

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет "Транспортна інженерія"

Кафедра "Локомотиви"

"ДО ЗАХИСТУ"

Зав.кафедрою Б. Боднар Борис БОДНАР

"20" 06 2023 р.

ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи *бакалавра*

на тему: "Технічне переоснащення локомотивного депо С"

за освітньою програмою: "Локомотиви та локомотивне господарство"
зі спеціальності 273 "Залізничний транспорт"
галузі знань 27 "Транспорт"

Виконав: студент групи ДГ1911

Максим Білецький Максим БІЛЕЦЬКИЙ

Керівник Дмитро Бобирь Дмитро БОБИРЬ

Нормоконтролер Людмила Колодій Людмила КОЛОДІЙ

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

Студент Максим Білецький

Дніпро, 2023

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES

Faculty “*Transport engineering*”

Department “*Locomotives*”

Explanatory Note
to Master’s Thesis

bachelor

on the topic: “**Technical re-equipment of locomotive depot C**”

according to educational curriculum: “*Locomotives and Locomotive Economy*”
in the Speciality 273 “*Railway transport*”
Branch of knowledge 27 “*Transport*”

Done by the student of the group *LG1911*:

Maksym BILETSKYI

Scientific Supervisor: Dmytro BOBYR

Normative controller: Liudmyla KOLODII

Dnipro, 2023

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка складається з чотирьох розділів на 64 сторінках, налічує 17 ілюстрацій, сьомі таблиць та 12 літературних джерел.

Об'єктом дослідження у роботі є процес експлуатації локомотивів депо С. Метою роботи є аналіз якісних та кількісних показників роботи депо та технічне переоснащення цеху ПР-1 депо з метою поліпшення показників його роботи.

В результаті аналізу запропоновані певні заходи, одними з яких є: впровадження валоповоротного механізму з пневматичним приводом; переобладнаного універсального знімача; стенду для перевірки та калібрування датчиків системи контролю витрат палива «БІС-Р» та пресу для опресовування резервуарів.

Також виконано аналіз ушкоджень і відмов екіпажної частини тепловозів та запропоновано методи їх усунення. Проаналізований стан надійності екіпажної частини локомотивів депо. Запропонована модернізована система пружного підвішування, виконані необхідні розрахунки.

Результати роботи можуть бути застосовані в роботі локомотивних депо.

Ключові слова: ЛОКОМОТИВНЕ ДЕПО, ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ЛОКОМОТИВІВ, ТЕХНІЧНЕ ПЕРЕОСНАЩЕННЯ, ТЕПЛОВОЗ, НАДІЙНІСТЬ, ЕКІПАЖНА ЧАСТИНА, ПРУЖНЕ ПІДВІШУВАННЯ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕПО С	7
1.1 Опис цехів та виробничих дільниць депо С	7
1.2 Організація експлуатації локомотивів депо С	10
1.3 Показники використання локомотивів	14
2 ТЕХНІЧНЕ ПЕРЕОСНАЩЕННЯ ЦЕХУ ПР-1 ТЕПЛОВОЗІВ ДЕПО С	19
2.1 Склад цеху ПР-1 та відділень	19
2.2 Вибір режиму роботи цеху	21
2.3 Розрахунок річної програми ремонту тепловозів ЧМЕЗ в об'ємі ПР-1	24
2.4 Технічне переоснащення цеху ПР-1 депо С	28
3 ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕКІПАЖНОЇ ЧАСТИНИ.....	35
3.1 Основні значення теорії надійності. Показники надійності.....	35
3.2 Розрахунок показників надійності локомотивів	39
4 ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕКІПАЖНОЇ ЧАСТИНИ ТЕПЛОВОЗІВ..	43
4.1 Підвищення надійності шляхом модернізації буксового вузла	43
4.2 Розрахунок на міцність гумометалевого блоку	45
4.3 Розрахунок частоти коливань піддресорної маси тепловоза.....	49
4.4 Розрахунок критичної швидкості руху тепловоза	50
4.5 Розрахунок демпфування коливань	51
4.6 Динамічне вписування тепловоза.....	52
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63

					<i>0032.190072.000.01КР.ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Технічне переоснащення локомотивного депо С</i>	Літ.	Арк.	Аркуші
<i>Розроб.</i>	<i>Білецьки ї</i>					5	64	
<i>Перевір.</i>	<i>Бодирь</i>							
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>	<i>Колоді ї</i>					<i>УДУНТ, зр. ЛГ1911</i>		
<i>Затверд.</i>								

ЧМЕЗ – 26 одиниць;

На сьогоднішній день площа тягової території локомотивного депо С складає 110000 м², загальна корисна довжина колій складає 5697 м, у т.ч. широкої колії на тяговій території – 5358 м, у спорудах депо – 339 м. Також у депо є 11 ремонтних стійл загальною площею 3528 м².

В своєму складі локомотивне депо С має три оборотних депо. Оборотні депо знаходяться на станціях Новомосковськ, Павлоград та Чаплине. Кожне оборотне депо має свою спеціалізацію.

Таблиця 1.1 – Довжини тягових плечей локомотивного депо С

Оборотне депо або пункт обороту	Довжина плеча, км
Запоріжжя-1	75
Запоріжжя-Ліве	65
Лозова	104
Н.Д.-Вузол	41
Покровськ (через Чаплине)	155
Покровськ (через Павлоград)	153
Чаплине	73
Павлоград	39
Новомосковськ (через Н.Д.-Вузол)	66
Кривий Ріг (через Запоріжжя Ліве)	240

Оборотне депо Новомосковськ є суто тепловозним та виконує маневрову роботу на станціях Новомосковськ, Самарівка та виконує вивізну роботу на одноколійній не електрифікованій ділянці Новомосковськ-Красноград. Основним видом вантажу, що перевозиться є зернові культури та продукція агропромислового комплексу.

Оборотне депо Павлоград забезпечує виконання маневрової та вивізної роботи на шахтарських станціях, забезпечуючи роботу тепловозів на всіх станціях західного крила Донецького вугільного басейну. Крім того локомотивними бригадами на електровозах ВЛ8, виконується підштовхуюча робота на ділянці Лозова–Синельникове-1.

						12

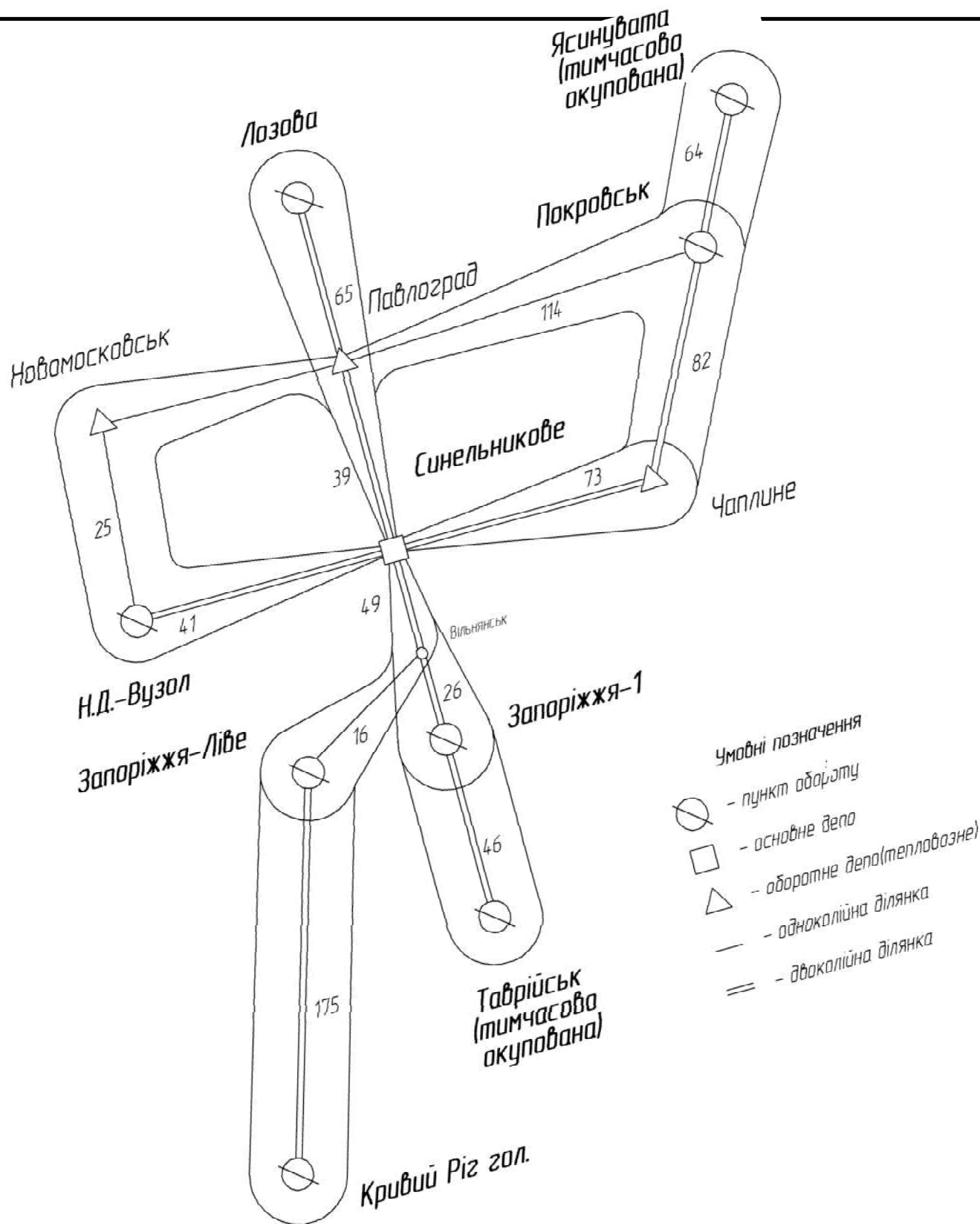


Рисунок 1.1 – Схема обслуговування локомотивами депо С

Якісні показники характеризують ступінь використання локомотивів. Кількісні показники роботи локомотивів характеризують обсяг роботи всіх локомотивів депо та залежать від обсягу перевезень і виду руху, організації експлуатаційної роботи і технічного оснащення залізниці.

Зміна показників депо С наведено в табл. 1.2 та на рис.1.2–1.7.

Таблиця 1.2 – Експлуатаційні показники локомотивного депо С

Найменування показника	Одиниця виміру	Величина по роках			
		2019	2020	2021	2022
Обсяг перевезень	млн ткм	11004	13830,2	12089,2	11617,7
Середньодобова продуктивність локомотива	тис ткм	1649	1537	1517,6	1672,2
Лінійний пробіг	тис км	4760,4	4847,4	4201,4	4099,9
Середня вага поїзда	т	4151,5	4121,9	4017,3	4038,5
Середньодобовий пробіг	км	611,9	545,1	517,6	574,1
Технічна швидкість	км/год	44,2	43,6	42,6	43,0
Дільнична швидкість	км/год	39	38,3	36,2	37,0

Як видно з наведених в табл. 1.2 та зображених на рис.1.2–1.7 найбільшого рівня обсяг перевезень досяг в 2020 та 2021 роках 13830,2 та 12089,2 млн ткм бруто проти ≈ 11000 у 2019 та 2022 роках. Причиною зростання обсягу перевезень є перенаправлення транспортних потоків у зв'язку з впровадженням швидкісного руху. Лінійний пробіг найбільшого значення мав в 2020 році – 4847,4 тис лкм, а найменшого в 2022 р – 4099,9 тис лкм. Причиною зменшення лінійного пробігу зменшення допоміжного пробігу за рахунок зменшення резервного пробігу.

Дільнична та технічна швидкості в період з 2019 по 2022 рік мають тенденцію до поступового зниження, через зменшення кількості

вантажних поїздів на ділянці Павлоград-Лозова, більшість поїздів прямує через станцію Покровськ.

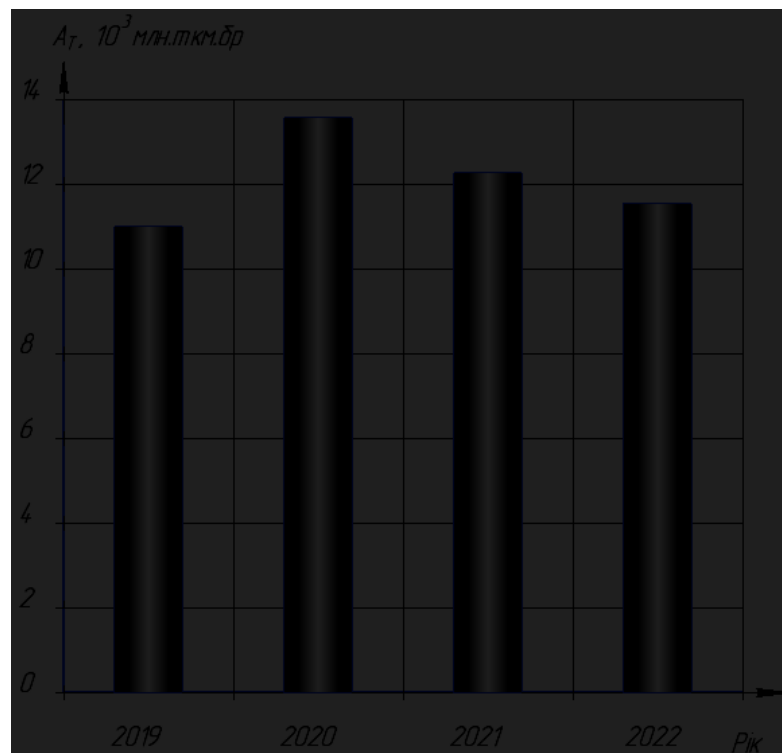


Рисунок 1.2 – Обсяг перевезень (тонно-кілометров а робота)

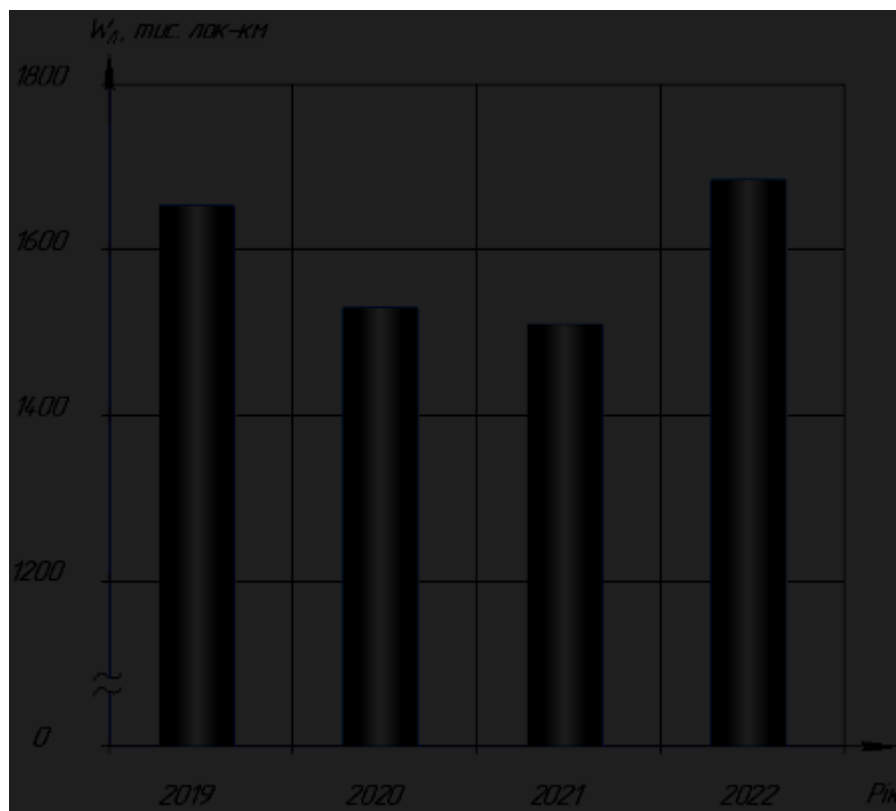


Рисунок 1.3 – Середньодобова продуктивність локомотива

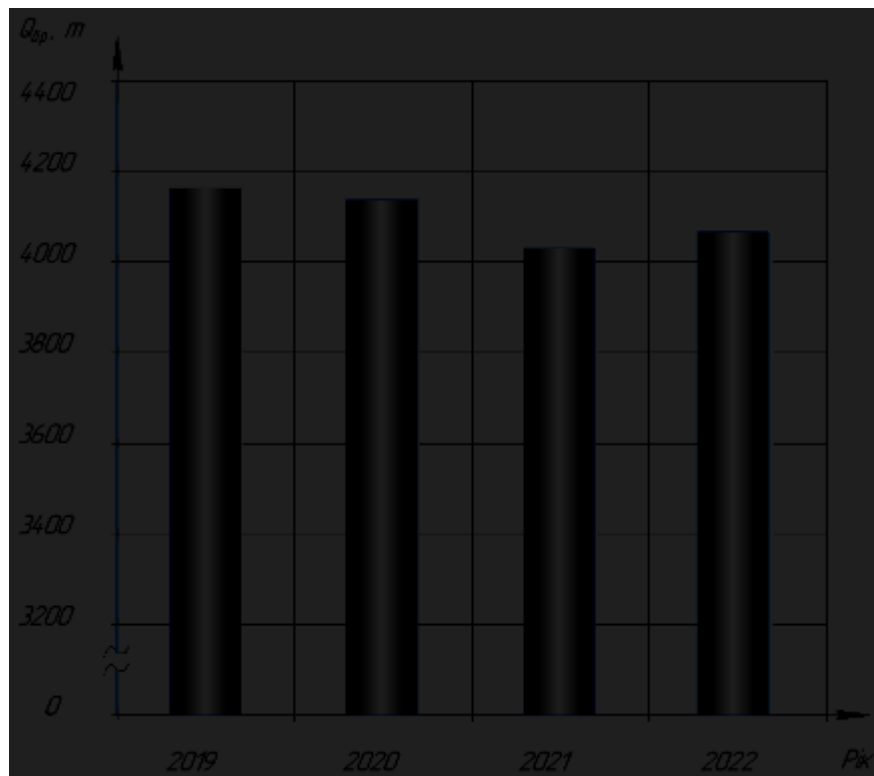


Рисунок 1.4 – Середня вага поїзда бруто

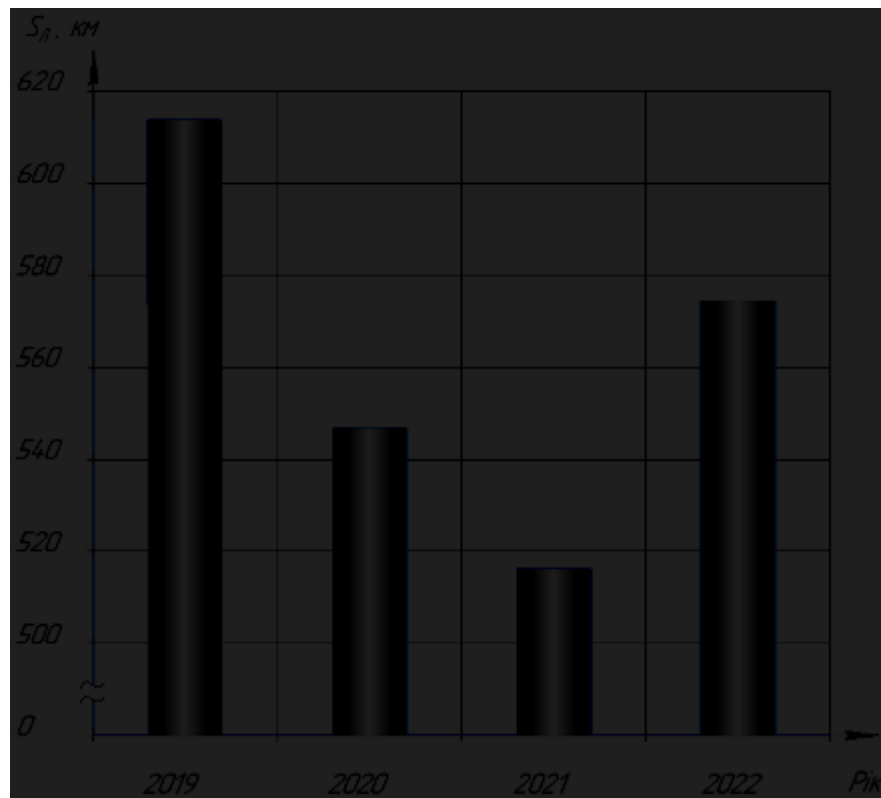


Рисунок 1.5 – Середньодобовий пробіг локомотива

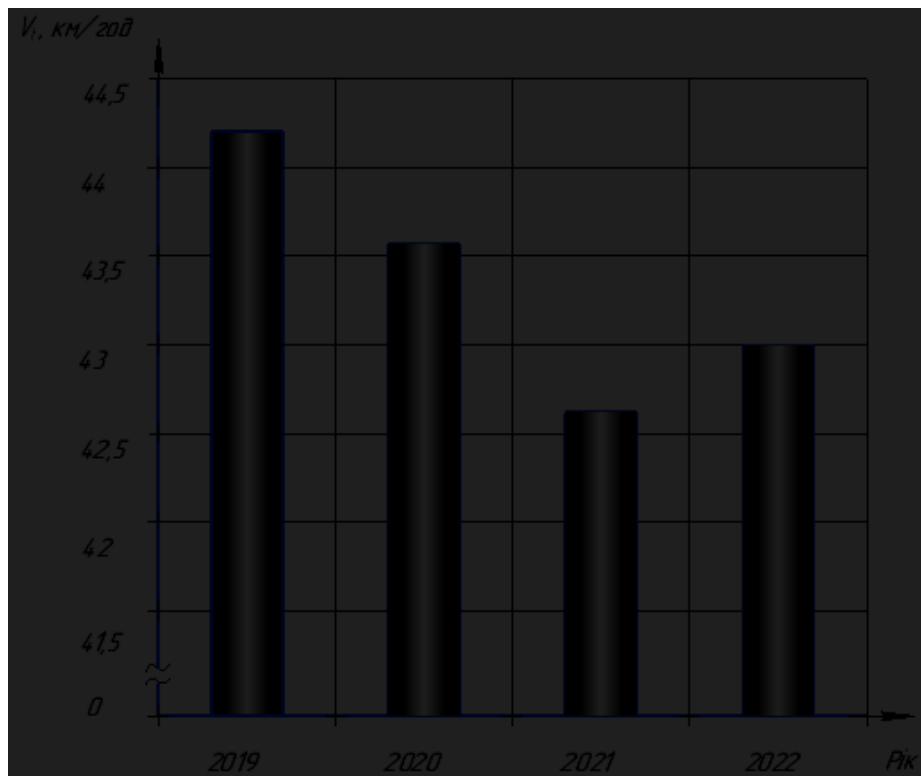


Рисунок 1.6 – Технічна швидкість

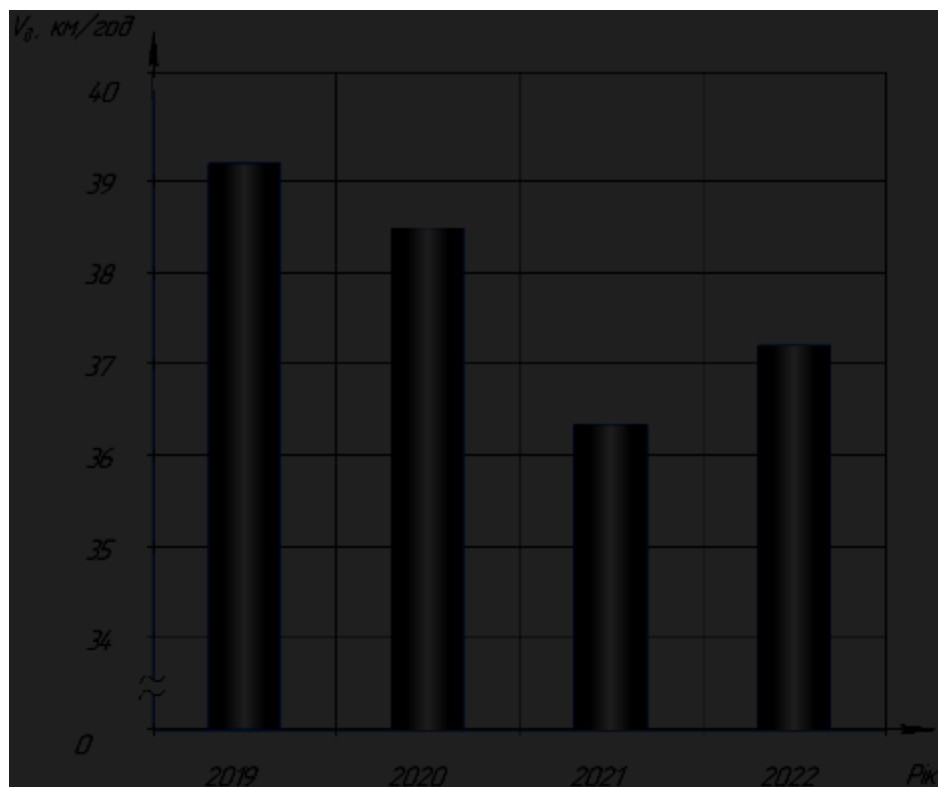


Рисунок 1.7 – Дільнична швидкість

2 ТЕХНІЧНЕ ПЕРЕОСНАЩЕННЯ ЦЕХУ ПР-1 ТЕПЛОВОЗІВ ДЕПО С

2.1 Склад цеху ПР-1 та відділень

Поточний ремонт (ПР-1) призначений для відновлення основних експлуатаційних характеристик та працездатності локомотивів шляхом ревізії, ремонту і заміни окремих деталей, вузлів і агрегатів, регулювання та випробування, а також часткової модернізації.

Склад основних виробничих підрозділів визначається вимогами виробничого процесу ремонту тепловозів та вузлів.

Позиції ремонтних дільниць для виконання ПР-1 тепловозів мають оглядові канали для огляду та ремонту екіпажної частини, гальмівного обладнання, тягових електродвигунів. Також в приміщенні цеху розташовано електроапаратне відділення, електрозварувальне відділення, кімнату майстрів, учбовий клас, комори.

Опис виробничої структури цеху, його пристроїв та оснащення виконано у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Склад цеху ПР-1 та відділень

Назва дільниці цеху ПР-1 та відділення	Робота, що виконуються
1	2
Стійло для піднімання кузова обладнане домкратами	Заміна болтів бокових маятникових опор, заміна пошкоджених гумометалевих елементів
Стійло з естакадою	Огляд, регулювання та ремонт дизеля і його допоміжного обладнання
Стійло з обладнанням для	Екіпірування тепловоза водою

контрольно-вимірних приладів та швидкостворювальних	амперметрів, вольтметрів, манометрів, тахометрів і монтаж їх на локомотиві
---	--

Продовження табл. 2.1

1	2
Відділення з ремонту АЛС, автостопів	Ремонт та випробування пристроїв АЛС, автостопів
Відділення з ремонту автотальмівного обладнання	Ремонт, регулювання та випробування автотальмівного обладнання (кранів машиніста, регуляторів тиску та ін.). Слюсарі цього відділення виконують ремонт та регулювання обладнання як на локомотиві так і в приміщенні відділення
Мийне відділення	Мийка та очищення деталей та вузлів локомотивів
Зварювальне відділення	Зварювання, різка металу та наплавлення деталей
Ковальня	Ремонт та правка пошкоджених деталей, виготовлення нових деталей
Інструментальне відділення	Ремонт та виготовлення інструменту

2.2 Вибір режиму роботи цеху

Режим роботи цеху визначається видом робочого тижня, кількістю робочих змін на добу та тривалістю робочої зміни з врахуванням умов технологічної безперервності та інших особливостей виробництва. На основі прийнятого режиму роботи розглядаються річні номінальний та дійсний фонди часу цеху, робочого місця (виробничої позиції), обладнання і

працюючих [4, 5].

Розрахунок фондів часу виконуємо за такими вихідними даними: календарне число днів у році – 365; річна кількість субот у році – 52; річна кількість неділей у році – 52; кількість святкових днів у році – 10; тривалість робочої зміни – 8; число передсвяткових днів – 6; число робочих змін на добу – 1; тривалість відпустки працівника в робочих днях – 24.

За тривалості робочої зміни вісім годин протягом року середня кількість робочих днів

$$D_P = K - \text{НД} - \text{С} - \text{СВ}, \quad (2.1)$$

де K – календарне число днів у році;

НД – річна кількість неділей у році;

С – річна кількість субот у році;

СВ – число святкових днів у році.

$$D_P = 365 - 52 - 52 - 10 = 251 \text{ день.}$$

Річні номінальні фонди часу цеху розраховуються наступним чином

$$\Phi_{\text{ЦН}} = [D_P \cdot t_S - (m_{\text{П}} + m_{\text{С}}) \cdot t_m] \cdot S, \quad (2.2)$$

де t_S – тривалість робочої зміни, $t_S = 8$ год;

D_P – число робочих днів в році, $D_P = 251$ день;

$m_{\text{С}}$ – число робочих субот, $m_{\text{С}} = 0$ днів;

$m_{\text{П}}$ – число передсвяткових днів, $m_{\text{П}} = 6$ днів;

t_m – час, на який скорочується тривалість робочої зміни в передсвяткові дні, $t_m = 1$ год;

S – число робочих змін на добу, $S = 1$ зміна.

$$\Phi_{\text{ЦН}} = [251 \cdot 8 - (6 + 0) \cdot 1] \cdot 1 = 2002 \text{ год.}$$

$$\Phi_{ЯВ} = [251 \cdot 8 - (6 + 0) \cdot 1] \cdot 1 = 2002 \text{ год.}$$

Річний дійсний фонд часу працівника називається списочним $\Phi_{СП}$:

$$\Phi_{СП} = \left[(D_P - D_O) \cdot t_S - \left(m_{\Pi} + m_C - \frac{D_O}{6} \right) \cdot t_m \right] \cdot K_P, \quad (2.6)$$

де D_O – тривалість відпустки працівника в робочих днях, $D_O = 24$ дні.

K_P – коефіцієнт, що враховує невиходи на роботу з поважних причин,

$$K_P = 0,953 [4].$$

$$\Phi_{СП} = \left[(251 - 24) \cdot 8 - \left(6 + 0 - \frac{24}{6} \right) \cdot 1 \right] \cdot 0,953 = 1728 \text{ год.}$$

2.3 Розрахунок річної програми ремонту тепловозів ЧМЕЗ в об'ємі ПР-1

У процесі експлуатації стан транспортних засобів погіршується в результаті зношення, поломки деталей та виходу з ладу вузлів та агрегатів. Для усунення цих недоліків передбачена планово-попереджувальна система технічного обслуговування (ТО), поточних ремонтів (ПР) та капітальних ремонтів (КР). Ця система передбачає постановку поїзних локомотивів на ремонт (вантажний та пасажирський рух) відносно пробігу в кілометрах, а маневрових – залежно від тривалості роботи на певний вид ремонту або ТО [3]. Норми міжремонтних періодів для тепловозів ЧМЕЗ наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Середня норма міжремонтних періодів в тепловозів ЧМЕЗ

Вид ремонту (обслуговування)	Технічне обслуговування	Поточний ремонт, міс			Капітальний ремонт, рік	
	ТО-3, діб	ПР-1	ПР-2	ПР-3	КР-1	КР-2
Значення	45	9	18	36	8,5	17

Для маневрових тепловозів періодичність ремонтів задається у вигляді часових інтервалів.

Розрахунок річної програми ремонтів у цьому випадку виконується за формулами:

- капітальний ремонт КР-2:

$${}_m\text{КР-2} = \frac{{}_m\text{ман}}{i_{\text{КР-2}}} \quad (2.7)$$

- капітальний ремонт КР-1:

$${}_m\text{КР-1} = \frac{{}_m\text{ман}}{i_{\text{КР-1}}} \cdot \frac{{}_m\text{ман}}{i_{\text{КР-2}}} \quad (2.8)$$

- поточний ремонт ПР-3:

$${}_m\text{ПР-3} = \frac{{}_m\text{ман}}{i_{\text{ПР-3}}} \cdot \frac{{}_m\text{ман}}{i_{\text{КР-1}}} \quad (2.9)$$

- поточний ремонт ПР-2:

$${}_m\text{ПР-2} = \frac{{}_m\text{ман}}{i_{\text{ПР-2}}} \cdot \frac{{}_m\text{ман}}{i_{\text{ПР-3}}} \quad (2.10)$$

- поточний ремонт ПР-1:

$${}_m\text{ПР-1} = \frac{{}_m\text{ман}}{i_{\text{ПР-1}}} \cdot \frac{{}_m\text{ман}}{i_{\text{ПР-2}}} \quad (2.11)$$

- технічне обслуговування ТО-3:

$${}_m\text{ТО-3} = \frac{{}_m\text{ман}}{i_{\text{ТО-3}}} \cdot \frac{{}_m\text{ман}}{i_{\text{ПР-1}}} \quad (2.12)$$

де ${}_m\text{ман}$ – кількість маневрових тепловозів, які експлуатуються, 26 од;

i – часові інтервали між відповідними ремонтами та технічними обслуговуваннями, у роках;

$$M_{\text{КР-2}} = \frac{26}{17} \cdot 1,53 \approx 2 \text{ ЛОК};$$

$$M_{\text{КР-1}} = \frac{26}{6} \cdot \frac{26}{17} = 2,81 \approx 3 \text{ ЛОК};$$

$$M_{\text{ПР-3}} = \frac{26}{3} \cdot \frac{26}{6} = 4,33 \approx 5 \text{ ЛОК};$$

$$M_{\text{ПР-2}} = \frac{26}{1,5} \cdot \frac{26}{3} = 8,67 \approx 9 \text{ ЛОК};$$

$$M_{\text{ПР-1}} = \frac{26}{0,75} \cdot \frac{26}{1,5} = 17,33 \approx 18 \text{ ЛОК};$$

$$M_{\text{ТО-3}} = \frac{26}{0,11} \cdot \frac{26}{0,75} = 201,7 \approx 202 \text{ ЛОК}.$$

Фронтом ремонту називається кількість локомотивів, які одночасно знаходяться в одному виді ремонту:

$$i = \frac{M \cdot i}{P} \quad (2.13)$$

де M – річна програма даного виду ремонту;

i – простій локомотива на ремонті даного виду (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Середня норма простою тепловозів ЧМЕЗ в ремонті

Вид ремонту (обслуговування)	Технічного обслуговування	Поточного ремонту, год (дів)			Капітального ремонт, дів	
	ТО-3, год	ПР-1	ПР-2	ПР-3	КР-1	КР-2
Значення	12	24	4	5	17	22

Фронт ремонту для маневрових локомотивів ЧМЕЗ

$$i_{\text{КР-2}} = \frac{2 \cdot 22}{365} = 0,12;$$

$$i_{\text{КР-1}} = \frac{3 \cdot 17}{365} = 0,14;$$

$$\alpha_{\text{ПР-3}} = \frac{5.5}{251} = 0,099;$$

$$\alpha_{\text{ПР-2}} = \frac{9.4}{251} = 0,143;$$

$$\alpha_{\text{ПР-1}} = \frac{18.1}{251} = 0,071;$$

$$\alpha_{\text{ТО-3}} = \frac{202.0.5}{251} = 0,402.$$

Відсоток несправних локомотивів «Деп» в поточному ремонті:

$$\alpha_{\text{Деп}} = \frac{\alpha_{\text{ПР-3}} + \alpha_{\text{ПР-2}} + \alpha_{\text{ПР-1}} + \alpha_{\text{ТО-3}} + \alpha_{\text{Н.Р.}}}{\alpha_{\text{е}} + \alpha_{\text{рем}} + \alpha_{\text{рез}}} \cdot 100; \quad (2.14)$$

$$\alpha_{\text{Деп}} = \frac{0,099 + 0,143 + 0,071 + 0,402}{26} \cdot 100 = 2,75\%.$$

Відсоток несправних локомотивів в завадському ремонті:

$$\alpha_{\text{Зав}} = \frac{\alpha_{\text{КР-2}} + \alpha_{\text{КР-1}}}{\alpha_{\text{е}} + \alpha_{\text{рем}} + \alpha_{\text{рез}}} \cdot 100; \quad (2.15)$$

$$\alpha_{\text{Зав}} = \frac{0,14 + 0,12}{26} \cdot 100 \approx 1,0\%.$$

Кількість таких видів ремонту, як ТО-4 та ТО-5 заздалегідь розрахувати та передбачити неможливо, так як ці види ремонту є неплановими та на пряму залежать від завантаженості тепловозів та якості експлуатації. Але можна зазначити, що загальна кількість даних ремонтів по депо С не перевищує 10% від кількості ТО-3, тоді загальнодеповський відсоток несправних локомотивів становитиме:

$$\alpha'_{\text{Деп}} = \frac{\alpha_{\text{ПР-3}} + \alpha_{\text{ПР-2}} + \alpha_{\text{ПР-1}} + 2.1 \cdot \alpha_{\text{ТО-3}} + \alpha_{\text{Н.Р.}}}{\alpha_{\text{е}} + \alpha_{\text{рем}} + \alpha_{\text{рез}}} \cdot 100; \quad (2.14)$$

$$\alpha'_{\text{Деп}} = \frac{0,099 + 0,143 + 0,071 + 2.1 \cdot 0,402}{26} \cdot 100 = 4,45\%.$$

роботою циліндра виконується за допомогою перепускного клапану вручну натисканням кнопки, в результаті чого стиснене повітря подається в порожнину під поршнем (робочий хід) або над поршнем (зворотній хід для повернення механізму в вихідне положення).

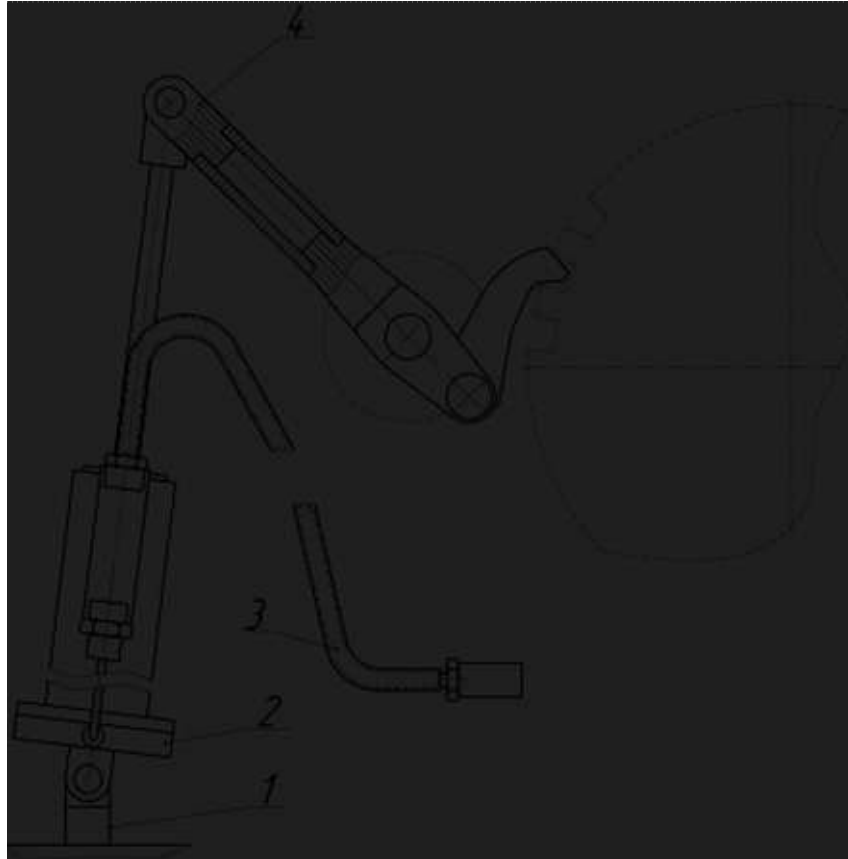


Рисунок 2.1 – Валово-воротний механізм:

1 – кронштейн; 2 – пеньмоциліндр; 3 – напірний рукав; 4 – храповик

2.4.2 Переобладнання універсального гвинтового знімача

Під час слюсарних робіт досить часто виникає потреба в демонтажі шківів, фланців, підшипників та інших деталей з валів та осей. Як правило вище зазначені деталі мають посадку з натягом, що в свою чергу значно ускладнює їх демонтаж.

Для їх демонтажу використовуються гвинтові важільні знімачі (рис. 2.2). Знімачі виготовляються різних типорозмірів та можуть мати від двох до

чотирьох лап.



Рисунок 2.2 – Гвинтовий знімач

Для того щоб демонтувати певну деталь необхідно підвести під неї виступи лап та закрутити гвинт до упору в вал або вісь, після чого за допомогою воротка або гайкового ключа необхідно продовжити затягування гвинта. За рахунок сили (реакції), що протидіє силі затягування гвинта на пресована деталь знімається. Для регулювання довжини лап в них просвердлено два отвори для сполучення з проміжними ланками.

Недоліком гвинтового знімача є необхідність використання воротка або ключа з подовжувачем, в результаті прикладення сили через важіль дуже часто лапи зіскакують з деталей. Крім того через певний проміжок часу необхідно замінювати гвинт, через механічні ушкодження різьби.

Для покращення та полегшення умов роботи працівників під час використання знімачів пропонується замінити гвинт на гідравлічний циліндр. Корпус циліндра має на зовнішній поверхні прямокутну упорну різьбу для регулювання довжини натискного елемента. Зусилля створюється штоком гідроциліндра.

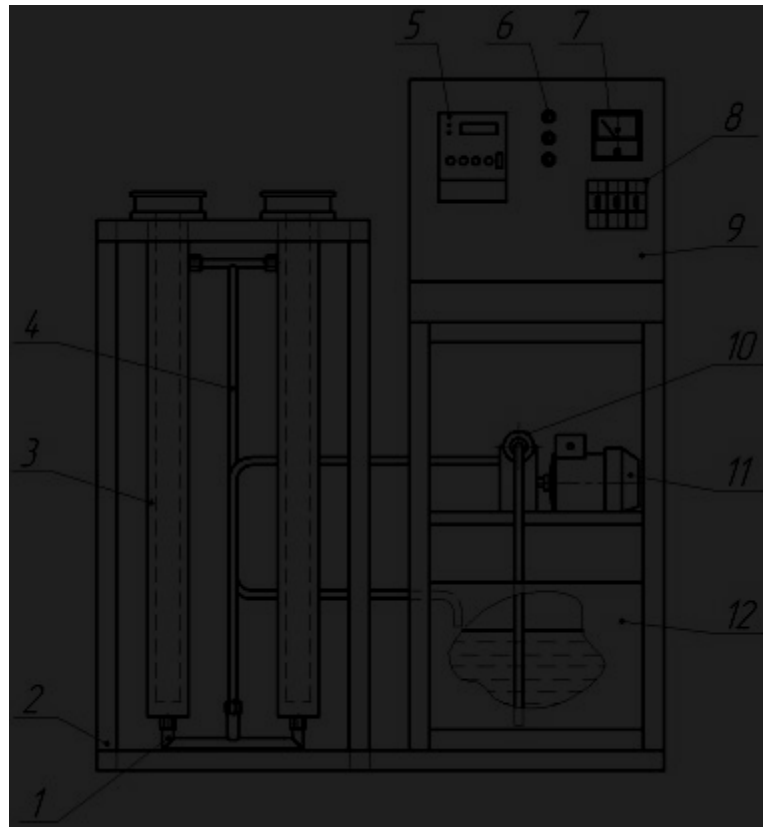


Рисунок 2.3 – Стенд для калібрування датчиків системи контролю витрат палива «БІС-Р»

3) Вмикається живлення системи «БІС-Р» 110 В постійного струму за допомогою автоматичного вимикача №2 загоряється відповідний світловий індикатор.

4) Виконується попереднє налаштування системи «БІС-Р» на калібрування датчиків за допомогою службової програми «Line» на ЕОМ.

5) Починається наповнення колб паливом за допомогою автоматичного вимикача №3 загоряється відповідний світловий індикатор.

6) Вимкнення системи, зворотна перекачка палива та демонтаж датчиків.

Використання даного стенду дозволить виконувати калібрування датчиків рівня палива систем «БІС-Р» за допомогою 50 л палива без повної заправки теплової та зменшити час на їх калібрування.

2.4.4 Впровадження пресу для опресування резервуарів

Прес призначено для опресування головних резервуарів рухомого складу та може бути використаний для опресовки будь-яких резервуарів з тиском випробування до 1,6 МПа.

На рамі пресу (рис. 2.4) змонтовано бак для води 2 з автоматичною золотниковою головкою 5 із штоком 6.

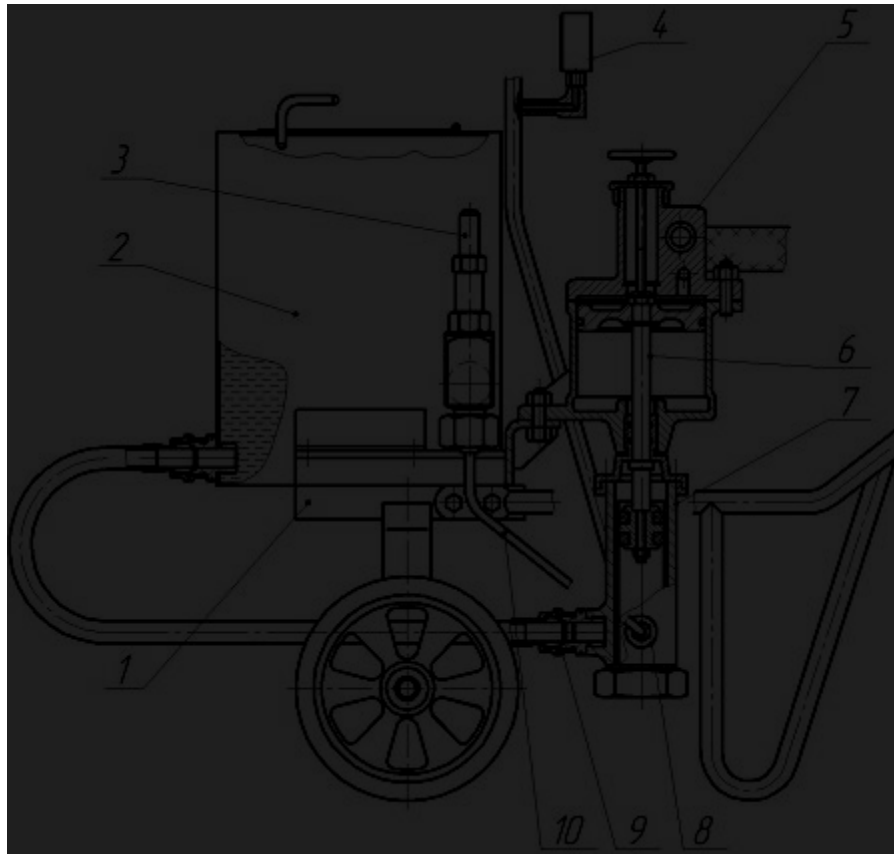


Рисунок 2.4 – Прес для опресування резервуарів

В циліндр 6 вмонтовано три клапани: всмоктуючий 9 та два нагнітаючих 8. Тиск робочої рідини контролюється по манометру 4. Для обмеження максимальної величини тиску передбачено запобіжний клапан 3, котрий відрегульовано на робочий тиск 1,6 МПа.

Резервуар, що підлягає опресуванню заповнюється водою з водопроводу, після чого до резервуару під'єднується нагнітальна труба 10 пресу, а золотник під'єднують до магістралі стисненого повітря.

Перед опресуванням запобіжний клапан регулюють на величині необхідного тиску після чого проводять випробування резервуара.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ НА ДІЙНОСТІ ЕКІПАЖНОЇ ЧАСТИНИ

3.1 Основні визначення теорії надійності. Показники надійності

Дослідження надійності виконується з метою виявлення загальних закономірностей у відмовах вузлів локомотивів, виявлення характерних пошкоджень і визначення тих вузлів, підвищення надійності яких приведе до підвищення надійності локомотива в цілому [6, 7].

Підвищення надійності локомотивів – одна з нагально актуальних проблем залізничного транспорту. Для рішення цієї проблеми велике значення має теорія надійності. Використовуючи положення теорії надійності, можна розробити науково обґрунтовану систему заходів, здійснення якої при дотриманні вимог безпеки руху забезпечує нормальну роботу локомотивів з найменшими витратами. Ця система повинна охоплювати всі періоди «життя» локомотива – проектування, виготовлення, експлуатацію і ремонт.

Основні поняття і визначення теорії надійності технічних пристроїв сформульовані в ДСТ 27.002-89 «Надійність у техніці. Терміни і визначення» [6].

На підставі вивчення державних стандартів установлені відповідні поняття стосовно до рухомого складу. Це наперед три основних терміни, що відносяться як до окремих вузлів, так і локомотива в цілому: властивість, стан і подія.

Властивість локомотива виконувати тягові функції, зберігаючи свої параметри у встановлених межах протягом заданого часу, є його надійністю.

Надійність – властивість комплексна, яка залежить від складових елементарних властивостей, а саме: безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності та збережувальності.

Безвідмовність – властивість локомотива зберігати працездатність протягом заданого часу без змушених перерв на ремонт. Відмови локомотива усувають у процесі ремонту, відновлюючи його працездатність. Отже, тільки

відмова (локомотив не працює з дати й) [6].

Критеріями відмови є:

- невиконання заданих показників по масі потяга, швидкості, часу ходу, часу стоянок;
- відновлення в шляху проходження, навіть без порушення графіка руху;
- неплановий ремонт;
- дострокова заміна вузла;
- завищений обсяг планового ремонту, точніше завищений обсяг робіт при плановому ремонті.

Для кількісної оцінки надійності недостатньо загальних визначень. Треба установити кількісні показники зазначених вище властивостей локомотива. Оскільки всі розглянуті події є випадковими (відбуваються у випадкові моменти часу), то доцільно для їхньої кількісної оцінки використовувати положення теорії ймовірностей. При цьому число показників повинно бути мінімальним, вони повинні мати чіткий і ясний зміст, охоплювати всі стадії «життя» локомотива (проекування, виготовлення, експлуатацію і ремонт). Розрахунок їх повинен здійснюватися з мінімальною витратою праці і засобів при використанні сучасної обчислювальної техніки.

Цим вимогам задовольняють наступні показники властивостей вузлів, деталей і локомотива в цілому:

Кількісним показником безвідмовності є ймовірність безвідмовної роботи за час t :

$$P\{T > t\}, \quad (3.1)$$

тобто, час безвідмовної роботи T буде більше заданого часу t . Для скорочення умов (3.2) записують у вигляді $P(t)$.

На підставі умови (3.1) не можна заздалегідь сказати, скільки часу локомотив проработить безвідмовно, але можна визначити ймовірність $P(t)$ того, що він не відмовить за заданий час t . Ця ймовірність є важливою

характеристикою надійності локомотива.

Ймовірність безвідмовної роботи – це статистичний показник. Він використовується для характеристики безвідмовності локомотива і його складальних одиниць по перших відмовах за розглянутий інтервал напрацювання і визначається як ймовірність того, що в межах цього інтервалу відмови об'єкта не виникне. Статистично ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ визначається відношенням числа об'єктів $N(t)$, що безвідмовно проработали протягом напрацювання t , до числа об'єктів N , працездатних до початкового моменту $t=0$.

$$P(t) = \frac{N(t)}{N} \quad (3.2)$$

Якщо відомі закони розподілу напрацювання об'єктів до відмови $f(t)$ і $F(t)$, при $t \geq 0$ впливає, то

$$P(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = 1 - F(t) \quad (3.3)$$

Середнє напрацювання до відмови – показник, що також характеризує властивість безвідмовності об'єктів. Визначається він як математичне сподівання напрацювання об'єкта до відмови у неремонтуємих або до першої відмови у ремонтуємих виробів, тобто $cp = M[t]$ [7].

Інтенсивність відмов визначає властивість безвідмовності неремонтуємих об'єктів. Звичайно цей показник позначається як $\lambda(t)$ і являє собою умовну щільність ймовірності виникнення відмови невідновлюваного об'єкта, обумовлену для розглянутого моменту часу (напрацювання) t , за умови, що до цього моменту відмова не виникла.

На підставі положень теорії надійності [7]

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} \quad (3.4)$$

Для локомотивів та їх відновлюваних складальних одиниць подібною характеристикою безвідмовності є параметр потоку відмов – щільність

ймовірності виникнення відмови відновлюваного об'єкта, обумовлена для розглянутого моменту часу.

Одиничні показники ремонтпридатності – це ймовірність відновлення в заданий час і середній час відновлення.

3.2 Розрахунок показників надійності локомотивів

Для визначення показників надійності необхідний значний обсяг статистичних даних про їх роботу. Тому при зборі статистичних даних в депо фіксувалися:

- дата відмови;
- вузол, що відмовив;
- номер локомотива;
- напрацювання тепловоза від початку експлуатації до моменту виникнення відмови, тис. год;
- характер відмови.

З метою розрахунку показників надійності був зібраний статистичний матеріал про відмови локомотивів за період з 2016 по 2021 роки.

Для розрахунку показників надійності вузлів і деталей тепловозів застосована методика, заснована на використанні залежності середньої кількості відмов від напрацювання (*H*-характеристика). Використання цієї методики дозволяє визначати показники надійності як усього локомотива, так і його окремих вузлів незалежно від закону розподілу, якому підпорядковуються відмовлення вузлів тепловоза.

Для одержання *H*-характеристики вузлів і деталей тепловоза на підставі статистичної інформації, період спостереження за їхньою роботою розбивається на інтервали (іменовані надалі кроками напрацювання). Величина вибирається при аналізі статистичної інформації такою, щоб для кожного розглянутого пристрою або вузла системи в інтервалі $[t, t+\Delta t]$ не попадало більш однієї відмови однієї і тієї ж деталі, хоча не виключене *n* кількість відмов різних деталей в одному інтервалі.

При дотриманні зазначених умов, середня кількість відмов локомотива

за наявності працьованності в момент $t + \Delta t$ обчислюється за формулою:

$$H(t+\Delta t) = H(t) + \frac{N(t, t+\Delta t)}{N(t) + N(t+\Delta t)}, \quad (3.5)$$

де $H(t)$ – число відмов на інтервалі $[0, t]$;

$N(t, t+\Delta t)$ – число відмов в інтервалі $[t, t+\Delta t]$;

$N(t)$ – кількість елементів, що знаходяться під спостереженням на початок інтервалу $[t, t+\Delta t]$;

$N(t+\Delta t)$ – кількість елементів, що знаходяться під спостереженням на кінець інтервалу $[t, t+\Delta t]$.

Для кожного з розглянутих вузлів локомотива за статистичними даними будується залежність середньої кількості відмов від наявності працьованності $H(t)$.

Отримані по дослідним даним H -характеристики вузлів апроксимуються, після чого визначаються коефіцієнти рівнянь, що описують характер цих залежностей. Визначення показників надійності вузлів тепловозів здійснюється через отримані за дослідними даним H -характеристики.

Взаємозв'язок між λ - і H -характеристиками виражається через рівняння відновлення

$$H(t) = F(t) + \int_0^t H(t-x) dF(x). \quad (3.6)$$

Тут передбачається, що на момент наробітку $t=0$ об'єкт був новим або відновленим в обсязі капітального ремонту

$$F(t) = 1 - \exp\left\{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau\right\}. \quad (3.7)$$

На підставі аналізу статистичних даних депо можна зробити висновок що, вузлом, який лімітує надійність екіпажної частини є рама та пружне підвішування локомотива (рис. 3.1).

За формулами які показані вище і даними які зібрані у локомотивному депо за останні чотири роки, розраховуємо надійність тепловозів. Розрахунок виконуємо за допомогою комп'ютерної програми *H*-характеристики, розробленої на кафедрі локомотивів. Результати розрахунків зводимо у табл. 3.1. За даними розрахунку будемо графіки залежностей параметру потоку відмов та *H*-характеристику вузлів екіпажної частини на рис. 3.2.

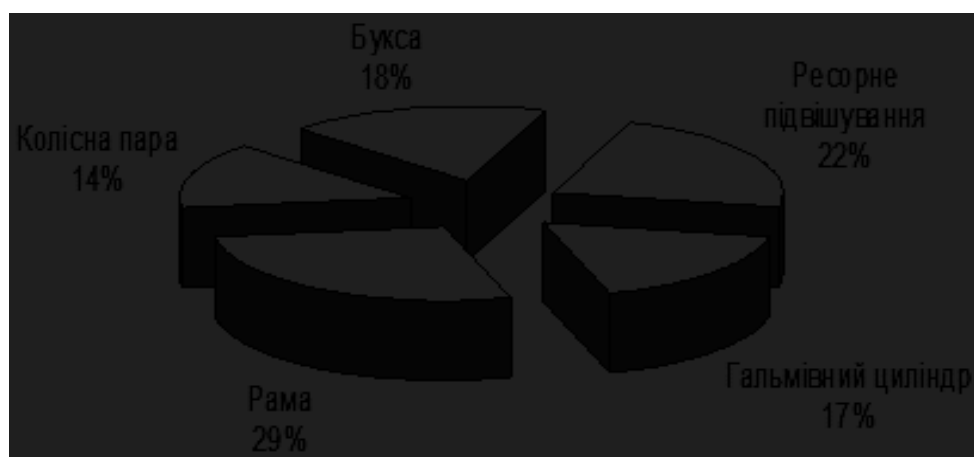


Рисунок 3.1 – Розподіл несправностей екіпажної частини тепловозів

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку надійності екіпажної частини

Напрацювання, тис год	<i>H</i> -характеристика, тис год ⁻¹	Параметр потоку відмов, тис год ⁻¹
85	0,54	0,37
100	0,26	0,1667
107	0,28	0,2
114	0,67	0,4
124	1,59	1

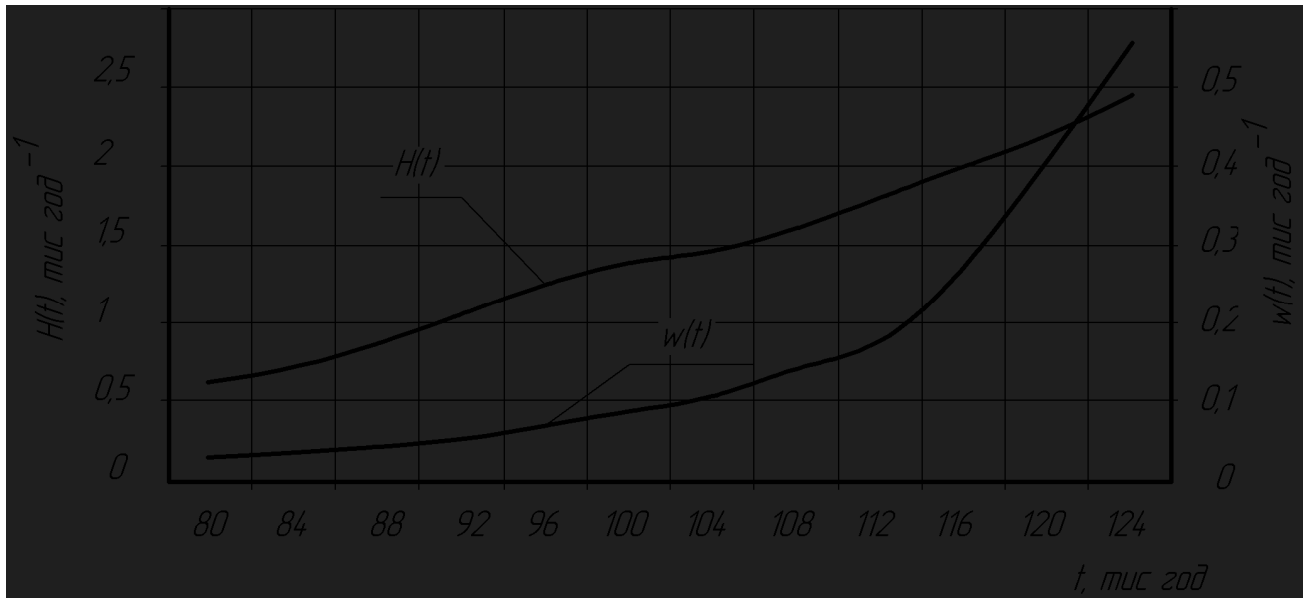


Рисунок 3.2 – Залежність середньої кількості відмов та параметру потоку відмов вузлів екіпажної частини

Виходячи з вищевикладеного, пріоритетним вузлом для модернізації візка тепловоза є пружне підвішування першого ступеня, тобто буксового вузла. Вдосконалення його конструкції та параметрів повинно забезпечувати безпеку руху, підвищення надійності, зниження вартості життєвого циклу та підвищення експлуатаційного коефіцієнта корисної дії.

можуть бути реалізовані, показана в принципову можливість їх використання в буксовому ступені підвищення візків, у тому числі і за низьких температурах.

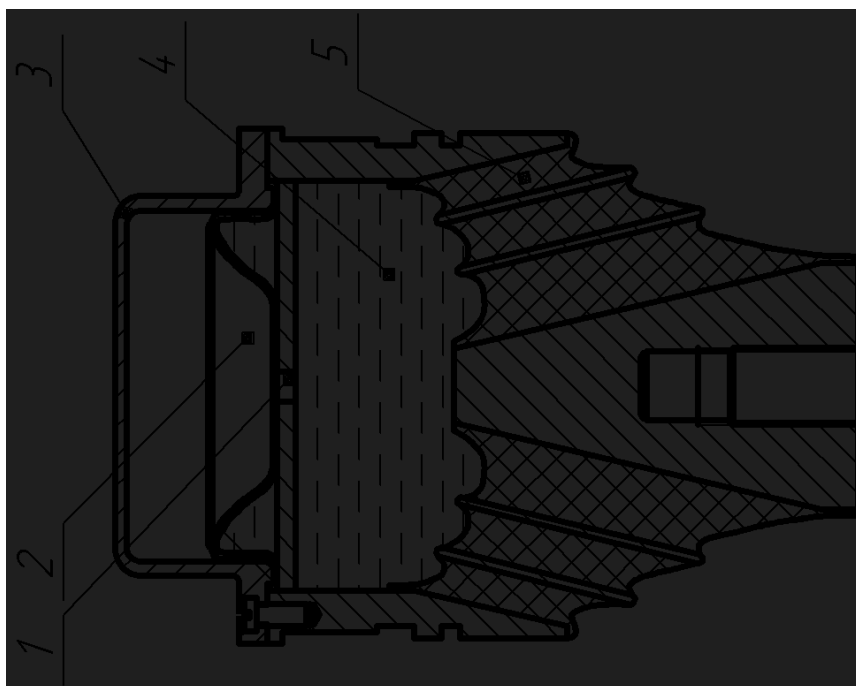


Рисунок 4.1 – Будова гідроциндера:

1 – дросельний отвір; 2 – діафрагма; 3 – кришка; 4 – робоча рідина;
5 – гумометалеві блоки

Принципова відмінність гідрофедера від традиційних схем виконання пружини і гідрогасителя полягає в тому, що при збільшенні частоти обурення сила, що передається на раму візка, не зростає (рис. 4.2) [8].

Гідрофедер значно простіше за схемою і конструкцією, ніж звичайні поршневі.

Застосування гідрофедерів в буксовому ступені підвішування дозволяє реалізувати на ступні переваги:

- забезпечення ефективного демпфування буксового ступеня за рахунок дисипативних властивостей гуми і інтегрованого безпоршневого гідравлічного гасителя;

- зниження маси буксового вузла;

- підвищення шумопоглинання в буксовому вузлі.

Гідрофедери на сьогодні є одним з перспективних елементів пружного підвішування.

Виконуємо розрахунок основних елементів гідрофедера та характеристик пружного підвішування тепловоза з гідрофедером.

4.2 Розрахунок на міцність гумометалевого блоку

Під час розрахунку гумових амортизаторів стиснення абсолютну деформацію під впливом статичного навантаження визначають за формулою:

$$\Delta H = 0,1H \cdot \quad (4.1)$$

За більші значення ΔH гума досить швидко руйнується.

Характеристики гумового амортизатора в межах $\epsilon \leq 0,2$ приймаються лінійними та виражаються законом Гука

$$\sigma = E \epsilon, \quad (4.2)$$

де σ – напруження стиснення, Па;

E – розрахунковий модуль пружності гуми, Па;

ϵ – коефіцієнт деформації, $\epsilon = 0,2$ [9].

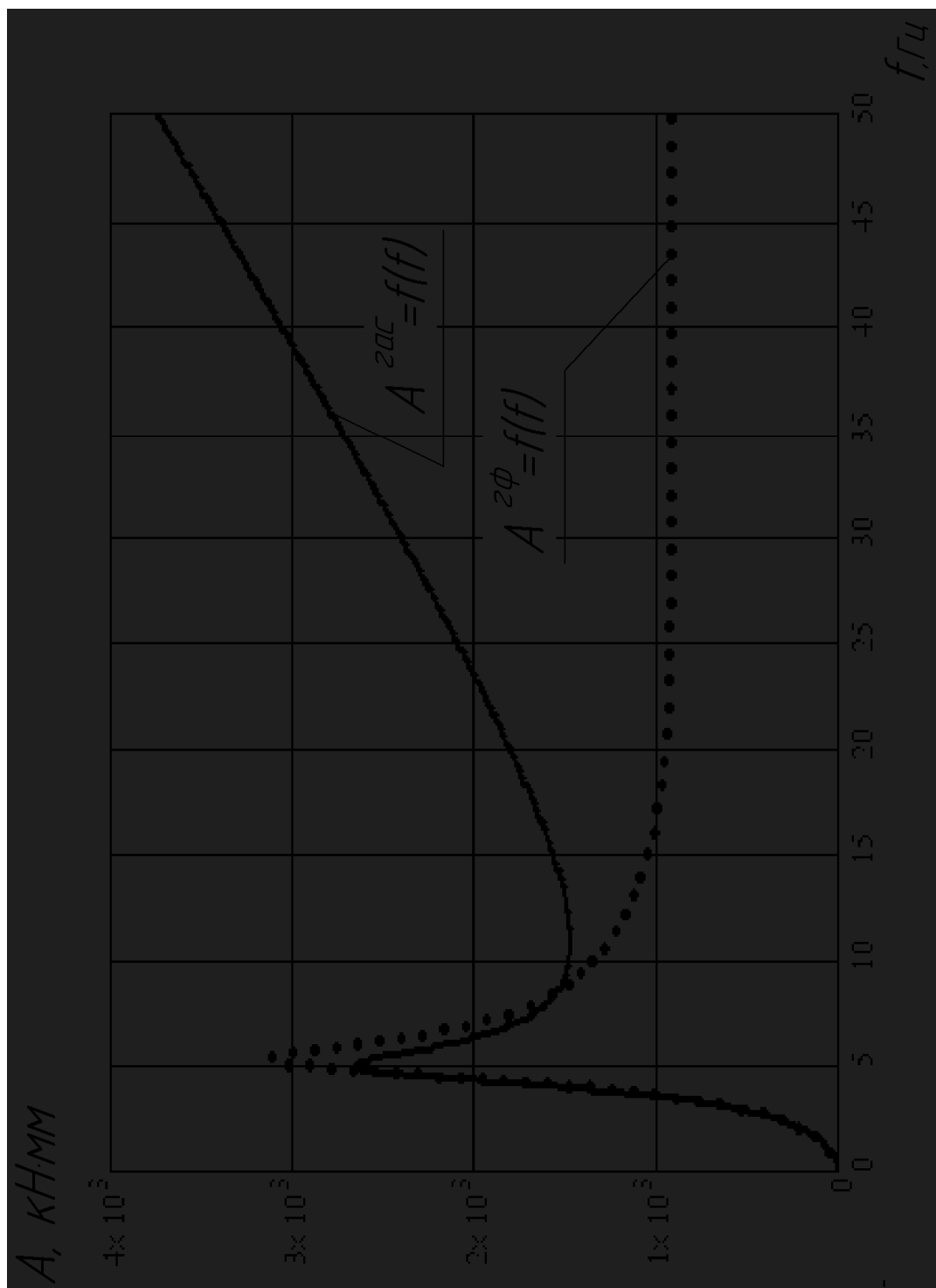


Рисунок 4.2 – Порівняння амплітудно-частотних характеристик гідрофедера $A^{\phi} = f(f)$ та пружини з гасителем $A^{2ac} = f(f)$

Оскільки

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{CT}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)}, \quad (4.3)$$

і

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H}, \quad (4.4)$$

де F – площа амортизатора.

$$\Delta H = PA = \frac{HP}{E F}. \quad (4.5)$$

Якщо гумовий амортизатор зазнає деформації стиснення, то його жорсткість буде залежати від вільної поверхні випучування гуми та від стану опорних поверхонь. Розрахунковий модуль пружності амортизатора визначається за формулою:

$$P = E(1 + \alpha\Phi), \quad (4.6)$$

де E – модуль пружності гуми, Па;

α – коефіцієнт, що враховує стан опорних поверхонь. У разі міцного кріплення опорних поверхонь гуми до металевих прокладок $\alpha = 4,67$ [10];

Φ – коефіцієнт форми гумового амортизатора.

Коефіцієнт форми являє собою відношення площі однієї опорної поверхні амортизатора до його повної бокової поверхні (поверхні випучування)

$$\Phi = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4\pi H(D+d)} = \frac{D-d}{4H}, \quad (4.7)$$

де D і d – відповідно верхній і нижній діаметри амортизатора, м.

Модуль пружності E , Па, пов'язаний з модулем зсуву гуми G_p , Па, вивагом:

$$E = 3G_p. \quad (4.8)$$

Основним показником, що визначає властивості гуми є її твердість. Перехід від числа твердості h до G_p , здійснюється за емпіричною формулою:

$$G_p = \left(\frac{h}{19,5}\right)^2. \quad (4.9)$$

Виконуємо розрахунок гумової частини метакона за наведеної вище методикою.

Напрямок стиснення

$$\sigma = \frac{47750}{\frac{3,14}{4} \left(0,235 \cdot 2 - 0,06 \cdot 2 \right)} = 1,24 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Розрахунковий модуль пружності

$$E_p = \frac{1,24 \cdot 10^6}{0,2} = 6,2 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Коефіцієнт форми гумового амортизатора

$$\phi = \frac{0,235 - 0,06}{4 \cdot 0,03} = 1,42.$$

Модуль пружності гуми

$$E = \frac{6,2 \cdot 10^6}{1 + 4,67 \cdot 1,42} = 0,82 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Модуль зсуву гуми

$$G_p = \frac{0,82 \cdot 10^6}{3} = 0,27 \cdot 10^6 \text{ Па} = 2,7 \text{ кгс/см}^2.$$

Число твердості гуми

$$h = 19,5 \cdot \sqrt{2,7} = 32.$$

Обираємо маслостійку гуму марки 3063. Гума такої твердості забезпечить допустиму деформацію гумового шару гумометалевого блоку.

4.3 Розрахунок частоти коливань піддресорної маси тепловоза

Коливання піддресорних мас, що викликані змінним впливом випадкової нерівності колії та залежить від жорсткості системи та величини піддресорної маси, називається вільними (власними) коливаннями системи. Вони показують кількість повних періодів в коливаннях в одиницю часу [12].

Пружні елементи розміщуються паралельно. Надресорна будова має два ступеня вільності і дві частоти вільних коливань, які можуть бути визначені за наступною формулою:

$$\omega_{1,2} = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{jI + jII}{M} + \frac{jII}{M} \right) \mp \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{jI + jII}{M} + \frac{jII}{M} \right)^2 - \frac{jI \cdot jII}{M^2}}}, \quad (4.10)$$

де jI – жорсткість комплекту пружин;

M – піддресорна маса двох візків;

jII – жорсткість гумометалевого блоку;

M – піддресорна маса кузова.

Жорсткість підвішування першої ступені дорівнює жорсткості підвішування двох візків:

$$jI = 2 jT = 2 \cdot 2,53 \cdot 10^6 = 5,06 \cdot 10^6 \text{ Н/м}. \quad (4.11)$$

Жорсткість другого ступеня підвішування усього тепловоза, оскільки усі елементи з'єднані паралельно буде

$$jII = 12 jnp, \quad (4.12)$$

де jnp – жорсткість пружних ланок гідрофедера, $jnp = 0,56 \cdot 10^6$ Н/м [11].

$$jII = 12 \cdot 0,56 \cdot 10^6 = 6,72 \cdot 10^6 \text{ Н/м}.$$

Піддресорна вага візків тепловоза становить $530 \cdot 10^3$ Н, відповідно, піддресорна маса $M = 54000$ кг.

Підресорена вага кузова теплової становить $869 \cdot 10^3$ Н, відповідно, підресорена маса $m_{II} = 88800$ кг.

Тоді

$$\omega_{1,2} = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{5,06 \cdot 10^6 + 6,78 \cdot 10^6}{54000} + \frac{6,78 \cdot 10^6}{88800} \right) \mp \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{5,06 \cdot 10^6 + 6,78 \cdot 10^6}{54000} + \frac{6,78 \cdot 10^6}{88800} \right)^2 - \frac{5,06 \cdot 10^6 \cdot 6,78 \cdot 10^6}{54000 \cdot 88800}}$$

В результаті розв'язку отримуємо: $\omega_1 = 7,62 \text{ c}^{-1}$, $\omega_2 = 17,3 \text{ c}^{-1}$.

Менше значення являє собою частоту синфазного – першого головного коливання. Більш висока частота відповідає другому головному коливанню.

4.4 Розрахунок критичної швидкості руху теплової

Пружне підвішування являє собою складну коливальну систему, на яку періодично впливають збурення зі сторони колії, породжуючи так звані вишнєні коливання [12].

Частота вишнєних коливань

$$\omega_v = \frac{2\pi v}{L}, \quad (4.13)$$

де v – швидкість руху теплової, м/с;

L – довжина рейкових ланок, м.

Якщо резонанс може наступити при рівності частот власних і вишнєних коливань. Швидкість руху, при якій настає це небезпечне явище, що інше приводить до сходження з рейок, називається критичною

$$v_{kp} = \frac{c}{2\pi} L = \frac{5L}{\sqrt{ct}}. \quad (4.14)$$

Для довжини рейкових ланок $L = 12,5$ м

$$v_{kp} = \frac{7,62}{2\pi} \cdot 12,5 = 15,2 \text{ м/с} = 54,6 \text{ км/год};$$

$$k_{p2} = \frac{17.3}{2\pi} \cdot 12.5 = 34.43 \text{ м/с} \approx 124 \text{ км/год.}$$

Для довжини рейков и х ланок $L = 25 \text{ м}$

$$k_{p1} = \frac{7.62}{2\pi} \cdot 25 = 30.3 \text{ м/с} = 109,2 \text{ км/год.};$$

$$k_{p2} = \frac{17.3}{2\pi} \cdot 25 = 68,9 \text{ м/с} = 247 \text{ км/год.}$$

Критична швидкість виявилась нижчою, ніж розрахована окрім коливань в протифазі для рейок довжиною 25 м.

4.5 Розрахунок демпфування коливань

Демпфування в пружному підвішуванні прийнято рахувати задовільним, якщо робота тертя, що створюється демпферами, складає 3...6 % від роботи пружних сил підвішування в цілому. Ця величина називається коефіцієнтом відносного тертя [12].

Робота пружних сил підвішування

$$A_y = 4 \cdot c \cdot m \cdot l, \quad (4.15)$$

де c – статичний прогин підвішування, $c = 178 \text{ мм}$;

m – загальна жорсткість підвішування візка, $m = 4.54 \text{ кН/мм}$;

l – величина відхилення рами візка при коливаннях (динамічний прогин).

Прийmemo $l = 20 \text{ мм}$ [12], тоді

$$A_y = 4 \cdot 178 \cdot 4.56 \cdot 20 = 64650 \text{ кН} \cdot \text{мм.}$$

Робота сил в'язкого тертя гідрофедерів візка

$$W = \pi \cdot m \cdot c \cdot \frac{2}{l}, \quad (4.16)$$

де m – сумарний коефіцієнт опору гасників візка, $\text{кН} \cdot \text{с/мм}$.

$$m = \lambda \cdot k_p, \quad (4.17)$$

де λ – коефіцієнт відносного демпфування. Прийmemo $\lambda = 0,29$ [12];

k_p – критичний коефіцієнт опору, при якому коливання практично відсутні.

$$k_p = 2\sqrt{gT \cdot mT}, \quad (4.18)$$

де mT – маса піддресорного вагтяжу $mT = 0,0888$ кН·с²/мм.

$$k_p = 2\sqrt{4,54 \cdot 0,0888} = 0,9 \text{ кН} \cdot \text{с} / \text{мм};$$

$$m = 0,29 \cdot 0,9 = 0,261 \text{ кН} \cdot \text{с} / \text{мм};$$

$$r1 = \pi \cdot 0,261 \cdot 7,62 \cdot 20 = 2498 \text{ кН} \cdot \text{мм};$$

$$r1 = \pi \cdot 0,261 \cdot 17,3 \cdot 20 = 5670 \text{ кН} \cdot \text{мм};$$

$$m1 = \frac{2498}{64800} = 0,039;$$

$$m2 = \frac{5670}{64800} = 0,088.$$

Можна відмітити, що демпфування в пружному підвішуванні тепловоза є задовільним, тому що робота сил тертя становить 3,9 % за синфазні коливання та 8,8 % за протифазні коливання від роботи пружних сил підвішування.

4.6 Динамічне вписування тепловоза

Розв'язання задач динамічного вписування ставить на меті визначення максимально припустимої швидкості руху локомотива в кривій із заданими параметрами, за якій забезпечуються безпека руху і комфортабельність для локомотивної бригади, обслуговуючого персоналу та пасажирів. Безпека руху оцінюється критеріями безпеки, які характеризують величин бічних зусиль на рейки і пружне віджимання рейок під дією цих зусиль [11].

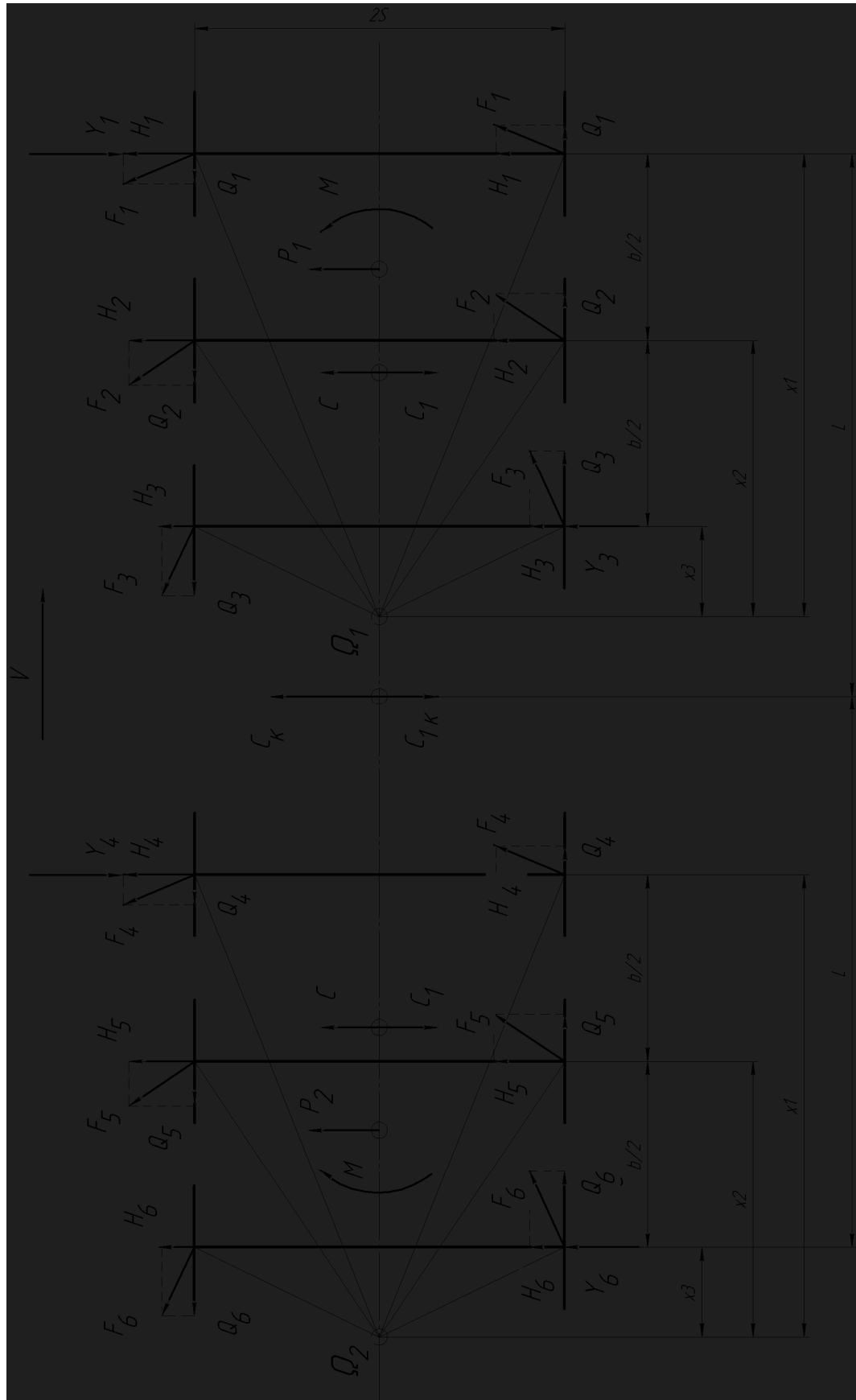


Рисунок 4.3 – Схема сил та моментів, що діють на секцію локомотива під час руху у

Для нанесення на схему центру повороту ω припускаємо, що візок знаходиться в положенні найбільшого перекосу. Для цього положення полюсна відстань першої (що на правляє) колісної пари визначається за формулою:

$$x_1 = \frac{b}{2} + \frac{R}{b}(2\sigma + \Delta), \quad (4.19)$$

де b – база візка $b = 4,2$ м;

R – радіус кривої для динамічного вписування $R = 450$ м;

$2\sigma + \Delta$ – ширина колії зазорів, мм.

Мінімальне значення ширини колії зазору буде $2\sigma + \Delta = 0,007$ м, тоді

$$x_1 = \frac{4,2}{2} + \frac{450}{4,2} \cdot 0,007 = 2,85 \text{ м.}$$

По схемі знайдемо полюсні відстані другою і третьою колісних пар:

$$x_2 = 0,75 \text{ м, } x_3 = 1,35 \text{ м.}$$

Для схеми з жорстким шкворнем рівняння рівноваги має вигляд:

$$\begin{cases} 1 - 1 - 3 - 1 - 1 - 3 - 3 = 0; \\ 1 - C - 1 + Y + 2F_1 \cos \alpha - 2F_2 \cos \alpha = 0; \\ 1 - CX_1 + CX_2 + YX_3 - (M_{\Sigma} + M_{тр}) - 2F_1 r - 2F_2 r \sin \alpha - 2F_3 r = 0. \end{cases} \quad (4.20)$$

де 3 – на правляючі зусилля від рейок, що забезпечують поворот візка в кривій;

C – відцентрова сила від маси тепловоза, що припадає на один візок;

1 – горизонтальна сила, що виникає від підвищення зовнішньої рейки h в кривій;

$(M_{\Sigma} + M_{тр})$ – сумарний момент від повертаючих сил і сил тертя при повороті візка навколо центральних шворнів;

1 – сили тертя в опорних точках коліс, на протилежні перпендикулярно променям 3 ;

S – половина відстані між колами кочення бандажів коліс, $S = 0,8$ м.

Середні значення сил тертя в опорних точках коліс вважаються рівними для всіх колісних пар тепловоза. Приблизно вони можуть бути визначені по формулі

$$F_{\text{тр}} = 2F_{\text{ст}} \mu_r, \quad (4.21)$$

де $F_{\text{ст}}$ – статичний тиск від колісної пари на рейки;

μ_r – коефіцієнт тертя між рейками і бандажами $\mu_r = 0,25$ [12];

$$F_{\text{тр}1} = 2F_{\text{ст}2} = 2F_{\text{ст}3} = 240 \cdot 10^3 \cdot 0,25 = 60 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

У тривісних візках сучасних тепловозів вільний розбіг середньої колісної пари досягає ± 14 мм, тому перша складова на раму візка не передається. При складанні рівняння рівноваги моментів враховується лише друга складова сили, що діє уздовж рейок і дорівнює $F_{\text{тр}} \sin \alpha$.

Відцентрова сила діє на візок

$$F_c = \frac{Gv^2}{3,6^2 gR}. \quad (4.22)$$

Сила відпіднесення зовнішньої рейки

$$F_{\text{п}} = \frac{G \cdot h}{2S}, \quad (4.23)$$

де G – частина ваги тепловоза, що припадає на візок $G = 720$ кН;

h – підвищення зовнішньої рейки в кривій, $h = 0,110$ м.

Значення $\cos \alpha_i$ визначаються по допоміжним кривим, приведеним в [12]: $\cos \alpha_1 = 0,963$, $\cos \alpha_2 = 0,727$, $\cos \alpha_3 = 0,86$.

Найбільша допустима швидкість руху локомотива в кривій визначається з умови комфортності по найбільшій величині непогашеного

прискорення $a_{H=0,7} \text{ м/с}^2$

$$v_{\text{ДОП}} = \sqrt{R(0,08h + 13aH)}, \quad (4.24)$$

$$v_{\text{ДОП}} = \sqrt{450(0,08 \cdot 110 + 13 \cdot 0,7)} \approx 80 \text{ км/год.}$$

Припустивши, що $Z=0$ і позначивши $C = C - C_1$, рівняння (4.20) напишемо у вигляді

$$\begin{cases} -Y + C - 41,12 = 0; \\ Y \cdot 2,85 - C - 0,75 - 302,97 = 0. \end{cases}$$

Результат вирішення рівнянь відносно Y і C

$$Y = 159 \text{ кН}, C = 200,1 \text{ кН.}$$

Швидкість, відповідна силі $C = 200,1 \text{ кН}$, — $v = 126,1 \text{ км/ч}$. Оскільки отримана швидкість переходу з положення найбільшого перекосу у вільну установку більша за конструкційну та максимально допустиму за величиною непогашеного прискорення, то подальше дослідження положень візка у вільній установці та установці похорді не проводимо.

Для положення найбільшого перекосу, у разі, коли задня колісна пара візка притиснута до внутрішньої рейки, задаємося значеннями швидкостей і визначимо напругу зусилля та бічний тиск.

Бічний тиск визначаємо за формулою:

$$F_{\text{біч}} = F_{\text{т}} \cdot \mu. \quad (4.25)$$

Результати розрахунків зводимо в табл. 4.1.

За результатами розрахунків будемо динамічний паспорт модернізованого тепловоза в горизонтальній площині рис. 4.4.

Таблиця 4.1 — Результати розрахунку динамічного паспорта проектного тепловоза

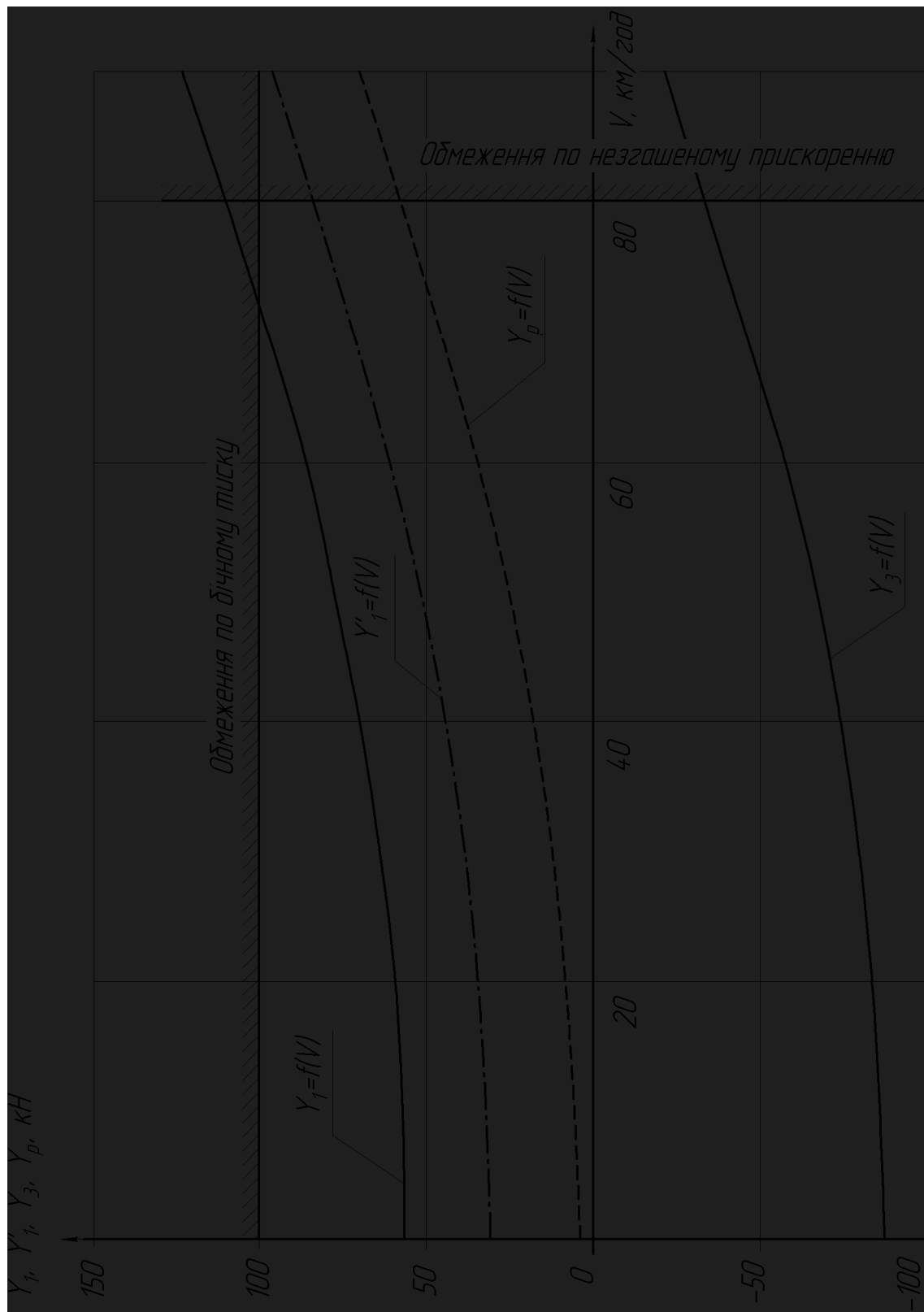


Рисунок 4.4 – Динамічний паспорт тепловоза в горизонтальній

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Bodnar, B. Improving Operation and Maintenance of Locomotives of Ukrainian Railways / B. Bodnar, A. Ochkasov, D. Bobyr // Technologijos ir Menas. Technology and Art. 2016. № 7. P. 109–114.
- 2 Kapitsa M., Bobyr D., Desiak A. Determining Permissible Speed of Tilting Train in Curved Track. Science and Transport Progress Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport 70. 2017. P. 29–40.
- 3 Гагін, Л. Ф. Експлуатація локомотивів та локомотивне господарство : метод. вказівки до курсового та дипломного проектування; для студентів спец. "Локомотиви та локомотивне господарство" / Л. Ф. Гагін, М. І. Капіца, Д. В. Бобирь. – Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2015. 47 с.
- 4 Технологічне проектування основних цехів тепловозоремонтного заводу: Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування: в 2 ч. / Уклад.: Є.Г. Нечаєв, О.Б. Очкасов; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2012. Ч. 1. 38 с.
- 5 Технологічне проектування основних цехів тепловозоремонтного заводу: Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування: у 2 ч. / Уклад.: Є.Г. Нечаєв, О.Б. Очкасов; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2012. Ч.2. 37 с.
- 6 ДСТ 27.002-89. Надійність у техніці. Основні поняття. Терміни і визначення. 46 с.
- 7 Бобирь Д. В. Надійність та технічна діагностика : контрольне завдання з методичними рекомендаціями / Д. В. Бобирь, О. Б. Очкасов, О. Я. Децюра. Дніпро : Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В.Лазаряна, 2021. 21 с.
- 8 Kapitsa. M. I. Efficiency of modernization of wheel-motor blocks (wmb) using anti-friction traction motor support bearings(tmsb)/ M. I. Kapitsa. O. M. Hnennyi, D. V. Bobyr // Наука та прогрес транспорту. 2018. № 4(76). С. 111–124.

- 9 Боднар Б. Є., Не чаєв Є. Г., Бобирь Д. В. Теорія та конструкція локомотивів. Екіпажна частина : підручник для ВНЗ залізн. трансп. Дніпропетровськ.: ПП Ліра ЛТД, 2009. 284 с.
- 10 Бобирь Д. В. Теорія та конструкція локомотивів. Визначення параметрів екіпажної частини тепловоза : методичні рекомендації до курсового та дипломного проектування / Д. В. Бобирь, М. П. Довбня, А. Р. Богомолів. Дніпро : Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2020. 18 с.
- 11 Боднар Б. Є., Не чаєв Є. Г., Бобирь Д. В. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування : підручник для ВНЗ залізн. трансп. Дніпропетровськ: ПП Ліра ЛТД, 2010. 358 с.
- 12 Бобирь Д. В. Теорія та конструкція локомотивів. Оцінка динамічних якостей локомотива при вписуванні в криві ділянки колії : методичні вказівки до курсового та дипломного проектування; для студентів спец. "Локомотиви та локомотивне господарство" / Д. В. Бобирь, В. Н. Сердюк, О. Б. Очкасов. Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2016. 20 с.