

Для оцінки технічної досконалості найбільш доцільним є порівняння технічного рівня даних зразків маневрових тепловозів. Розглянемо більш детально задачу оцінки їх технічного рівня.

Питанню оцінки технічного рівня транспортних засобів приділяється багато уваги. Під технічним рівнем маневрового тепловоза будемо розуміти ступінь його технічної досконалості, яка є складовою частиною технічної оцінки при загальній оцінці якості.

Основним показником, яким характеризується технічний рівень, є коефіцієнт технічного рівня. Він може вимірюватися у відносних величинах (безрозмірний), абсолютних величинах (з визначеною розмірністю) або мати змішану розмірність.

В результаті зробленого аналізу була розширена класифікація методів визначення технічного рівня транспортних засобів і можливість їх застосування для маневрових тепловозів (рис. 1.1).

Найбільш розповсюдженим методом оцінки технічного рівня різної продукції є метод вагових коефіцієнтів.

В якості позитивного боку даного методу можна відзначити наочність простоту в порівнянні рухомого складу та в розрахунках, а, отже, і легкістю написання програм для ЕОМ.

Недоліком даного методу можна вважати те, що коефіцієнт технічного рівня не містить фізичного змісту. Щоб згладити цей недолік, важливість кожного показника визначається його коефіцієнтом вагомості.

Визначення технічного рівня методом з використанням функції Харингтона базується на використанні узагальнюючої функції Харингтона, яка перетворює

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

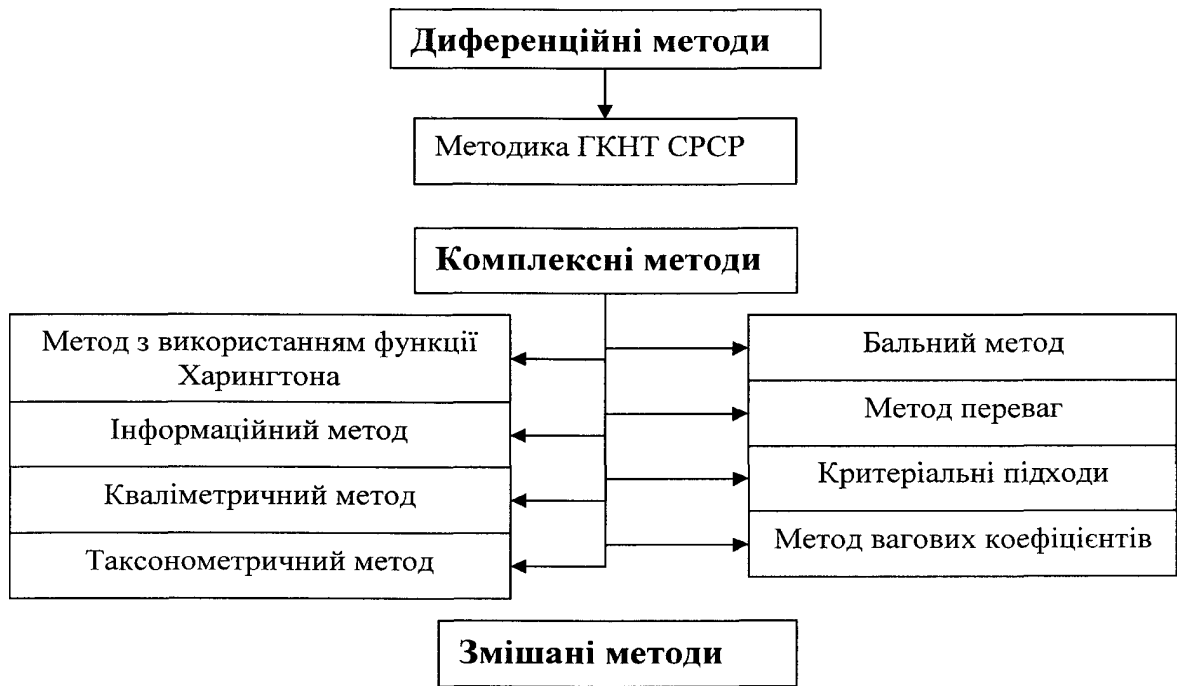


Рисунок 1.1 – Класифікація методів визначення технічного рівня маневрових тепловозів

значення параметрів за безрозмірною шкалою [1]. Коефіцієнт технічного рівня розраховується за формулою

$$K_{TP} = \left(\frac{n}{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n di}} \right)^{-1}, \quad (1.1)$$

де di – функція бажаності для конкретного показника;
 n – кількість показників.

Для оцінювання нескладного обладнання використовують бальний метод, основною розрахунковою формулою якого є

$$K_{tex.piv.} = \frac{\sum_{i=1}^n bi}{n}, \quad (1.2)$$

де bi – бал i -ої конструктивної ознаки,

n – кількість ознак.

Технічний рівень за методом інформаційної оцінки визначається без вагових коефіцієнтів в явному виді. Хоча вагові коефіцієнти можна ввести, але при цьому необхідні додаткові дослідження.

$$K_{TP} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_i \log_2 K_i}, \quad (1.3)$$

де a_i – коефіцієнт значущості;

K_i – частковий показник

Відносно перевагою цього методу є відсутність вагових коефіцієнтів. В методі «переваг» при визначенні технічного рівня рухомого складу використовується система переваг, яка дозволяє цілеспрямовано шукати найкраще вирішення рішення [2].

$$K_{TP} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}, \quad (1.4)$$

де C_i – параметр нелінійного перетворення.

Метод використання важкості отримання результату базується на використанні важкості отримання результату, який задовольняє вибрані вимоги.

$$d^* = 1 - \varepsilon_i (1 - \bar{k}_i) / \left[(1 - \varepsilon_i) \bar{k}_i \right], \quad (1.5)$$

де ε_i – вимоги до якості i -го компонента комплексної оцінки;

d^* – парціальна важкість отримання результату, що задовольняє вимоги $k_y \leq E$.

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Привертає увагу кваліметричний метод визначення технічного рівня рухомого складу.

$$K_{TP} = \frac{A}{G_{p.m.}} \cdot \varphi, \quad (1.6)$$

де A – критерій корисного ефекту транспортної роботи;

$G_{p.m.}$ – сумарні матеріальні витрати матеріалу, який витрачається на експлуатацію, обслуговування та ремонт, т;

φ – коефіцієнт добротності конструкції.

Індексний метод визначення технічного рівня транспортних засобів базується на індексній зміні різних параметрів маневрового тепловоза на базі середньоарифметичних та середньгеометричних індексів [3].

$$I = \frac{E_0}{E_6}, \quad (1.7)$$

де E_0 – економічні ефекти, які отримані від використання нової і базової техніки.

Таксонометричний метод базується на побудові класифікаційної шкали в ранговому просторі мір якості транспортного засобу.

Комплексний показник технічного рівня визначають також як деяку середню величину:

– середньоарифметичну [4]

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n m_i g_i}{n}, \quad (1.8)$$

– середньгеометричну [5]

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K = \left(\prod_{i=1}^n q_i \right)^{1/n}, \quad (1.9)$$

– середньогармонічну [5]

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{q_i}}, \quad (1.10)$$

де m_i – абсолютне значення показника;

q_i – відносне значення показника.

Виділяють різні підходи до оцінки технічного рівня продукції на етапі проектування, але при цьому загальним для всіх є таке: виділяється набір споживчих властивостей, які визначають якість конкретного виду продукції; по кожній властивості приймається адекватний показник, який характеризує її інтенсивність; для кожного альтернативного проекту встановлюються числові значення критичних показників якості.

Наступні етапи відрізняються покладеними в основу розв'язання гіпотезами. Наприклад, припустивши, що визначений рівень якості продукції, який належить конкретному періоду часу, може бути описаний поверхнею у n - вимірному просторі показників Q^n , припущено підвищення рівня якості охарактеризувати зміною положення відповідної поверхні. Для опису поверхні будується регресійна залежність часу t появи продукції від значень показників якості у вигляді

$$t = \sum_{i=1}^n a_i q_i, \quad (1.11)$$

яка інтерпретується як очікуваний час випуску зразка продукції з визначеними

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

споживчими властивостями. Критичністю конкурентноспроможності проекту прийнятий період між дійсним і розрахованим за залежністю (1.4) часом випуску продукції. При цьому припускається, що поверхні рівнів якості у різні періоди часу є паралельними гіперплощинами, тобто припускається постійна швидкість зростання кожного показника якості у часі. Подібні допущення не відповідають практиці проектування важких виробів машинобудування і не можуть забезпечити об'єктивність оцінки їх рівня якості і, відповідно, надійність прогнозування конкурентноспроможності.

У відповідності до поширеного у економічному аналізі гедонічного підходу прийнято, що різноманітність цін аналогів у кожний момент часу визначається лише їх якістю, що дозволяє встановлювати регресійні залежності у вигляді

$$C_{\Sigma} = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i q_i, \quad (1.12)$$

і визначати показник досконалості проекту у вигляді відношення ціни продукції, яка розраховується до ціни її прототипу. Властивості застосування даного методу суттєво обмежені не лише відсутністю достатньої бази даних у зв'язку з комерційним характером необхідної інформації і статистичною неоднорідністю цінних показників в умовах ринкової економіки, але і однозначною залежністю результатів оцінки суб'єктивного вибору базового прототипу.

При утворенні автоматизованих систем багатократного вибору проектних рішень використовують методи, які основані на аналізі ієрархій (МАІ) [6]. Формування ієрархічних структур зверху-вниз (від головної цілі вибору до другорядних) визначає ступінь важливості показників рівнів, які знаходяться нижче, і дозволяє лише за критеріями (без виділення можливих альтернативних рішень) побудувати модель вибору. При цьому найбільш відповідальним для об'єктивності і однорідності рішень є встановлення вектора коефіцієнтів важливості (пріоритетів) сформованої структури показників, для чого використовують обробку експертної інформації методами парних порівнянь

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(метод вирішуваних матриць), копіювання, стандартів, оцінка нечіткою кількістю. Недолік подібних рішень обумовлений трудомісткістю і тривалістю отримання достатньої експертної інформації, а також необхідністю періодичного коригування елементів вектора пріоритетів у застосуванні до кількості показників якості, які розширюються, і альтернативних проектів сучасних механізмів і машин. Невирішеною залишається також проблема оцінка точності і стабільності результатів, які отримуємо з застосуванням МАІ.

Результати порівняння різних методів і їх можливі застосування зведено в табл. 1.1.

Важливе значення при оцінці технічного рівня маневрових тепловозів відіграє раціональний вибір його характеристик.

Неправильний вибір його номенклатури затрудняє інформаційне забезпечення проектування, ускладнює процес управління якістю маневрових локомотивів, збільшує імовірність випуску неконкурентноспроможності продукції.

1.2 Огляд способів утримання рухомого складу

При виборі системи утримання для рухомого складу слід також врахувати виконавців ТО та ремонту. Для розгляду на основі праць [7], [8] можуть бути прийняті такі існуючі варіанти :

- здавання РС в оренду;
- повне проведення ТОР заводом-виготовлювачем (Adtranz, Alstom, Siemens Transportation Systems (TS), Patentes Talgo S.A., Bombardier);
- проведення ТОР силами стороннього підрядчика, атестованого заводом – виробником (використання послуг зовнішніх підрядників дозволяє побудувати договірні відносини, конкурентне середовище, домагаючись зниження вартості послуг. Для ремонтної організації виконання даного виду ремонтів є профільним бізнесом. Завдяки спеціалізації ремонтні ресурси завантажені повністю, навчання персоналу й підвищення кваліфікації виробляється в одній області. Недоліком

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Таблиця 1.1 - Методи визначення технічного рівня транспортних засобів

Найменування методу	Тип коефіцієнта	Розрахункова формула	Переваги	Недоліки	Застосування
1	2	3	4	5	6
Метод вагових коефіцієнтів	Безрозмірний	$K = \frac{\sum_{i=1}^s k_n \varphi(i)}{\sum_{i=1}^s \varphi(i)}$	1.Простота в порівнянні різних видів маневрових тепловозів 2.Легко піддаються комп'ютерній обробці	1.Коефіцієнт не має фізичного смислу	Для визначення технічного рівня маневрових тепловозів
Методика ГКНТ СРСР	Не має узагальнюючого коефіцієнта. Параметри розмірні		Простота в порівнянні	15% є не-обгрунтованим відхиленням від базового показника	Для визначення технічного рівня нескладних вузлів маневрових тепловозів
Метод на базі функції Харингтона	Безрозмірний	$D = (d_1 d_2 d_3 \dots d_i \dots d_n)^{1/n}$	Можливо інтерпретувати для будь-якого специфічного випадку	Трудомісткий	Трудомісткий
Метод інформаційного оцінення	Безрозмірний	$K = \left(\sum_{i=1}^n a_i \log_2 \bar{k}_i \right)^{-1}$	Визначається без вагових коефіцієнтів	Коефіцієнти повинні визначатися за додатковим вивченням	Для визначення технічного рівня маневрових тепловозів

Продовження табл.

1	2	3	4	5	6
Метод «переваг»	Безрозмірний	$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$	Дозволяє цілеспрямовано знаходити найбільш задовільне рішення	Трудомісткий	Для визначення технічного рівня маневрових тепловозів
Метод використання важкості отримання результату	Безрозмірний	$d^* = \frac{1 - \varepsilon_i (1 - \bar{k}_i)}{(1 - \varepsilon_i) \bar{k}_i}$		Трудомісткий	Для визначення технічного рівня транспортних засобів
Кваліметричний метод (за Бурдаковим)	3 визначеною розмірністю	$T = \frac{A}{G_{p.m.}} \cdot \varphi$	Відображає основні показники використання	Трудомісткий	
Індексний метод	Безрозмірний	$I = E_0 / E_6$	Дозволяє цілеспрямовано знаходити найбільш задовільне рішення на економічній основі	Залежить від багатьох економічних факторів	Для визначення технічного рівня маневрових тепловозів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

0032.206544.ДР.2021.001

Арк.

16

такого способу можна назвати потенційно більше високі розцінки на роботи за рахунок змісту апарата керування підрядної організації, а також можливість неадекватного завищення ціни послуги за рахунок монопольного положення підрядника.);

– проведення ТОР силами ремонтного депо з залученням заводів-виробників ((окремі види вузлів або агрегатів) (Burlington Northern, Santa FE (BNCF), CSX Transportation, Canadian Pacific (CP), Укрзалізниця). Виконання обслуговування сервісними організаціями часто застосовується для нового й складного обладнання, коли кваліфікації підрядника або власних ремонтників недостатньо. Такий спосіб обслуговування дозволяє домагатися найбільшої готовності обладнання, тому що ремонти виконуються за участю компанії - проектувальника й виготовлювача, із застосуванням оригінальних запчастин);

– створення підприємства по ремонту наукоємних вузлів (DBAG (Німеччина));

– проведення ТОР силами депо (Burlington Northern, Santa FE (BNCF), Union Pacific (UP), ТТХ (США), УЗ). Виконання робіт власними силами підвищує надійність виконання завдань, іноді дозволяє знизити вартість робіт, проводити навчання співробітників на постійному составі встаткування. Недоліком цього способу обслуговування можна назвати непрозорість витрат і відсутність конкуренції, іноді неповному завантаженню ремонтних ресурсів, відсутність мотивації на кінцевий результат і високу якість робіт. Виконання ремонтів і сервісу – непрофільний бізнес для підприємства, у нього по визначенню низька рентабельність.);

– створення спеціалізованих депо (по видам ремонту) (DBAG (Німеччина)).

У компанії-виготовлювача фіксуються дані про технічні характеристики компонентів, параметри, що визначають строк служби й загальну надійність, зауваження по вірній організації технічного обслуговування, модернізації або заміни. Компанія, що експлуатує рухомий склад, реєструє інформацію про види відмов, їх причин і наслідки, фіксує дати відмов і пов'язані з їхнім усуненням

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

витрати на опрацювання даних для дослідження поводження вузлів в експлуатації. Дані роботи можна проводити за допомогою різних , методів аналізу. Як приклад, можна назвати визначення критеріїв оцінки частоти відмов і строків служби окремих компонентів. Метою аналізу є, з одного боку, удосконалення конструкції на основі отриманих з досвіду експлуатації найбільш повних даних, що відповідають вимогам відносно вірогідності й можливості подальшої обробки, а також підвищення економічної ефективності рухомого складу в експлуатації. З іншого боку, аналіз необхідний для мінімізації виникаючого при користуванні недостатньою або недостовірною інформацією фінансового ризику виготовлювачів і компаній, що експлуатують рухомий склад.

Дані аналізу способів утримання приведені в табл. 1.2.

1.3 Огляд підходів визначення характеристик маневрових тепловозів

Аналіз визначення характеристик маневрового рухомого складу показав [9], [10], що усі підходи до їх визначення можна розділити на три групи (рис. 1.2).

Першу групу складають підходи, які базуються на прогнозуванні характеристик на основі раніше відомих. Так, в [11] пропонується визначити значення показників по окремим регресійним залежностям питомих характеристик.

Критерієм оптимізації при цьому є максимальний технічний рівень, тобто отримання характеристик локомотива, які відповідали максимальному технічному рівню:

$$K_{TP} = f(E) \Rightarrow \max, \quad (1.13)$$

де E – множина характеристик маневрових тепловозів.

При цьому, наприклад, розглянувши залежності потужностей локомотивів від дотичної сили тяги, швидкості, осьової потужності, питомої ваги та інших, можна побудувати графіки залежностей та отримати рівняння апроксимації. Але

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Таблиця 1.2 – Дані аналізу способів утримання ТРС

Назва способу	Фірма виробник	Система ЕТОР		ТРС	
		Назва	Покоління	Серії ТРС	Покоління
Здавання ТРС в оренду					
Повне проведення ТО та ПР заводом-виготовлювачем	Adtranz, Alstom	Системи підтримки ТО та ПР	IV	Поїзди серії TGV, Eurostar, Магістральні лок-ви, вагони метрополітену	III&IV
	Siemens Transportation Systems (TS), Patentes Talgo S.A.	Комбіновані системи	III	Ел-поїзда серії Desiro UK	IV
Проведення ТО та ПР силами депо з залученням заводів-виробників (окремі види вузлів або агрегатів локомотивів)	Bombardier	Планово-попереджувальний ремонт (по регламенту)	II	Магістральні лок-ви	III&IV
	BurlingtonNorthen, Santa FE (BNCF), CSX Transportation, Canadian Pacific (CP)			Локомотиви всіх типів	II&III&IV
Проведення ТО та ПР силами депо з ремонтом наукоємних вузлів заводами-виготовлювачами	Укрзалізниця, РЖД				
Створення підприємства по ремонту наукоємних вузлів	Укрзалізниця, РЖД				
	DBAG (Німеччина)			Локомотиви всіх типів	III&IV
Проведення ТО та ПР силами депо (залізниці)	BurlingtonNorthen, Santa FE (BNCF), TTX (США), УЗ			Тепловози всіх типів	III&IV
	DBAG (Німеччина)			Тепловози всіх типів	III&IV
Створення спеціалізованих депо (по видам ремонту)	DBAG (Німеччина)			Тепловози всіх типів	III&IV

встановлювати відповідно до гірок, напівгірок шляхів з нахилом. При цьому найбільш залежними від профілю гірки є зчіпна вага та в деякому ступені потужність маневрового локомотива. Виходячи з характеру гіркових робіт потрібні важкі локомотиви, зчіпна вага яких повинна забезпечувати взяття з місця стислого складу в складних умовах профілю. Потужність же їх відносно невелика, так як потрібна швидкість розгону не перевищує 13-14 км/год, а розгін робиться в порівняльно легких умовах. Недоліком цього методу розрахунку є те, що він дозволяє визначити оптимальні характеристики лише для конкретного регіону експлуатації. При цьому технічний рівень його може не відповідати світовому.

Третім способом визначення є розрахунок характеристик маневрових тепловозів по відомим техніко – економічним значенням показників його вузлів та даних про район експлуатації та маневрові операції. В основному цей метод використовуються на заводі виробнику при кінцевому розрахунку характеристик локомотива при вибраних типах вузлів, по відомим формулам [13], [14], [15]. Недоліком даного методу можна назвати отримання маневрових тепловозів з характеристиками, які можуть не відповідати умовам його призначення, а також створення локомотиву при малій ціні низького технічного рівня, або отримання локомотива високого технічного рівня, але ціна його буде висока.

Дослідженнями встановлено, що кожному виду тяги та типу маневрових операцій відповідає своє значення найвигіднішого по техніко-економічним показникам розрахункового, тобто визначаючого вимоги до параметрів локомотива прискорюючого зусилля. На рівень найвигідніших прискорюючих зусиль основний вплив дають вага маневрового состава та ціна на паливо або електроенергію, яка визначає суму енергетичних витрат, пов'язаних з маневровими пересуваннями, а від обсягу роботи величина найвигіднішого зусилля практично не залежить.

Таким чином, переходячи до визначення вимог, яким повинні задовольняти параметри маневрових локомотивів, необхідно перш за все типізувати умови передбачуваної експлуатації по вартості палива та ваговим нормам вантажних

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поїздів.

Розглянуті вище методи визначення характеристик маневрових тепловозів в комплексі не враховують світового технічного рівня, витрат на забезпечення надійності, системи експлуатації, технічного обслуговування та ремонту і регіону експлуатації на протязі всього життєвого циклу. Це і потребує розробки нових підходів до визначення характеристик перспективних маневрових тепловозів.

1.4 Оцінка технічного стану маневрового локомотива відповідно вимог інтероперабельності

1.4.1 Загальні відомості про метод

Як відомо, маневровий тепловоз представляє собою складну систему. Тому оцінку технічного рівня будемо виконувати з використання теорії систем, а метод оцінки технічного рівня назвемо системним методом оцінки технічного рівня маневрових тепловозів. Алгоритм розрахунку по даному методу представлений на рис. 1.3.

Аналіз номенклатури показників технічного рівня маневрових тепловозів показав, що вони в недостатній мірі враховують всі технічні сторони локомотива.

Для врахування всіх цих сторін необхідно виділити основні структурні елементи локомотиву і їх зв'язок між собою, тобто

$$A = \{A_i\}, \quad (1.14)$$

де A_i – i -та підсистема локомотива.

Оскільки взаємний вплив між багатьма елементами підсистем та їх вузлами невідомий, тобто невідомо, як їх взаємна дія буде впливати на технічний рівень локомотива, приймемо, що підсистеми взаємно незалежні. Тоді комплексний коефіцієнт технічного рівня будемо розраховувати за формулою

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

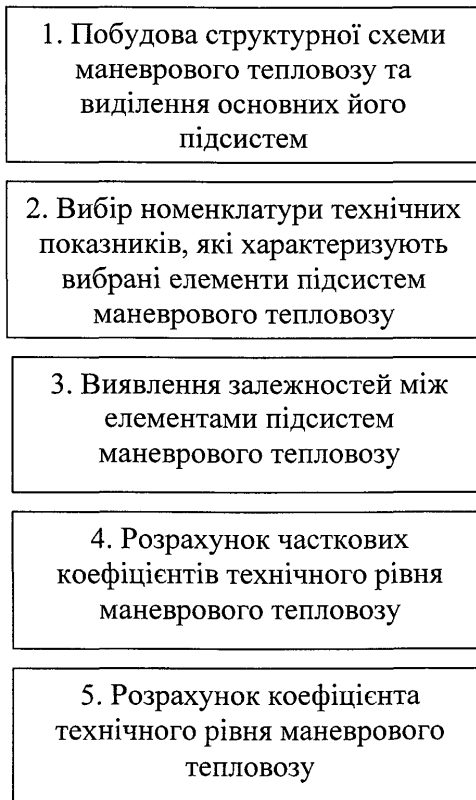


Рисунок 1.3 – Алгоритм прогнозування параметрів маневрового тепловоза

$$K_{TexPiv} = \prod_{i=1}^n K_i, \quad (1.15)$$

де n – кількість підсистем, які виділені в локомотиві;

K_i – коефіцієнти технічного рівня i -ої підсистеми;

В свою чергу, кожна підсистема A_i складається з A_{ij} елементів, тобто

$$A = \{A_{ij}\}. \quad (1.16)$$

При цьому кожний з елементів A_{ij} характеризується своїми технічними параметрами

$$A_{ij} = \{P_{ijk}\}. \quad (1.17)$$

Коефіцієнти технічного рівня i -ої підсистеми розраховуються з використанням бального методу за формулою

$$K_i = \frac{\sum_{j=1}^m K_{ij}^H}{\sum_{j=1}^m K_{ij}^{\bar{6}}}, \quad (1.18)$$

де m – кількість вузлів в i -тій підсистемі локомотива;

$K_{ij}^H, K_{ij}^{\bar{6}}$ – бальні коефіцієнти технічного рівня j -го вузла i -ої підсистеми відповідно нового локомотива і базового, або методу вагових коефіцієнтів

$$K_i = \sum_{j=1}^m q_{ij} K_{ij} = \sum_{j=1}^m q_{ij} \frac{k_{ij}^H}{k_{ij}^{\bar{6}}}, \quad (1.19)$$

де q_{ij} – ваговий коефіцієнт j -го вузла i -ої підсистеми локомотива;

$K_{ij}^H, K_{ij}^{\bar{6}}$ – значення технічного параметру j -го вузла i -ої підсистеми відповідно нового локомотива і базового.

Номенклатури підсистем локомотива та технічних параметрів, що характеризують їх визначаються експертними методами.

1.4.2 Розрахунок технічного рівня складових елементів маневрового тепловоза

Оцінка технічного рівня підсистеми дизеля і його систем. Технічний рівень підсистеми дизеля маневрового тепловоза (рис. 3.3) розраховувався на основі робіт [16], [17], [18], [19] за формулою

$$K_{TP}^1 = \sum_{j=1}^m q_{ij} \frac{k_{ij}^H}{k_{ij}^{\bar{6}}}. \quad (1.20)$$

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З використанням експертного методу були визначені номенклатура показників, ваги та технічний рівень підсистем дизеля і його систем, який дорівнює 1,01.

Оцінка технічного рівня тягового приводу локомотивів. При параметричній оцінці технічного рівня тягового рухомого складу не маловажне значення припадає на оцінку його тягового приводу [19], [20]. Розглянемо модель по оцінці тягового приводу.

Тяговий привід локомотивів представляє собою комплекс пристроїв, які служать для перетворення енергії деякого виду в роботу по доланні опору руху. Для локомотивів з електричною передачею в склад приводу входять тяговий електричний двигун, тяглова передача, колісна пара, перетворювачі і регулюючі пристрої. Структурна схема тягового електроприводу представлена на рис. 1.4.

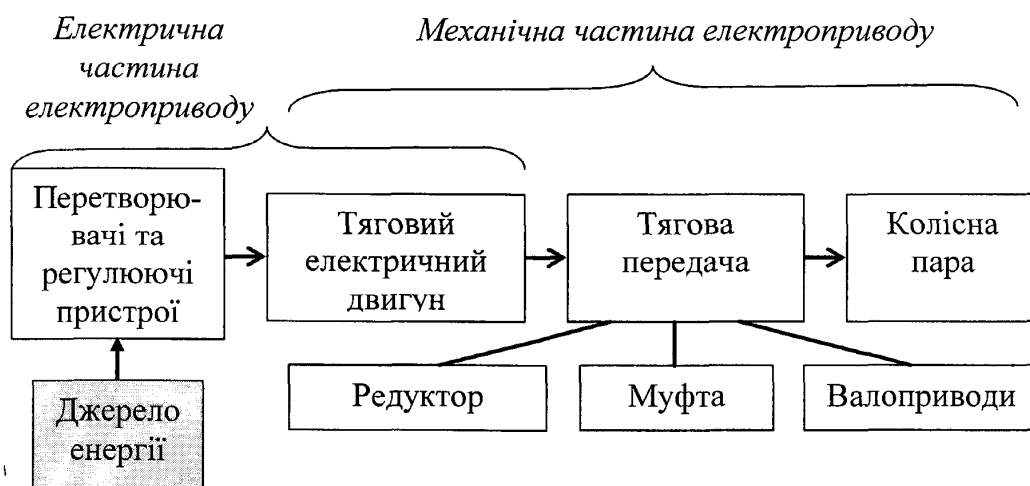


Рисунок 1.4 – Структурна схема тягового електроприводу

Тяговий електричний двигун служить для перетворення електричної енергії в механічну. Тягова передача забезпечує передачу потоку енергії від тягового двигуна до колісної пари. Вона представляє собою складний механізм, який в основному складається з тягового редуктора, муфт і валопроводів, і має багато різних кінематичних схем. Так, положення колісної пари в компоновальній схемі екіпажа визначено однозначно її опорними і направляючими функціями. А розміщення вала тягового електродвигуна має декілька варіантів, які залежать від

ступені підресорення тягового двигуна і взаємної орієнтації геометричних осей тягового двигуна і осі колісної пари.

Перетворюючі і регулюючі пристрої служать для перетворення отриманої від джерела електричної енергії в енергію виду, необхідного для вибраного тягового двигуна та регулювання потоку енергії [20], [21].

Розглянута складність тягового приводу викликає і складність оцінки його технічного рівня. На першому етапі проведена класифікація тягових приводів. Так, згідно з тягові приводи локомотивів бувають з односторонньою і двосторонньою передачами. По ступені динамічної досконалості всі приводи діляться на три класи:

- 1 клас – двигуни і редуктори з опорно-осьовим підвішуванням;
- 2 клас – двигуни з рамним підвішуванням, редуктори - з опорно-осьовим;
- 3 клас – двигуни і редуктори з рамним підвішуванням.

Вся множина тягових приводів локомотивів з урахуванням їх динамічних властивостей, виду тягових двигунів, системи перетворення та регулювання енергії і колісних пар була поділена по 11 признакам (рис. 1.5).

На другому етапі кожній групі конструктивних рішень експертним методом по кожному признаку були виставлені бали.

Якщо груп по даному признаку було дві, то виставляється 1 або 0 балів, якщо три – то 0, 0.5, 1 бал, якщо чотири – 0, 0.33, 0.67 і 1 бал. Результати розрахунків представлені в табл. 1.3.

На третьому етапі визначався технічний рівень тягового приводу бальним методом за формулою

$$K_{TP}^2 = \frac{\sum_{i=1}^m b_i}{n}, \quad (1.21)$$

де b_i – бал i -го конструктивного признаку;

n – кількість ознак.

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тягові електроприводи тягового рухомого складу



Рисунок 1.5 – Класифікація тягових електроприводів локомотивів

Таблиця 1.3 – Визначення балів конструктивних груп по признакам тягових передач

Признак	Найменування конструктивної групи	Бал
1	2	3
1	Перетворювальні та регулювальні пристрої типу А	0
	Перетворювальні та регулювальні пристрої типу Б	0,5
	Перетворювальні та регулювальні пристрої типу С	1
2	Колекторні двигуни (постійного струму)	0
	Синхронні двигуни	0,5
	Асинхронні двигуни	1
3	Опорно-осьовий двигун	0
	Опорно-рамний двигун	1
	Груповий привід	0
	Індивідуальний привід з 1-сторонньою передачею	0,5
	Індивідуальний привід з 2-х сторонньою передачею	1
5	Опорно-осьовий редуктор	0
	Опорно-рамний редуктор	1
6	Схема з кінематичним зв'язком між вертикальним переміщенням колеса і кутом повороту редуктора	0
	Схема без кінематичного зв'язку між вертикальним переміщенням колеса і кутом повороту редуктора	0,5
	Схема без кінематичного зв'язку між вертикальним переміщенням колеса і кутом повороту редуктора при опорно-рамному підвішуванні	1
7	Редуктор циліндричний одноступінчатий	0
	Редуктор конічний	0,33
	Без редукторний привід	0,66
	Редуктор циліндричний з проміжною шестернею або двоступінчатий редуктор	1

Продовження табл.1.3

1	2	3
8	3 муфтами поперечної компенсації	0
	3 муфтами повздовжньої компенсації	1
9	3 коротким проміжковим валом	0
	3 довгим проміжковим валом	1
10	Цільна колісна пара	0
	Збірна колісна пара	1
11	Діаметр колісної пари менший 950 мм	0
	Діаметр колісної пари від 950 мм до 1050 мм	0,33
	Діаметр колісної пари від 1050 до 1250 мм	0,66
	Діаметр колісної пари більший 1250 мм	1

Результати розрахунків по кожному виду тягового рухомого складу, який експлуатується на залізницях України та ближнього зарубіжжя представлений в табл.1.4.

Таблиця 1.4 – Технічний рівень тягових електроприводів тепловозів, який розрахований бальним методом

Ознака	Маневровий локомотив					
	ТЭМ2	ТЭМ7	ЧМЭ3	ЧМЭ2	ТЕМ103	ТЭМ21
1	2	3	4	5	6	7
Клас приводу	1	2	1	1	2	3
1 ознака	0	0,5	0	0	0,5	1
2 ознака	0	0	0	0	0	1
3 ознака	0	0	0	0	0	1
4 ознака	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
5 ознака	0	0	0	0	0	1
6 ознака	0	0	0	0	0,5	1

Продовження табл. 1.4

1	2	3	4	5	6	7
7 ознака	0	0	0	0	0	0
8 ознака	0	0	0	0	0	0
9 ознака	0	0	0	0	0	0
10 ознака	1	1	1	1	1	1
11 ознака	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
K_{TP}^2	0,16	0,25	0,16	0,16	0,25	0,62

З даної таблиці видно, що найбільший технічний рівень мають локомотиви з 3 класом приводу по степені динамічної досконалості.

1.4.3 Визначення технічного рівня маневрового тепловоза

Розрахунок технічного рівня маневрового тепловоза виконано за вищенаведеним алгоритмом, а основні результати приведені в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Визначення технічного рівня маневрових тепловозів методом на основі системного аналізу

І рівень підсистеми	Технічний рівень		
	ТЕМ103	ТЭМ21	ЧМЭ2
Дизель і його підсистеми	1,01	1,08	1,00
Передача	1,04	1,17	1,00
Ходова частина	1,01	1,02	1,00
Допоміжне обладнання	1,05	1,1	1,00
Сумарний коефіцієнт технічного рівня	1,11	1,26	1,00

2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗА

2.1 Прогнозування показників надійності маневрового тепловоза

Вирішення цього завдання досить наукоємна справа, яка повинна будуватися на сучасних методах розрахунку конструктивних особливостей ТРС з урахуванням надійності його роботи. Згідно з [22], [23], [24], [25] вибір номенклатури ПН проводиться на основі класифікації виробів за ознаками, що характеризуються їх призначенням, наслідками відмов та досягненням критичного стану, особливостями режимів використання та іншим. Визначення класифікаційних ознак виробу здійснюється шляхом інженерного аналізу та узгодженням його результатів між замовником та розробником. При цьому головним джерелом інформації для такого аналізу є характеристика його призначення, умови експлуатації та дані надійності виробу - аналогу.

Для обґрунтування значення ПН використовують розрахункові, експериментальні або розрахунково-експериментальні методи [26], [27].

Розрахункові методи використовують для виробів, на які відсутні статистичні дані іспитів прототипів - аналогів.

Порядок розрахунку показників надійності такий:

- Розробка структурно-функціональної схеми локомотива з розподілом обладнання на функціональні групи, елементи.
- Визначення можливого вигляду відмов окремого обладнання ТРС.
- Визначення впливу відмов вузлів ТРС на виконання його функцій, заповнення функціональної таблиці одиницями та нулями згідно впливу відмов вузла на виконання функції.
- Побудова рівнянь для визначення показників надійності роботи ТРС в цілому та за його функціями.

В результаті аналізу робіт з надійності розроблена адаптивна модель

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Надійність маневрового тепловоза на етапі проектування пропонується визначати по двом моделям.

Формально моделі можна класифікувати на три види: аналітичні, у виді графів та імовірнісні. Найбільш наглядними являються моделі у виді графів. На основі робіт [28], [29] була розроблена модель у вигляді блок-схем розрахунку надійності, алгоритм розрахунку по якій представлений на рис. 2.2, а згорнута структурна блок-схема на рис. 2.3.

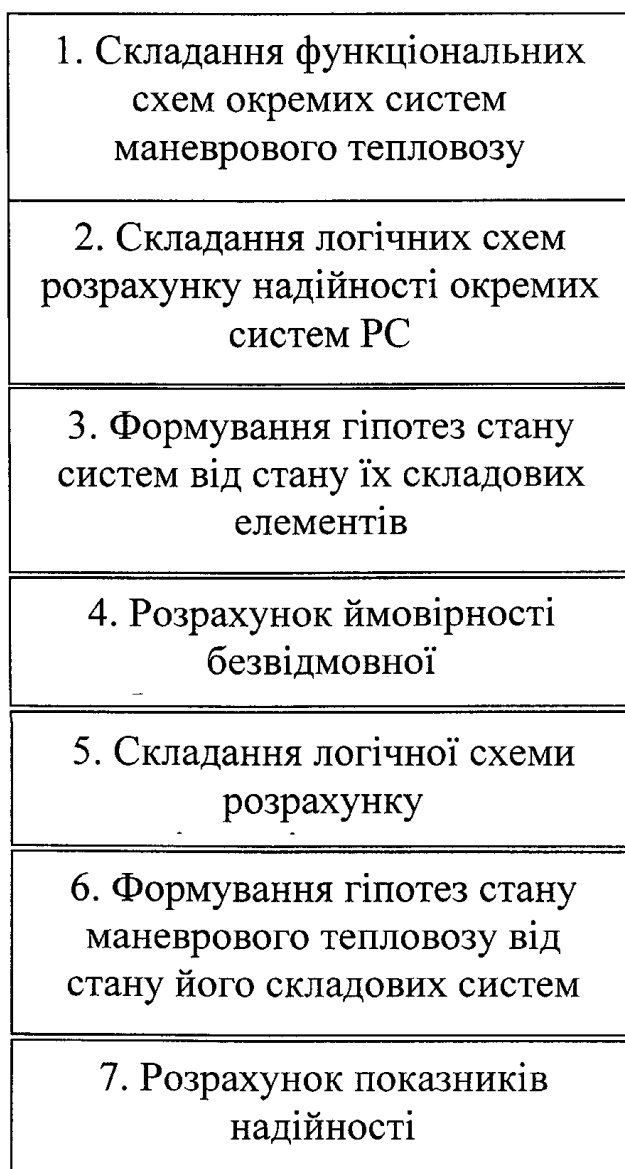


Рисунок 2.2 – Алгоритм розрахунку показників надійності маневрового тепловоза з використанням моделі у вигляді блок-схем.

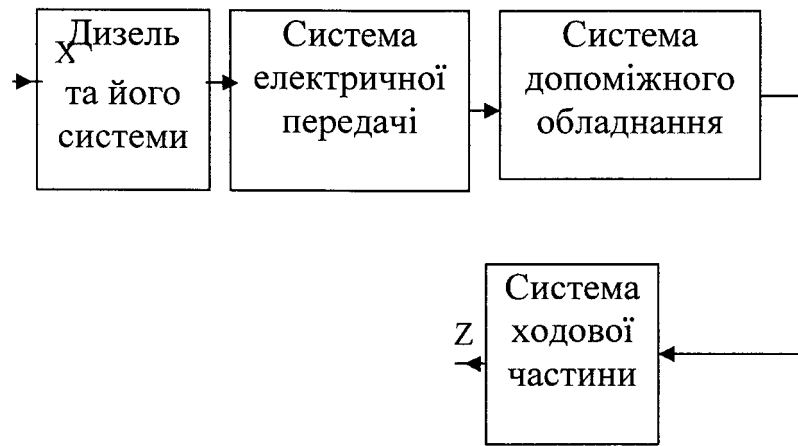


Рисунок 2.3 – "Згорнута" логічна схема розрахунку надійності маневрового тепловоза

Суть її полягає в наступному. Спочатку маневровий тепловоз розділили на основні підсистеми для яких складаються функціональні схеми.

Як моделі при розрахунку надійності складних технічних систем і найбільше часто застосовують структурні схеми. Перед складанням структурної схеми був зроблений аналіз функціонування системи й елементів, перелічені і описані можливі відмовлення елементів, оцінений вплив відмовлення кожного з них на працездатність систем тепловоза. При цьому припущено, що відмовлення елементів незалежні, а система й елементи можуть знаходитися тільки в двох станах: працездатному і непрацездатному.

Маневровий тепловоз ТЕМ103, як складна технічна система складається з багатьох елементів, систем і підсистем, але за властивістю і виконуваної роботи його можна розбити на чотири наступні функціональні підсистеми з їх елементами: дизель і його підсистеми, підсистема електричної передачі, ходова підсистема та підсистема допоміжного обладнання, які представлені в табл. 2.1.

При складанні структурної схеми функціональні зв'язки між елементами замінюються логічними, що характеризують безвідмовну роботу системи в залежності від стану елементів.

Елемент, при відмовленні якого відмовляє вся система, вважається послідовно з'єднаним у логічній схемі, а елемент, відмовлення якого не приводить

Таблиця 2.1 – Функціональні системи і елементи маневрового тепловоза

ТЕМ103

Найменування системи, елементу	Позначення ймовірності відмови	Кіл-ть елементів на маневровому тепловозі
1	2	3
Підсистема ходової частини (СХЧ)		
Рама тепловоза	q_{PB}	1
Автозчіпний пристрій	$q_{АЗП1} = q_{АЗП2}$	2
Ударопоглинаючий апарат	$q_{УПА1} = q_{УПА2}$	2
Рама візка	$q_{РВіз1} = q_{РВіз2}$	1
Колісна пара	$q_{КП1} = q_{КП2} =$ $= q_{КП3} = q_{КП4}$	4
Буксовий вузол з комплектом пружин	$q_{БВ1} = q_{БВ2} =$ $= \dots = q_{БВ8}$	8
Фрикційні гасники коливань	$q_{ГК1} = q_{ГК2} = \dots = q_{ГК8}$	16
Возвертаючий пристрій	$q_{ВП1} = q_{ВП2} =$ $= \dots = q_{ВП8}$	8
Підсистеми дизеля з системами забезпечення (СДЗ)		
Паливна система	$q_{ПС1} = q_{ПС2}$	1
Масляна система	$q_{МС1} = q_{МС2}$	1
Водяна система	$q_{ВС1} = q_{ВС2}$	1
Повітряна система	$q_{ПовС1} = q_{ПовС2}$	1
Випускна система	$q_{ВунС1} = q_{ВунС2}$	1
Система дренажу	$q_{СД1} = q_{СД2}$	1

Продовження табл.2.1

1	2	3
Система автоматики	$q_{СА1} = q_{СА2}$	1
Дизель	$q_{Д1} = q_{Д2}$	1
Підсистема електричної передачі (СЕП)		
Тяговий генератор	$q_{Г1} = q_{Г2}$	1
Силова електросхема	$q_{СЕ1} = q_{СЕ2}$	1
Тяговий електродвигун	$q_{ТЕД1} = q_{ТЕД2} =$ $= \dots = q_{ТЕД4}$	4
Тяговий редуктор	$q_{ТягРед1} = q_{ТягРед2} =$ $= \dots = q_{ТягРед4}$	4
Підсистема допоміжного обладнання (СДО)		
Редуктори, вентилятори	$q_{РВ1} = q_{РВ2} = q_{РВ}$	1
Обладнання системи електропостачання	$q_{ОЕПО1} = q_{ОЕПО2} =$ $= q_{ОЕПО3}$	1
Обладнання піскової системи	$q_{ОПС1} = q_{ОПС2}$	1
Обладнання гальмової системи	$q_{ОГС1} = q_{ОГС2} =$ $= \dots = q_{ОГС3}$	1

до відмови системи, включається в рівнобіжне з'єднання в логічній схемі.

Якщо в загальному випадку ми маємо n елементів, імовірність безвідмовної роботи кожного з яких дорівнює відповідно $P_i, i=1, n$, то формули для розрахунку імовірності безвідмовної роботи системи мають такий вигляд:

- для послідовного з'єднання елементів:

$$P_{\text{посл}} = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (2.1)$$

- для паралельного з'єднання елементів:

$$P_{нар} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i). \quad (2.2)$$

Розгорнута структурна схема тепловоза складається з послідовно з'єднаних підсистеми дизеля з підсистемами його забезпечення, підсистеми електричної передачі, підсистеми допоміжного обладнання та підсистеми обладнанням гальмової системи.

Сформулюємо гіпотези щодо технічного стану складових частин тепловоза. Оскільки його працездатність у цілому й окремих його складових залежить від технічного стану дизеля, то і гіпотези формулюються щодо стану дизеля:

- гіпотеза Н1 - наприкінці роботи дизель працездатний;
- гіпотеза Н2 - дизель відмовив.

При цьому імовірності висловлених гіпотез:

$$\begin{aligned} P_{H_1} &= (1 - q_D) \\ P_{H_2} &= q_D \end{aligned} \quad (2.3)$$

де q_D – ймовірність відмови дизеля.

Для спрощення розрахунків була проведена мінімізація логічних підсистем тепловоза "згоранням" рівнобіжних і послідовних ланцюжків з розрахунком вихідних даних за імовірністю відмовлень об'єднаних елементів.

Ймовірність безвідмовної роботи підсистеми ходової частини виражається формулою

$$\begin{aligned} P_{СХЧ} &= q_D (1 - q_D) [(1 - q_{РВ})(1 - q_{АЗП})(1 - q_{УПА})(1 - q_{РВіз}) \times \\ &\times (1 - q_{КП})(1 - q_{БВ})(1 - q_{ГК})(1 - q_{ВП})] \end{aligned} \quad (2.4)$$

Ймовірність безвідмовної роботи підсистеми дизеля з його підсистемами виражається формулою

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{CD3} = (1-q)(1-q_{PC})(1-q_{MC})(1-q_{BC})(1-q_{ПовC}) \times (1-q_{CD})(1-q_{CA}) \quad (2.5)$$

Ймовірність безвідмовної роботи підсистеми електричної передачі виражається формулою

$$P_{СЕП} = (1-q_D) \left[\left[1 - (1 - (1 - q_G)(1 - q_{CE})) \right] \times \sum_{i=2}^4 C_4^i (1 - q_{EDTP})^i q_{EDTP}^{4-i} \right] \quad (2.6)$$

Ймовірність безвідмовної роботи підсистеми допоміжного обладнання виражається формулою

$$P_{CDO} = (1-q_D)(1-q_{OGC})(1-q_{OSDO}) \quad (2.7)$$

Повну ймовірність безвідмовної роботи маневрового тепловоза буде представляти наступна формула

$$P_{CMT} = P_{CD3} \cdot P_{СЕП} \cdot P_{CDO} \cdot P_{CXЧ} \quad (2.8)$$

$$P_{CMT} = \left[(1-q)(1-q_{PC})(1-q_{MC})(1-q_{BC})(1-q_{ПовC})(1-q_{ВунC}) \times (1-q_{CD})(1-q_{CA}) \right] \times \left[(1-q_D) \left[1 - (1 - (1 - q_G)(1 - q_{CE})) \right] \times \sum_{i=2}^4 C_4^i (1 - q_{EDTP})^i q_{EDTP}^{4-i} \right] \times \left[(1-q_D)(1-q_{OGC})(1-q_{OSDO}) \right] \times \left[q_D(1-q_D) \left[(1-q_{PB})(1-q_{AZП})(1-q_{УПА})(1-q_{PBiz})(1-q_{КП}) \times (1-q_{BB})(1-q_{ГК})(1-q_{ВП}) \right]^3 \right] \quad (2.9)$$

Як впливає із зробленого раніше аналізу маневровий тепловоз є складною, великогабаритною і дорогою продукцією, що не дозволяє у короткий термін надати у експлуатацію необхідну кількість зразків для відповідності плану випробувань на надійність (7-10 зразків), тому для забезпечення об'єктивності

						0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			38

оцінювання показників надійності на етапі проектування необхідно залучити додаткову статистичну інформацію про роботу аналогічних елементів тепловозів.

Як джерела додаткової інформації варто використовувати результати аналізу надійності при проектуванні; попередніх випробувань РС; попередніх випробувань складових частин РС; випробувань РС-аналогів; випробувань РС, що мають аналогічні складові частини; попередніх експлуатаційних спостережень за РС; попередніх експлуатаційних спостережень за складовими частинами РС; попередніх експлуатаційних спостережень за аналогами; попередніх експлуатаційних спостережень за РС, що мають аналогічні складові частини.

Вихідні дані для розрахунків підсистем маневрового тепловоза представлені в табл. 2.2. Результати розрахунків представлені в табл. 2.3.

Але одним із недоліків моделей у виді графів є допущення про тверду фіксацію значень імовірності безвідмовної роботи елементів без обліку динаміки зміни процесів у часі.

Особливо велике значення має надійність маневрових тепловозів в експлуатації. На основі кількісних показників надійності розробляються заходи по підвищенню надійності тепловоза і його вузлів. Тому велике значення приділяється збору та обробці інформації, до якої пред'являються такі вимоги: достовірність, повнота інформації, інформативність та стислість та концентрація інформації в одному.

Після збору інформації про надійність локомотива виконується її обробка. Для цього на основі НД визначається план спостережень, який залежить від конкретних умов і поставлених завдань. Потім виконується первинна обробка статистичної інформації. На її основі визначається закон розподілу одним із методів: методом моментів, методом розділяючих розділень, графічним методом. Для визначення закону розраховуються його параметри. Після розрахунку показників надійності виконується їх аналіз, на основі якого може бути прийняте одне із рішень:

- необхідність удосконалити конструкцію лімітуючих вузлів;

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Таблиця 2.2 – Імовірності відмов елементів підсистем маневрового тепловоза

Найменування елементу	Ймовірність відмови
1	2
Рама тепловоза	$q_{PB} = 0,0098$
Автозчепний пристрій	$q_{АЗП1} = q_{АЗП2} = 0,0095$
Ударопоглинаючий апарат	$q_{УПА1} = q_{УПА2} = 0,0012$
Рама візка	$q_{РВіз1} = q_{РВіз2} = 0,0098$
Колісна пара	$q_{КП1} = q_{КП2} = q_{КП3} = q_{КП4} = 0,0001$
Буксовий вузол з комплектом пружин	$q_{БВ1} = q_{БВ2} = \dots = q_{БВ8} = 0,0091$
Фрикційні гасники коливань	$q_{ГК1} = q_{ГК2} = \dots = q_{ГК8} = 0,0012$
Повертаючий пристрій	$q_{ВП1} = q_{ВП2} = \dots = q_{ВП8} = 0,0022$
Паливна система	$q_{ПС} = 0,04297$
Масляна система	$q_{МС} = 0,0289$
Водяна система	$q_{ВС} = 0,0124$
Повітряна система	$q_{ПовС} = 0,0031$
Випускна система	$q_{ВунС} = 0,0092$
Система дренажу	$q_{СД} = 0,0014$
Система автоматики	$q_{СА} = 0,01602$
Дизель	$q_{Д} = 0,1174$
Тяговий генератор	$q_{Г} = 0,0003$
Силова електрична схема	$q_{СЕ} = 0,0912$
Тяговий електродвигун	$q_{ТЕД1} = \dots = q_{ТЕД4} = 0,0143$
Тяговий редуктор	$q_{ТязРед1} = \dots = q_{ТязРед4} = 0,0152$
Редуктори, вентилятори	$q_{РВ1} = q_{РВ2} = 0,0175$
Обладнання система електропостачання, опалення вагонів	$q_{ОЕПО} = 0,0040$

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Продовження табл. 2.2

1	2
Обладнання піскової системи	$q_{ОПС} = 0,0413$
Обладнання гальмової системи	$q_{ОГС} = 0,0008$

Таблиця 2.3 – Ймовірність безвідмовної роботи маневрового тепловоза ТЕМ103

Найменування підсистеми тепловоза	P(ТО-3)
Ходова частина	0,8032
Дизель з системами його забезпечення	0,7927
Електрична передача	0,8321
Допоміжне обладнання	0,9565
В цілому маневровий тепловоз	0,5067

- необхідність удосконалити технологію виготовлення;
- необхідність удосконалити систему експлуатації та ремонту тепловозів;
- продовжити експлуатацію без змін.

2.2 Розробка моделі розрахунку показників надійності маневрових тепловозів

Основні поняття надійності викладені в [23], [27]. Вся номенклатура показників надійності розділяється на п'ять груп. В кожній групі в основному передбачені одиничні показники, яких налічується більше 40. З однієї сторони така велика кількість показників характеризує надійність транспортного засобу майже повністю, але з іншої - вони не зв'язані одним критерієм і не дають можливість оцінити його загальну надійність по одному із показників, які розглядаються. Як показав аналіз існуючих в даний час критеріїв оцінки надійності локомотивів не відповідають в повній мірі сучасним вимогам оцінки технічної якості локомотива в цілому. Усунути дані недоліки можливо, якщо усі необхідні показники надійності звести до робочого виду рівняння кваліметрії. Для

отримання функції від декількох незалежних змінних можна використати можливості теорії аналізу розмірностей, яка широко використовується в механіці, фізиці та інших областях наук.

Метод аналізу розмірностей дає інформацію, яка залежить тільки від прийнятого визначення величини, та обов'язкових відношень між перемінними, прийнятими до розгляду в даній задачі. Інженерний аналіз отриманого розв'язку даним методом дозволяє оцінити вирішення, яке знаходиться в досягненні поставленої мети, отриманих виводів та практичну придатність цих рішень. По виду кінцевої формули завжди можна судити про її придатність та повноту.

Надійність локомотива залежить від багатьох факторів: конструкційної надійності, регіону експлуатації, системи обслуговування та ремонту, стану ремонтної бази депо, організації експлуатації. В загальному вигляді критерій надійності локомотива можна записати як деяку функцію $K_{н.л.}$ від показників його оцінки

$$K_{н.л.} = f(K_{т.н.}, K_{р.е.}, K_{с.о.}, K_{с.е.}), \quad (2.10)$$

де $K_{т.н.}$ – показники, які характеризують конструкційну технічну надійність;

$K_{р.е.}$ – показники, які характеризують регіон експлуатації;

$K_{с.о.}$ – показники, які характеризують систему обслуговування та ремонту;

$K_{с.е.}$ – показники, які характеризують систему організації експлуатації локомотивів.

Робочий вид цього рівняння, при допомозі методу аналізу розмірностей, буде представляти функцію від незалежних змінних аргументів через добуток цих аргументів взятих з різними показниками ступеня

$$K_{н.л.} = k_{т.н.}^a \cdot k_{р.е.}^b \cdot k_{с.о.}^c \cdot k_{с.е.}^d \cdot P, \quad (2.11)$$

де k_i – показники, які характеризують i -й фактор;

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

a, b, c, d – показники ступеня;

P – показник надійності локомотива.

Оцінити надійність локомотива можливо також по критерію надійності локомотива, який розраховується по формулі

$$K_{н.л.} = \gamma \cdot P_k, \quad (2.12)$$

де γ – поправочний коефіцієнт;

P_k – конструкційна надійність локомотива.

При цьому поправочний коефіцієнт запишеться у вигляді

$$\gamma = \gamma_k \cdot \gamma_e = \gamma'_k \cdot \gamma''_k \cdot \gamma'''_k \cdot \gamma'_e \cdot \gamma''_e \cdot \gamma'''_e. \quad (2.13)$$

Вивести формулу для точного розрахунку коефіцієнта надійності локомотивів з урахуванням регіону експлуатації та інших факторів на основі апріорної інформації практично неможливо. Тому для виводу необхідних формул був використаний математичний апарат теорії ймовірностей та математичної статистики.

Поправочний коефіцієнт розраховується по формулі

$$\gamma_e = \frac{P_e}{\gamma_k P_k}, \quad (2.14)$$

де P_e – значення показника надійності локомотива по статистичним даним експлуатації.

При цьому враховуються уже усі розглянуті фактори, які впливають на надійність локомотива в процесі його експлуатації.

Величина впливу факторів, які розглядаються на критерій надійності локомотиву визначається з допомогою факторного аналізу [30].

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

2.3 Адаптивна модель системи утримання маневрових тепловозів

Оскільки маневровий тепловоз проектується з новими вузлами і системами, для яких існуючі підходи в обслуговуванні та ремонті не влаштовують, то необхідний нових підхід до створення системи експлуатації і ремонту, який базувався б на створенні системи для обладнання, що , використовується.

В результаті зробленого в попередніх підрозділах аналізу була розроблена адаптивна модель системи ЕТОР, алгоритм реалізації якої представлений на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Адаптивна модель системи ЕТОР для нових маневрових тепловозів

Система ЕТОР (S_{ETO}) залежить від техніко-конструктивних параметрів РС (T_{TP}), ремонтної бази депо ($T_{РЕМ}$) і системи експлуатації ($T_{ЕКС}$), тобто

$$S_{ETO} = f(T_{TP}, T_{РЕМ}, T_{ЕКС})$$

На першому етапі (рис. 2.5) виконується аналіз та розрахунки необхідних показників, які характеризують технічні характеристики маневрового тепловоза

(стан 1), ремонтну базу (стан 2) та систему експлуатації (стан 3).

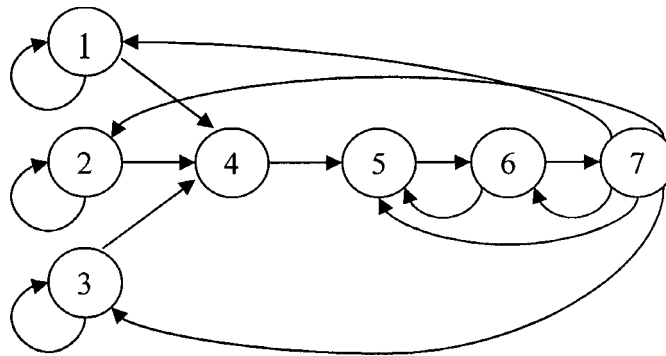


Рисунок 2.5 – Граф станів процесу вибору системи ЕТОР

Вибір типу системи ЕТОР виконується на другому етапі (стан 4) експертним методом.

На третьому етапі (стан 5) виконується оптимізація системи ремонту, в результаті якої отримують основні показники системи ЕТОР: кількість і порядок чергування ТО та ПР в повний період роботи маневрового тепловоза між капітальними ремонтами, міжремонтні пробіги, обсяги та тривалість ТО та ПР.

Раціональний ремонтний цикл вибирається із множини раціональних варіантів з використанням поетапного структурного аналізу конструкції маневрового тепловоза та визначенні для окремих деталей та груп деталей раціональних напрацювань між ремонтами L_{pij} . Оскільки на початковій стадії придбання маневрових тепловозів буде мала кількість, то критерієм оптимізації вибрано мінімум сумарного простою тепловозів на ТО, ПР та непланових ремонтах, тобто

$$F_{ij} = \sum_j \sum_{i=ТОЗ}^{ПРЗ} (T_{pij}) \Rightarrow \min. \quad (2.15)$$

Ввівши обмеження, які характеризують регіон експлуатації та обсяги робіт відповідно до граф моделі станів процесу експлуатації та ТОР (рис. 2.6) складається рівняння Колмогорова відносно ймовірностей станів. А потім по відомим формулам розраховуються характеристики системи ЕТОР.

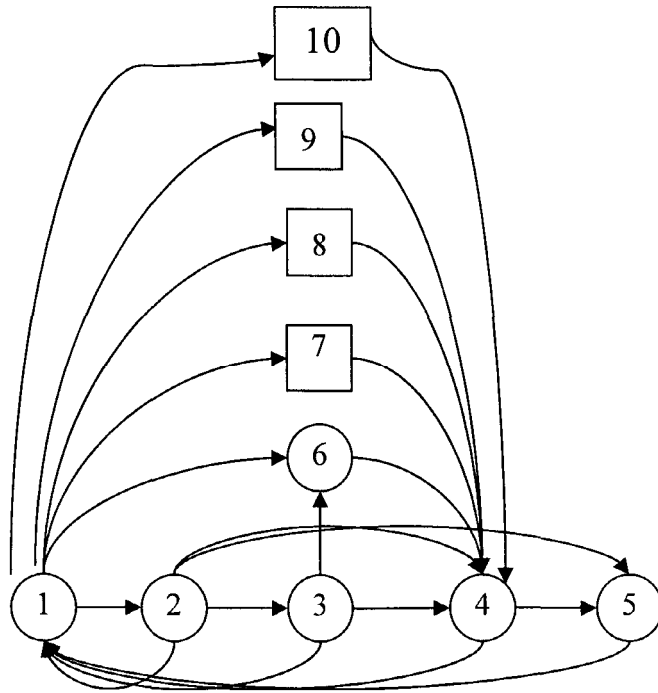


Рисунок 2.6 – Граф станів процесу ЕТОР

1. Експлуатація; 2. ТО-1; 3. ТО-2; 4. Екіпіровка; 5. Очікування експлуатації;
6. Технічні обслуговування; 7. Поточні ремонти; 8. Капітальні ремонти; 9. Позапланові ремонти; 10. Сервісне обслуговування та ремонт.

При організації проведення ТОР визначення характеристик систем ремонту виконувалось як для стохастичних моделей з використанням Марківських систем обслуговування.

Під час експлуатації РС (стани 6, 7) система ЕТОР корегується (стан 5) з урахуванням експлуатаційних показників та діагностичних даних, які накопичуються та обробляються. Аналогічно виконується корегування параметрів системи і, при модернізації, вузлів маневрового тепловоза, або ремонтної чи експлуатаційної бази депо. Експлуатація дасть можливість виявити слабкі вузли, які необхідно буде удосконалити, що приведе до зміни технічних параметрів РС, і, як наслідок, до корегування самого типу системи ЕТОР (повертаємось до першого етапу). Удосконалення системи експлуатації або ремонтної бази депо за рахунок впровадження нових технологій ремонту або інших заходів також приведе до необхідності корегування типу ЕТОР. Аналогічні роботи необхідно

буде виконувати і при модернізації РС заводом- виробником.

2.3.1 Техніко-конструктивні характеристики маневрового тепловоза

Зробимо аналіз вузлів маневрового тепловоза по відношенню їх до покоління локомотивів [31]. Результати аналізу представлені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати аналізу

Найменування системи, елементу	Покоління	
	ТЭМ103	ТЭМ21
1	2	3
Система ходової частини (СХЧ)		
Рама локомотива	2	2
Автозчепний пристрій	3	3
Ударопоглинаючий апарат	2	2
Рама візка	2	3
Колісна пара	2	2
Буксовий вузол з комплектом пружин	2	2
Фрикційні гасники коливань	2	2
Повертаючий пристрій	2	2
Системи дизелів з їх системами забезпечення (СДЗ)		
Паливна система	2	2
Масляна система	2	2
Водяна система	2	2
Повітряна система	2	2
Випускна система	2	2
Система дренажу	2	2
Система автоматики	2	3
Дизель	2	2

1	2	3
Система електричної передачі (СЕР)		
Тяговий генератор	2	2
Силова електросхема	2	3
Тяговий електродвигун	2	3
Тяговий редуктор	2	2
Система допоміжного обладнання (СДО)		
Редуктори, вентилятори	2	2
Об лад. системи ел. пост., опал.	3	3
Обладнання піскової системи	2	2
Обладнання гальмової системи ДП	2	2
Система діагностики та управління	3	3

Звідси бачимо, що на локомотивах, як ТЕМ103, так і ТЭМ21 використовуються системи другого та третього покоління, тому використання планово-попереджувальної системи ремонту в чистому вигляді для тепловозів ТЕМ103 буде не доцільним. Це викликає необхідність розробки нових підходів до створення системи ТОР для даного тепловоза.

2.3.2 Оцінка ремонтної бази

Аналіз ремонтної бази локомотивних депо Укрзалізниці показав наступне. Місця проведення ТО-2 повинні бути обладнані оглядовими канавами, а також забезпечена безпека проведення робіт і можливість збереження інструменту, мастильних матеріалів і запчастин, необхідних для проведення ТО-2; у випадку проведення ТО-2 локомотивам обладнаним вмонтованими (бортовими) пристроями діагностики, необхідно мати пристрої для зняття цих даних з бортової системи [32].

ПТОЛ повинні бути оснащені обладнанням і пристроями, забезпечені

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

вимірювальними приладами і інструментом, необхідними для виконання всіх операцій при ТО-2. Номенклатура і кількість обладнання, пристроїв і вимірювальних приладів встановлюється в залежності від серії локомотиву та інших факторів. На ПТОЛ повинне бути крите стійло, що обладнується, як правило, до типових проектів. На кожному ПТОЛ утворюється запас вузлів і деталей локомотивів, матеріалів та комплектуючих виробів.

При проведенні поточних ремонтів за агрегатним методом ремонту депо повинне бути обладнано у відповідності до робіт, що виконують на 5 позиціях:

– перша позиція - (демонтаж та монтаж дизель-генератора, допоміжного обладнання, підготовка секції до збірки) обладнане двоюрисними площадками, куди проведено стисле повітря, низьковольтне освітлення та напруга для виконання зварювальних робіт. На площадках встановлені консольні крани, стелажі, верстати та інші пристрої;

– друга позиція - монтаж та центрування допоміжного обладнання з дизель-генератором. Ремонт, монтаж секцій холодильника, електричне та автогальмівне обладнання. Обладнане двоюрисними площадками, куди проведено стисле повітря, низьковольтне освітлення та напруга для виконання зварювальних робіт. На площадках встановлені консольні крани, стелажі, верстати та інші пристрої;

– третя позиція - позиція ремонту ходової частини. Позиція обладнана чотирма домкратами вантажопід'ємністю 30 тс кожний та пультами керування. Для розбирання візків мають бути пересувні електрогайковерти для відкручування гайок під буксових струнок. Також повинні бути повітряні підйомники для підймання та утримання ТЕД. Для запобігання пересуву колісних пар робоче місце обладнане фіксаторами. Має бути обладнання для дефектування та перевірки геометричних розмірів рами візку. Для проведення зварювальних робіт позиція обладнана низьковольтним освітленням та напругою для виконання зварювальних робіт;

– четверта позиція - екіпіровка, збірка візка з колісно-моторними блоками, тому повинні бути пересувні гайковерти та три повітряних підйомника;

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

– п'ята позиція - реостатні випробування.

Враховуючи вказане в табл. 2.4 для нового маневрового тепловоза ТЕМ103 позиції ТО-2, ПТОЛ та друга позиція поточного ремонту повинні бути переобладнані.

2.3.3 Оцінка системи експлуатації та екіпірування

При експлуатації локомотивів вимагається висока якість організації руху поїздів та технічного обслуговування локомотивів та добре функціонуюча система АСУЗТ. При організації експлуатації локомотивів намагаються, щоб кожен локомотив якнайбільше часу знаходився в дії при мінімальній витраті енергії, матеріальних та трудових засобів.

Серед існуючих систем експлуатації для маневрових локомотивів можна виділити по ефективності зонний спосіб експлуатації, коли локомотиви декількох депо працюють на залізничному полігоні, що складається з декількох лінійних ділянок. При цьому локомотиви експлуатуються по єдиному графіку обороту та відправляються від вузлових станцій в будь-якому напрямку з першим готовим поїздом. При цьому збільшується ефективність роботи маневрових локомотивів, через те, що зменшується час очікування роботи. Крім того технічне обслуговування може виконуватися у будь-якому основному депо безпосередньо за місцем знаходження локомотива на момент наступлення терміну обслуговування незалежно від його приписки. Для збільшення експлуатаційної ефективності існує можливість використання маршрутної системи експлуатації локомотивів між ТО-2 з гарантованим вступом локомотивом на це обслуговування. Для цього встановлюються строго визначені маршрути слідування локомотивів, виконання яких вкладається по часу в період, що відповідає періоду між ТО-2. Поставлена задача вирішується з використанням математичної теорії імовірності: визначаються можливі маршрути слідування локомотивів між ТО-2, потім методом експертних оцінок виключаються нераціональні маршрути.

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

При виборі системи експлуатації доцільно розглянути також зарубіжний досвід, тим більш в умовах, коли збільшується імовірність застосування на вітчизняних залізницях імпортних локомотивів. Майже всі локомотиви (90%) на закордонних залізницях обслуговуються машиністами без помічників, 10% помічників від числа машиністів - учні машиністів. Слід урахувати, що поїзди на залізницях США обслуговують кондуктор та два гальмівних кондуктора, один з яких зветься головним, і знаходиться на локомотиві. При складанні графіку експлуатації локомотива за критерій оптимальності приймають мінімум резервних пробігів (мінімум простою). На залізницях США функціонують інформаційні системи для керування технічним обслуговуванням та експлуатацією локомотивів на базі ЕОМ дорожніх обчислювальних центрів (ДОЦ). Кожен день ДОЦ видає перелік локомотивів, які повинні поступити в ремонт із визначенням порядку та місця відправки локомотива на ремонт, в діалоговому режимі вказується місто знаходження та стан кожного локомотива. На залізницях США та Канади, а також ФРГ, Великобританії, Швеції та інших західноєвропейських країн широко практикують відправлення наряду з важковаговими поїздами неповноважних, що також впливає на експлуатаційну ефективність роботи маневрових тепловозів. Велике значення приділяється питанню ущільненню норми на обслуговування, приймання та здавання локомотивів при зміні бригад. На деяких дорогах Англії на зміну бригад витрачається 2 хвилини, Японії -2-5 хвилин.

Екіпіруванням називається комплекс операцій по підготовці локомотивів і моторвагонного рухомого складу до роботи. Від якості й своєчасного проведення екіпірування локомотивів і моторного рухомого складу в значній мірі залежать ефективність використання тягових засобів і безпеки руху поїздів.

Розрізняють повне екіпірування, коли виконується весь комплекс операцій, і часткове екіпірування - виробляється лише вибірковий набір окремих операцій.

Операції екіпірування максимально концентруються по екіпірувальних позиціях і сполучаються за часом. Оптимальними варіантами постачання для

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

маневрових тепловозів - постачання піском, паливом, мастильними й обтиральними матеріалами, водою.

Обмивка й очищення локомотивів і моторвагонного рухомого складу, обдування тягових електродвигунів, допоміжних електричних машин і електроапаратури виконується на окремій позиції перед постановкою локомотива на технічне обслуговування й поточний ремонт, а також при екіпіруванні в період експлуатації. Поворот локомотивів і роздільних секцій здійснюється на спеціальних поворотних пристроях. Перевірка автоматичної локомотивної сигналізації з автостопом, пристроями контролю пильності машиніста й контролю швидкості руху поїзда (АЛСН), а також радіоустаткування виконується електромеханіком дистанції сигналізації й зв'язки на спеціальному контрольному пункті звичайно після виконання всіх інших операцій екіпірування. У деяких депо ця перевірка робиться на позиції , ТО-2.

У комплекс екіпірувальних пристроїв входять: склади й устаткування для приймання, зберігання, транспортування й подачі на локомотиви екіпірувальних матеріалів; апаратури для обліку витрати й контролю якості екіпірувальних матеріалів; технічні засоби для виконання операцій екіпірування; необхідне оснащення робочих місць.

По характерних ознаках виробничої самостійності прийнято розрізняти наступні види екіпірувального господарства: паливне, мастильне, засоби піскооснащення, господарство водопостачання, обмивальні й обдувочні і пристрої, оглядові канали, поворотні пристрої.

Екіпірувальні пристрої діляться на стаціонарні й пересувні. Стаціонарні екіпірувальні пристрої мають постійне технічне оснащення, розташоване на визначеній території. Пересувні екіпірувальні пристрої у вигляді спеціально обладнаних поїздів і заправників на базі вантажних автомашин застосовуються для екіпірування маневрових локомотивів, що працюють на проміжних станціях, локомотивів, експлуатованих на новобудовах, у кар'єрах і на господарській роботі, при відсутності в безпосередній близькості стаціонарних екіпірувальних

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

пристроїв. Екіпірувальний поїзд складається із двох цистерн із дизельним паливом, двох вагонів-піскороздавальників, вагона із запасом мастильних матеріалів, насосним і силовим устаткуванням. Якщо на місцях немає джерел електроенергії, для живлення агрегатів екіпірування в екіпірувальний поїзд включається пересувна електростанція. Для постачання піском може використатися стиснене повітря локомотива, що екіпірується. Аналогічне екіпірувальне устаткування і ємності для екіпірувальних матеріалів встановлюють і на автомобілях.

Вибір раціонального варіанта комплексу екіпірувальних пристроїв і дислокації пунктів екіпірування виробляється на підставі техніко- економічних розрахунків. Остаточне рішення приймається з обліком фактично сформованих господарських і соціальних умов, експлуатаційних зручностей і перспективних планів.

Незалежно від обраної системи експлуатації локомотивів при кожному основному депо є екіпірувальне господарство для екіпірування локомотивів після поточного ремонту й технічного обслуговування з резерву дороги й запасу Укрзалізниці, зайнятих на маневровому й іншому видах поза поїзної роботи, а також поїзних локомотивів, що працюють по плечовому способу. Як правило, екіпірування локомотивів виконується на території основних і оборотних депо й у більшості випадків суміщається із проведенням чергового технічного обслуговування (ТО-2).

2.3.4 Вибір типу утримання маневрових тепловозів

Вибір типу системи ЕТОР здійснюємо експертним методом. В результаті для першого етапу для малих партій локомотивів була вибрана комбінована система ЕТОР. Ремонт обладнання, яке впливає на безпеку руху та існуючого в депо виконувати по планово-попереджувальній системі, яка передбачає ремонтний цикл, що представлений на рис. 2.7, отримані рекомендовані значення параметрів, що визначають системи ремонту та експлуатації маневрового

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

вузлів, включаючи базові.

Міжремонтні строки роботи локомотивів встановлюються залежно від інтенсивності їхньої роботи (ступеня використання за часом і потужністю). Основні методологічні принципи розрахунку оптимальної структури ремонтного циклу зводяться до встановлення розміру зміни питомих витрат і на технічне обслуговування й ремонт рухомого состава при різних значеннях параметрів циклу.

При малій величині міжремонтного пробігу збільшується число й частота ремонту. При цьому більшість деталей, вузлів замінюється при планових ремонтах, повніше використовуються їхні технічні ресурси, збільшується експлуатаційна надійність локомотива, але при цьому погіршується його використання й збільшуються витрати на ремонт.

При збільшенні міжремонтних пробігів знижуються витрати на планові види ремонтів і питомі простої на цих ремонтах. Однак ряд деталей і вузлів і можуть вичерпати свій технічний ресурс (вийти з ладу) до настання планового ремонту, викликаючи позаплановий ремонт. У цьому випадку знизиться експлуатаційна надійність і збільшаться додаткові витрати пов'язані із проведенням позапланових ремонтів і відмовами в транспортному обслуговуванні. Тому ріст міжремонтних пробігів обов'язково пов'язаний із проведенням заходів щодо збільшення технічних ресурсів деталей і вузлів рухомого складу.

При системі ремонту по технічному стану передбачається експлуатацію та екіпіровку виконувати персоналом депо експлуатації, а ремонти та сервісне обслуговування виконувати силами заводу-виробника. При цьому діагностику маневрового тепловоза необхідно виконувати по плановому принципу з урахуванням даних вмонтованих та зовнішніх систем.

Удосконалення системи експлуатації або ремонтної бази депо за рахунок впровадження нових технологій ремонту або інших заходів також приведе до необхідності корегування типу ЕТОР. Аналогічні роботи необхідно буде

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

виконувати і при модернізації РС заводом-виробником.

Разом з тим з накопиченням досвіду по подальшому вдосконалюванню системи технічного обслуговування й ремонту тепловозів ведеться пошук нових раціональних циклів обслуговування й ремонту зі зміною видів ремонту й міжремонтних термінів.

Вибір типу системи ЕТОР виконується експертним методом. В результаті розрахунків на першому етапі експлуатації (стан 4) пропонується планово-попереджувальна система для всіх вузлів, які зв'язані з безпекою руху. На початку етапу експлуатації проводяться приймальні експлуатаційні випробування, по результатам яких проводиться корегування системи технічного обслуговування та ремонту. Цей етап закінчується в момент передачі маневрового тепловоза замовнику, де можуть бути внесені останні корегування системи ТОР за індивідуальним бажанням замовника (стан 5). По існуючій тенденції в світовій практиці нагляд за новим маневровим тепловозом може тривати в процесі його експлуатації, в результаті чого накопичуються дані по експлуатаційним властивостям та відмовам, що відбулися. Завдяки цим даним система ТОР та сама конструкція маневрового тепловоза (на рівні окремих вузлів) може переглядатися та інтерактивно корегуватися (оптимізуватися) (стан 6). До моменту капітального ремонту база накопичених даних по експлуатаційним властивостям буде вже достатньою, щоб вносити

кардинальні зміни в конструкцію маневрового тепловоза (модернізація) та переглянути похибки в системі ТОР (стан 7). На момент кінця експлуатації (стан 8) вносяться можливі корегування в ТЗ на маневровий тепловоз або приймається рішення про подальше його існування (зняття з виробництва).

2.3.5 Оптимізація системи утримання маневрових тепловозів

Систему ТОР для нового маневрового тепловоза можна охарактеризувати наступними групами характеристик:

- міжремонтних пробігів;

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

- об'ємів робіт, які виконуються на ТОР;
- тривалістю виконання робіт на ТОР;
- ремонтної бази депо.

Розглянемо способи визначення цих характеристик.

Визначення оптимальних міжремонтних пробігів.

Визначенню оптимальних міжремонтних пробігів присвячено багато робіт.

Можна виділити два основних підходи:

- визначення пробігів по надійності вузлів та агрегатів локомотиву;
- визначення пробігів по статистичним даним експлуатації.

Для визначення пробігів на етапі початку експлуатації нового локомотиву підходить перших підхід.

При визначення пробігів по надійності вузлів та агрегатів локомотиву треба враховувати, що відмови бувають поступові або раптові.

Визначення пробігів по надійності вузлів та агрегатів локомотиву при поступових відмовах. Поступові відмови віддзеркалюють процеси багатотонного змінення у часі робочих параметрів об'єктів. Прикметою відмови є досягнення параметром свого максимально-допустимого значення X_{max} , що відбудеться через деякий випадковий проміжок часу роботи.

Моделювання виникнення поступової відмови припускає знаходження розподілу наробітки $f(T)$ і його характеристик. Роздивимось основні типи формування $f(T)$. Перш за все, має місце початковий розподіл параметру $f(a)$ одно типових об'єктів відносно свого математичного чекання. Це викликається парированням якості виготовлення екземплярів, їх монтажу у вузли і т.п.. У наступному, при експлуатації на змінення параметру надають вплив відносно повільно протекаючі процеси - знос, старіння. Цей вплив (у степені, існуючої для відмови) може початись у загальному випадку через деякий проміжок часу T_B . Швидкість γ_X змінення параметру X є випадковою величиною як у часовому відношенні, і залежить від швидкостей $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_K$ накопичення пошкодження окремих елементів об'єкту.

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У результаті цих явищ відбувається формування закону розподілу $f(X, \tau)$, який визначає ймовірність виходу параметру X за границю X_{\max} , тобто, ймовірність відмови $f(\tau)$.

При відповідних значеннях розглянутих вище параметрів можливо описати моделі декількох типів відмов: «поступового» ($T_B = 0$); «функціонування» (різке розростання $X(\tau)$ при досягненні X_{\max}); «раптового» відмову $X(\tau) \rightarrow \infty$ при великій інтенсивності $f(T_B)$ і X_{\max} . Розсіювання початкових параметрів об'єкту $f(a)$ може мати різноманітну суть. Так, при роздивлянні одиничного об'єкту «а» є детермінована величина, якщо чітко визначені умови роботи об'єкту. Ця ж величина може бути стохастичною, віддзеркалюючи спектр ймовірних відхилень в умовах роботи. Якщо роздивляється група (серія) однотипових об'єктів, то «а» - випадкова величина, яка віддзеркалює коливання якості виготовлення.

Методичний підхід до знаходження $f(\tau)$, засновано, як правило, на тому, що швидкість γ_X змінення параметру є головною характеристикою процесу. Кінцева формула для вірогідності безвідмовної роботи при і випадковому виді функції має вид:

$$P(\tau) = 0,5 + \Phi \left[\frac{X_{\max} - a_0 - \gamma_{cp}(\tau)\tau}{\sqrt{\delta_a^2 + \delta_\gamma(\tau)\tau^2}} \right] = P_H, \quad (2.16)$$

де Φ – нормована функція Лапласа ($0 \leq \Phi \leq 0,5$);

a_0, γ_{cp} – математичне очікування параметру a , і γ швидкості його зміни;

δ_a, δ_γ – середнє квадратичне відслонення a і γ .

Це вираження справедливе лише для нормального і деяких інших законів розподілу a і γ . При важких або емпіричних законах розподілу для отримання функції $f(\tau)$ і $P(\tau)$ можна застосувати методи статистичного моделювання на ЕОМ.

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення пробігів по надійності вузлів та агрегатів локомотиву при раптових відмовах. Припустивши, що для деталей визначений деякий строк служби ($L_{сл}$), у кінці якого відбувається їх опис, і на протязі $L_{сл}$ передбачено проведення планових ремонтів (ТР) через пробіг $L_{сл}$, то цьому необхідність таких ремонтів обумовлена досягненням граничних значень і деяких її параметрів, при яких подальша експлуатація неможлива. У цьому випадку вона виключається з експлуатації, і їй проводиться черговий ТР, який містить ся у заміні даної моделі на нову, реставрації зношеної деталі до своїх початкових розмірів або заміні її на вже бувшу у експлуатації, яка мала до моменту постановки на ТР визначену наробітку.

У процесі експлуатації такої деталі у інтервалах між ПР можуть мати місце раптові відмови. При цьому раптовим є лише характер прояву несправності на кінцевій стадії її розвитку, самий же розвиток до цього у скритому виді часто носить поступовий характер. При цьому деталь також виключається з експлуатації, їй виконується неплановий ремонт (НР), по змісту аналогічний ПР, і в подальшому експлуатація її продовжується до назначеного раніш строку проведення чергового ПР.

Задача складається у виборі методу визначення раціональних строків проведення ПР ($L_{сл}$), а також установлення числа ПР у діапазоні наробітки до 1 моменту опису ($L_{сл}$) і об'єму ремонтних робіт які виконуються на ПР.

Для визначення раціональних строків проведення ПР ($L_{сл}$) необхідно враховувати дві основні причини вилучення деталі з експлуатації: пошкоджуємість у експлуатації (раптові відмови) і вироблення ресурсу. Роздивимось окремо кожний з перекислених аспектів, прийняв у якості критерію оптимізації величину витрат часу або засобів на ремонт і експлуатацію даної деталі.

Одною з основних характеристик надійності у процесі експлуатації є ймовірність безвідмовної роботи P . По зміненню $(1 - P) = f(L) = Q$ можна

					<i>0032.206544.ДР.2021.001</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

визначити середню величину наробітки деталі на відмову $\bar{L}_{отк,В}$, а також вид і характер закону розподілу вірогідності безвідмовної роботи. Для прикладу приймемо, що змінення P_i підкорюється закону нормального розподілу. У цьому випадку до моменту $\bar{L}_{отк}$ ймовірність виходу з ладу деталі Q , яку розглядаємо досягне 0,5, і у відповідності з порядком визначення величин допустимих відхилень δ до моменту $L_{отк,маx} \cong \bar{L}_{отк} + 3\delta$, $Q > 0,99$. Отже, призначення $L_{ТР}$ за межами $L_{отк,маx}$ недоцільно. Таким чином, у загальному випадку буде діяти обмеження

$$0 < L_{ТР} < L_{отк,маx} \quad (2.17)$$

де $\bar{L}_{отк,маx} = \bar{L}_{отк} + n\delta$ при $n = 1, 2, \dots$

Величина n буде залежати від виду і характеру закону розподілу напрацювання на відмову. Знаючи середню величину витрат часу або засобів на усунення одної відмови у процесі експлуатації даної деталі ($C_{отк}$), визначається вид функції F яка дозволяє визначити раціональний міжремонтний пробіг $L_{ТР}$, при якому досягається мінімум питомих затрат при експлуатації

$$F = \frac{1}{L_{ТР}} \left[\int_0^{L_{ТР}} Q(L) dL \right] C_{отк} \Rightarrow \min, \quad (2.18)$$

$$0 < L_{ТР} < \bar{L}_{отк,маx} \quad (2.19)$$

де $Q(L)$ – ймовірність відмови деталі у діапазоні $0 \rightarrow L_{ТР}$;

$C_{отк}$ – витрати часу або засобів на ліквідування відмови деталі;

$L_{ТР}$ – міжремонтний пробіг.

Оскільки на черговому поточному ремонті на заміну знятої деталі може

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бути поставлена як нова, так і відновлена або стара деталь (характеристики безвідмовності їх різноманітні), то загальний вираз мінімуму сумарних і питомих витрат на ліквідування раптових відмов у експлуатації прийме вид

$$F = \frac{1}{L_{TP}} \left\{ P^K \left[\int_0^{L_{TP}} Q(L) dL \cdot C_{OTK} \right] + (1 - P^K) \left[\int_0^{L_{TP}} Q_B(L) dL \cdot C_{OTK.B} \right] \right\} \Rightarrow \min, \quad (2.20)$$

де P^K – ймовірність постановки нової деталі на черговому ПР;

$Q(L)$ – ймовірність відмови нової деталі;

$Q_B(L)$ – ймовірність відмови відновленої деталі або старої деталі.

Вираження (2.19) дозволяє визначити значення L_{TP} - при якому досягається мінімум питомих витрат для кожного інтервалу пробігів між текучими ремонтами на ліквідування раптових відмов.

Робота кожного елемента системи " характеризується своїми властивостями і, отже, своїми характеристиками надійності. При цьому, потрібно відмітити й те, що відмова хоча б однієї деталі у цій групі приводить до відмови не тільки підсистеми, але і тепловоза у цілому. У цьому випадку функціональні зв'язки деталей які аналізуємо можна представити як поступове з'єднання з елементів. Методи визначення P і Q таких систем широко відомі у теорії надійності. Тоді, роздивляючись у вираженні (2.19) ймовірність відмови застосуємо до підсистеми, яка складається з декількох однакових елементів, з'єднаних поступово, можна записати

$$P(L) = p_1(L) \cdot p_2(L) \cdot \dots \cdot p_n(L) = \prod_1^n p_i(L), \quad Q = 1 - \prod_1^n p_i, \quad (2.21)$$

де $P(L)$, $p_i(L)$ – ймовірність безвідмовної роботи відповідно підсистемі і i - го елемента підсистеми яка розглядається;

n – число однакових елементів у підсистемі.

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, у випадку найменування у підсистемі однакових елементів необхідно спочатку виконати так званий елементний аналіз. Особливість якого міститься у визначенні загального виду для всієї підсистеми, на основі даних кожного з елементів. На практиці врахувати ймовірність безвідмовної роботи кожної конкретної наймовірніше, оскільки існуюча організація врахування показників надійності окремих деталей і вузлів локомотива у депо не дозволяє встановити $p_i = f(L)$. Внаслідок цього ймовірність безвідмовної роботи $P(L)$ визначається для усієї підсистеми включно як нові, так і реставровані деталі у цілому [34].

В результаті розрахунків по розробленій моделі вибору параметрів системи ЕТОР були рекомендовані параметри системи ЕТОР для маневрового тепловоза ТЕМ103 (табл. 2.5, рис. 2.4).

Таблиця 2.5 – Рекомендовані значення параметрів системи ЕТОР для маневрового тепловоза ТЕМ103

Вид ТО або ПР	ЧМЭЗ		ТЕМ103	
	Без ПР-2	3 ПР-2	Вихідний стан системи	Рекомендований стан системи
ТО-2	2 доби	2 доби	2 доби	2 доби
ТО-3	45 діб	45 діб	45 діб (600 г)	45 діб
ПР-1	8,5 м.	8,5 м.	15 м (6250 г)	18 м
ПР-2	—	17 м.	—	—
ПР-3	26 м.	34 м.	45 м. (18750 г)	45 м
КР-1	8,5 р.	8,5 р.	15 р. (75000 г)	15 р.
КР-2	17 р.	17 р.	—	—

При розробці заводом-виробником, або депо необхідної діагностичної апаратури (це може бути і пересувна діагностична станція на базі автомашини, або вагону) можливий варіант переходу на систему ремонту по технічному стану.

ПР) або його заміну;

C_{COj} – витрати на планову роботу по i -му вузлу під час
сервісного обслуговування (у складі ТО або ПР) або його
заміну;

R_j – повні витрати, які пов'язані з відмовою (НР) j -го вузла;

A – збитки депо, які пов'язані з простоем локомотиву на ТО
або ПР;

$P(m_j, S, i)$ – імовірність того, що за пробіг $m_j \cdot S$ виникне i відмов j -го
виду обладнання;

D – витрати, які пов'язані з проведенням діагностичних
операцій;

ST – вартість 1 кг палива або 1 кВт електроенергії;

SM – вартість 1 кг мастила.

Мінімізація функції $Q(S, m_1, m_2, \dots, m_n)$ відбувається у два етапи. На
першому етапі – для кожного номеру i (вузла локомотиву) визначається значення
оптимального міжремонтного пробігу S_j^{opt} , яке доставляє мінімум функції

$$Q_j(S_j) = \left(\frac{1}{S_j} \right) \cdot \{ R_j \cdot M_j [T(S_j)] + C_j \}, \quad (2.23)$$

де $M_j [T(S_j)] = \sum_{i=0}^{\infty} i \cdot P(m_j, S, i)$ – функція відновлення.

На другому етапі визначається оптимальний міжремонтний пробіг між ТО
або ПР – S^{opt} для всього локомотиву цілком. При цьому функція Q стає функцією
одного перемінного S , через те, що як m_j можливо узяти $\left[S_j^{opt} / S \right]$, якщо
 $S_j^{opt} / S > 1$ та $m_j = 1$, якщо $S_j^{opt} / S < 1$ ($[X]$) – ціла частина числах x .

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

2.3.7 Визначення характеру розподілів станів системи під час експлуатації існуючих та нових маневрових локомотивів

Для отримання приблизного рішення потрібно зробити припущення, що інтенсивність потоків подій (λ_i), які переводять елемент зі стану i у стан; залежать не від самих кількостей станів, а від їх математичних очікувань.

Точність залежить від числа елементів N і виду залежності $f(X_2)$. Чим ближче функція f до лінійної, тим більша точність. Що стосується загального числа елементів, то точність виростає зі збільшенням їх числа N . У різних задачах ця залежність різноманітна. Але на основі практичного опиту можна сказати, що погрішність буде дуже мала, якщо число елементів дорівнює декільком сотням. Якщо кількість елементів – декілька десятків, погрішність, як правило, теж буде знаходитись у допущених межах. Іноді, коли функції близькі до лінійних, достатньо, щоб $N=10$.

Тому при практичному використуванні методу динаміки середніх часто навіть не проводять статистичного дослідження роботи елементів для виявлення характеру розподілів, а відразу пишуть рівняння так, як начебто усі розподіли показові.

Нажаль, застосування методу динаміки середніх нами роздивлялося для систем, які складаються з однорідних елементів. Навіть у нашому випадку – моделювання функціонування роботи системи ТОР маневрових тепловозів виникає необхідність застосування методу динаміки середніх до систем, які складаються з неоднорідних елементів різних категорій. Роздивимось функціонування ділянок ТО-3 і ПР-1 на прикладі локомотивного депо, в якому будуть знаходитись в експлуатації маневрові тепловози серій ЧМЭЗ і ТЕМ103.

Середньодобовий парк депо складає N^H маневрових тепловозів ТЕМ103 і N^B тепловозів ЧМЭЗ. При цьому кожний тепловоз може бути в одному з наступних станів, які представлені на рис. 5.6.

S_1^i – експлуатація;

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

S_2^i – ТО-1;

S_3^i – ТО2;

S_4^i – екіпіровка;

S_5^i – очікування експлуатації;

S_6^i – технічні обслуговування;

S_7^i – поточні ремонти;

S_8^i – капітальні ремонти;

S_9^i – непланові ремонти.

Прийнято, що у депо поступають пуассонівські потоки заявок на маневрові тепловози, інтенсивність яких λ^M не залежить від кількості локомотивів, які є в депо. Заявки які прийшли розподіляються рівномірно між усіма тепловозами даної категорії.

На технічний огляд ставляться лише тепловози, які знаходяться у станах S_1^H , S_1^B , S_3^H , S_3^B . Середня інтенсивність потоку технічних оглядів маневрового тепловоза ТЕМ103 дорівнює $\lambda_{ТО}^H$ ЧМЭЗ – $\lambda_{ТО}^B$. Технічні огляди проводяться спеціалізованою бригадою. Сумарний потік технічних оглядів має інтенсивність

$$\lambda_{ТО} = a(1 - e^{-y}), \quad (2.24)$$

де y – кількість тепловозів (ЧМЭЗ та ТЕМ103 разом), які проходять технічний огляд.

Середня тривалість технічного огляду тепловозів ТЕМ103 і ЧМЭЗ різна і дорівнює $\bar{t}_{ТО}^H$, і $\bar{t}_{ТО}^B$. Середня тривалість виїзду на станцію і очікування роботи дорівнює $\bar{t}_{хол}^H$. Середня тривалість в маневровій роботі за зміну дорівнює $\bar{t}_{ноізд}^H$.

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середня тривалість рейсу з вивізним поїздом дорівнює $\bar{t}^{\bar{b}}$.

Після технічного огляду тепловоз ТЕМ103 з вірогідністю p_{3-1}^H йде у ремонт, а з вірогідністю $1-p_{3-1}^H$ – зворотно у стан S_1 . Подібні вірогідності для маневрових тепловозів ЧМЭЗ дорівнюють $p_{3-1}^{\bar{b}}$, і $1-p_{3-1}^{\bar{b}}$.

Поточний ремонт тепловозів виконується ремонтною бригадою.

Сумарний потік ремонтів при цьому має інтенсивність

$$\lambda_{np} = b(1 - e^{-x}), \quad (2.25)$$

де x – кількість тепловозів (ТЕМ103 і ЧМЭЗ разом), які одночасно знаходяться у ремонті.

Крім стану технічного огляду, тепловози можуть поступати на неплановий ремонт безпосередньо після роботи. Інтенсивність потоку несправностей одного тепловоза ТЕМ103 у стані виїзду під состав або заїзду у депо дорівнює $\lambda_{хол}^H$, у стані поїздки з поїздом – $\lambda_{поїзд}^H$.

Після технічного огляду тепловоз ТЕМ103 з вірогідністю p_{3-4}^H йде на екіпіровку, звідки з вірогідністю p_{4-1}^H може піти до експлуатації, а з вірогідністю p_{4-5}^H може піти у стан S_5 на очікування експлуатації. Подібні вірогідності для маневрових тепловозів ЧМЭЗ дорівнюють $p_{4-1}^{\bar{b}}$ і $p_{4-5}^{\bar{b}}$.

Виходячи з початкових умов введемо позначення:

$m_1^H, m_1^{\bar{b}}$ – середня кількість тепловозів які знаходяться в експлуатації;

$m_2^H, m_2^{\bar{b}}$ – середня кількість тепловозів, які проходять технічний огляд ТО-1;

$m_3^H, m_3^{\bar{b}}$ – середня кількість тепловозів, які проходять технічний огляд ТО-2;

$m_4^H, m_4^{\bar{b}}$ – середня кількість тепловозів, які екіпіруються;

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

$m_5^H, m_5^{\bar{}}$ – середня кількість тепловозів, які очікують виїзду під поїзд на маневрову роботу, відповідно ТЕМ103 та ЧМЭЗ;

$m_6^H, m_6^{\bar{}}$ – середня кількість тепловозів, які проходять технічний огляд ТО-3;

$m_7^H, m_7^{\bar{}}$ – середня кількість тепловозів, які знаходяться на поточному ремонті;

$m_8^H, m_8^{\bar{}}$ – середня кількість тепловозів, які знаходяться на капітальному ремонті;

$m_9^H, m_9^{\bar{}}$ – середня кількість тепловозів, які знаходяться на позаплановому ремонті.

Інтенсивності $\lambda_{ij}^H, \lambda_{ij}^{\bar{}}$, потоків подій, які переводять маневрові тепловози зі стану у стан визначені як

$$\lambda_{12}^H = \lambda_{TO-1}^H, \quad (2.26)$$

$$\lambda_{12}^{\bar{}} = \lambda_{TO-1}^{\bar{}}, \quad (2.27)$$

$$\lambda_{21}^H = \frac{a(1-\rho^H) \left| 1 - e^{-(X_2^H + X_2^{\bar{}})} \right|}{X_2^H + X_2^{\bar{}}}, \quad (2.28)$$

$$\lambda_{16}^H = \lambda_{TO-3}^H, \quad (2.29)$$

$$\lambda_{16}^{\bar{}} = \lambda_{TO-3}^{\bar{}}, \quad (2.30)$$

$$\lambda_{64}^H = \frac{a(1-\rho^H) \left| 1 - e^{-(X_6^H + X_6^{\bar{}})} \right|}{X_6^H + X_6^{\bar{}}}, \quad (2.31)$$

$$\lambda_{17}^H = \lambda_{IP}^H, \quad (2.32)$$

$$\lambda_{17}^{\bar{0}} = \lambda_{IP}^{\bar{0}}, \quad (2.33)$$

$$\lambda_{74}^H = \frac{b \left| 1 - e^{-(x_7^H + x_7^{\bar{0}})} \right|}{X_7^H + X_7^{\bar{0}}}, \quad (2.34)$$

$$\lambda_{18}^H = \lambda_{KP}^H, \quad (2.35)$$

$$\lambda_{18}^{\bar{0}} = \lambda_{KP}^{\bar{0}}, \quad (2.36)$$

$$\lambda_{84}^H = \frac{b \left| 1 - e^{-(x_8^H + x_8^{\bar{0}})} \right|}{X_8^H + X_8^{\bar{0}}}, \quad (2.37)$$

$$\lambda_{19}^H = \lambda_{HP}^H, \quad (2.38)$$

$$\lambda_{19}^{\bar{0}} = \lambda_{HP}^{\bar{0}}, \quad (2.39)$$

$$\lambda_{94}^H = \frac{b \left| 1 - e^{-(x_9^H + x_9^{\bar{0}})} \right|}{X_9^H + X_9^{\bar{0}}}, \quad (2.40)$$

$$\lambda_{23}^H = \lambda_{TO-2}^H, \quad (2.41)$$

$$\lambda_{23}^{\bar{0}} = \lambda_{TO-2}^{\bar{0}}, \quad (2.42)$$

$$\lambda_{31}^H = \frac{a(1 - \rho^H) \left| 1 - e^{-(x_3^H + x_3^{\bar{0}})} \right|}{X_3^H + X_3^{\bar{0}}}, \quad (2.43)$$

$$\lambda_{36}^H = \lambda_{TO-3}^H, \quad (2.44)$$

$$\lambda_{36}^{\bar{O}} = \lambda_{TO-3}^{\bar{O}}, \quad (2.45)$$

$$\lambda_{34}^H = \frac{a(1-\rho^H) \left| 1 - e^{-(X_3^H + X_3^{\bar{O}})} \right|}{X_3^H + X_3^{\bar{O}}}, \quad (2.46)$$

$$\lambda_{41}^H = \lambda^H \rho(X_1^H), \quad (2.47)$$

$$\lambda_{41}^{\bar{O}} = \lambda^{\bar{O}} \rho(X_1^{\bar{O}}), \quad (2.48)$$

$$\lambda_{45}^H = \lambda_{хол}^H + \lambda_{хол}^{\bar{O}}, \quad (2.49)$$

$$\lambda_{51}^H = \lambda^H \rho(X_1^H), \quad (2.50)$$

$$\lambda_{51}^{\bar{O}} = \lambda^{\bar{O}} \rho(X_1^{\bar{O}}), \quad (2.51)$$

У даних вираженнях прийняті наступні позначення:

P – інтенсивність потоку заявок на тепловози ЧМЭЗ та ТЕМ103;

$X_1^H, X_1^{\bar{O}}$ – кількість тепловозів які знаходяться у стані експлуатації, ТЕМ103 та ЧМЭЗ відповідно;

$X_2^H, X_2^{\bar{O}}$ – кількість тепловозів, які проходять технічний огляд ТО-1, ТЕМ103 та ЧМЭЗ відповідно;

$X_3^H, X_3^{\bar{O}}$ – кількість тепловозів, які проходять технічний огляд ТО-2, ТЕМ103 та ЧМЭЗ відповідно;

$X_4^H, X_4^{\bar{O}}$ – кількість тепловозів, які знаходяться на екіпіровці, ТЕМ103 та ЧМЭЗ відповідно;

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$X_5^H, X_5^{\bar{b}}$ – кількість тепловозів, які знаходяться в очікуванні експлуатації,
ТЕМ103 та ЧМЭЗ відповідно;

$X_6^H, X_6^{\bar{b}}$ – кількість тепловозів, які проходять технічний огляд ТО-3, ТЕМ103 та
ЧМЭЗ відповідно;

$X_7^H, X_7^{\bar{b}}$ – кількість тепловозів, які проходять ПР, ТЕМ103 та ЧМЭЗ відповідно;

$X_8^H, X_8^{\bar{b}}$ – кількість тепловозів, які проходять КР, ТЕМ103 та ЧМЭЗ відповідно;

$X_9^H, X_9^{\bar{b}}$ – кількість тепловозів, які проходять позаплановий ремонт, ТЕМ103 та
ЧМЭЗ відповідно;

X_{10}^H – кількість тепловозів ТЕМ103, які проходять сервісне обслуговування.

Замінюючи у даних вираженнях кількості станів середніми кількостями,
записуємо систему диференціальних рівнянь динаміки середніх у наступному виді

$$\frac{dm_1^H}{dt} = -(\lambda_{12}^H + \lambda_{16}^H + \lambda_{17}^H + \lambda_{18}^H + \lambda_{19}^H)m_1^H + \lambda_{21}^H m_2^H + \lambda_{31}^H m_3^H + \lambda_{41}^H m_4^H + \lambda_{51}^H m_5^H, \quad (2.52)$$

$$\frac{dm_2^H}{dt} = \lambda_{12}^H m_1^H - (\lambda_{21}^H + \lambda_{23}^H)m_2^H, \quad (2.53)$$

$$\frac{dm_3^H}{dt} = \lambda_{23}^H m_2^H - (\lambda_{31}^H + \lambda_{34}^H + \lambda_{36}^H)m_3^H, \quad (2.54)$$

$$\frac{dm_4^H}{dt} = \lambda_{34}^H m_3^H + \lambda_{64}^H m_6^H + \lambda_{74}^H m_7^H + \lambda_{84}^H m_8^H + \lambda_{94}^H m_9^H - (\lambda_{41}^H + \lambda_{45}^H)m_4^H, \quad (2.55)$$

$$\frac{dm_5^H}{dt} = \lambda_{45}^H m_4^H - \lambda_{51}^H m_5^H, \quad (2.56)$$

$$\frac{dm_6^H}{dt} = \lambda_{16}^H m_1^H + \lambda_{36}^H m_3^H - \lambda_{64}^H m_6^H, \quad (2.57)$$

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

$$\frac{dm_7^H}{dt} = \lambda_{17}^H m_1^H - \lambda_{74}^H m_7^H, \quad (2.58)$$

$$\frac{dm_8^H}{dt} = \lambda_{18}^H m_1^H - \lambda_{84}^H m_8^H, \quad (2.59)$$

$$\frac{dm_9^H}{dt} = \lambda_{19}^H m_1^H - \lambda_{94}^H m_9^H, \quad (2.60)$$

$$\frac{dm_{10}^H}{dt} = \lambda_{110}^H m_1^H - \lambda_{104}^H m_{10}^H. \quad (2.61)$$

Відповідні рівняння складені для базового маневрового тепловоза ЧМЭЗ.

У результаті рішення системи даних диференціальних рівнянь виходячи з умови

$$m_1^H + m_2^H + m_3^H + m_4^H + m_5^H + m_6^H + m_7^H + m_8^H + m_9^H = N^H, \quad (2.62)$$

$$m_1^{\bar{b}} + m_2^{\bar{b}} + m_3^{\bar{b}} + m_4^{\bar{b}} + m_5^{\bar{b}} + m_6^{\bar{b}} + m_7^{\bar{b}} + m_8^{\bar{b}} + m_9^{\bar{b}} = N^{\bar{b}}. \quad (2.63)$$

Були отримані кількості тепловозів ЧМЭЗ та ТЕМ103, які знаходилися у відповідних станах (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Розрахункові значення середньодобової кількості маневрових тепловозів

Кількість тепловозів які знаходяться у стані	Позначення стану	Значення	
		ТЕМ103	ЧМЭЗ
1	2	3	4
Стан експлуатації	S_1	3,01	42
Стан знаходження в ТО-1	S_2	0,28	3,97
Стан знаходження в ТО-2	S_3	0,59	8,36
Стан екіпірування	S_4	0,5	7

Продовження табл. 2.6

1	2	3	4
Стан очікування експлуатації	S_5	0,5	7
Стан знаходження ТО-3	S_6	0,06	0,64
Стан знаходження в ПР	S_7	0,05	0,73
Стан знаходження в КР	S_8	0,01	0,29
Стан знаходження в ППР	S_9	0,001	0,009

3 КОРИГУВАННЯ ДІЮЧИХ СИСТЕМ УТРИМАННЯ МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ

3.1 Визначення кількості ремонтів залежно від закону розподілу пробігів локомотивів

Необхідність переходу на експлуатацію нового тягового рухомого складу (ТРС) ставить складні задачі по підготовці і організації його ремонту і обслуговуванню в депо. Це, в свою чергу, вимагає наукового обґрунтування вимог щодо визначення потреби в цих ТО, ПР. В практиці проектування локомотивного господарства дуже повільно впроваджувалися сучасні наукові підходи, що враховують імовірнісний характер вихідних даних. Для правильного визначення кількостей ремонту рухомого складу треба приймати до уваги не тільки їх кількість, річний пробіг, норми заводу- виробника, що регламентують міжремонтні періоди, але й закони розподілу пробігів з початку експлуатації та міжремонтних пробігів.

Для врахування факторів, приведених вище, пропонується проведення розрахунків кількості ремонтів виконувати імовірнісним методом за формулою

$$N_{np} = \sum_{i=1}^n M_i \frac{\Phi\left(\frac{\bar{L}_{0i} + \bar{L}_p - \bar{L}_{np}}{\sqrt{\partial_p^2 + \partial_{np}^2}}\right) - \Phi\left(\frac{\bar{L}_{0i} - \bar{L}_{np}}{\partial_{np}}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{\bar{L}_{0i} - \bar{L}_{np}}{\partial_{np}}\right)}, \quad (3.1)$$

де n – число розрядів локомотивів за пробігом з початку експлуатації;

i – порядковий номер розряду розподілу локомотивів за пробігом з початку експлуатації;

M_i – кількість локомотивів в i -му розряді розподілу;

Φ – функція Лапласа;

\bar{L}_{0i} – математичне очікування пробігу локомотива з початку експлуатації i - го

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

розряду, км;

\bar{L}_p – математичне очікування річного пробігу локомотивів, км;

\bar{L}_{np} – математичне очікування пробігу локомотивів до ремонту (наприклад ПР-3, ПР-3У), км;

∂_p – середнє квадратичне відхилення річного пробігу, км;

∂_{np} – середнє квадратичне відхилення пробігу до ремонту, км.

Представлення розрахунку у такому вигляді дозволяє приймати до уваги при розрахунку розподіл локомотивів за пробігом з початку експлуатації, тобто кількість локомотивів в кожному розряді за пробігом і середні значення цього пробігу. Крім того за відміну від детермінованих розрахунків це дозволяє приймати до уваги розсіювання значень \bar{L}_p і \bar{L}_k , тобто їх середнє квадратичне відхилення ∂_p і ∂_k .

Наведемо приклад використання даного періоду, спочатку припускаючи, що локомотиви нові і надійшли до депо одночасно в кількості 10 одиниць.

В цьому разі $\bar{L}_0 = 0$. Приймаємо, що середньоквадратичне відхилення річного пробігу складає $\partial_p = \frac{1}{3}\bar{L}_p$, а середнє квадратичне відхилення пробігу до ремонту $\partial_{np} = \frac{1}{3}\bar{L}_{np}$. Середньорічний пробіг локомотивів за середньостатистичними даними складає

$$\bar{L}_p = 365 \cdot 2n \cdot \sum (l_i)(1 + \beta_0), \quad (3.2)$$

де $\sum l_i$ – довжина ділянок обертання, приймаємо $\sum l_i = 420$ км;

n – число пар поїздів на ділянці, $n = 10$;

β_0 – коефіцієнт одиночного пробігу, $\beta_0 = 0,1$.

Тоді

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\bar{L}_p = 365 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 420 \cdot (1.01) = 3096660 \approx 3100 \cdot 10^3;$$

Міжремонтний пробіг \bar{L}_{np} для ПР-3 в середньому дорівнює:

$$\bar{L}_{np} = \frac{(240 \div 270)}{2} \cdot 10^3 \approx 255 \cdot 10^3.$$

$$\begin{aligned} N_{np} &= 10 \frac{\Phi\left(\frac{0+310-255}{\sqrt{(103)^2+85^2}}\right) - \Phi\left(\frac{0-255}{85}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{0-255}{\sqrt{(103)^2+85^2}}\right)} = 10 \frac{\Phi(0,4) - \Phi(-3)}{1 - \Phi(-3)} = \\ &= 10 \frac{\Phi(0,4) + \Phi(3)}{1 + \Phi(3)} = 10 \frac{0,1554 + 0,4987}{1 + 0,4987} = 4,36. \end{aligned}$$

Згідно прийнятій методиці

$$N_{ПП} = \frac{3100 \cdot 10^3}{L_{ПП-3}} \left(1 - \frac{L_{ПП-3}}{L_{КР-3}}\right) = \frac{3100 \cdot 10^3}{270 \cdot 10^3} \left(1 - \frac{270 \cdot 10^3}{810 \cdot 10^3}\right) = 7,6.$$

Тобто перевищення в 2 рази.

Коли ж прийняти $\delta_{np} = 0,2L_{ПП}$ ці данні будуть розходитися ще більше.

В разі, коли припустимо, що локомотиви після надсилання будуть розподіляти в інтервалах пробігу рівномірно за період експлуатації, тобто

$$\bar{L}_{01} = 0, \quad \bar{L}_{02} = 130 \cdot 10^3, \quad \bar{L}_{03} = 255 \cdot 10^3,$$

$$N_{ПП} = \sum N_{ПП}(L_{0i}), \quad (3.3)$$

де

$$N_{ПП}(L_{01}) = 3 \frac{\Phi\left(\frac{0+310-255}{133,5}\right) - \Phi\left(\frac{0-255}{85}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{0-255}{85}\right)} = 3 \frac{\Phi(0,4) - \Phi(-3)}{1 - \Phi(-3)} \approx 1,3;$$

						0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			76

$$N_{IP(L_{02})} = 3 \frac{\Phi\left(\frac{130+310-255}{133,5}\right) - \left(\frac{130-255}{85}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{130-255}{85}\right)} = 3 \frac{\Phi(1,385) - \Phi(-1,47)}{1 - \Phi(-1,47)} \approx 1,78;$$

$$N_{IP(L_{03})} = 4 \frac{\Phi\left(\frac{255+310-255}{133,5}\right) - \left(\frac{255-255}{85}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{255-255}{85}\right)} = 4 \frac{\Phi(2,32) - 0}{1} \approx 1,96;$$

$$N_{IP} = 1,3 + 1,78 + 1,96 \approx 5,0.$$

Отже, використання детермінованих даних більш менш дає добрі результати, коли парк локомотивів в інтервалах пробігу рівномірний, що зустрічається досить рідко.

Слід згадати, що вище відображені моделі та розрахунки були використані при створенні тимчасового положення, що регламентує організацію гарантійного і післягарантійного технічного обслуговування та ремонту нового тягового рухомого складу (ТРС) на початковому етапі його експлуатації в локомотивних господарствах залізниць України та відображає принципи побудови системи технічного обслуговування та ремонту нового ТРС, рекомендації щодо періодичності, обсягів та порядку проведення робіт з його технічного обслуговування та ремонту та відповідні нормативи та пропозиції щодо їх корегування на підставі вимог експлуатації.

3.2 Аналіз відмов маневрових 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 первинній документації, неможливо визначити показники надійності, виявити недоліки конструкції, ступінь впливу на надійність умов експлуатації й на підставі цих даних прийняти заходи щодо підвищення

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надійності об'єкта. Але у первинній документації містяться неупорядковані дані, з яких важко виділити будь-яку закономірність.

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 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. 3.1, 3.2 та рис. 3.1 та 3.2).

Таблиця 3.1 – Розподіл пошкоджень та відмов тепловозів з електричною передачею по всіх типах обладнання

Вузол тепловоза	Кількість пошкоджень (відмов) по періодах, одиниць			
	I	II	III	IV
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

Таблиця 3.2 – Розподіл пошкоджень та відмов тепловозів з гідравлічною передачею по всіх типах обладнання

Вузол тепловоза	Кількість пошкоджень (відмов) по періодах, одиниць			
	I	II	III	IV
1	2	3	4	5
Дизель	92	86	95	81
Гідропередача	42	38	31	37

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5
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

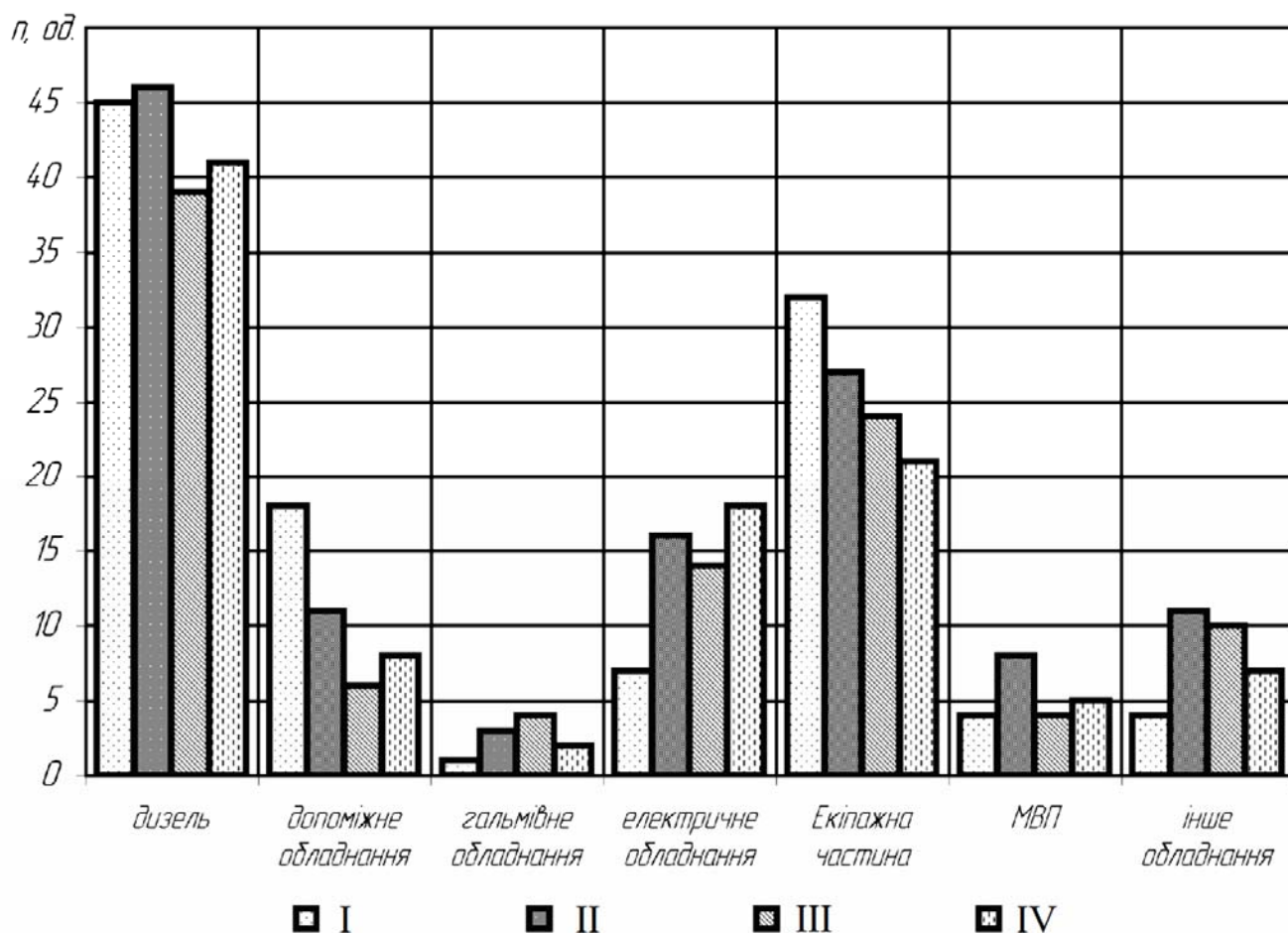


Рисунок 3.1 – Пошкодження та відмови тепловозів з електричною передачею по всіх типах обладнання

При розгляді відмов та пошкоджень безпосередньо по дизелю тепловоза, можна відмітити, що найбільша кількість відмов та пошкоджень припадає на циліндрово-поршневу групу (табл. 3.3, 3.4 та рис. 3.3, 3.4).

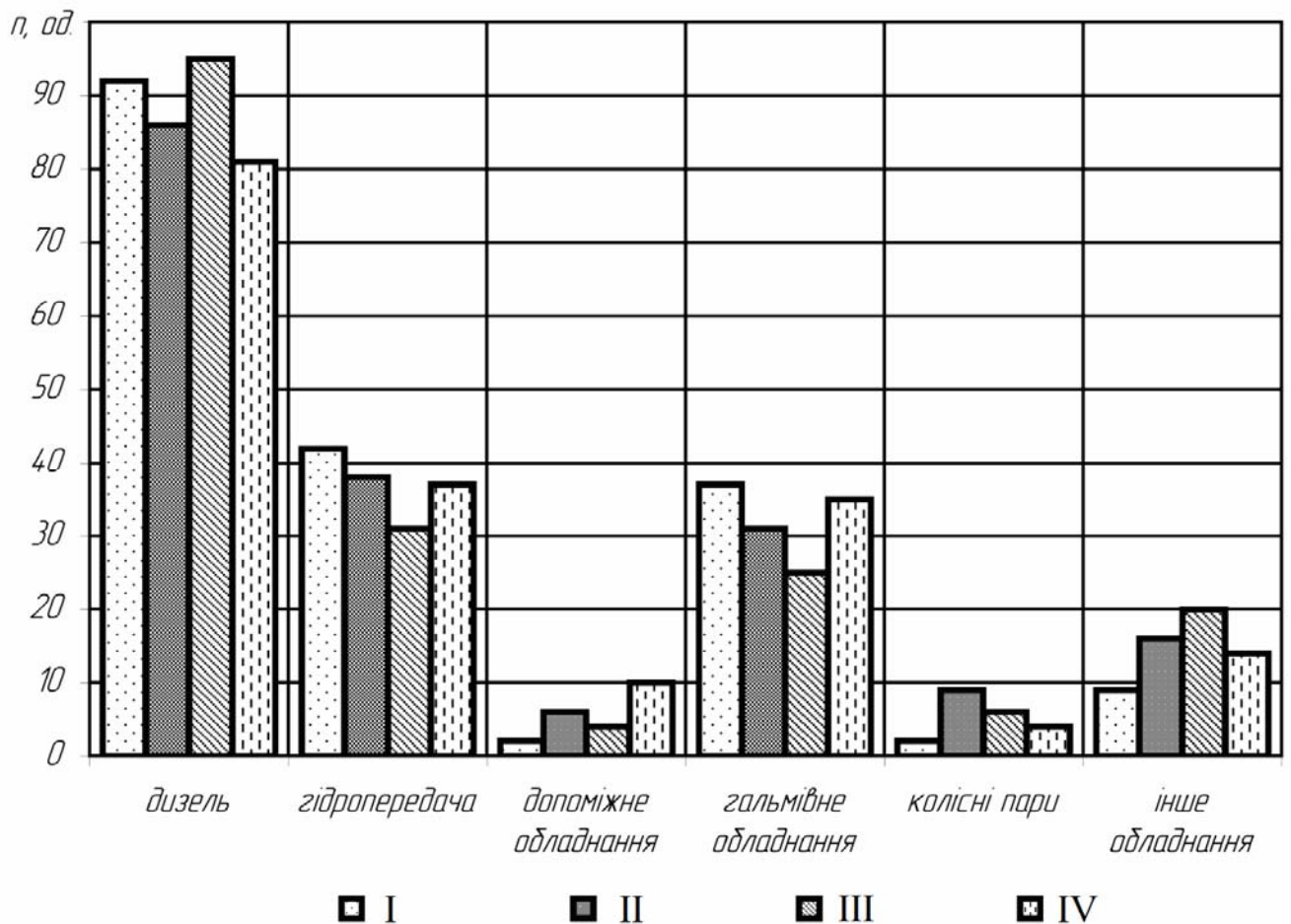


Рисунок 3.2 – Пошкодження та відмови тепловозів з гідравлічною передачею по всіх типах обладнання

Таблиця 3.3 – 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) по періодах, одиниць			
	I	II	III	IV
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

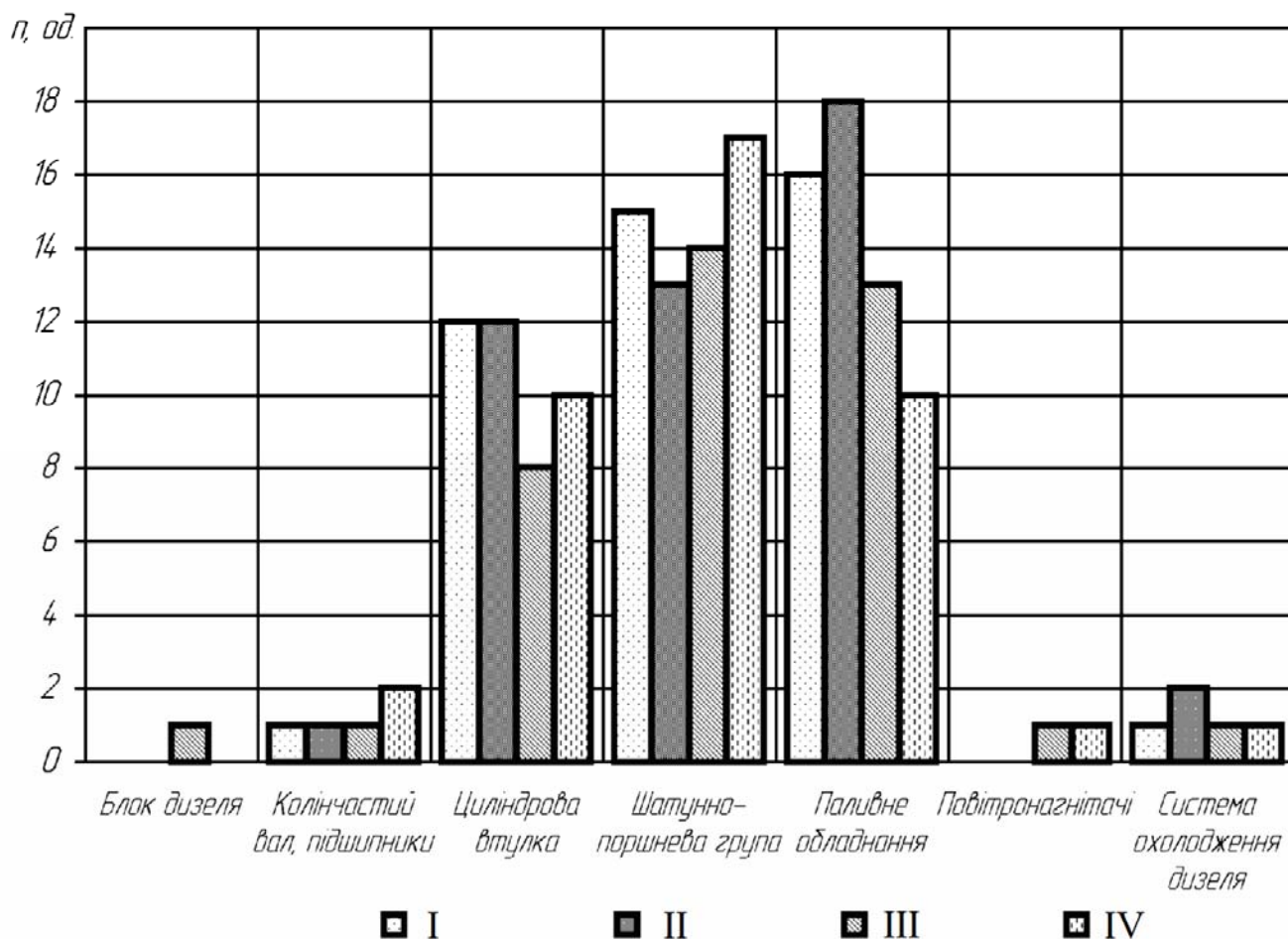


Рисунок 3.3 – Розподіл пошкоджень та відмов по вузлах та системах, які пов’язані з пошкодженням дизеля тепловоза з електричною передачею

Таблиця 3.4 – 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) по періодах, одиниць			
	I	II	III	IV
1	2	3	4	5
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

Продовження табл. 3.4

1	2	3	4	5
Повітрянагнітачі	1	1	1	3
Система охолодження	1	2	3	4
Всього	92	86	95	81

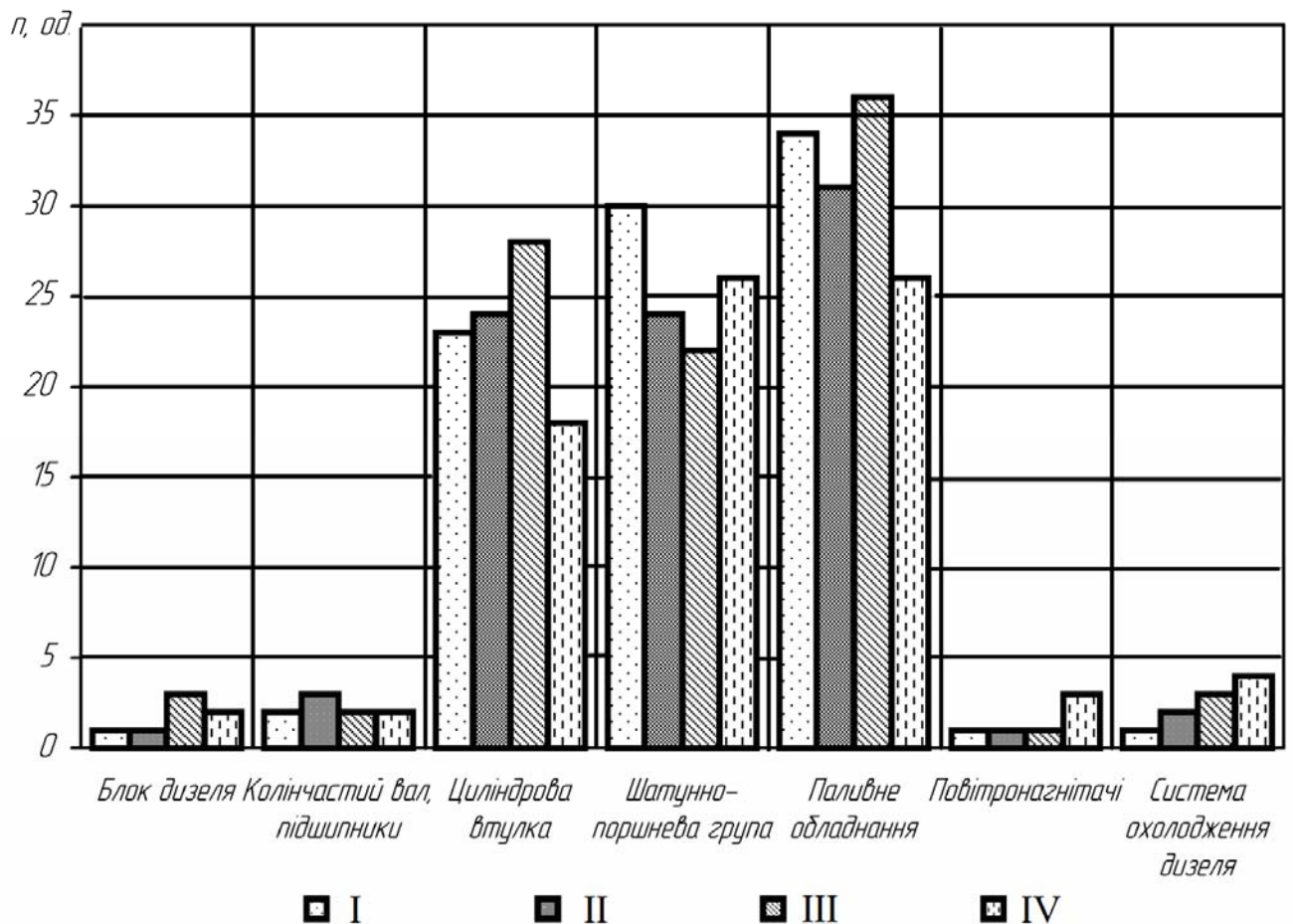


Рисунок 3.4 – Розподіл пошкоджень та відмов по вузлах та системах, які пов’язані із пошкодженням дизеля тепловоза з гідравлічною передачею

Якщо більш детально розглядати екіпажну частину тепловоза з електричною передачею, то можна виділити вузли, які мають найменшу надійність (табл. 3.5 та рис. 3.5).

При розгляді відмов передачі тепловоза з гідравлічною передачею можна виділити частини, які мають найменшу надійність (табл. 3.6 та рис. 3.6).

Таблиця 3.5 – Розподіл пошкоджень та відмов по вузлах, які пов’язані із пошкодженням екіпажної частини тепловоза з електропередачею

Вузол екіпажної частини	Кількість пошкоджень (відмов) по періодах, одиниць			
	I	II	III	IV
Рама тепловоза	2	3	2	1
Рама візка	2	3	2	3
Шкворневий вузол	3	2	2	1
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

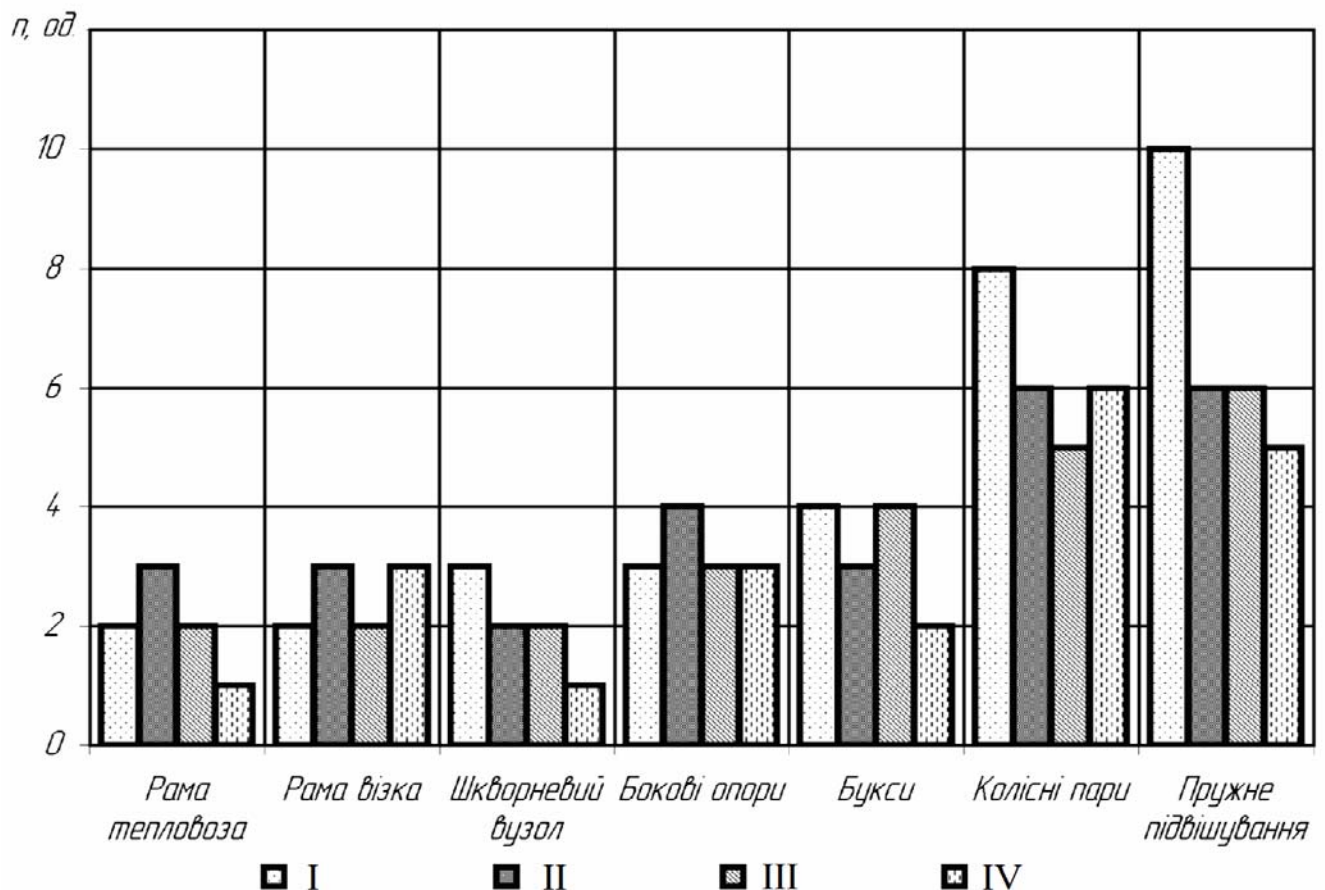


Рисунок 3.5 – Розподіл пошкоджень та відмов по вузлах, які пов’язані із пошкодженням екіпажної частини тепловоза з електропередачею

Таблиця 3.6 – Розподіл пошкоджень та відмов по частинах, які пов’язані з пошкодженням передачі тепловоза з гідравлічною передачею

Вузол екіпажної частини	Кількість пошкоджень (відмов) по періодах, одиниць			
	I	II	III	IV
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

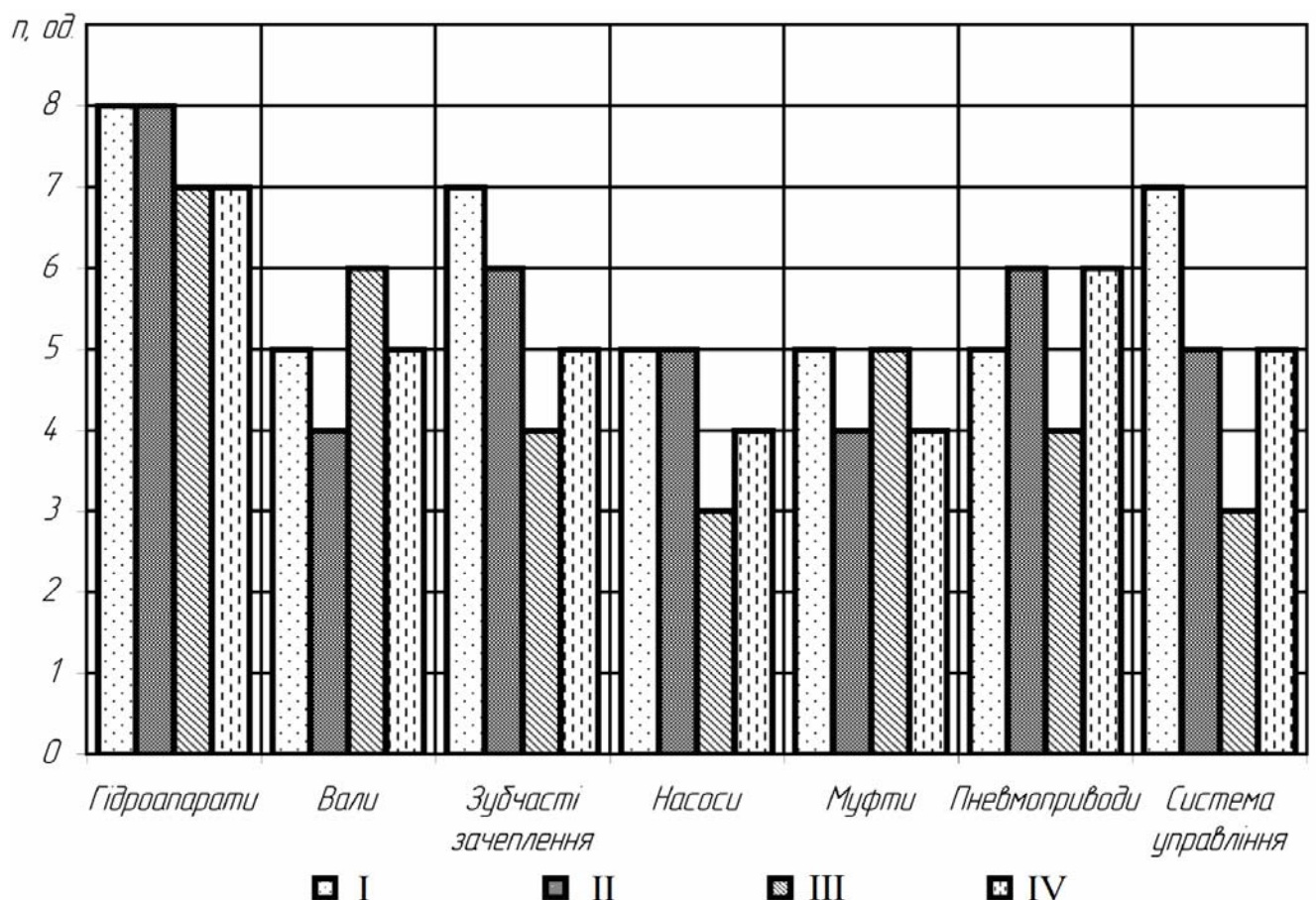


Рисунок 3.6 – Розподіл пошкоджень та відмов по частинах, які пов’язані з пошкодженням передачі тепловоза з гідравлічною передачею

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-поршневу групу та паливне обладнання.

3.3 Первинний аналіз статистичних даних про надійність маневрових тепловозів

Розглянемо відмови екіпажної частини тепловозів серії ТЭМ, 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.

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

$$R = t_{\max} - t_{\min}, \quad (3.4)$$

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

Для розрахунку оптимальної величини інтервалу Δt в годинах використовуємо формулу:

$$\Delta t = \frac{R}{1 + 3,322 \cdot \lg N}, \quad (3.5)$$

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Таблиця 3.7 – Напрацювання екіпажної частини тепловозів серії ТЭМ 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:

$$k = \frac{R}{\Delta t}; \quad (3.6)$$

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

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

Після цього проводиться об'єднання пробігів до відмови по інтервалах в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – 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

$$\bar{t}_i = \frac{t_{\text{поч.}i} + t_{\text{кін.}i}}{2}, \quad (3.7)$$

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

$$m_i = \frac{n_i}{N}, \quad (3.8)$$

де n_i – кількість відмов в i -му інтервалі, $n_1 = 6$;

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

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

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

$$m'_i = m'_{i-1} + m_i; \quad (3.9)$$

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

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

$$\bar{f}(t_i) = \frac{n_i}{\Delta t \cdot N}; \quad (3.10)$$

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

Середнє напрацювання до першої відмови визначається за формулою:

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k n_i \cdot \bar{t}_i; \quad (3.11)$$

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

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

Середнє квадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (\bar{t}_i - \bar{t})^2 \cdot n_i}{N}}; \quad (3.12)$$

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

Коефіцієнт варіації визначається за формулою

$$v = \frac{\sigma}{\bar{t}}; \quad (3.13)$$

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

За результатами розрахунків будуюмо гістограму розподілу (рис. 3.7), щільність імовірності розподілу напрацювань (рис. 3.7) та кумулятивну криву (рис. 3.8). 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 спільній 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 .

						0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			89

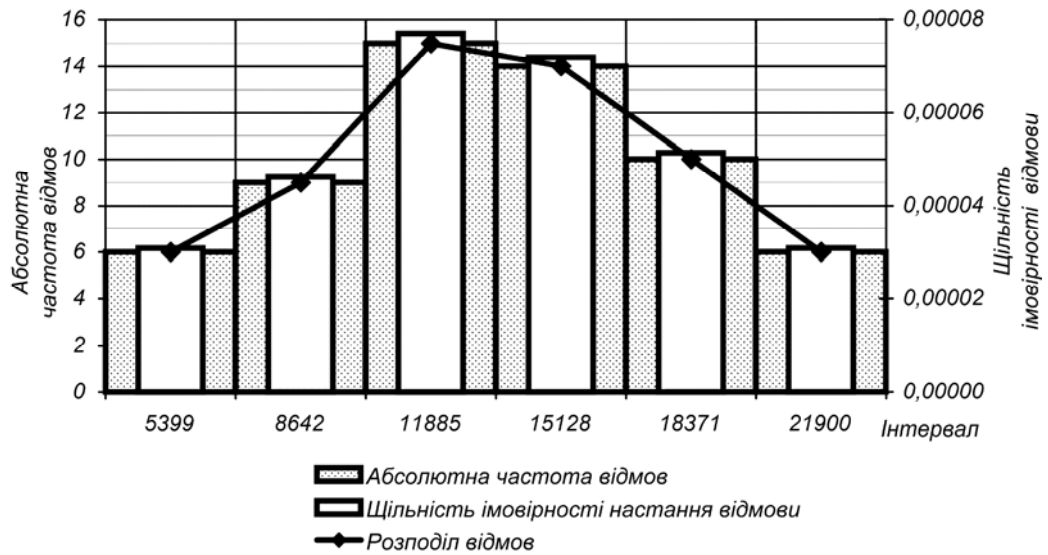


Рисунок 3.7 – Гістограма розподілу та щільність імовірності розподілу напрацювань

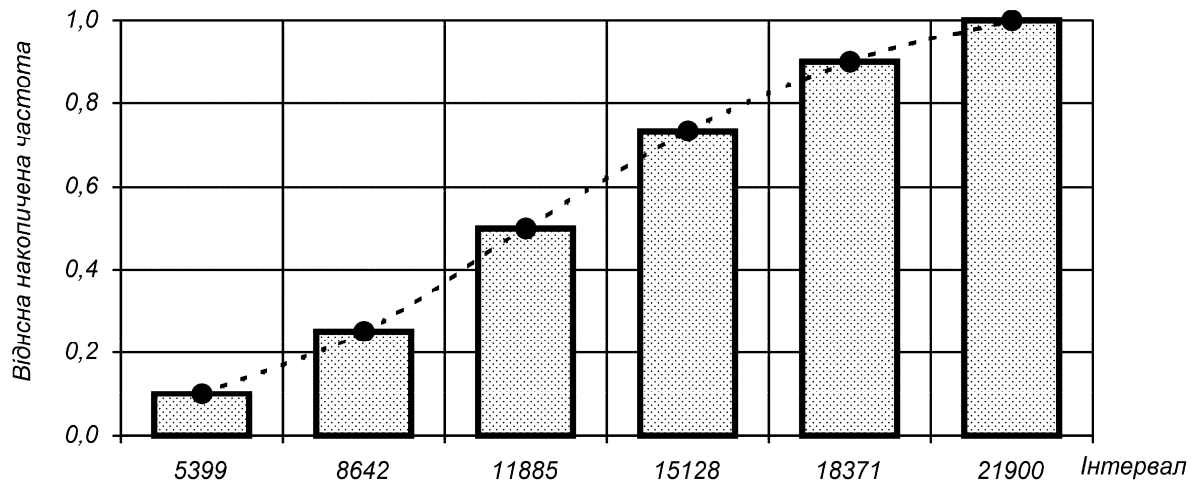


Рисунок 3.8 – Кумулятивна крива відмов

3.4 Визначення основних характеристик та закону розподілу напрацювання до відмови

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

$$u_{поч.i} = \frac{t_{поч.i} - \bar{t}}{\sigma}; \quad (3.14)$$

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

$$u_{\text{кін.}i} = \frac{t_{\text{кін.}i} - \bar{t}}{\sigma}; \quad (3.15)$$

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

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

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

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

$$p_i = \Phi(u_{\text{кін.}i}) - \Phi(u_{\text{поч.}i}); \quad (3.16)$$

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

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

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - p_i N)^2}{p_i N}; \quad (3.17)$$

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

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

Результати розрахунку зводимо в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – 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

Накладаємо значення ймовірностей теоретичного нормального розподілу p_i на гістограму емпіричних частот (рис. 3.9).

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

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

$$\chi^2 \leq \chi_m^2, \quad (3.18)$$

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



Рисунок 3.9 – Імовірність теоретичного нормального розподілу відмов

$$r = k - 3; \tag{3.19}$$

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

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

$$R = \frac{\chi^2 - r}{\sqrt{2r}}; \tag{3.20}$$

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

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

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

величини спростовується.

3.5 Визначення кількісних характеристик надійності

Вихідні дані для розрахунку кількісних характеристик надійності наведені в табл. 3.10.

Імовірність безвідмовної роботи за статистичними даними про відмови розраховуємо за формулою

Таблиця 3.10 – 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

$$P^c(t) = \frac{N - n(t)}{N}, \quad (3.21)$$

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

Для прикладу розраховуємо кількісних характеристик надійності за 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

$$Q^c(t) = \frac{n(t)}{N}; \quad (3.22)$$

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

Частоту відмов за статистичним даними про відмови визначаємо за виразом

$$f^c(t) = \frac{\Delta n(t)}{N \cdot \Delta t}, \quad (3.23)$$

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

$$\lambda^c(t) = \frac{\Delta n(t)}{N_{\text{сер}}(t) \cdot \Delta t}, \quad (3.24)$$

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

$$T_{\text{сер}}^c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i, \quad (3.25)$$

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

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

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

Розрахунки зводимо в табл. 3.11. Графічна інтерпретація кількісних характеристик надійності наведена на рис. 3.10-3.12.

Таблиця 3.11 – 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

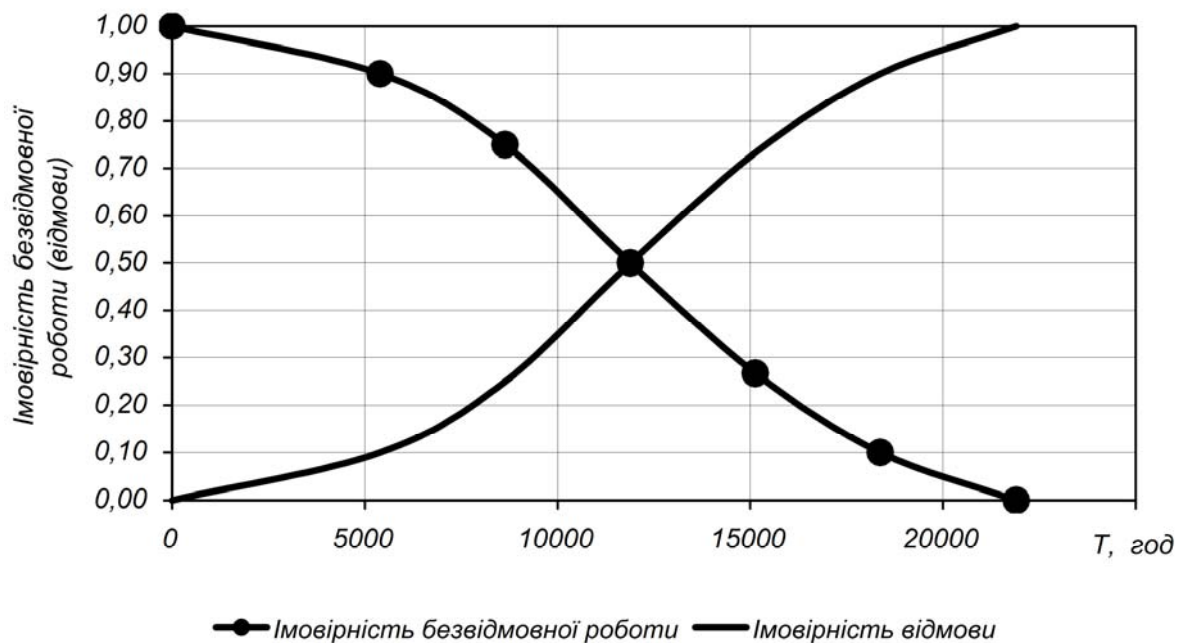


Рисунок 3.10 – Імовірність безвідмовної роботи та імовірність відмови

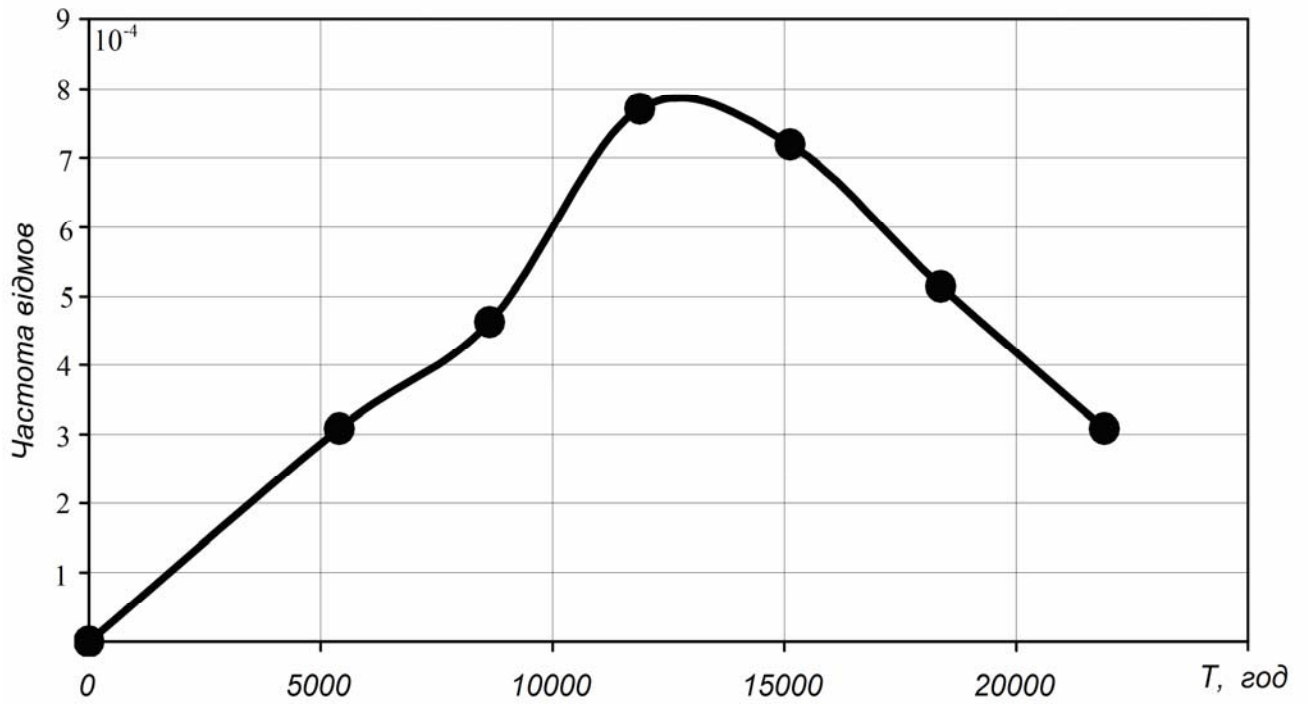


Рисунок 3.11 – Частота відмов

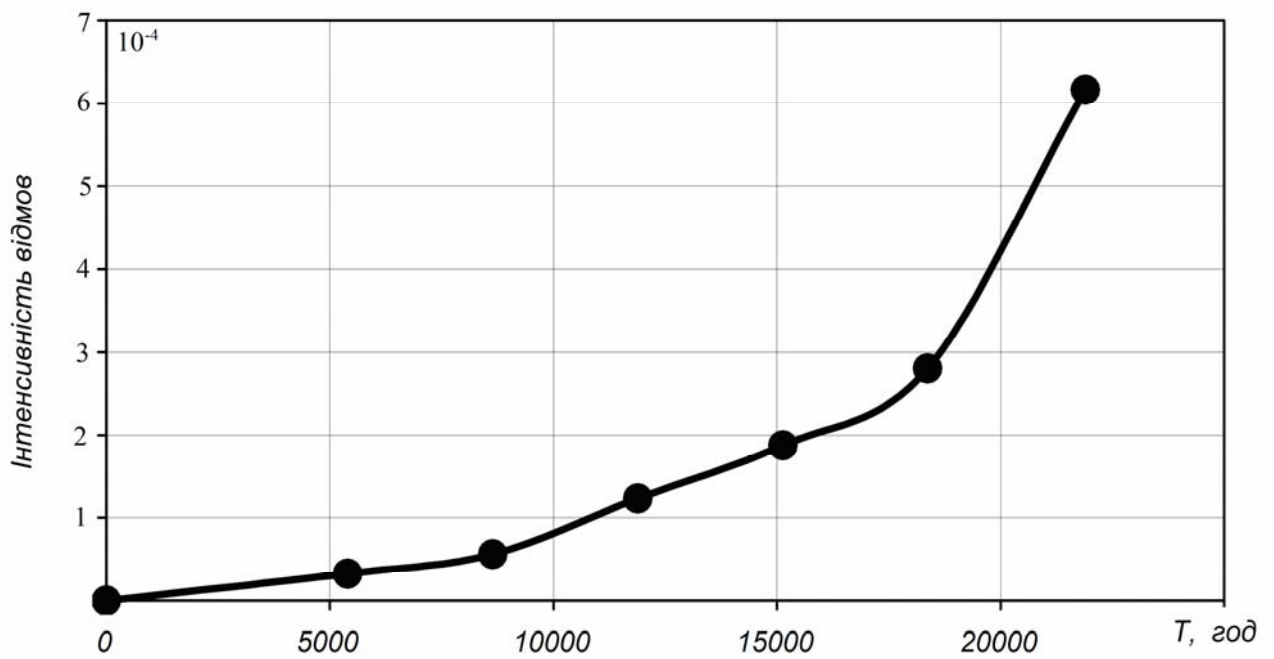


Рисунок 3.12 – Інтенсивність відмов

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.206544.ДР.2021.001

3.6 Пропозиції удосконалення системи утримання маневрових тепловозів

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

Відповідно до наказу 093-ЦЗ для тепловозів серії ТЭМ напрацювання до виконання ремонту в обсязі ПР-3 становить 18750 годин, але виходячи з проведеного аналізу графіків та таблиць, які були отримані під час розрахунків, спостерігається збільшення кількості відмов та значного підвищення інтенсивності відмов обладнання локомотива, в тому числі дизеля, при досягненні напрацювання 18000 год, тому при постановці локомотива на ремонт обсягом ПР-3 він вже матиме ряд відмов, які можуть викликати постановку на непланові ремонти, а саме відмови пов'язані з паливною апаратурою та циліндро-шатунно-поршневою групою. Якщо у випадку з паливною апаратурою проведення ремонту можливе без розбирання дизеля, то з циліндро-шатунно-поршневою групою необхідно вилучати тепловоз з безпосередньої роботи.

Тому проведення ремонту обсягом ПР-3 рекомендуємо проводити при напрацюванні 18×10^3 годин, але також треба враховувати те, що необхідно переглянути обсяги напрацювання тепловозів для інших видів ремонтів (рис. 3.13).

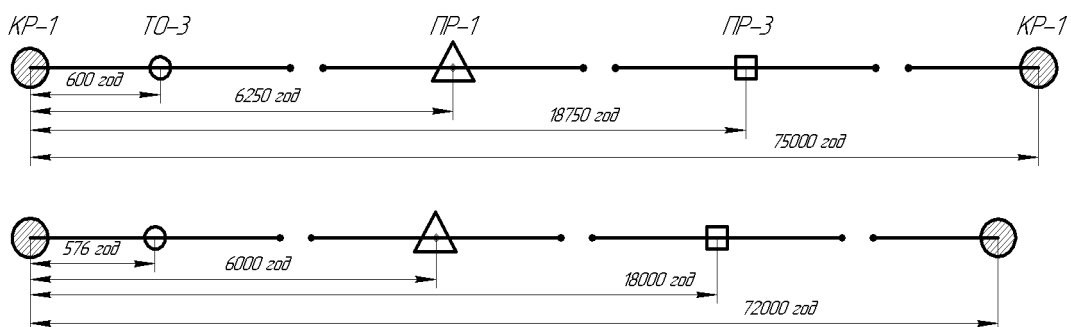


Рисунок 3.13 – Порівняння систем утримання

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

ВИСНОВКИ

Еволюційний розвиток маневрових локомотивів показав тенденції збільшення осьової сили тяги, використання передач змінного струму з асинхронними тяговими двигунами, модульного принципу конструювання та виробництва, електронних систем керування та діагностики. При цьому науковому обґрунтуванню характеристик та технічного рівня маневрових тепловозів приділяється недостатньо уваги, а вихідними даними для розрахунків є обсяги маневрових робіт.

Аналіз визначення тенденції розвитку систем утримання дозволив розділяти їх на чотири типи, які хронологічно відповідають поколінням їх розвитку. Це такі системи утримання: по відмові, планово-попереджувальні, по фактичному стану обладнання, підтримки тягового рухомого складу, яка базується на основі інформації про стан вузлів і деталей тягового рухомого складу в реальному масштабі та часі. При цьому кожному типу систем утримання відповідає певне покоління рухомого складу.

Виконано аналіз існуючих систем утримання рухомого складу показав необхідність нових підходів до їх організації.

На основі адаптивної моделі були розраховані ймовірності перебування маневрових тепловозів серій ЧМЕЗ і ТЕМ в різних станах під час їх експлуатації в депо.

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

Проаналізовано, що найбільш навантаженим обладнанням маневрових

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тепловозів внаслідок роботи дизеля в режимі великих навантажень є паливна апаратура та циліндро-шатунно-поршнева група, що несе за собою підвищену інтенсивність зносу та більшу питому вагу відмов останніх. Також слід зазначити що більшість маневрових тепловозів залізниць України працюють понад нормативний термін експлуатації.

При порівнянні нормативного напрацювання до виконання ремонту обсягом ПР-3 з графіками та таблицями, які були отримані під час розрахунків, спостерігається збільшення кількості відмов та значне підвищення інтенсивності відмов обладнання локомотива, в тому числі дизеля, при напрацюванні до нормативного значення виконання ремонту. Тому при постановці локомотива на ремонт обсягом ПР-3 він вже матиме ряд відмов, які можуть викликати постановку на непланові ремонти, а саме відмови пов'язані з паливною апаратурою та циліндро-шатунно-поршневою групою. Якщо у випадку з паливною апаратурою проведення ремонту можливе без розбирання дизеля, то з циліндро-шатунно-поршневою групою необхідно вилучати тепловоз з безпосередньої роботи. З урахуванням вищесказаного в роботі надано рекомендації з коригування міжремонтних напрацювань.

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Эволюция систем управления техобслуживанием и ремонтами / Д.В. Шехватов. Оборудование. - 2004. - №2. - С. 12-14.
2. Слиеде П.Б., Залайс В.О. О постановке многокритериальных задач оптимизации // Вопросы динамики и прочности. - Рига: Знание, 1977. - С. 16-19.
3. Субетто А.И. Квалиметрия: Индексная квалиметрия / ВИКИ им. А.Ф.Можайского. - Л.: Машиностроение, - 1983. - 43 с.
4. Ванеев Б.Н. Некоторые недостатки комплексных показателей качества// Стандарты и качество. 1970. - №4. - С. 17-25.
5. Азгальдов Г.Г. Азгальдова Л.А. Количественная оценка качества Библиография. - Н.: Изд. - во стандартов, 1971. - 89 с.
6. Справочник по аттестации качества продукции / Под ред. В.В. Кандыбы. - Харьков: Прапор, 1974. - 239 с.
7. Организация ремонта подвижного состава в Северной Америке // Железные дороги мира. - 2003. - №3. - С.21-25.
8. Техническое обслуживание и ремонт подвижного состава сторонними компаниями // Железные дороги мира. - 2005. - №10. - С. 28-31.
9. Конструкция и динамика тепловозов. Иванов В.Н., Иванов В.В., Панов Н.И., Третьяков А.П. - М.: Транспорт, 1968. - 287 с.
10. Конструкция, расчет и проектирование локомотивов / Под ред. А.А. Каменева. - М.: Машиностроение, 1981. - 351.
11. Теория электрической тяги. В.Е. Розенфельд, И.П. Исаев, Н.Н. Сидоров, М.И. Озеров. Под ред. Исаева И.П. - М.: Транспорт, 1995. - 294 с.
12. Кузьмин А.В., Усков А. А. Интеллектуальные технологии управления: искусственные нейронные сети и нечеткая логика. - М.: «Горячая линия - Телеком», 2004. - 143 с.
13. Организация ремонта подвижного состава в Северной Америке // Железные дороги мира. - 2003. - №3. - С.21-25.

					<i>0032.206544.ДР.2021.001</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

14. Подвижной состав и основы тяги поездов: Учебник для техникумов ж.-д. трансп. / П.И. Борцов, В.А. Валетов, П.И. Кельперис, Л.И. Мельжинский, М.Г. Наливкин, С.И. Осипов; Подю ред.. С.И. Осипова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М: Транспорт, 1983. - 334 с.
15. Подвижной состав и тяга поездов: Учебник / Третьяков А.П., Деев В.В., Перова А.А. и др. Под ред. В.В. Деева, Н.А. Фуфрянского. М., Транспорт, 1979. 368 с.
16. Бобровников Г.Н., Клебанов А.И. Комплексное прогнозирование создания новой техники. - М.: Экономика, 1989. - 205 с.
17. Бородулин И.П. Основы теории, расчет и конструирование локомотивов - М.: Машиностроение. 1976. - 544 с.
18. ГОСТ 10150-88. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. - М.: Изд-во стандартов, - 32 с.
19. ГОСТ 2.116-84. Карта технического уровня и качества продукции. - М.: Изд-во стандартов, 1979. - 14 с.
20. Бирюков И.В., Беляев А.И., Рыбников Е.К. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог. - М.: Транспорт, 1986. - 256 с.
21. Евстратов А.С. Экипажные части тепловозов. - М.: Машиностроение, 1987. - 136 с.
22. ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность // Государственный стандарт / Гос. ком. СССР по стандартам. - М: Издательство стандартов, 1988, - 109 с.
23. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. - Київ: Держстандарт України, 1994. - 28 с.
24. Канарчук В.С., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. Надійність машин. - К.: Либідь, 2003. - 424 с.
25. РД 50-690-89. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. // Методические указания / Гос.

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Эмн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		102

- ком. СССР по управлению качеством продукции и стандартам. - М: Издательство стандартов, 1990, - 132 с.
26. ГОСТ В 20.57.111-79. Комплексная система контроля качества военной техники. Оценка соответствия изделий требованиям по надежности. Общие положения. // Государственный стандарт СССР / Гос. ком. СССР по стандартам. - М: Издательство стандартов, 1980, - 25 с.
27. ДСТУ 2861-94 Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення. - Київ: Держстандарт України, 1994. - 33 с.
28. Аркин В.И., Левин В Л. Выпуклость значений векторных интегралов, теоремы измеримого выбора и вариационные задачи. - М. УМН, 1972. - Вып.3. - С.21-73.
29. Ахназаров С.Л., Каферов В.В. Оптимизация эксперимента. - М.: Высшая школа, 1978. - 124 с.
30. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В Ют. - М.: Машиностроение, 1988. - 316 с.
31. Загорский М.В., Котов О.М., Чудаков П.Л. Знакомьтесь: тепловоз ТЭМ-21. Локомотив. - 2002. -№6. - С.35-38.
32. Хомич А.З., Жалкин С.Г., Симеон А.Э., Тартаковский Э.Д. Диагностика и регулировка тепловозов. - М.: Транспорт, 1977. - 222 с.
33. Горский А.В., Воробьев А.А. Оптимизация системы ремонта локомотивов. - М.: Транспорт, 1994, - 208 с.
34. Босов А.А., Капица М.И., Мухина Н.А. Учет технологии ремонта при построении системы содержания локомотивов /Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте // Труды IV научно-технической конференции. - М.: МИИТ, 2001. -IX-6-8С.

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Эмн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		103

СПИСОК РИСУНКІВ

- Рисунок 1.1 – Класифікація методів визначення технічного рівня маневрових тепловозів
- Рисунок 1.2 – Методи визначення характеристик маневрових тепловозів
- Рисунок 1.3 – Алгоритм прогнозування параметрів маневрового тепловоза
- Рисунок 1.4 – Структурна схема тягового електроприводу
- Рисунок 1.5 – Класифікація тягових електроприводів локомотивів
- Рисунок 2.1 – Адаптивна модель прогнозування надійності маневрових тепловозів на протязі всього життєвого циклу
- Рисунок 2.2 – Алгоритм розрахунку показників надійності маневрового тепловоза з використанням моделі у вигляді блок-схем.
- Рисунок 2.3 – "Згорнута" логічна схема розрахунку надійності маневрового тепловоза
- Рисунок 2.4 – Адаптивна модель системи ЕТОР для нових маневрових тепловозів
- Рисунок 2.5 – Граф станів процесу вибору системи ЕТОР
- Рисунок 2.6 – Граф станів процесу ЕТОР
- Рисунок 2.7 – Ремонтний цикл маневрового тепловоза
- Рисунок 3.1 – Пошкодження та відмови тепловозів з електричною передачею по всіх типах обладнання
- Рисунок 3.2 – Пошкодження та відмови тепловозів з гідравлічною передачею по всіх типах обладнання
- Рисунок 3.3 – Розподіл пошкоджень та відмов по вузлах та системах, які пов'язані з пошкодженням дизеля тепловоза з електричною передачею
- Рисунок 3.4 – Розподіл пошкоджень та відмов по вузлах та системах, які пов'язані із пошкодженням дизеля тепловоза з гідравлічною передачею
- Рисунок 3.5 – Розподіл пошкоджень та відмов по вузлах, які пов'язані із пошкодженням екіпажної частини тепловоза з електропередачею
- Рисунок 3.6 – Розподіл пошкоджень та відмов по частинах, які пов'язані з пошкодженням передачі тепловоза з гідравлічною передачею

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

Рисунок 3.7 – Гістограма розподілу та щільність імовірності розподілу
напрацювань

Рисунок 3.8 – Кумулятивна крива відмов

Рисунок 3.9 – Імовірність теоретичного нормального розподілу відмов

Рисунок 3.10 – Імовірність безвідмовної роботи та імовірність відмови

Рисунок 3.11 – Частота відмов

Рисунок 3.12 – Інтенсивність відмов

Рисунок 3.13 – Порівняння систем утримання

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ТАБЛИЦЬ

Таблиця 1.1 – Методи визначення технічного рівня транспортних засобів

Таблиця 1.2 – Дані аналізу способів утримання ТРС
Таблиця 1.3 – Визначення балів конструктивних груп по признакам тягових передач

Таблиця 1.3 – Визначення балів конструктивних груп по признакам тягових передач

Таблиця 1.4 – Технічний рівень тягових електроприводів тепловозів, який розрахований бальним методом

Таблиця 1.5 – Визначення технічного рівня маневрових тепловозів методом на основі системного аналізу

Таблиця 2.1 – Функціональні системи і елементи маневрового тепловоза ТЕМ103

Таблиця 2.2 – Імовірності відмов елементів підсистем маневрового тепловоза

Таблиця 2.3 – Ймовірність безвідмовної роботи маневрового тепловоза ТЕМ103

Таблиця 2.4 – Результати аналізу

Таблиця 2.5 – Рекомендовані значення параметрів системи ЕТОР для маневрового тепловоза ТЕМ103

Таблиця 2.6 – Розрахункові значення середньодобової кількості маневрових тепловозів

Таблиця 3.1 – Розподіл пошкоджень та відмов тепловозів з електричною передачею по всіх типах обладнання

Таблиця 3.2 – Розподіл пошкоджень та відмов тепловозів з гідравлічною передачею по всіх типах обладнання

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

Таблиця 3.3 – Розподіл пошкоджень та відмов по вузлах та системах, які пов’язані з пошкодженням дизеля тепловоза з електричною передачею

Таблиця 3.4 – Розподіл пошкоджень та відмов по вузлах та системах, які пов’язані із пошкодженням дизеля тепловоза з гідравлічною передачею

Таблиця 3.5 – Розподіл пошкоджень та відмов по вузлах, які пов’язані із пошкодженням екіпажної частини тепловоза з електропередачею

Таблиця 3.6 – Розподіл пошкоджень та відмов по частинах, які пов’язані з пошкодженням передачі тепловоза з гідравлічною передачею

Таблиця 3.7 – Напрацювання екіпажної частини тепловозів серії ТЭМ до відмови в годинах

Таблиця 3.8 – Результати розрахунку характеристик напрацювання до відмови

Таблиця 3.9 – Результати розрахунку на відповідність відмов нормальному закону розподілу

Таблиця 3.10 – Вихідні дані для розрахунку кількісних характеристик надійності

Таблиця 3.11 – Результати розрахунків кількісних характеристик надійності за статистичним даними про відмови

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АННОТАЦІЯ ТА КЛЮЧОВІ СЛОВА

Дипломна магістерська робота на тему «Удосконалення системи утримання маневрових тепловозів відповідно вимог інтегрованості» загальним обсягом ___ аркушів розрахунково-пояснювальної записки, яка складається з 3 розділів, містить 25 ілюстрацій, 23 таблиці та список літературних джерел з 34 найменувань.

Об'єктом дослідження в дипломній магістерській роботі є процес утримання маневрових тепловозів. Предметом дослідження є методи та технології, які спрямовані на покращення стратегій утримання маневрових тепловозів. Метою роботи є удосконалення системи утримання маневрових тепловозів відповідно вимог інтегрованості. Для досягнення мети поставлені такі задачі: виконати огляд та аналіз систем утримання маневрових тепловозів; розробити математичну модель визначення технічного стану та прогнозування показників надійності маневрового тепловоза; виконати коригування діючих систем утримання маневрових тепловозів.

В роботі виконано аналіз існуючих систем утримання тягового рухомого складу. Аналіз показав, що за рахунок удосконалення системи управління ефективністю процесу утримання, в тому числі обґрунтування програм по технічному обслуговуванню і поточному ремонту маневрового тягового рухомого складу можна досягнути підвищення ефективності процесу технічної експлуатації.

В ході виконаних під час виконання дипломної магістерської роботи розрахунків було визначено, що проведення ремонту обсягом ПР-3 рекомендується проводити при напрацюванні 18×10^3 годин, але також треба враховувати те, що необхідно переглянути обсяги напрацювання тепловозів для інших видів ремонтів.

Ключовими словами в дипломному проекті є: утримання, технічне обслуговування, ремонт, маневровий тепловоз, шатунно-поршнева група, паливна апаратура, напрацювання, відмова, тяговий рухомий склад, дизель.

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ANNOTATION THAT KEY WORDS

Master's thesis on "Improvement of the system of maintenance of shunting locomotives in accordance with the requirements of interoperability" with a total volume of ___ sheets of settlement and explanatory note, which consists of 3 sections, contains 25 illustrations, 23 tables and a list of references from 34 titles.

The object of research in the master's thesis is the process of maintaining shunting locomotives. The subject of the research are methods and technologies aimed at improving the maintenance strategies of shunting locomotives. The purpose of the work is to improve the maintenance system of shunting locomotives in accordance with the requirements of interoperability. To achieve this goal, the following tasks are set: to perform a review and analysis of the systems of maintenance of shunting locomotives; to develop a mathematical model for determining the technical condition and forecasting the reliability of the shunting locomotive; to make adjustments of operating systems of maintenance of shunting locomotives.

The analysis of the existing traction rolling stock retention systems is performed in the work. The analysis showed that by improving the management system of the efficiency of the maintenance process, including the justification of programs for maintenance and repair of shunting traction rolling stock, it is possible to increase the efficiency of the maintenance process.

In the course of calculations performed during the master's thesis, it was determined that the repair of PR-3 is recommended to be carried out at 18×103 hours, but it should also be borne in mind that it is necessary to review the operating time of locomotives for other repairs.

The key words in the diploma project are: maintenance, maintenance, repair, shunting locomotive, connecting rod-piston group, fuel equipment, operating time, failure, traction rolling stock, diesel.

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Эмн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		109

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЕОМ	– електронна обчислювальна машина
МАІ	– методи, які основані на аналізі ієрархій
ТО	– технічне обслуговування
ПР	– поточний ремонт
РС	– рухомий склад
ТРС	– тяговий рухомий склад
ТОР	– технічне обслуговування та ремонт
ЕТОР	– експлуатація, технічне обслуговування та ремонт
ПН	– показник надійності
СДЗ	– система дизеля з системами забезпечення
СХЧ	– система ходової частини
СЕП	– система електричної передачі
СДО	– система допоміжного обладнання
ДОЦ	– дорожній обчислювальний центр
АЛСН	– автоматична локомотивна сигналізація з автостопом, пристроями контролю пильності машиніста й контролю швидкості руху поїзда

					0032.206544.ДР.2021.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		110