Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

Розроблення рекомендацій щодо вибору раціональних режимів ведення поїздів для підвищення паливної економічності тепловозів 2ТЕ33АС.
Пояснювальна записка та розрахунки
до кваліфікаційної роботи магістра

МКРМЕ.510.14.00.ПЗ

Виконав: студент групи 221-ЛЛГ-Д24
спеціальності 273 «Залізничний транспорт»
освітня програма «Локомотиви та локомотивне господарство»
Мацуй А.С.

Керівник: доцент, кан-т техн. наук
Харламов П.О.

Рецензент: професор, доктор техн. наук
Панченко В.В.

Харків 2026

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет механіко-енергетичний
Кафедра експлуатація та ремонт рухомого складу
Освітньо-науковий рівень: магістр-науковець
Спеціальність: 273 Залізничний транспорт
Освітня програма Локомотиви та локомотивне господарство

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук
_____ В.Г. Пузир

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
Мацую Антону Сергійовичу

1. Тема проєкту «Розроблення рекомендацій щодо вибору раціональних режимів ведення поїздів для підвищення паливної економічності тепловозів 2ТЕ33АС.», керівник Харламов Павло Олександрович, кандидат техн. наук, доцент затверджені розпорядженням по механіко-енергетичному факультету від «24» лютого 2026 року № 8.
2. Строк подання студентом закінченої роботи 15 червня 2026 року.
3. Вихідні дані до роботи Показники роботи депо. Технічні характеристики тепловоза та дизелів тепловозів. Інструкції з експлуатації, правила ремонту тепловозів. Методичні вказівки по розрахунку економічного ефекту модернізованих тепловозів. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування рухомого складу.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Характеристика полігону експлуатації тепловоза ТЕ33АС. 2. Організація експлуатації локомотивів типу 2ТЕ116. 3. Організація експлуатації локомотивів типу ТЕ33АС. 4. Визначення енергозаощаджуючих режимів ведення поїздів. 5. Економічне обґрунтування впровадження нового тепловоза.
5. Перелік графічного матеріал 1-2. Дільниці обігу тепловозів ТЕ33АС. 3-5. Загальний вид та характеристики тепловоза ТЕ33АС. 6. Дизель 12GEVO та його характеристики. 7-8. Таблиці порівняння параметрів тепловозів. 9-10. Вибір енергозаощаджуючої траєкторії руху роїзда. 11. Результати тягово-енергетичних розрахунків Q=3000 т. 12. Висновки .

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	Калабухін Ю.Є. професор, доктор техн. наук		

7. Дата видачі завдання «15» грудня 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу. Формування змісту та етапів роботи.	15.12–22.12	
2	Збирання та обробка статистичної інформації	23.12–12.01	
3	Виконання роботи по розділам дипломного проекту. Аналіз одержаних даних, їх розрахунок та обробка	13.01–20.03	
4	Перевірка виконаних завдань у керівника дипломного проекту, виправлення помилок, виконання робіт по розділам консультантів	21.03–26.03	
5	Робота над оформленням графічної частини, проведення розрахунків та створення на їх підставі графічних матеріалів	27.03–10.04	
6	Перевірка виконаних робіт у керівника проекту, виправлення помилок, чистове виконання розділів дипломного проекту	11.04–18.05	
7	Нормоконтроль, виправлення помилок та підготовка до захисту	19.05–31.05	

Студент _____ Мацуй А.С.
(підпис)

Керівник _____ Харламов П.О.
(підпис)

Зміст

Вступ	6
1 Характеристика полігону експлуатації тепловоза ТЕ33АС	10
1.1 Особливості конструкції тепловоза ТЕ33АС	11
2 Організація експлуатації локомотивів типу 2ТЕ116	20
2.1 Вибір типу локомотива	20
2.2 Обґрунтування розміщення пунктів технічного обслуговування ТО-2, екіпірування та зміни локомотивних бригад	30
2.3 Визначення часу повного обороту локомотивів	33
2.4 Визначення основних показників використання локомотивів	36
2.5 Розрахунок потреби у локомотивних бригадах	40
2.6 Визначення тривалості відпочинку локомотивної бригади за місцем проживання	42
2.7 Основні показники роботи локомотивних бригад	44
2.8 Організація ремонту локомотивів	44
2.9 Екіпірування локомотивів	49
3 Організація експлуатації локомотивів типу ТЕ33АС	55
3.1 Вибір типу локомотива	55
3.2 Обґрунтування розміщення пунктів технічного обслуговування ТО-2, екіпірування та зміни локомотивних бригад	65
3.3 Визначення часу повного обороту локомотивів	68
3.4 Визначення основних показників використання локомотивів	71
3.5 Розрахунок потреби у локомотивних бригадах	74
3.6 Визначення тривалості відпочинку локомотивної бригади за місцем проживання	76
3.7 Основні показники роботи локомотивних бригад	78
38 Організація ремонту локомотивів	79
3.9 Екіпірування локомотивів	84

4 Визначення енергозаощаджуючих режимів ведення поїздів 91
4.1 Методи оптимізації режимів ведення поїзда 91
4.2 Методика визначення енергозаощаджуючих режимів ведення поїздів 96
5 Економічне обґрунтування впровадження нового тепловоза 101
5.1 Коротка характеристика технічного рішення 101
5.2 Визначення складових вартості життєвого циклу тепловоза 102
5.3 Визначення загальної вартості життєвого циклу тепловоза ТЕ33АС 107
Висновки 110
Список використаних джерел 111
Додатки 113
Додаток А Публікації за темою роботи 114
Додаток Б - Акт перевірки магістерської роботи 115

Вступ

Залізничний транспорт посідає провідне місце серед базових галузей економіки України, забезпечуючи стабільне функціонування виробничої сфери, соціальної інфраструктури та транспортної системи держави. Ефективна робота залізниць є важливою передумовою зміцнення національної безпеки, обороноздатності країни та підвищення рівня життя населення. Незважаючи на значний виробничий і технічний потенціал, сучасний стан залізничної галузі характеризується низкою проблем, пов’язаних із моральним та фізичним зношенням основних фондів, недостатнім рівнем інвестиційної підтримки та невідповідністю окремих технологічних процесів сучасним європейським вимогам щодо якості транспортних послуг.

Складна економічна ситуація в галузі значною мірою зумовлена тривалим недофінансуванням, старінням рухомого складу, обмеженим впровадженням інноваційних технологій та недосконалістю механізмів залучення інвестицій. Особливо гостро ці проблеми проявляються у сфері локомотивного господарства, де значна частина експлуатованого тягового рухомого складу перевищила нормативний термін служби.

Важливу роль у розвитку транспортної галузі відіграє машинобудівний комплекс, який забезпечує виробництво, ремонт і модернізацію технічних засобів залізничного транспорту. Проте протягом останніх десятиліть вітчизняне локомотивобудування зазнало суттєвого скорочення виробничих потужностей, що негативно вплинуло на можливості оновлення та підтримання експлуатаційної придатності локомотивного парку. Значний рівень фізичного зносу обладнання та виробничих фондів ускладнює процес відновлення галузі та потребує значних капіталовкладень.

У сучасних умовах перед працівниками локомотивного господарства постають важливі завдання щодо підтримання працездатності, відновлення та

модернізації існуючого парку локомотивів. Особливого значення набуває вдосконалення систем технічного обслуговування і ремонту локомотивів, впровадження нових технологічних рішень, модернізація обладнання ремонтних підприємств та підвищення ефективності експлуатації тягового рухомого складу.

Актуальність роботи зумовлена критичним рівнем зношеності локомотивного парку України, який за окремими оцінками перевищує 90 %. Значна частина тепловозів експлуатується понад встановлений термін служби, що призводить до збільшення витрат на утримання та зниження надійності перевізного процесу.

Розв'язання зазначеної проблеми потребує комплексного підходу, який передбачає не лише закупівлю нових локомотивів, а й проведення модернізації існуючого тягового рухомого складу з метою продовження терміну його експлуатації та покращення техніко-економічних показників. Реалізація таких заходів сприятиме підвищенню ефективності використання локомотивного парку та створить передумови для стабільного розвитку залізничного транспорту України.

Мета магістерської роботи – розроблення рекомендацій для підвищення паливної економічності тепловозів 2ТЕ33АС за рахунок вибору раціональних режимів ведення поїздів .

Об'єкт дослідження – процес технічної експлуатації тепловозів.

Предмет дослідження – тепловози ТЕ33АС.

Для досягнення даної мети були поставлені наступні завдання:

- провести аналіз показників використання тепловозів;
- дослідити організацію експлуатації локомотивів типу ТЕ33АС;
- визначити енергозаощаджуючі режими ведення поїздів;
- визначити ефективність впровадження запропонованих заходів.

Практичне значення. Реалізація запропонованого проєкту дозволить вирішити завдання оновлення парку локомотивів шляхом ефективного використання обмежених фінансових ресурсів. Тим більше, що економічний

ріст і, як наслідок, зростання перевезень потребують підвищення надійності та економічності парку локомотивів.

1 Характеристика полігона експлуатації тепловоза ТЕ33АС

Майже третина вантажоперевезень ПАТ "Укрзалізниця" (УЗ, Київ) на тепловий тязі зараз здійснюється 30 локомотивами General Electric (GE).

В даний час магістральні вантажні тепловози ТЕ33АС виробництва GE задіяні в перевізному процесі на стратегічних ділянках Придніпровської, Одеської та донедавна Донецької залізниць. Вони перевозили вантажі в напрямку промислових підприємств і Маріупольського морського порту, а також до портів чорноморського регіону рисунок 1.1.

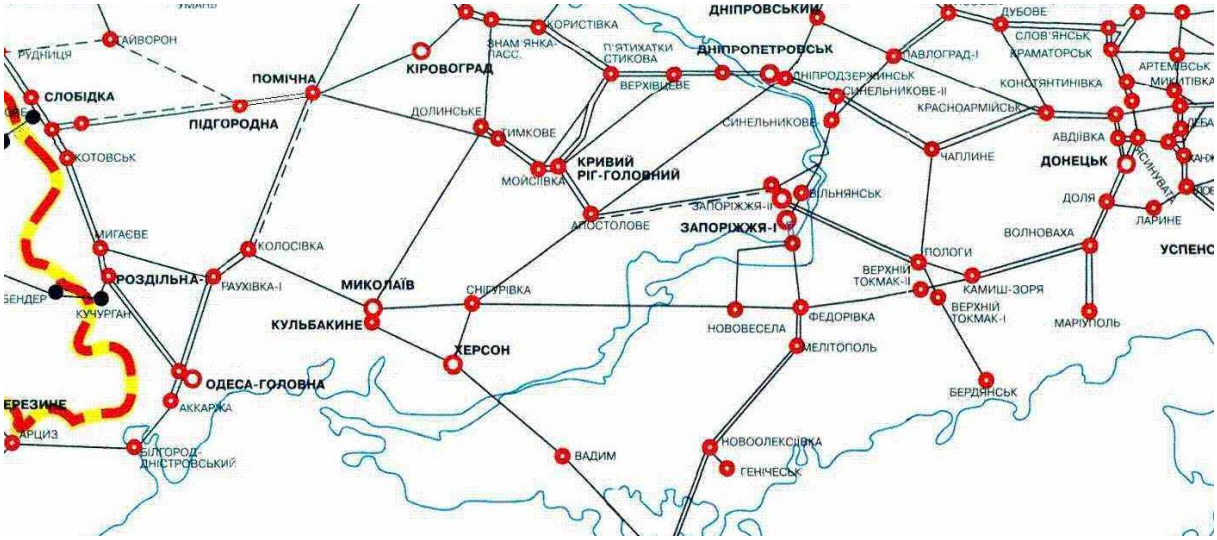


Рисунок 1.1 – Полігон обігу тепловозів ТЕ33АС

Середньодобовий пробіг тепловозів General Electric ТЕ33АС на українських залізницях досяг 651 кілометри. За даними відділу експлуатації локомотивної служби Придніпровської регіональної філії, в середньому з початку місяця тепловози ТЕ33АС на добу проходили 535 кілометрів по Придніпровській і 619,3 км - на всіх ділянках експлуатації на трьох залізницях. Це свідчить про ефективне використання нового тягового рухомого складу.

1.1 Особливості конструкції тепловоза ТЕ33АС

ТЕ33АС - односекційний шестивісний вантажний магістральний тепловоз з асинхронним приводом і інвертором на IGBT- транзисторах. Проводиться General Electric Transportation і є аналогом моделі Evolution ES44ACi. Тепловоз має двох кабіний кузов з кондиціонерами, обігрівом дзеркал, стекол, плитою, зручними кріслами з регулюваннями. На моніторі показується навантаження на кожен тяговий електродвигун рисунок 1.2.



Рисунок 1.2 – Монітор машиніста

Бак тепловоза вміщує 9 тон дизпалива, запас піску - 1000 літрів, запас води - 1306 літрів. про порівнянні з локомотивами, що експлуатуються сьогодні,

Тризуб витрачає палива на 25-35 % менше, мастильних матеріалів - на 50-80 % менше і здійснює на 40 % менше шкідливих викидів в атмосферу [3]. Його необхідно обслуговувати раз в 90 днів - це в 30 разів рідше, ніж частота обслуговування у локомотивів, що експлуатуються зараз. Новий тепловоз спроектований за технічними вимогами, стандартами і ГОСТами для залізниць колії 1520 мм. Це односекційний шестивісний локомотив потужністю 3356 кВт з 12-циліндровим чотиритактним V-подібним дизелем типу GEVO12. Оснащений мікропроцесорною системою управління з електронним впорскуванням палива і бортовою системою діагностики. В експлуатації новий односекційний тепловоз здатний замінити двосекційний тепловоз типу 2ТЕ116 таблиця 1.1.

На тепловозі використовується тягова електрична передача змінного струму з асинхронними тяговими двигунами, застосування яких дозволяє реалізувати високу осьову потужність, знижує витрати при технічному обслуговуванні. Асинхронні двигуни рисунок 1.3 більш надійні, ніж колекторні двигуни.

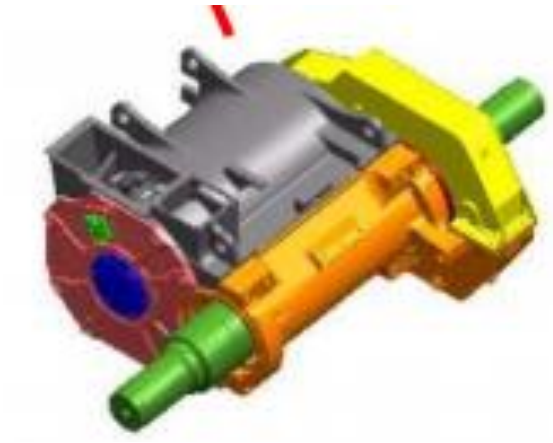


Рисунок 1.3 – Тяговий двигун GE830

Варто відзначити, що на тепловозі були використані одноступінчасте ресорне підвішування і щелепні візки. З огляду на плани про створення на базі тепловоза пасажирської версії, можна сказати, що даний вузол тепловоза є застарілим і непридатним до використання на пасажирській модифікації.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики тепловоза серії ТЕ33АС

№	Найменування	показники
1.	Рід служби	Вантажний
2.	Осьова формула	3о – 3о
3.	Номінальна потужність по дизелю, кВт (к.с.)	3356 (4564)
4.	Конструкційна швидкість, км / год	120
5.	Службова маса, т	138 ± 2%
6.	Навантаження від колісної пари на рейки, т / вісь	23,23 ± 2%
7.	Габарит	1-Т ГОСТ 9238-83
8.	Ширина колії, мм	1520
9.	Діаметр нового колеса по колу катання, мм	1050
10.	Дотична сила тяги тривалого режиму, кН (тс)	427 (43,54)
11.	Швидкість тривалого режиму, м / с (км / год)	6,67 (24)
12.	Мінімальний радіус прохідних кривих, м	125
13.	Довжина по осях автозчепів, мм	21894
14.	Ширина (по рамі), мм	3120
15.	Висота (по вихлопного патрубка), мм	4803
16.	Міжшкворнева відстань, мм	13701
17.	Колісна база візки, мм	3700
18.	Відстань від осі шворня до осі автозчеплення, мм	4096
19.	Висота осі автозчеплення над рівнем головки рейки, мм	1100
20.	Запас палива, л	6500 (9000)
21.	Запас піску, л	1000
22.	Запас води, л	1306
23.	Об’єм дизельної оливи, л	1280

Високі тягові й зчіпних властивостей тепловоза ТЕ33АС забезпечуються за рахунок використання унікальної системи управління тепловоза, дозволяють максимально використовувати потужність тепловоза, а бортова система діагностики забезпечує надійний контроль і моніторинг роботи обладнання в експлуатації. На тепловозі встановлена центральна система.

Тепловоз повністю має модульну конструкцію рисунок 1.4.

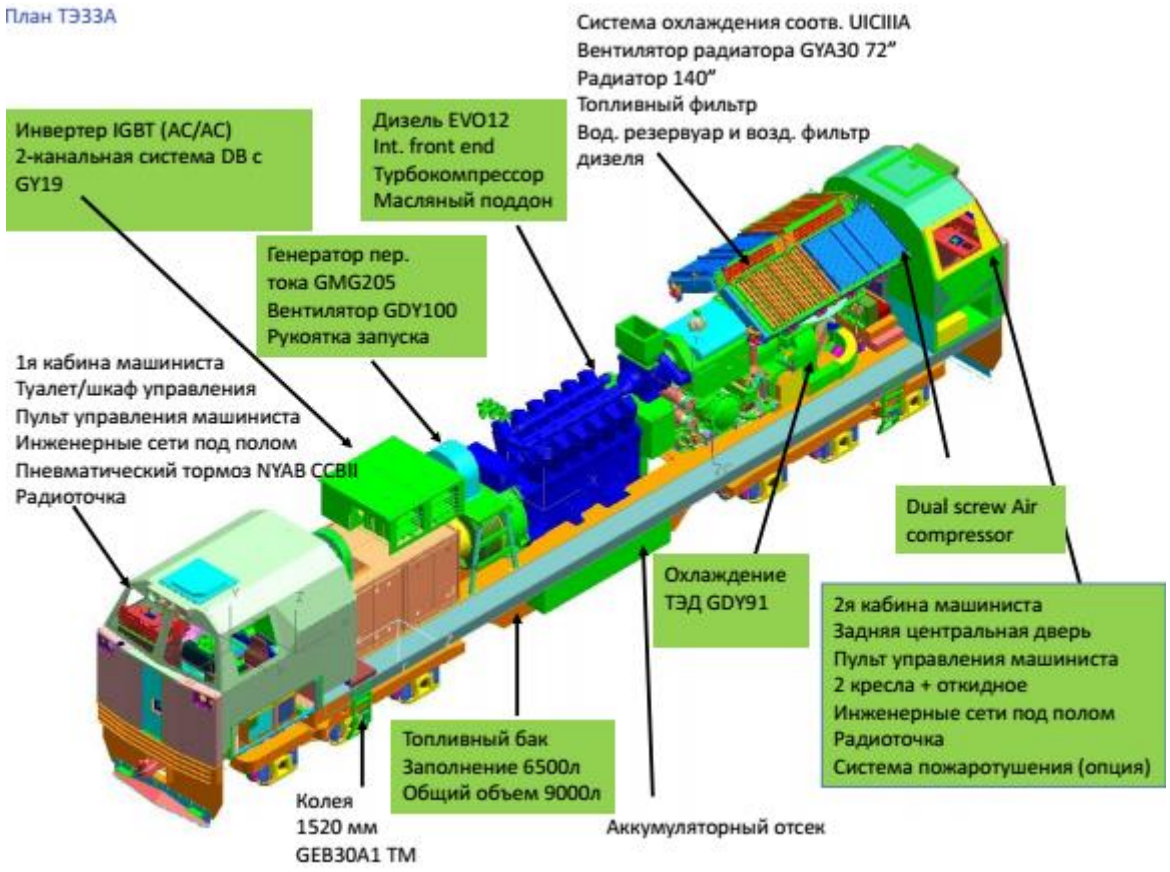


Рисунок 1.4 – Конструкція ТЕ33АС

Основними модулями є: кабіни машиніста, відсік дизеля, відсік допоміжного обладнання, відсік повітродувки і радіаторний відсік. Монтаж відсіків і обладнання проводиться на раму тепловоза. Локомотив оснащений двома кабінами машиніста. В кабіні передбачені місця для машиніста і помічника машиніста, а також відкидне сидіння машиніста- інструктора. Пульт машиніста

спроектований з урахуванням забезпечення вимог ергономіки. На пульті розташовані дисплеї системи управління тепловоза, блок індикації системи безпект, пульт радіостанції типу РВС, контролер машиніста, електронний кран машиніста, рукоятка пильності, кнопка тифон/свисток, кнопка подачі піску, рукоятки управління освітленням і опаленням.

Конструкція кабіни машиніста забезпечує ефективну шумоізоляцію. В кабіні - холодильник для зберігання продуктів харчування, плитка для підігріву їжі і місця для розміщення двох термосів. Лобові стекла оснащені системою електрообігріву. Для забезпечення мікроклімату встановлені обігрівачі та система опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, яка встановлена в подкабинном просторі локомотива. Передбачені гачки для верхнього легкого одягу. У головній кабіні машиніста розташований санітарний вузол.

На тепловозі встановлений 12 циліндровий, V- образний, 4-х тактний дизель GEVO V12 рисунок 1.5 з газотурбінним наддувом. Сучасні технічні рішення, застосовані в дизелі, в максимальному ступені відповідають вимогам до автономного тягового рухомого складу, що дозволяє в експлуатації значно скоротити витрати палива на тягу поїздів. Перевагою нового дизеля типу EVO є також те, що в ньому знижений на 40 % рівень виділення вихлопних газів.



Рисунок 1.5 – Двигун GEVO12

У конструкції цього дизеля застосовані поршні більшого розміру, в чому і полягає одна з основних його відмінностей від дизеля FDL16 таблиця 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики дизеля GEVO V12

	Найменування параметрів	
1.	Умовне позначення дизеля	GEVO V12
2.	Тип дизеля	12 циліндровий V подібний с розвалом циліндрів 45 градусів; 4 тактний з турбонаддуванням
3.	Номінальна потужність дизеля,	3356 кВт
4.	Діаметр циліндра, мм	250
5.	Хід поршня, мм	320
6.	Робочий об'м циліндра, л	15,7
7.	Ступінь стиснення	17:1
8.	Порядок роботи циліндрів	1R-1L-5R-5L-3R-3L-6R-6L-2R-2L-4R-4L
9.	Номінальна частота обертання, об / хв	1050
10.	Мінімально-стійка частота обертання на холостому ходу, хв-1	335
11.	Маса, кг	19 238

Однак найрадикальніші зміни були внесені в систему управління і контролю дизеля (ССА) рисунок 1.6 за рахунок збільшення її обчислювальної потужності, обсягу пам'яті і швидкодії. Це можна порівняти з тим, що було досягнуто в удосконаленні процесорів персональних комп'ютерів при переході від платформи 286 до платформи Pentium 486. В результаті вдалося забезпечити правильний баланс між зменшеним виділенням вихлопних газів і ефективним згорянням палива.



Рисунок 1.6 - Удосконалена система ССА

Удосконалена система ССА контролює і виконує моніторинг таких факторів, як час спрацьовування клапанів і робоча температура. По змозі системи швидше обробляти дані вона може оперативно реагувати на зміни умов роботи і негайно здійснювати відповідні регулювання. Зменшення на чотири числа циліндрів і, відповідно, числа деталей також поліпшило надійність і ремонтопридатність двигуна. Крім того, оптимізована конструкція деяких деталей шатунно-поршневої групи.

Ще однією істотною відмінністю дизеля EVO від FDL16 є використання одного турбонагнітач замість двох с гібридної двохвентіляторной системою охолодження, яка знижує температуру надходить в дизель повітря до близької до температури навколишнього середовища. Вона виконана з забезпеченим модулем теплообмінника додатковим охолоджуючим контуром повітря / повітря для вихлопних газів, які направляються в турбонагнітач.

У відсіку повітродувки встановлений тяговий агрегат, що складається з генератора і допоміжного генератора, вентилятора охолодження генератора і тягових перетворювачів. У відсік допоміжного обладнання встановлені основні компоненти тягової системи - силові випрямлячі, тяговий інвертор. Також розташовані дві комп'ютерні панелі, а також джерело електроживлення комп'ютера. Для подачі допоміжного харчування є три панелі змінно / постійного

і одна панель змінно / змінного струму. У відсіку встановлений один з двох вентиляторів системи охолодження, датчики, контактори, реле і система забезпечення безпеки для індикації та усунення ураження струмом високої напруги в локомотиві. Блок резисторів реостатного гальмування, встановлені над шафами перетворювачів, забезпечує електродинамічне гальмування локомотива. Шість IGBT-перетворювачів виконані як конструктивної ідентичні модулі, на кожну колісну пару доводиться один інвертор.

На тепловозі застосовано тягові перетворювачі на основі транзисторів IGBT для харчування асинхронних тягових двигунів з короткозамкненим ротором. Кожна тягова обмотка тягового генератора живить четириквадрантний імпульсний випрямляч, що забезпечує постійну величину напруги по постійному струму. Ланцюги постійного струму живлять шість високовольтних інверторів, на кожен з яких включений один тяговий двигун, ніж здійснюється повісного регулювання тяги.

Для вироблення стисненого повітря на тепловозі є два гвинтових компресора, продуктивністю 5,6 $м^3$ / хв, виробництва компанії Garden Denver з приводом від двигуна змінного струму, які встановлені в радіаторному відсіку. Вентилятор, що має регульований (в залежності від температури води і масла дизеля) привід від двигуна змінного струму, здійснює охолодження секцій радіаторів.

Над секціями радіаторів встановлені регульовані жалюзі. Вентилятор охолодження тягових двигунів проводить забір повітря через фільтри. Ресорне підвішування на локомотиві двоступенева. У першій ступені ресорного підвішування застосовуються пружини і гідравлічний демпфер.

У другому рівні підвішування повинні застосовуватися гумометалеві елементи і похилі гідравлічні демпфери. Конструкція ресорного підвішування передбачає можливість регулювання поколісного розвішування. Рама локомотива зварна, несучого типу, складається з двох кінцевих секцій і паливного бака. З обох сторін рами встановлені автозчеплення типу СА3. По торцевих сторонах

паливного бака встановлені акумуляторний ящик (з необслуговуваних свинцево-кислотними батареями) і головні повітряні резервуари, загальним обсягом 1000 літрів. На тепловозі застосовано тягові перетворювачі на основі транзисторів IGBT для харчування асинхронних тягових двигунів з короткозамкненим ротором. Кожна тягова обмотка тягового генератора живить четириквадрантний імпульсний випрямляч, що забезпечує постійну величину напруги по постійному струму. Ланцюги постійного струму живлять шість високовольтних інверторів, на кожен з яких включений один тяговий двигун, ніж здійснюється повісного регулювання тяги.

Для вироблення стисненого повітря на тепловозі є два гвинтових компресора, продуктивністю 5,6 $м^3$ / хв, виробництва компанії Garden Denver з приводом від двигуна змінного струму, які встановлені в радіаторному відсіку. Вентилятор, що має регульований (в залежності від температури води і масла дизеля) привід від двигуна змінного струму, здійснює охолодження секцій радіаторів.

Над секціями радіаторів встановлені регульовані жалюзі. Вентилятор охолодження тягових двигунів проводить забір повітря через фільтри. Ресорне підвішування на локомотиві двоступенева. У першій ступені ресорного підвішування застосовуються пружини і гідравлічний демпфер.

У другому рівні підвішування повинні застосовуватися гумометалеві елементи і похилі гідравлічні демпфери. Конструкція ресорного підвішування передбачає можливість регулювання поколісного розвішування. Рама локомотива зварна, несучого типу, складається з двох кінцевих секцій і паливного бака. З обох сторін рами встановлені автозчеплення типу СА3. По торцевих сторонах паливного бака встановлені акумуляторний ящик (з необслуговуваних свинцево-кислотними батареями) і головні повітряні резервуари, загальним обсягом 1000 літрів.

На тепловозі застосовано триосний щелепний візок. Технічні рішення конструкції візки забезпечують мінімальне технічне обслуговування, в тому числі

елементів щелепних букс. Кузов спирається на візок за допомогою трьох гумових опор, що забезпечує в експлуатації більше стійкий зв'язок кузова і візки. Передача сили тяги забезпечується посередництвом нізкоопущенного шворня. Конструкція тягового приводу має опорно-осьовий підвішування тягових електродвигунів з підшипниками кочення. Момент, що обертає передається через односторонню зубчасту передачу.

Збільшення осьової потужності на тепловозі до 500 кВт зажадало відмовитися від бандажних колісних пар, з метою підвищення надійності і ресурсу колісних пар. Конструкція візка забезпечує можливість одиночної викочування колісних пар вниз без под'емкі кузова і розточення колісних пар в умовах локомотиворемонтного депо.

Інвертор IGBT (AC / AC); 2-канальна система DB з GY19; Дизель EVO12 Int. front end; Турбокомпресор; Масляний піддон; Система охолодження;. UICIIIA; Вентилятор радіатора GYA30 72; Радіатор 140; Паливний фільтр; Водяний резервуар та повітряний фільтр дизеля; Генератор змінного струму GMG205; Вентилятор GDY100; Рукоятка запуску 1ша кабіна машиніста; Туалет / шафа управління; Пульт управління машиніста; Інженерні мережі під підлогою; Пневматичне гальмо NYAB CCBII; Радіоточка; Паливний бак заповнення 9000 л; Загальний обсяг 9000 л; Колія1520 мм; GEB30A1 ТМ Охолодження ТЕД GDY91; Акумуляторний відсік Dual screw Air compressor; 2-а кабіна машиніста; Задня центральна двер; Пульт управління машиніста 2 крісла + відкидне; Інженерні мережі під підлогою; Радіоточка; Система пожежогасіння.

2 Організація експлуатації локомотивів типу 2ТЕ116

2.1 Вибір типу локомотива

Серія і тип локомотива визначається в залежності від технічної оснащеності заданої дільниці залізничної лінії та вантажопотоку, в моєму варіанті використовується тепловоз 2ТЕ116, його технічні характеристики [11,13] приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики 2ТЕ116

№ з/п	Параметри тепловоза	2ТЕ116
1	2	4
1.	Ширина колії, мм	1520
2.	Габарит по ГОСТ 9238-73	1-Т
3.	Потужність, кВт	2206
4.	Осьова формула	3о - 3о
5.	Службова маса, т	138
6.	Навантаження від колісних пар на рейки, кН	226
7.	Сила тяги при тривалому режимі, кН	506
8.	Швидкість при тривалому режимі, км/год	24
9.	Сила тяги при рушанні з місця, кН	813
10.	Конструкційна швидкість, км/год	100
11.	Мінімальний радіус прохідних кривих, м	125
12.	Марка дизеля	1А-5Д49
13.	Габаритні розміри, мм	
	- довжина по осях автозчепів	21000
	- ширина	3200
	- висота від головок рейки	5110
14.	Діаметр коліс, мм	1050
15.	Тип передачі	пер. пост.
16.	Тип генератора	ГС-501А

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
17.	Тип тягового електродвигуна	ЕД-118А
18.	Підвішування тягового електродвигуна	оп. осьов.
19.	Паливний бак, кг	7000
20.	Водяний бак, л	1250
21.	Пісок, $м^3$	1,31

Для двоколійної дільниці залізничної лінії, яка обладнана автоблокуванням з паралельним графіком руху поїздів, серія і тип локомотива визначається наступним чином.

За умови руху поїзда на розрахунковому підйомі з розрахунковою швидкістю, дотична потужність у кВт, яка необхідна від локомотива [1,14].

$$N_k = \frac{0,736П\left(1+\frac{\alpha}{\beta}\right)\left(w"+gi_p\right)l\left(1+\varphi\right)}{6360\left(1-\lambda\right)\eta}, \qquad (2.1)$$

де $П$ – максимальний добовий вантажопотік дільниці в одному найбільш завантаженому напрямку, т/доба,

$$П = \frac{Г \cdot c}{365}, \qquad (2.2)$$

де $Г$ – вантажопотік нетто в тонах в рік, $Г = 7 \cdot 10^6$ ткм;

c – коефіцієнт росту вантажопотоку на перспективу, c = 1,2;

$$П = \frac{7000000 \cdot 1,2}{365} = 23014 \text{ т/доба.}$$

α – коефіцієнт тари вагону, який представляє собою відношення маси тари

вагону q_T вантажопідємності вагону $q_П$, виражених в тонах, $\alpha = 0,4$

$$\alpha = \frac{q_T}{q_П}. \qquad (2.3)$$

β – коефіцієнт використання геометричного об'єму вагону; його величина не залежить від типу вагону, роду вантажу і степені завантаженості вагону, коливається від 0,7 т для критих вагонів до 1,1 т – для піввагонів, $\beta = 1$,

$$\beta = \frac{q_H}{q_П} \qquad (2.4)$$

q_H – маса вантажу нетто, т;

i_p – крутизна розрахункового підйому, ‰ найбільш тяжкого для руху поїздів в даному направленні елементу профілю шляху, на якому встановлюється розрахункова швидкість, що відповідає розрахунковій силі тяги локомотива, позначеної через $F_{кр}^{ip}$ і вираженої в кН, $i_p = 6$ ‰;

l – довжина найважчого (лімітованого) перегону, $l = 10$ км;

φ – коефіцієнт, який характеризує витрату часу на операції по прийому і відправленню поїздів, для дільниць шляху, обладнаних автоблокуванням, $\varphi = 0,04$;

η – коефіцієнт, який визначає ту частину доби, яка виділена для руху вантажних поїздів, $\eta = 0,8$;

γ – коефіцієнт, який визначає ту частину сили тяги локомотива, яка витрачається на подолання сил опору самого локомотива, $\gamma = 0,05$;

g – прискорення вільного падіння (9,81 м/с^2);

Питомий опір складу, Н/кН

$$w_o^{"} = aw_{04}^{"} + вw_{08}^{"}. \quad (2.5)$$

де *а, в* – задані долі за вагою чотиривісних та восьмивісних вагонів, в розрахунках можливо прийняти *а* = 0,8; *в* = 0,2.

Для вагонів на роликових підшипниках, для руху на стикової колії, Н/т,

$$w_{04}^{"} = 0,7 + \frac{(3 + 0,1V_p + 0,0025V_p^2) \cdot g}{q_{04}}, \quad (2.6)$$

$$w_{08}^{"} = 0,7 + \frac{(6 + 0,038V_p + 0,0021V_p^2) \cdot g}{q_{08}}, \quad (2.7)$$

де V_p – розрахункова швидкість $V_p = 24,2$ км/год;

q_{04}; q_{08} - середнє навантаження на вісь колісної пари вагону на рейки (т/вісь).

$$q_{08} = \frac{q_8}{8}, \quad (2.8)$$

$$q_{04} = \frac{q_4}{4}; \quad (2.9)$$

де q_4; q_8 – середня маса брутто відповідно чотиривісного та восьмивісного вагону, $q_4 = 70$ т та $q_8 = 160$ т.

Навантаження на вісь дорівнює, кН/вісь,

$$q_{08} = \frac{160 \cdot 9,81}{8} = 196,2 \text{ кН/вісь}, \quad q_{04} = \frac{70 \cdot 9,81}{4} = 171,1 \text{ кН/вісь};$$

Питомий опір для вагонів на роликових підшипниках, для руху на стикової колії за формулами (1.6) і (1.7)

$$w_{04}^{"} = 0,7 + \frac{(3 + 0,1 \cdot 24 + 0,0025 \cdot 24^2) \cdot 9,81}{171,1} = 1,08 \text{ Н/т},$$

$$w_{08}^{"} = 0,7 + \frac{(6 + 0,038 \cdot 20 + 0,0021 \cdot 20^2) \cdot 9,81}{196,2} = 1,09 \text{ Н/т}.$$

Питомий опір складу за формулою (1.5)

$$w_o^{"} = 0,8 \cdot 1,08 + 0,2 \cdot 1,09 = 1,1 \text{ Н/кН}$$

Дотична потужність у кВт, яка необхідна від локомотива за формулою (2.1).

$$N_k = \frac{0,736 \cdot 23014 \cdot \left(1 + \frac{0,4}{1}\right) \cdot (1,1 + 9,81 \cdot 6) \cdot 10 \cdot (1 + 0,04)}{6360 \cdot (1 - 0,05) \cdot 0,8} = 3059 \text{ кВт}.$$

Після визначення N_k розраховується сила тяги локомотива $F_{кр}^{ip}$, кН

$$F_{кр}^{ip} = \frac{3,6 N_k}{V_p}, \qquad (2.10)$$

$$F_{кр}^{ip} = \frac{3,6 \cdot 3059}{24} = 457,4 \text{ кН}.$$

Серія локомотива 2ТЕ116, $F_к^{ip} = 506$ кН, $V_p = 24$ км/год, $V_к = 100$ км/год, $F_Р = 813$ кН, $l_л = 36$ м, $P = 276$ т.

2.1.1 Розрахунок маси поїзда.

Маса складу Q може бути визначена з умов рівності сили тяги і сил опору при русі поїзда з розрахунковою швидкістю на розрахунковому підйомі, т,

$$Q = \frac{F_{кр}^{i_p} - P\left(w_o^{'} + gi_p\right)}{w_o^{''} + gi_p}, \tag{2.11}$$

де $w_o^{'}$ – основний питомий опір локомотива, Н/т

$$w_o^{'} = g\left(1{,}9 + 0{,}01V + 0{,}0003V^2\right), \tag{2.12}$$

$$w_o^{'} = 9{,}81 \cdot \left(1{,}9 + 0{,}01 \cdot 24 + 0{,}0003 \cdot 24^2\right) = 22{,}7 \text{ Н/т};$$

В даному розрахунку можна прийняти, що усі вагони обладнано підшипниками кочення

$$w_{04}^{''} = w_{04к}^{''};\ w_{08}^{''} = w_{08к}^{''}\ . \tag{2.13}$$

Питомий опір складу $w_o^{''} = 10{,}8$ Н/т.

Сила тяги $F_{кр}^{ip}$ в ньютонах;

Маса складу за формулою (2.11)

$$Q = \frac{506 \cdot 10^3 - 276\left(22{,}7 + 9{,}81 \cdot 6\right)}{10{,}8 + 9{,}81 \cdot 6} = 6885 \text{ т.}$$

Підрахована по формулі (2.11) маса поїзду перевіряється за умов рушання з місця на пунктах зупинки та по довжині прийомо-відправних колій, [9],

$$Q_{тр} = \frac{F_{ктр}}{(w_{тр} + i_{тр})g}, \tag{2.14}$$

де $F_{ктр}$ – сила тяги, яка реалізується в момент рушання з місця, $F_{ктр} = 813 \cdot 10^3$ Н.

$w_{тр}$ – питомий опір складу, кГс/т, при рушанні з місця на пункті зупинки, крутизна якого позначена $i_{тр}$, ‰, $i_{тр} = i_р = 6$ ‰.

Для вагонів на підшипниках кочення, кГс/т,

$$w_{тр} = \frac{28}{q_0 + 7}. \tag{2.15}$$

де q_0 – середнє навантаження від осі на рейки в одиницях маси, т/вісь.

$$q_0 = \frac{P + Q}{n_л + n_в}, \tag{2.16}$$

де $n_л$ та $n_в$ – число вісей локомотива, $n_л = 12$ і вагонів.

$$n_в = 4 \cdot m_4 + 8 \cdot m_8 \tag{2.17}$$

Число вагонів в складі:

$$\text{Чотиривісні } m_4 = \frac{aQ}{q_4}, \tag{2.18}$$

$$m_4 = \frac{0{,}8 \cdot 6885}{70} = 79;$$

Восьмивісні $m_8 = \frac{вQ}{q_8}$, (2.19)

$$m_8 = \frac{0,2 \cdot 6885}{160} = 9.$$

Число вісей вагонів за формулою (2.17)

$$n_в = 4 \cdot 79 + 8 \cdot 9 = 388.$$

Середнє навантаження від осі на рейки в одиницях маси за формулою (2.16)

$$q_0 = \frac{276 + 6885}{12 + 388} = 17,9 \text{ т/вісь.}$$

Питомий опір складу за формулою (2.15)

$$w_{тр} = \frac{28}{17,9 + 7} = 1,1 \text{ кГс/т}$$

Перевірка маси поїзда по формулі (2.14)

$$Q_{тр} = \frac{813 \cdot 10^3}{(1,1 + 6) \cdot 9,81} = 11672 \text{ т.}$$

Розрахована по формулі (2.15) маса складу повинна бути менше маси, отриманої за умови рушання з місця, тобто,

$$Q \le Q_{тр}. \quad (2.20)$$

$$6885 \le 11672.$$

Маса складу часто обмежена корисною довжиною приймально-відправних колій $(l_{по})$ станцій і роздільних пунктів. Довжина приймально-відправних колій дорівнює 850 м. Довжина поїзда l_n не повинна перевищувати довжину приймально-відправних колій на заданій дільниці обігу, тобто,

$$l_{по} \geq l_n, \tag{2.21}$$

$$l_n = l_4 m_4 + l_8 m_8 + l_л + 10 \tag{2.22}$$

де l_4, l_8 – відповідно довжина чотиривісних і восьмивісних вагонів (дорівнює 15 та 20 метрів);

$l_л$ – довжина локомотива, $l_л = 36$ м;

10 – запас довжини колій на неточність установки поїзда, м.

$$l_n = 15 \cdot 79 + 20 \cdot 9 + 36 + 10 = 1441 \text{ м.}$$

Довжина складу більше за довжину приймально-відправних колій.

Маса складу приймається $Q = 4000$ т. Тоді:

Число вагонів в складі за формулами (2.18; 2.19):

$$m_4 = \frac{0{,}8 \cdot 4000}{70} = 46;$$

$$m_8 = \frac{0{,}2 \cdot 4000}{160} = 5.$$

Довжина складу за формулою (2.22)

$$l_n = 15 \cdot 46 + 20 \cdot 5 + 36 + 10 = 836 \text{ м.}$$

Перевірка виконання умови за формулою (2.21)

$$850 \geq 836 \text{ м.}$$

Умова виконана.

2.1.2 Визначення розмірів руху.

Кількість вантажних поїздів в найбільш завантаженому напрямку на ділянці обороту,

$$n_1 = \frac{П \cdot \psi_м}{Q \cdot \omega}, \tag{2.23}$$

де $П$ – максимальний добовий вантажопотік дільниці в одному найбільш завантаженому напрямку, $П$ = 23014 т/доба;

$\psi_м$ – коефіцієнт, що ураховує місячні нерівномірності (сезонність) перевезень, $\psi_м = 1{,}1$;

ω – відношення масі складу поїзда нетто до брутто, $\omega = 0{,}65$.

Для розрахунків дозволяється приймати кількість поїздів у парному та непарному напрямках однаковим

$$n_1 = \frac{23014 \cdot 1{,}1}{4000 \cdot 0{,}65} = 11$$

$$n_1 = n_2 = n.$$

2.2 Обґрунтування розміщення пунктів технічного обслуговування ТО-2, екіпірування та зміни локомотивних бригад

Розташування вказаних облаштувань локомотивного господарства визначає максимально можливі пробіги між пунктами виконання технічного обслуговування ТО-2 та екіпірування (ПТОЛ) та зміни локомотивних бригад. При цьому елементом, який лімітує безекіпірувальний пробіг локомотивів, буде той, який по кілометражу буде мінімальний.

Найбільший пробіг локомотивів між пунктами забезпечення дизельним паливом, $L_{д.пал}$, км,

$$L_{д.пал} = \frac{0,9 \cdot E_{д.пал}}{Q_{бр} \cdot e_{д.пал} \cdot K_T} \cdot 10^4, \qquad (2.24)$$

де 0,9 – коефіцієнт, який враховує 10 %-й запас дизельного палива;

$E_{д.пал}$ – сумарна місткість паливних баків, $E_{д.пал} = 14000$ кг ;

$Q_{бр}$ – маса поїзда брутто, $Q_{бр} = 4000$ т;

$e_{д.пал}$ – норма витрат натурного дизельного палива, кг/10^4 ткм брутто;

K_T – поправковий коефіцієнт, який ураховує збільшення витрат дизельного палива в зимових умовах у залежності від середньої температури найбільш холодного місяця в році, для -30° С $K_T = 1,115$.

Перехід від норми витрат умовного палива до натурного здійснюється за формулою

$$e_{д.пал} = \frac{e_{д.пал.ум}}{E}, \qquad (2.25)$$

де $e_{д.пал.ум}$ – норма витрат умовного дизельного палива, $e_{д.пал.ум} = 39,5$ кг/10^4 ткм брутто;

E = 1,43 – тепловий еквівалент дизельного палива.

$$e_{д.пал} = \frac{39,5}{1,43} = 27,6 \text{ кг/}10^4 \text{ ткм брутто;}$$

Найбільший пробіг локомотивів між пунктами забезпечення дизельним паливом за формулою (2.24)

$$L_{д.пал} = \frac{0,9 \cdot 14000}{4000 \cdot 27,6 \cdot 1,115} \cdot 10^4 = 1023 \text{ км.}$$

Найбільший пробіг локомотивів між пунктами забезпечення піском, $L_{п}$, км,

$$L_{П} = \frac{0,9 \cdot E_{П}}{Q_{бр} e_{П}} \cdot 10^6, \qquad (2.26)$$

де 0,9 – коефіцієнт, який ураховує 10 %-й запас піску в піскових бункерах локомотива;

$E_{П}$ – сумарна місткість піскових бункерів, $E_{П}$ = 1,31 м^3;

$e_{П}$ – максимальні норми витрат піску,$e_{П}$ = 0,21 м^3/10^6 ткм брутто.

$$L_{П} = \frac{0,9 \cdot 1,31}{4000 \cdot 0,21} \cdot 10^6 = 1403 \text{ км.}$$

Відстань між пунктами ТО-2, $L_{ТО-2}$, км,

$$L_{ТО-2} = t_{ТО-2} \cdot V_{д} \cdot K, \qquad (2.27)$$

де $t_{Тм-2}$ – тривалість роботи локомотивів між ТО-2, $t_{Тм-2} = 48$ год.

$V_д$ – середня дільнична швидкість, $V_д = 33,5$ км/год;

К – коефіцієнт, який характеризує розміщення ПТОЛ - при розміщенні на обох кінцевих станціях ділянки обороту *К*= 1, при розміщенні тільки на одній з них *К* = 0,5.

$$L_{ТО-2} = 48 \cdot 33,5 \cdot 0,5 = 804 \text{ км.}$$

Найбільша довжина ділянки неперервної роботи локомотивних бригад, $L_{бр}$, км,

$$L_{бр} = \left(t_Н - \Sigma t_{доп}\right) \cdot V_д, \qquad (2.28)$$

де $t_Н$ – встановлена норма максимальної тривалості безперервної роботи бригад, яка відраховується від моменту явки на роботу до здачі локомотива; $t_Н \leq 8$ год, в окремих випадкам при узгодженні з АТ «Укрзалізниця» та профспілкою може бути підвищена до 12 год;

$\Sigma t_{доп.}$ – допоміжний час роботи бригад; сума часу допоміжного, підготовчо-заключного і часу регламентованих перерв роботи локомотивної бригади, для наближеного розрахунку можливо прийняти $\Sigma t_{доп.}$=1,5 год.

$$L_{бр} = \left(9 - 1,5\right) \cdot 33,5 = 251,3 \text{ км.}$$

Після проведення розрахунків за попередніми формулами складаємо схему розміщення основного і оборотних депо (рисунок 2.1).

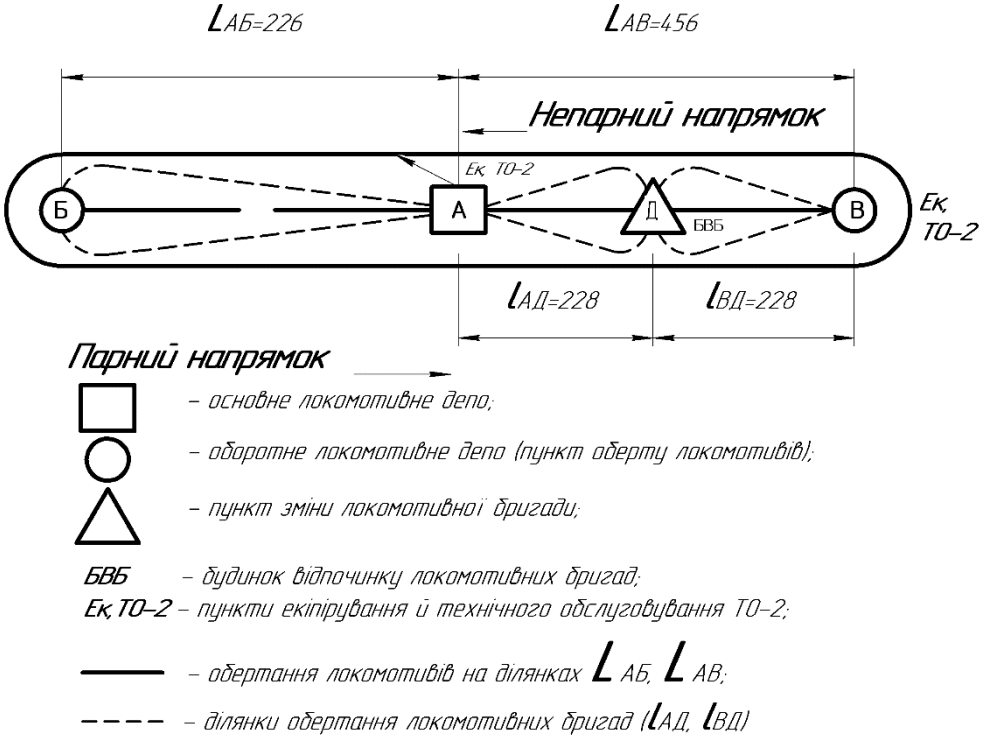


Рисунок 2.1 – Схема розміщення основного та оборотних депо, пунктів екіпірування й зміни локомотивних бригад на ділянці обороту локомотивів

2.3 Визначення часу повного обороту локомотивів

Для кільцевого способу обслуговування поїздів локомотивами повний оборот $T_n^{ж}$ визначається часом у годинах, що потрібен для обслуговування локомотивом однієї пари поїздів на ділянці. Відраховується від моменту відправлення поїзда із станції основного депо до моменту відправлення другого поїзда з цієї ж станції, плюс частка часу, що припадає на один оборот локомотива по станції основного депо, що обумовлено необхідністю заходу в депо на ТО-3 або ПР з наступним виходом під поїзд. Ця частка буде рівна витратам часу, що

відраховується від моменту проходу контрольного поста по виходу із депо до моменту причеплення до поїзда після проходження локомотивом ТО-3 або ПР від моменту відчеплення до моменту проходу контрольного поста по заходу в депо перед проходженням ТО-3 або ПР, віднесена до кількості оборотів («кілець») по станції основного депо, яку локомотив може здійснювати (від`їздити) між ТО-3 $\Delta t_{зв.оч}$.

Крім того, враховується час, який локомотив простоює в депо після ТО-3 в очікуванні поїзда, під який запланована його видача - $t_{оч}$. Сумарний час цих елементів обороту позначається, як $t_{зв.оч}$.

Оборот локомотива для кільцевого способу обслуговування поїздів локомотивами, $T_П^К$, год,

$$T_П^К = a'_к + a''_к + \frac{L}{V_{дп}} + \frac{L}{V_{дн}} + b'_к + b''_к + t_{оч}^{об'} + t_{оч}^{об''} + \Delta t_{зв.оч} + t_{зм}, \qquad (2.29)$$

де $a'_к$, $a''_к$ – час перебування локомотива на станції основного депо, необхідний для зміни локомотивних бригад та іноді екіпірування під час руху відповідно в парному або непарному напрямках, $a''_к = 0,75$ год, $a'_к = 0,5$ год;

$V_{дп}$ – дільнична швидкість парного напрямку, $V_{дп} = 31$ км/год;

$V_{дн}$ – дільнична швидкість непарного напрямку, $V_{дн} = 37$ км/год;

$\frac{L}{V_{дп}}$, $\frac{L}{V_{дн}}$ – час перебування локомотива на ділянці обороту у парному та непарному напрямках руху;

$L = L_{АБ} + L_{АВ}$ – задана довжина ділянки обороту локомотива, $L = 682$ км;

$b'_к$, $b''_к$ – час, що відраховується від моменту відчеплення локомотива від поїзда в депо обороту до моменту відправлення його в зворотному напрямку, не враховуючи $t_{оч}^{об}$, $b''_к = 2$ год, $b'_к = 0,75$ год;

$t_{оч}^{об'}, t_{оч}^{об''}$ – час очікування локомотивом поїзда в пункті обігу, під який запланована його видача, що відраховується від моменту закінчення технічних операцій до початку руху локомотива до контрольного поста при виході під поїзд, год,

$$t_{оч}^{об'} = t_{оч}^{об''} = t_{оч}^{осн} = \frac{1}{0,7 + 0,013 \cdot n}, \tag{2.30}$$

де n – кількість пар поїздів, n = 10;

$$t_{оч}^{об'} = t_{оч}^{об''} = t_{оч}^{осн} = \frac{1}{0,7 + 0,013 \cdot 11} = 1,2 \text{ год};$$

$\Delta t_{зв.оч}$ – частка часу, що відраховується від моменту відчеплення локомотива від поїзда до початку виконання технічних операцій з підготовки до ТО-3 або ПР і від моменту початку руху до контрольного поста після ТО-3 або ПР до моменту причеплення до поїзда, плюс частка часу від тривалості очікування поїзда, під який запланована видача даного локомотива, віднесена до кількості оборотів («кілець»), які можуть бути ним здійснені в період між ТО-3.

$$\Delta t_{зв.оч} = \frac{2L}{L_{ТО-3}} \left(t_{зв.} + t_{оч}^{осн} \right), \tag{2.31}$$

де $L_{ТО-3}$ - міжремонтний період ТО-3, $L_{ТО-3}$ = 11000 км;

$t_{зв}$ - час, затрачений локомотивом на заїзд і виїзд з депо, год (для середніх умов можна прийняти його в межах від 0,33 до 0,5 год), $t_{зв}$ = 0,33 год;

$t_{оч}^{осн}$ - час перебування локомотива в основному депо в очікуванні поїзда, під який запланована його видача, $t_{оч}^{осн} = 1,2$ год;

$t_{зм}$ - сумарний час зупинок локомотива на ділянці обороту, необхідний для зміни локомотивних бригад, $t_{зм}$ = 1,25 год.

$$\Delta t_{зв.оч} = \frac{2 \cdot 682}{11000}\left(0,33 + 1,2\right) = 0,19 .$$

Оборот локомотива для кільцевого способу обслуговування поїздів локомотивами за формулою (2.29)

$$T_{П}^{К} = 0,5 + 0,75 + \frac{682}{31} + \frac{682}{37} + 2 + 0,75 + 1,2 + 1,2 + 0,19 + 1,25 = 48,3 \text{ год.}$$

Розрахунок необхідного експлуатаційного парку вантажних локомотивів для заданої ділянки їх обороту, N_e, лок,

$$N_e = K \cdot n \qquad (2.32)$$

де $K = \frac{T_{П}^{К}}{24}$ - коефіцієнт потреби локомотивів на одну пару поїздів, $K = 2$.

$$N_e = 2 \cdot 11 = 22 \text{ лок.}$$

2.4 Визначення основних показників використання локомотивів

Визначення кількісних показників використання локомотивів.

Річний пробіг локомотивів, які обслуговують задану ділянку обороту, $L_Р$, 10^6 км,

$$L_P = 365 \cdot 2\left(L_{АБ} + L_{АВ}\right) \cdot n\left(1 + \beta_д\right) \quad (2.33)$$

де $L_{АБ}$, $L_{АВ}$ - довжина ділянок А-Б та А-В, км;

$\beta_д$ - коефіцієнт, який ураховує допоміжний пробіг локомотивів (приймається $\beta_д$ =0,05 ... 0,1).

$$L_P = 365 \cdot 2\left(226 + 456\right) \cdot 11\left(1 + 0,05\right) = 5,7 \cdot 10^6 \text{ км.}$$

Річна робота локомотивів, $T_Р$, лок-год,

$$T_p = 365 \cdot 24 \cdot N_e \left(1 + \beta_д\right). \quad (2.34)$$

$$T_p = 365 \cdot 24 \cdot 22\left(1 + 0,05\right) = 202356 \text{ лок-год.}$$

Перевізна робота локомотивів на ділянці обороту характеризує роботу депо за обсягом вантажів, перевезених за рік, $A_Т$, 10^9 ткм брутто,

$$A_T = Q_{бр} \cdot L_P (1 - \beta_д). \quad (2.35)$$

$$A_T = 4000 \cdot 5,3 \cdot 10^6 (1 - 0,05) = 20,14 \cdot 10^9 \text{ткм·брутто.}$$

Визначення якісних показників використання локомотивів, крім тих, що наведені у вихідних даних.

Середньодобовий пробіг локомотива, на даній ділянці обігу, $S_{доб}$, км/доб,

$$S_{доб} = \frac{2\left(L_{АБ} + L_{АВ}\right) n}{N_e}, \quad (2.36)$$

$$S_{доб} = \frac{2\left(226 + 456\right)\cdot 11}{22} = 682 \text{ км/доб.}$$

Фактичний повний оборот локомотива на ділянці, *T*, год,

$$T = \frac{48\left(L_{АБ} + L_{АВ}\right)}{S_{доб}}, \quad або \quad T = \frac{\Sigma T}{n}, \tag{2.37}$$

$$T = \frac{48\left(226 + 456\right)}{682} = 48 \text{ год.}$$

Добова продуктивність локомотива виражає перевізну роботу його у тонно-кілометрах брутто і є комплексним вимірювачем використання локомотива. Середньодобова продуктивність поїзного локомотива вантажного руху, *W*, ткм брутто/доб,

$$W = \frac{S_{доб} \cdot Q_{бр}}{1 + \beta_{д}}, \tag{2.38}$$

$$W = \frac{682 \cdot 4000}{1 + 0,05} = 2,598 \cdot 10^{6} \text{ брутто/доб.}$$

Час корисної роботи локомотива протягом доби, $t_{кор}$, год,

$$t_{кор} = \frac{S_{доб}}{V_{д}}. \tag{2.39}$$

$$t_{кор} = \frac{682}{34} = 20 \text{ год.}$$

Час роботи локомотива в чистому русі (за добу), $t_{ч.р}$, год,

$$t_{ч.р} = \frac{S_{доб}}{V_T} \quad , \tag{2.40}$$

де V_T - технічна швидкість; можна прийняти V_T=(1,05...1,08)$V_д$.

$$t_{ч.р} = \frac{682}{1,05 \cdot 34} = 19 \text{ год.}$$

Використання потужності локомотивів характеризується кількістю тонно-кілометрів брутто, що припадають на одиницю потужності. Сумарна потужність локомотивів, $\Sigma N_д$, кВт,

$$\Sigma N_д = N_д \cdot N_e, \tag{2.41}$$

де $N_д$ - дотична потужність локомотива, що працює на заданій ділянці обороту:

$$N_д = \frac{F_{кр} \cdot V_р}{3,67}, \tag{2.42}$$

де $F_{кр}$ - розрахункове значення дотичної сили тяги заданого локомотива, кН;

$V_р$ - розрахункова швидкість локомотива, км/год.

$$N_д = \frac{506 \cdot 24}{3,67} = 3309 \text{ кВт.}$$

Сумарна потужність локомотивів за формулою (2.41)

$$\Sigma N_{\partial} = 3309 \cdot 22 = 72798 \text{ кВт.}$$

Тоді кількість тонно-кілометрів брутто на одиницю потужності, $q_{\text{сер}}$, ткм брутто/кВт·год,

$$q_{сер} = \frac{L_{\ р} \cdot Q_{бр}}{\Sigma N_{\partial}}. \tag{2.43}$$

$$q_{сер} = \frac{5{,}3 \cdot 10^6 \cdot 4000}{72798} = 0{,}29 \cdot 10^6 \text{ ткм брутто/кВт·год.}$$

2.5 Розрахунок потреби у локомотивних бригадах

До явочного контингенту відносяться локомотивні бригади, які зайняті на роботі, беруть участь у процесі приймання - здачі, технічного обслуговування локомотивів та які знаходяться на відпочинку після роботи.

Потрібна кількість локомотивних бригад для заданих розмірів руху на ділянці обороту при змінному обслуговуванні локомотивів, $B_{бр}^{яв}$, бриг,

$$B_{бр}^{яв} = \frac{30{,}4 \cdot \Sigma T_{бр}}{169{,}4}, \tag{2.44}$$

де $\Sigma T_{бр}$ – добова сумарна кількість бригадо-годин;

30,4 – середньорічна кількість діб у місяці;

169,4 – середній місячний фонд робочого часу однієї бригади, год;

$$\Sigma T_{бр} = \Sigma t_2 + \Sigma t_4 + \Sigma t_6 + \Sigma t_8 + \Sigma t_{дод} \tag{2.45}$$

де $\Sigma t_{дод}$ - додатковий час роботи бригад на приймання та здачу локомотивів на станціях А, Б, В та ін.

На приймання та здачу локомотивів установлюється середній час не більше 30 хв на станції основного депо та в пунктах обороту локомотивів, а в проміжних пунктах зміни локомотивних бригад - не більше 20 хв (при цьому потрібно врахувати, що працюють одночасно дві бригади - та, що приймає локомотив, і та, що здає). Для схеми обслуговування ділянок локомотивними бригадами, наведеної на рисунку 2.1,

$$\Sigma t_{дод} = (0,5 \cdot 2 \cdot 4 + 0,33 \cdot 2 \cdot 4)n, \qquad (2.46)$$

де n - розміри руху пар поїздів на добу (2.23).

$$\Sigma t_{дод} = (0,5 \cdot 2 \cdot 4 + 0,33 \cdot 2 \cdot 4) \cdot 11 = 73 \text{ год.}$$

Добова сумарна кількість бригадо-годин за формулою (2.45)

$$\Sigma T_{бр} = 82 + 58 + 55 + 70,3 + 73 = 338,3 \text{ год.}$$

Потрібна кількість локомотивних бригад для заданих розмірів руху на ділянці обороту при змінному обслуговуванні локомотивів за формулою (2.44)

$$B_{бр}^{яв} = \frac{30,4 \cdot 338,7}{169,4} = 62 \text{ бриг.}$$

З урахуванням підміни бригад, які знаходяться у відпустці, відрядженні, хворих та інших, визначається облікова кількість бригад, $B_{бр}^{об}$, бриг,

$$B_{бр}^{об} = (1,10...1,14)\, B_{бр}^{яв} \qquad (2.47)$$

$$B_{бр}^{об} = 1{,}1 \cdot 62 = 69 \text{ бриг.}$$

2.6 Визначення тривалості відпочинку локомотивної бригади за місцем проживання

Робочий час бригади складається від моменту явки до місця роботи за розкладом, нарядом або викликом і до здачі локомотива. Він включає до себе: основний час (ведення поїзда по ділянці з урахуванням простоїв), допоміжний час, час регламентованих технологічних перерв, підготовчо-заключний час.

Тривалість відпочинку, $T_{від}$, год,

$$T_{від} = \left(t_1 + t_2\right) \cdot \alpha - t_{по} \pm t_п^н \geq 12\,, \tag{2.48}$$

де t_1 - тривалість безупинної роботи бригади в напрямку від пункту постійного проживання до пункту обороту бригади («туди»), год;

t_2 - те ж у зворотному напрямку («обернено»), год;

α - коефіцієнт відпочинку локомотивної бригади при сорокагодинному робочому тижні (при шестиденному робочому тижні - $\alpha_6 = 2{,}60$, при п'ятиденному - $\alpha_5 = 2{,}0$);

$t_{по}$ - час відпочинку бригади в пункті обороту, год;

$t_п^н$ - час недовідпочинку або перевідпочинку бригади в пункті її місця проживання після попередньої поїздки.

Для бригад основного депо А (рисунок 2.1),

$$t_1 = \Sigma t_2' + t_{дод} = \frac{l_{АД}}{V_{дп}} + (t_{пр}^{ос} + t_{зд}^{зм})\,, \tag{2.49}$$

$$t_2 = \Sigma t_4' + t_{дод} = \frac{l_{ДА}}{V_{дн}} + (t_{пр}^{зм} + t_{зд}^{осн.})\,, \tag{2.50}$$

де $\Sigma t_2'$ - час у дорозі від пункту проживання до пункту обороту бригади;

$\Sigma t_4'$ - те ж у зворотному напрямку.

$$t_1 = \frac{228}{31} + (0,33 + 0,5) = 8,1 \text{ год;}$$

$$t_2 = \frac{228}{37} + (0,33 + 0,5) = 6,9 \text{ год.}$$

Час відпочинку бригади в пункті обороту $t_{по}$ приймається рівним не менше $0,5t_1$ і не більше t_1 :

$$t_{по} = (0,5 \ldots 1,0)t_1, \qquad (2.51)$$

$$t_{по} = 0,5 \cdot 8,1 = 4,05 \text{ год.}$$

Тривалість відпочинку за формулою (2.48)

$$T_{від} = \left(8,1 + 6,9\right) \cdot 2 - 4,05 = 26 \text{ год.}$$

Крім щоденного відпочинку після поїздки, бригадам надаються щотижневі дні відпочинку (вихідні дні) тривалістю не менше 42 год з урахуванням належного відпочинку після попередньої поїздки

$$T_{вих} = (T_{від} + 24) \geq 42 \text{ год.} \qquad (2.52)$$

$$T_{вих} = (26 + 24) = 50 \text{ год.}$$

2.7 Основні показники роботи локомотивних бригад

Такими є середня годинна продуктивність та місячний виробіток. Середня годинна продуктивність локомотивної бригади, $T_{\text{бр}}$, ткм брутто/год,

$$T_{бр} = \frac{2\left(L_{БА} + L_{АВ}\right) \cdot n \cdot Q_{бр}}{\Sigma T_{бр}} \tag{2.53}$$

$$T_{бр} = \frac{2\left(226 + 456\right) \cdot 10 \cdot 4000}{331,7} = 180934,6 \text{ ткм брутто/год.}$$

Місячний виробіток локомотивної бригади, виражений в кілометрах, $L^{M}_{б\text{р}}$, км/міс,

$$L^{M}_{б\text{р}} = \frac{30,4 \cdot 2\left(L_{БА} + L_{АВ}\right) n}{Б^{сп}_{бр}} \tag{2.54}$$

$$L^{M}_{б\text{р}} = \frac{30,4 \cdot 2\left(226 + 456\right) \cdot 11}{69} = 6610,6 \text{ км/міс.}$$

2.8 Організація ремонту локомотивів

2.8.1 Розрахунок програми та фронту ремонту для поїзних локомотивів.

Вихідними даними для розрахунку програми ремонту локомотивів є річні пробіги локомотивів, циклічність ремонтів та міжремонтні періоди.

Розрахунок річної програми ремонту поїзних локомотивів здійснюється за такими формулами [1, 5, 8, 10]:

- технічних обслуговувань ТО-3

$$N_{\text{ТО-3}} = \frac{L_P}{L_{\text{ТО-3}}} \beta_{\text{ТО-3}}; \quad (2.55)$$

- поточних ремонтів ПР-1

$$N_{\text{ПР-1}} = \frac{L_P}{L_{\text{ПР-1}}} \beta_{\text{ПР-1}}; \quad (2.56)$$

- поточних ремонтів ПР-2

$$N_{\text{ПР}-2} = \frac{L_P}{L_{\text{ПР}-2}} \beta_{\text{ПР}-2}; \quad (2.57)$$

- поточних ремонтів ПР-3

$$N_{\text{ПР}-3} = \frac{L_P}{L_{\text{ПР}-3}} \beta_{\text{ПР}-3}; \quad (2.58)$$

- капітальних ремонтів КР-1

$$N_{\text{КР-1}} = \frac{L_P}{L_{\text{КР-1}}} \beta_{\text{КР-1}}; \quad (2.59)$$

- капітальних ремонтів КР-2

$$N_{\text{КР-2}} = \frac{L_P}{L_{\text{КР-2}}} \beta_{\text{КР-2}}; \quad (2.60)$$

де $L_{\text{р}}$ - річний пробіг локомотивів на ділянках обігу, $L_{\text{р}} = 5{,}3 \cdot 10^6$ км;

$L_{\text{ТО-3}}$, $L_{\text{ПР-1}}$, $L_{\text{ПР-2}}$, $L_{\text{ПР-3}}$, $L_{\text{КР-1}}$, $L_{\text{КР-2}}$ - пробіг між відповідними технічними

обслуговуваннями, поточними та заводськими (капітальними) ремонтами [10], $L_{\text{ТО-3}} = 11000$ км, $L_{\text{ПР-1}} = 55000$ км, $L_{\text{ПР-2}} = 165000$ км, $L_{\text{ПР-3}} = 330000$ км, $L_{\text{КР-1}} = 990000$ км, $L_{\text{КР-2}} = 198 \cdot 10^4$ км;

$\beta_{\text{ТО}-3}$, $\beta_{\text{ПР}-1}$, $\beta_{\text{ПР}-2}$, $\beta_{\text{ПР}-3}$, $\beta_{\text{КР}-1}$, $\beta_{\text{КР}-2}$ - коефіцієнти чередування ремонтів.

$$\beta_{ТО-3} = \left(1 - \frac{L_{ТО-3}}{L_{ПР-1}}\right); \quad \beta_{ПР-1} = \left(1 - \frac{L_{ПР-1}}{L_{ПР-2}}\right) \text{ тощо,} \qquad \beta_{кр-2} = 1. \tag{2.61}$$

$$\beta_{ТО-3} = \left(1 - \frac{11000}{55000}\right) = 0,8; \quad \beta_{ПР-1} = \left(1 - \frac{55000}{165000}\right) = 0,67; \quad \beta_{ПР-2} = \left(1 - \frac{165000}{330000}\right) = 0,5;$$

$$\beta_{ПР-3} = \left(1 - \frac{330000}{990000}\right) = 0,67; \quad \beta_{КР-1} = \left(1 - \frac{990000}{1980000}\right) = 0,5;$$

Тоді:

$$N_{\text{ТО-3}} = \frac{5,7 \cdot 10^6}{11 \cdot 10^3} \cdot 0,8 = 518 \text{ лок}; \quad N_{\text{ПР-1}} = \frac{5,7 \cdot 10^6}{55 \cdot 10^3} \cdot 0,67 = 103 \text{ лок};$$

$$N_{\text{ПР}-2} = \frac{5,7 \cdot 10^6}{165 \cdot 10^3} \cdot 0,5 = 35 \text{ лок}; \quad N_{\text{ПР}-3} = \frac{5,7 \cdot 10^6}{330000} \cdot 0,67 = 17 \text{ лок};$$

$$N_{\text{КР-1}} = \frac{5,7 \cdot 10^6}{99 \cdot 10^4} \cdot 0,5 = 6 \text{ лок}; \quad N_{\text{КР-2}} = \frac{5,7 \cdot 10^6}{198 \cdot 10^4} \cdot 1 = 3 \text{ лок}.$$

У зв’язку з тим, що Правилами ремонту [11] на КР-2, КР-1, ПР-3 передбачається обточка бандажів, то технічне обслуговування ТО-4 проводиться через 80-100 тис. км пробігу поїзних локомотивів

Кількість технічних обслуговувань ТО-4, $N_{ТО-4}$, лок,

$$N_{ТО-4} = \frac{L_Р}{L_{ТО-4}} - \left(N_{КР-2} + N_{КР-1} + N_{ПР-3}\right), \qquad (2.62)$$

де $L_{ТО-4}$ - період між обточками бандажів, $L_{ТО-4} = 80000$ км.

$$N_{ТО-4} = \frac{5,7 \cdot 10^6}{80000} - \left(3 + 6 + 17\right) = 46 \text{ лок.}$$

Кількість позапланових ремонтів приймається як $N_{ПР}=0,2 \cdot N_е = 0,2 \cdot 22 = 4$ лок.

Фронтом ремонту називається кількість локомотивів, які одночасно знаходяться в даному (i-му) виді ремонту

$$f_i = \frac{N_i t_i}{D}, \qquad (2.63)$$

де N_i - річна програма даного виду ремонту;

t_i - простій локомотива на ремонті даного виду (таблиця 2.8);

D - розрахункова кількість робочих днів у році (260,4 дня - при тривалості зміни 8 год та 254 дні – при тривалості зміни 8 год 12 хв для ПР-2 і ПР-3).

$$f_{ТО-3} = \frac{518 \cdot 0,67}{260,4} = 1,33 \ ; \quad f_{ПР-1} = \frac{103 \cdot 2}{260,4} = 0,79 \ ; \quad f_{ПР-2} = \frac{35 \cdot 8}{260,4} = 1,07 \ ;$$

$$f_{ПР-3} = \frac{17 \cdot 10}{260,4} = 0,65 \ ; \quad f_{КР-1} = \frac{6 \cdot 14}{260,4} = 0,32 \ ; \quad f_{КР-2} = \frac{3 \cdot 16}{260,4} = 0,18 \ ;$$

$$f_{ТО-4} = \frac{46 \cdot 0,54}{260,4} = 0,1; \ f_{ПР} = \frac{26 \cdot 0,05}{365} = 0,004 .$$

2.8.2 Визначення інвентарного парку та розрахунок відсотку несправних

локомотивів.

Інвентарний парк локомотивів $N_{\text{інв}}$ складається з локомотивів: $N_{\text{е}}$ - які експлуатуються; $N_{\text{рем}}$ - які знаходяться у ремонті; $N_{\text{рез}}$ - які знаходяться у резерві управління залізниці; $N_{\text{зап}}$ - у запасі Укрзалізниці; $N_{\text{ор}}$ - в оренді; $N_{\text{відр}}$ - у відрядженні та визначається за формулою,

$$N_{інв} = N_{е} + N_{рем} + N_{рез} + N_{зап} + N_{ор} + N_{відр} \tag{2.64}$$

де $N_{\text{рем}} = \sum f_{\text{і}}$;

f_i – фронти КР, ПР, ТО та позапланових ремонтів усіх типів локомотивів (формула (2.70)).

$$N_{\text{рем}} = 1,33 + 0,79 + 1,07 + 0,65 + 0,32 + 0,18 + 0,1 = 4,44 \text{ лок.}$$

Кількість локомотивів, які знаходяться у резерві управління залізниці, можна прийняти до 10 %, а у запасі Укрзалізниці - 5 % від парку локомотивів, які експлуатуються [1, 2, 9]. Розрахунок виконується як для вантажних, так й для маневрових локомотивів.

$$N_{\text{рез}} = 0,1 \cdot 22 = 2 \text{ лок;} \quad N_{\text{зап}} = 0,05 \cdot 22 = 1 \text{ лок.}$$

Кількість локомотивів, які знаходяться в розпорядженні депо, $N_{\text{р.д.}}$, лок,

$$N_{\text{р.д}} = N_{\text{е}} + N_{\text{рем}} + N_{\text{рез}}. \tag{2.65}$$

$$N_{\text{р.д}} = 22 + 4,44 + 2 = 28 \text{ лок.}$$

Інвентарний парк локомотивів за формулою (2.64)

$$N_{інв} = 22 + 4,44 + 2 + 1 = 29 \text{ лок.}$$

Деповський відсоток несправних локомотивів, $X_{деп}$, %,

$$X_{ДЕП} = \left(\frac{f_{ПР-3} + f_{ПР-2} + f_{ПР-1} + f_{ТО-3} + f_{ТО-4} + f_{ПР}}{N_{р.д}} \right) \times 100 . \quad (2.66)$$

$$X_{ДЕП} = \left(\frac{0,65 + 1,07 + 0,79 + 1,33 + 0,1 + 0,004}{28} \right) \times 100 = 14,09\ \% .$$

Заводський відсоток несправних локомотивів, $X_{зав}$, %,

$$X_{ЗАВ} = \left(\frac{f_{КР2} + f_{КР1}}{N_{р.д.}} \right) \times 100 . \quad (2.67)$$

$$X_{ЗАВ} = \left(\frac{0,32 + 0,18}{28} \right) \times 100 = 1,79\ \% .$$

Загальний відсоток несправних локомотивів, $X_{ЗАГ}$, %,

$$X_{ЗАГ} = X_{ДЕП} + X_{ЗАВ}, \quad (2.68)$$

$$X_{ЗАГ} = 14,09 + 1,79 = 15,88\% .$$

2.9 Екіпірування локомотивів

2.9.1 Визначення добової витрати і експлуатаційного запасу дизельного палива та ємностей для його зберігання.

Розміри та потужності екіпірувального господарства визначаються сумарною добовою витратою дизельного палива, яку можна отримати з виразу

$$E_{д.пал} = \alpha_{д.пал} E_{д.пал}^{ВТ} + E_{д.пал}^{РВ}, \quad (2.69)$$

де $E_{д.пал}^{ВТ}$ – добові витрати дизельного палива локомотивами для вантажного руху поїздів, кг;

$E_{д.пал}^{РВ}$ – добова витрата палива на реостатні випробування локомотивів після ремонту, кг;

$\alpha_{д.пал}$, – коефіцієнти, які враховують частку палива, що видається на локомотиви відповідного виду руху з цього складу. Значення $\alpha_{д.пал}$ для вантажних тепловозів приймається в залежності від кількості пунктів екіпірування (рекомендується $\alpha_{д.пал}$=0,2...0,3).

Добова витрата дизельного палива, кг, локомотивами для вантажного руху визначається як

$$E_{д.пал}^{ВТ} = \sum 2 L_i n_i Q_i e_{д.пал}^{ВТ} 10^{-4}. \quad (2.70)$$

де L_i – довжина ділянки обертання локомотива, км;

n_i – число пар поїздів;

Q_i – маса поїзда брутто, т;

$e_{д.пал}^{ВТ}$ – норма витрат натурального дизельного пального, кг/т км брутто.

$$E_{д.пал}^{ВТ} = 2 \cdot 682 \cdot 11 \cdot 4000 \cdot 27,6 \cdot 10^{-4} = 165644,6 \text{ кг.}$$

Добова витрата палива, кг, на реостатні випробування локомотивів після виконання їм ПР-1, ПР-2, ПР-3, КР-1 та КР-2 визначається як

$$E_{д.пал}^{РВ} = \sum N_{РВ}^{і} e_{РВ}^{і}, \quad (2.71)$$

де $N_{РВ}^{і}$ – кількість локомотивів, що проходять реостатні випробування після *і*-го виду ремонту за добу, лок.;

$e_{РВ}^{і}$ – норма витрати палива, кг, на реостатні випробування після *і*-го виду ремонту

$$E_{д.пал}^{РВ} = \left(\frac{17+35}{365}\right) \cdot 1000 + \left(\frac{103+6+3}{365}\right) \cdot 300 = 234,5 \text{ кг.}$$

Розміри та потужності екіпірувального господарства визначаються сумарною добовою витратою дизельного палива за формулою (2.64)

$$E_{д.пал} = 0,2 \cdot 165644,6 + 234,5 = 33363,42 \text{ кг.}$$

2.9.2 Визначення потреби оливи та технічних мастил

Сумарна добова витрата мастил, кг, на експлуатацію локомотивів визначається за формулою

$$E_{М} = \sum \alpha_{М} E_{д.пал}^{доб}, \quad (2.72)$$

де $E_{д.пал}^{доб}$ – добова витрата дизельної оливи, кг;

$\alpha_{М}$ – коефіцієнт, що враховує частку оливи, яка видається на відповідну серію локомотива з цього складу. Приймається в залежності від кількості пунктів екіпірування так само, як і для дизельного палива.

Складові частини цього виразу розраховуються за наступними формулами.

Добова витрата дизельної оливи, кг, нормується у відсотках від витрати дизельного палива й визначається за формулою

$$E_{диз.ол}^{доб} = \sum E_{д.пал} \cdot 0,01 \cdot e_{диз.ол}\,, \qquad (2.73)$$

де $\sum E_{д.пал}$ – добова витрата дизельного палива усіма дизельними локомотивами,

$\sum E_{д.пал} = 45308$ кг;

$e_{диз.ол}$ – норма витрати дизельної оливи для експлуатаційних потреб у відсотках від витрат дизельного палива, $e_{диз.ол} = 1,7$ %.

$$E_{диз.ол}^{доб} = 33363,42 \cdot 0,01 \cdot 1,7 = 567,2 \text{ кг.}$$

Сумарна добова витрата мастил, кг, на експлуатацію локомотивів визначається за формулою (2.7)

$$E_{\text{М}} = 0,5 \cdot 567,2 = 283,6$$

2.9.3 Визначення добової витрати охолоджувальної води.

Добова витрата охолоджувальної води, дм^3 (л), для тепловозних дизелів визначається за формулою

$$B_{заг} = B_e + B_{рем}, \qquad (2.74)$$

де B_e - витрата охолоджувальної води на потреби експлуатації, *л*;

$B_{рем}$ - витрата охолоджувальної води на потреби ремонту тепловозів, *л*.

Витрата охолоджувальної води, дм^3 (л), на потреби експлуатації визначається за формулою

$$B_e = \sum 2L_i n_i e_B^{П} a_B 10^{-3}\,, \qquad (2.75)$$

де $\sum 2L_i n_i$ – величина добового пробігу поїзних локомотивів, км;

$e_B^{П}$ – норма витрати води, л, одним поїзним локомотивом на 1000 лок·км, яка приймається відповідно до таблиці 2.14 [1];

a_B – коефіцієнт, який ураховує кількість води, що отримується локомотивом у даному депо (або пункті обертання). Приймається в залежності від кількості пунктів екіпірування;

$$B_e = 2 \cdot 682 \cdot 11 \cdot 100 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-3} = 750 \text{ л.}$$

Витрата охолоджувальної води, дм^3 (л), на потреби ремонту локомотивів визначається за формулою

$$B_{рем} = \frac{\left(N_{ПР\text{-}3} + N_{ПР\text{-}2} + N_{ПР\text{-}1}\right) V_B}{Д} \mu_B, \qquad (2.76)$$

де $N_{ПР\text{-}3}$, $N_{ПР\text{-}2}$, $N_{ПР\text{-}1}$ – відповідно річна програма поточних ремонтів ПР-3, ПР-2 та ПР-1;

$Д$ – кількість днів у році;

μ_B – коефіцієнт, який ураховує непланову зміну води у системі охолодження локомотива; приймається μ_B = 1,1…1.2;

V_B – місткість води у системі локомотива, яка приймається відповідно таблиці 2.14 [9].

$$B_{рем} = \frac{\left(17 + 35 + 103\right) \cdot 2500}{365} \cdot 1{,}1 = 1062 \text{ л.}$$

Добова витрата охолоджувальної води за формулою (2.74)

$$B_{заг} = 750 + 1062 = 1812 \text{ л.}$$

2.9.4 Визначення добової витрати й експлуатаційного запасу піску.

Загальна добова витрата піску, м^3, для постачання локомотивів,

$$W_{П}^{заг} = W'_{П}, \tag{2.77}$$

де $W'_{П}$ – добова витрата піску вантажними локомотивами, м^3;

Добова витрата піску вантажними локомотивами, м^3, визначається за формулою

$$W'_{П} = \frac{2\sum L_i n_i Q_i e_{П}}{10^6}, \tag{2.78}$$

де $e_{П}$ – середня норма витрати піску на 10^6 ткм брутто вантажними локомотивами, м^3. Приймається згідно з таблицею 2.15 [1].

$$W'_{П} = \frac{2 \cdot 682 \cdot 11 \cdot 4000 \cdot 0{,}19}{10^6} = 11{,}4 \text{ м}^3.$$

Загальна добова витрата піску за формулою (2.77)

$$W_{П}^{заг} = 11{,}4 \text{ м}^3.$$

3 Організація експлуатації локомотивів типу ТЕ33АС

3.1 Вибір типу локомотива

Серія і тип локомотива визначається в залежності від технічної оснащеності заданої дільниці залізничної лінії та вантажопотоку даний розділ виконую для ТЕ33А, технічні характеристики ТЕ33АС приведені в таблиці 3.1 [3, 7].

Для двоколійної дільниці залізничної лінії, яка обладнана автоблокуванням з паралельним графіком руху поїздів, серія і тип локомотива визначається наступним чином.

За умови руху поїзда на розрахунковому підйомі з розрахунковою швидкістю, дотична потужність у кВт, яка необхідна від локомотива.

$$N_k = \frac{0,736П\left(1+\frac{\alpha}{\beta}\right)\left(w"+gi_p\right)l\left(1+\varphi\right)}{6360\left(1-\lambda\right)\eta}, \tag{3.1}$$

де $П$ – максимальний добовий вантажопотік дільниці в одному найбільш завантаженому напрямку, т/доба,

$$П = \frac{Г \cdot c}{365}, \tag{3.2}$$

де $Г$ – вантажопотік нетто в тонах в рік, $Г = 7 \cdot 10^6$ ткм;

c – коефіцієнт росту вантажопотоку на перспективу, $c = 1,2$;

$$П = \frac{7000000 \cdot 1,2}{365} = 23014 \text{ т/доба.}$$

α – коефіцієнт тари вагону, який представляє собою відношення маси тари вагону q_T вантажопідємності вагону $q_П$, виражених в тонах, $\alpha = 0,4$

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики ТЕ33АС

№ з/п	Параметри тепловоза	ТЕ133А
1	2	5
1.	Ширина колії, мм	1520
2.	Габарит по ГОСТ 9238-73	1-Т
3.	Потужність, кВт	3308
4.	Осьова формула	3о-3о
5.	Службова маса, т	142
6.	Навантаження від колісних пар на рейки, кН	236
7.	Сила тяги при тривалому режимі, кН	427
8.	Швидкість при тривалому режимі, км/год	24
9.	Сила тяги при рушанні з місця, кН	534
10.	Конструкційна швидкість, км/год	120
11.	Мінімальний радіус прохідних кривих, м	125
13.	Марка дизеля	GEVO12
13.	Габаритні розміри, мм	
	- довжина по осях автозчепів	21894
	- ширина	3120
	- висота від головок рейки	4580
14.	Діаметр коліс, мм	1050
15.	Тип передачі	пер. пер
16.	Тип генератора	5GMG205A1
17.	Тип тягового електродвигуна	5GEB30A
18.	Підвішування тягового електродвигуна	оп. осьов.
19.	Паливний бак, кг	9000
20.	Водяний бак, л	1306
21.	Пісок, $м^3$	1,1

$$\alpha = \frac{q_T}{q_П}. \tag{3.3}$$

β – коефіцієнт використання геометричного об'єму вагону; його величина не залежить від типу вагону, роду вантажу і степені завантаженості вагону, коливається від 0,7 т для критих вагонів до 1,1 т – для піввагонів, $\beta = 1$,

$$\beta = \frac{q_H}{q_П} \tag{3.4}$$

q_H – маса вантажу нетто, т;

i_p – крутизна розрахункового підйому, ‰ найбільш тяжкого для руху поїздів в даному направленні елементу профілю шляху, на якому встановлюється розрахункова швидкість, що відповідає розрахунковій силі тяги локомотива, позначеної через $F_{кр}^{ip}$ і вираженої в кН, $i_p = 6$ ‰;

l – довжина найважчого (лімітованого) перегону, $l = 10$ км;

φ – коефіцієнт, який характеризує витрату часу на операції по прийому і відправленню поїздів, для дільниць шляху, обладнаних автоблокуванням, $\varphi = 0,04$;

η – коефіцієнт, який визначає ту частину доби, яка виділена для руху вантажних поїздів, $\eta = 0,8$;

γ – коефіцієнт, який визначає ту частину сили тяги локомотива, яка витрачається на подолання сил опору самого локомотива, $\gamma = 0,05$;

g – прискорення вільного падіння (9,81 м/с^2);

Питомий опір складу, Н/кН

$$w_o'' = aw_{04}'' + вw_{08}''. \tag{3.5}$$

де *а, в* – задані долі за вагою чотиривісних та восьмивісних вагонів, в розрахунках можливо прийняти *а* = 0,8; *в* = 0,2.

Для вагонів на роликових підшипниках, для руху на стикової колії, Н/т,

$$w''_{04} = 0,7 + \frac{(3 + 0,1V_p + 0,0025V_p^2) \cdot g}{q_{04}}, \quad (3.6)$$

$$w''_{08} = 0,7 + \frac{(6 + 0,038V_p + 0,0021V_p^2) \cdot g}{q_{08}}, \quad (3.7)$$

де V_p – розрахункова швидкість $V_p = 24$ км/год;

q_{04}; q_{08} - середнє навантаження на вісь колісної пари вагону на рейки (т/вісь).

$$q_{08} = \frac{q_8}{8}, \quad (3.8)$$

$$q_{04} = \frac{q_4}{4}; \quad (3.9)$$

де q_4; q_8 – середня маса брутто відповідно чотиривісного та восьмивісного вагону, $q_4 = 70$ т та $q_8 = 160$ т.

Навантаження на вісь дорівнює, кН/вісь,

$$q_{08} = \frac{160 \cdot 9,81}{8} = 196,2 \text{ кН/вісь}, \quad q_{04} = \frac{70 \cdot 9,81}{4} = 171,1 \text{ кН/вісь};$$

Питомий опір для вагонів на роликових підшипниках, для руху на стикової

колії за формулами (3.6) і (3.7)

$$w_{04}^{"} = 0,7 + \frac{(3 + 0,1 \cdot 24 + 0,0025 \cdot 24^2) \cdot 9,81}{171,1} = 1,08 \text{ Н/т},$$

$$w_{08}^{"} = 0,7 + \frac{(6 + 0,038 \cdot 20 + 0,0021 \cdot 20^2) \cdot 9,81}{196,2} = 1,09 \text{ Н/т}.$$

Питомий опір складу за формулою (3.5)

$$w_o^{"} = 0,8 \cdot 1,08 + 0,2 \cdot 1,09 = 1,1 \text{ Н/кН}$$

Дотична потужність у кВт, яка необхідна від локомотива за формулою (3.1).

$$N_k = \frac{0,736 \cdot 23014 \cdot \left(1 + \frac{0,4}{1}\right) \cdot (1,1 + 9,81 \cdot 6) \cdot 10 \cdot (1 + 0,04)}{6360 \cdot (1 - 0,05) \cdot 0,8} = 3059 \text{ кВт}.$$

Після визначення N_k за формулою (3.1) розраховується сила тяги локомотива $F_{кр}^{ip}$, кН

$$F_{кр}^{ip} = \frac{3,6 N_k}{V_p}, \qquad (3.10)$$

$$F_{кр}^{ip} = \frac{3,6 \cdot 3059}{24} = 457,4 \text{ кН}.$$

Серія локомотива ТЕ33А, $F_к^{ip} = 427$ кН, $V_p = 24$ км/год, $V_к = 120$ км/год, $F_Р = 534$ кН, $l_л = 21,5$ м, $P = 142$ т.

3.1.1 Розрахунок маси поїзда.

Маса складу Q може бути визначена з умов рівності сили тяги і сил опору при русі поїзда з розрахунковою швидкістю на розрахунковому підйомі, т,

$$Q = \frac{F_{кр}^{i_p} - P\left(w_o^{'} + gi_p\right)}{w_o^{''} + gi_p}, \tag{3.11}$$

де $w_o^{'}$ – основний питомий опір локомотива, Н/т

$$w_o^{'} = g\left(1,9 + 0,01V + 0,0003V^2\right), \tag{3.12}$$

$$w_o^{'} = 9,81 \cdot \left(1,9 + 0,01 \cdot 24 + 0,0003 \cdot 24^2\right) = 22,7 \text{ Н/т;}$$

В даному розрахунку можна прийняти, що усі вагони обладнано підшипниками кочення,

$$w_{04}^{''} = w_{04к}^{''};\ w_{08}^{''} = w_{08к}^{''}\ . \tag{3.13}$$

Питомий опір складу $w_o^{''} = 10,8$ Н/т.

Сила тяги $F_{кр}^{ip}$ в ньютонах;

Маса складу за формулою (3.11)

$$Q = \frac{427 \cdot 10^3 - 142\left(22,7 + 9,81 \cdot 6\right)}{10,8 + 9,81 \cdot 6} = 5964 \text{ т.}$$

Підрахована по формулі (3.11) маса поїзду перевіряється за умов рушання з місця на пунктах зупинки та по довжині прийомо-відправних колій,

$$Q_{тр} = \frac{F_{ктр}}{(w_{тр} + i_{тр})g}, \tag{3.14}$$

де $F_{ктр}$ – сила тяги, яка реалізується в момент рушання з місця, $F_{ктр} = 813 \cdot 10^3$ Н.

$w_{тр}$ – питомий опір складу, кГс/т, при рушанні з місця на пункті зупинки, крутизна якого позначена $i_{тр}$, ‰, $i_{тр} = i_р = 6$‰.

Для вагонів на підшипниках кочення, кГс/т,

$$w_{тр} = \frac{28}{q_0 + 7}. \tag{3.15}$$

де q_0 – середнє навантаження від осі на рейки в одиницях маси, т/вісь.

$$q_0 = \frac{P + Q}{n_л + n_в}, \tag{3.16}$$

де $n_л$ та $n_в$ – число вісей локомотива, $n_л = 12$ і вагонів.

$$n_в = 4 \cdot m_4 + 8 \cdot m_8 \tag{3.17}$$

Число вагонів в складі:

$$\text{Чотиривісні } m_4 = \frac{aQ}{q_4}, \tag{3.18}$$

$$m_4 = \frac{0{,}8 \cdot 5963}{70} = 69;$$

Восьмивісні $m_8 = \frac{\text{в}Q}{q_8}$, (3.19)

$$m_8 = \frac{0,2 \cdot 5964}{160} = 8.$$

Число вісей вагонів за формулою (3.17)

$$n_{\text{в}} = 4 \cdot 69 + 8 \cdot 8 = 340.$$

Середнє навантаження від осі на рейки в одиницях маси за формулою (3.16)

$$q_0 = \frac{142 + 5964}{6 + 340} = 17,6 \text{ т/вісь.}$$

Питомий опір складу за формулою (3.15)

$$w_{тр} = \frac{28}{17,6 + 7} = 1,14 \text{ кГс/т}$$

Перевірка маси поїзда по формулі (3.14)

$$Q_{тр} = \frac{534 \cdot 10^3}{(1,14 + 6) \cdot 9,81} = 7624 \text{ т.}$$

Розрахована по формулі (3.15) маса складу повинна бути менше маси, отриманої за умови рушання з місця, тобто,

$$Q \le Q_{тр}. \quad (3.20)$$

$$5964 \le 7624.$$

Маса складу часто обмежена корисною довжиною приймально-відправних колій $(l_{по})$ станцій і роздільних пунктів. Довжина приймально-відправних колій дорівнює 850 м. Довжина поїзда l_n не повинна перевищувати довжину приймально-відправних колій на заданій дільниці обігу, тобто,

$$l_{по} \ge l_n, \tag{3.21}$$

$$l_n = l_4 m_4 + l_8 m_8 + l_л + 10 \tag{3.22}$$

де l_4, l_8 – відповідно довжина чотиривісних і восьмивісних вагонів (дорівнює 15 та 20 метрів);

$l_л$ – довжина локомотива, $l_л = 21{,}5$ м;

10 – запас довжини колій на неточність установки поїзда, м.

$$l_n = 15 \cdot 69 + 20 \cdot 8 + 21{,}5 + 10 = 1295{,}5 \text{ м}.$$

Довжина складу більше за довжину приймально-відправних колій.

Маса складу приймається $Q = 4150$ т. Тоді:

Число вагонів в складі за формулами (3.18; 3.19):

$$m_4 = \frac{0{,}8 \cdot 4150}{70} = 48;$$

$$m_8 = \frac{0{,}2 \cdot 4150}{160} = 5.$$

Довжина складу за формулою (3.22)

$$l_n = 15 \cdot 47 + 20 \cdot 5 + 21{,}5 + 10 = 841{,}5 \text{ м.}$$

Перевірка виконання умови за формулою (3.21)

$$850 \geq 841{,}5 \text{ м.}$$

Умова виконана.

3.1.2 Визначення розмірів руху.

Кількість вантажних поїздів в найбільш завантаженому напрямку на ділянці обігу,

$$n_1 = \frac{П \cdot \psi_м}{Q \cdot \omega}, \tag{3.23}$$

де $П$ – максимальний добовий вантажопотік дільниці в одному найбільш завантаженому напрямку, $П$ = 23014 т/доба;

$\psi_м$ – коефіцієнт, що ураховує місячні нерівномірності (сезонність) перевезень, $\psi_м = 1{,}1$;

ω – відношення масі складу поїзда нетто до брутто, $\omega = 0{,}65$.

Для розрахунків дозволяється приймати кількість поїздів у парному та непарному напрямках однаковим

$$n_1 = \frac{23014 \cdot 1{,}1}{4150 \cdot 0{,}65} \approx 10.$$

$$n_1 = n_2 = n.$$

3.2 Обґрунтування розміщення пунктів екіпірування та зміни локомотивних бригад

Розташування вказаних облаштувань локомотивного господарства визначає максимально можливі пробіги між пунктами екіпірування (ПТОЛ) та зміни локомотивних бригад. При цьому елементом, який лімітує безекіпірувальний пробіг локомотивів, буде той, який по кілометражу буде мінімальний.

Найбільший пробіг локомотивів між пунктами забезпечення дизельним паливом, $L_{д.пал}$, км,

$$L_{д.пал} = \frac{0,9 \cdot E_{д.пал}}{Q_{бр} \cdot e_{д.пал} \cdot K_T} \cdot 10^4, \qquad (3.24)$$

де 0,9 - коефіцієнт, який враховує 10 %-й запас дизельного палива;

$E_{д.пал}$ – сумарна місткість паливних баків, $E_{д.пал} = 9000$ кг ;

$Q_{бр}$ - маса поїзда брутто, $Q_{бр} = 4150$ т;

$e_{д.пал}$ – норма витрат натурного дизельного палива, кг/10^4 ткм брутто;

K_T - поправковий коефіцієнт, який ураховує збільшення витрат дизельного палива в зимових умовах у залежності від середньої температури найбільш холодного місяця в році, для -30° С $K_T = 1,115$.

Перехід від норми витрат умовного палива до натурного здійснюється за формулою

$$e_{д.пал} = \frac{e_{д.пал.ум}}{E}, \qquad (3.25)$$

де $e_{д.пал.ум}$ – норма витрат умовного дизельного палива, $e_{д.пал.ум} = 33,8$ кг/10^4

ткм брутто;

E = 1,43 – тепловий еквівалент дизельного палива.

$$e_{д.пал} = \frac{33,8}{1,43} = 23,6 \text{ кг/}10^4 \text{ ткм брутто;}$$

Найбільший пробіг локомотивів між пунктами забезпечення дизельним паливом за формулою (3.24)

$$L_{д.пал} = \frac{0,9 \cdot 9000}{4150 \cdot 23,6 \cdot 1,115} \cdot 10^4 = 742 \text{ км.}$$

Найбільший пробіг локомотивів між пунктами забезпечення піском, $L_{п}$, км,

$$L_{П} = \frac{0,9 \cdot E_{П}}{Q_{бр} e_{П}} \cdot 10^6, \qquad (3.26)$$

де 0,9 – коефіцієнт, який ураховує 10 %-й запас піску в піскових бункерах локомотива;

$E_{П}$ – сумарна місткість піскових бункерів, $E_{П}$ = 1,1 м^3;

$e_{П}$ – максимальні норми витрат піску,$e_{П}$ = 0,16 м^3/10^6 ткм брутто.

$$L_{П} = \frac{0,9 \cdot 1,1}{4150 \cdot 0,16} \cdot 10^6 = 1491 \text{ км.}$$

Найбільша довжина ділянки неперервної роботи локомотивних бригад, $L_{бр}$, км,

$$L_{бр} = \left(t_{Н} - \Sigma t_{доп}\right) \cdot V_{д}, \qquad (3.28)$$

де $t_{Н}$ – встановлена норма максимальної тривалості безперервної роботи

бригад, яка відраховується від моменту явки на роботу до здачі локомотива; $t_н \leq 8$ год, в окремих випадках при узгодженні з АТ «Укрзалізниця» та профспілкою може бути підвищена до 12 год;

$\Sigma t_{доп.}$ – допоміжний час роботи бригад; сума часу допоміжного, підготовчо-заключного і часу регламентованих перерв роботи локомотивної бригади, для наближеного розрахунку можливо прийняти $\Sigma t_{доп.}$=1,5 год.

$$L_{бр} = (9 - 1{,}5) \cdot 33{,}5 = 251{,}3 \text{ км.}$$

Після проведення розрахунків за попередніми формулами складаємо схему розміщення основного і оборотних депо (рисунок 3.1).

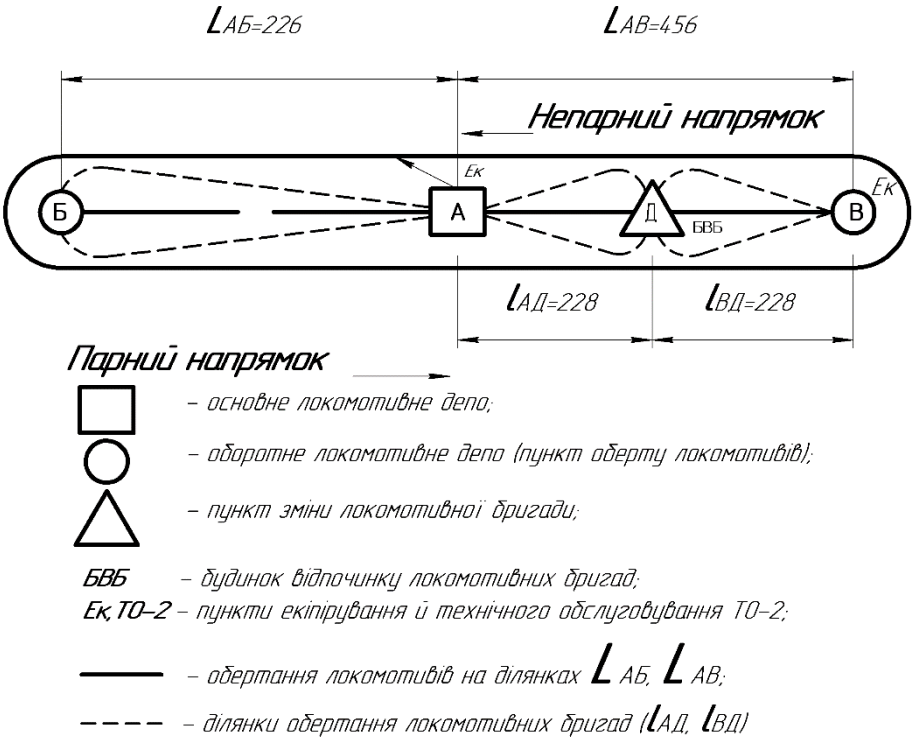


Рисунок 3.1 – Схема розміщення основного та оборотних депо, пунктів екіпірування й зміни локомотивних бригад на ділянці обороту локомотивів

3.3 Визначення часу повного оберту локомотивів

Для кільцевого способу обслуговування поїздів локомотивами повний оборот $T_п^{ж}$ визначається часом у годинах, що потрібен для обслуговування локомотивом однієї пари поїздів на ділянці. Відраховується від моменту відправлення поїзда із станції основного депо до моменту відправлення другого поїзда з цієї ж станції, плюс частка часу, що припадає на один оборот локомотива по станції основного депо, що обумовлено необхідністю заходу в депо на ТО-3 або ПР з наступним виходом під поїзд. Ця частка буде рівна витратам часу, що відраховується від моменту проходу контрольного поста по виходу із депо до моменту причеплення до поїзда після проходження локомотивом ТО-3 або ПР від моменту відчеплення до моменту проходу контрольного поста по заходу в депо перед проходженням ТО-3 або ПР, віднесена до кількості оборотів («кілець») по станції основного депо, яку локомотив може здійснювати (від`їздити) між ТО-3 $\Delta t_{зв.оч}$.

Крім того, враховується час, який локомотив простоює в депо після СО-1 в очікуванні поїзда, під який запланована його видача - $t_{оч}$. Сумарний час цих елементів обороту позначається, як $t_{зв.оч}$.

Оборот локомотива для кільцевого способу обслуговування поїздів локомотивами, $T_П^К$, год,

$$T_П^К = a'_к + a''_к + \frac{L}{V_{дп}} + \frac{L}{V_{дн}} + b'_к + b''_к + t_{оч}^{об'} + t_{оч}^{об''} + \Delta t_{зв.оч} + t_{зм}\,, \qquad (3.29)$$

де $a'_к$, $a''_к$ – час перебування локомотива на станції основного депо, необхідний для зміни локомотивних бригад та іноді екіпірування під час руху відповідно в парному або непарному напрямках, $a''_к = 0,75$ год, $a'_к = 0,5$ год;

$V_{дп}$ – дільнична швидкість парного напрямку, $V_{дп} = 31$ км/год;

$V_{дн}$ – дільнична швидкість непарного напрямку, $V_{дн}$ = 37 км/год;

$\frac{L}{V_{дп}}$, $\frac{L}{V_{дн}}$ – час перебування локомотива на ділянці обороту у парному та непарному напрямках руху;

$L = L_{АБ} + L_{АВ}$ – задана довжина ділянки обороту локомотива, L = 682 км;

$b'_к$, $b''_к$ – час, що відраховується від моменту відчеплення локомотива від поїзда в депо обороту до моменту відправлення його в зворотному напрямку, не враховуючи $t^{об}_{оч}$, $b''_к = 2$ год, $b'_к = 0,75$ год;

$t^{об'}_{оч}, t^{об''}_{оч}$ – час очікування локомотивом поїзда в пункті обігу, під який запланована його видача, що відраховується від моменту закінчення технічних операцій до початку руху локомотива до контрольного поста при виході під поїзд, год,

$$t^{об'}_{оч} = t^{об''}_{оч} = t^{осн}_{оч} = \frac{1}{0,7 + 0,013 \cdot n}, \tag{3.30}$$

де n – кількість пар поїздів, n = 10;

$$t^{об'}_{оч} = t^{об''}_{оч} = t^{осн}_{оч} = \frac{1}{0,7 + 0,013 \cdot 10} = 1,2 \text{ год};$$

$\Delta t_{зв.оч}$ – частка часу, що відраховується від моменту відчеплення локомотива від поїзда до початку виконання технічних операцій з підготовки до СО-1 або ПР і від моменту початку руху до контрольного поста після СО-1 або ПР до моменту причеплення до поїзда, плюс частка часу від тривалості очікування поїзда, під який запланована видача даного локомотива, віднесена до кількості оборотів («кілець»), які можуть бути ним здійснені в період між СО-1.

$$\Delta t_{зв.оч} = \frac{2L}{L_{CO-1}}\left(t_{зв.} + t_{оч}^{осн}\right), \qquad (3.31)$$

де $L_{ТО-3}$ - міжремонтний період СО-1, $L_{СО-1}$ = 62744 км;

$t_{зв}$ - час, затрачений локомотивом на заїзд і виїзд з депо, год (для середніх умов можна прийняти його в межах від 0,33 до 0,5 год), $t_{зв}$ = 0,33 год;

$t_{оч}^{осн}$ - час перебування локомотива в основному депо в очікуванні поїзда, під який запланована його видача, $t_{оч}^{осн} = 1,2$ год;

$t_{зм}$ - сумарний час зупинок локомотива на ділянці обороту, необхідний для зміни локомотивних бригад, $t_{зм}$ = 1,25 год.

$$\Delta t_{зв.оч} = \frac{2 \cdot 682}{92000}\left(0,33 + 1,2\right) = 0,58 \cdot 10^{-2}.$$

Оборот локомотива для кільцевого способу обслуговування поїздів локомотивами за формулою (3.29)

$$T_{П}^{К} = 0,5 + 0,75 + \frac{682}{31} + \frac{682}{37} + 2 + 0,75 + 1,2 + 1,2 + 0,0058 + 1,25 = 48,2 \text{ год.}$$

Розрахунок необхідного експлуатаційного парку вантажних локомотивів для заданої ділянки їх обороту, N_e, лок,

$$N_e = K \cdot n \qquad (3.32)$$

де $K = \frac{T_{П}^{К}}{24}$ - коефіцієнт потреби локомотивів на одну пару поїздів, $K = 2$.

$$N_e = 2 \cdot 10 = 20 \text{ лок.}$$

3.4 Визначення основних показників використання локомотивів

3.4.1 Визначення кількісних показників використання локомотивів.

Річний пробіг локомотивів, які обслуговують задану ділянку обороту, $L_Р$, 10^6 км,

$$L_Р = 365 \cdot 2\left(L_{АБ} + L_{АВ}\right) \cdot n\left(1 + \beta_д\right) \tag{3.33}$$

де $L_{АБ}$, $L_{АВ}$ - довжина ділянок А-Б та А-В, км;

$\beta_д$ - коефіцієнт, який ураховує допоміжний пробіг локомотивів (приймається $\beta_д$ =0,05 ... 0,1).

$$L_Р = 365 \cdot 2\left(226 + 456\right) \cdot 10\left(1 + 0,05\right) = 5,3 \cdot 10^6 \text{ км.}$$

Річна робота локомотивів, $T_Р$, лок-год,

$$T_р = 365 \cdot 24 \cdot N_e \left(1 + \beta_д\right). \tag{3.34}$$

$$T_р = 365 \cdot 24 \cdot 20 \cdot \left(1 + 0,05\right) = 183960 \text{ лок-год.}$$

Перевізна робота локомотивів на ділянці обороту характеризує роботу депо за обсягом вантажів, перевезених за рік, $A_Т$, 10^9 ткм брутто,

$$A_Т = Q_{бр} \cdot L_Р (1 - \beta_д). \tag{3.35}$$

$$A_T = 4150 \cdot 5,3 \cdot 10^6 \cdot (1 - 0,05) = 20,9 \cdot 10^9 \text{ ткм·брутто.}$$

Визначення якісних показників використання локомотивів, крім тих, що наведені у вихідних даних.

Середньодобовий пробіг локомотива, на даній ділянці обігу, $S_{доб}$, км/доб,

$$S_{доб} = \frac{2\left(L_{АБ} + L_{АВ}\right) n}{N_e}, \tag{3.36}$$

$$S_{доб} = \frac{2 \cdot \left(226 + 456\right) \cdot 10}{20} = 682 \text{ км/доб.}$$

Фактичний повний оборот локомотива на ділянці, T, год,

$$T = \frac{48\left(L_{АБ} + L_{АВ}\right)}{S_{доб}}, \quad \textit{або} \quad T = \frac{\Sigma T}{n}, \tag{3.37}$$

$$T = \frac{48\left(226 + 456\right)}{682} = 48 \text{ год.}$$

Добова продуктивність локомотива виражає перевізну роботу його у тонно-кілометрах брутто і є комплексним вимірювачем використання локомотива. Середньодобова продуктивність поїзного локомотива вантажного руху, W, ткм брутто/доб,

$$W = \frac{S_{доб} \cdot Q_{бр}}{1 + \beta_д}, \tag{3.38}$$

$$W = \frac{682 \cdot 4150}{1 + 0,05} = 2,696 \cdot 10^6 \text{ ткм брутто/доб.}$$

Час корисної роботи локомотива протягом доби, $t_{кор}$, год,

$$t_{кор} = \frac{S_{доб}}{V_д}. \qquad (3.39)$$

$$t_{кор} = \frac{682}{34} = 20 \text{ год.}$$

Час роботи локомотива в чистому русі (за добу), $t_{ч.р}$, год,

$$t_{ч.р} = \frac{S_{доб}}{V_T} \quad , \qquad (3.40)$$

де V_T - технічна швидкість; можна прийняти V_T=(1,05...1,08)$V_д$.

$$t_{ч.р} = \frac{682}{1,05 \cdot 34} = 19 \text{ год.}$$

Використання потужності локомотивів характеризується кількістю тонно-кілометрів брутто, що припадають на одиницю потужності. Сумарна потужність локомотивів, $\Sigma N_д$, кВт,

$$\Sigma N_д = N_д \cdot N_е, \qquad (3.41)$$

де $N_д$ - дотична потужність локомотива, що працює на заданій ділянці обороту:

$$N_д = \frac{F_{кр} \cdot V_р}{3,67}, \qquad (3.42)$$

де $F_{кр}$ - розрахункове значення дотичної сили тяги заданого локомотива, кН;

$V_р$ - розрахункова швидкість локомотива, км/год.

$$N_д = \frac{427 \cdot 24}{3,67} = 2792 \text{ кВт.}$$

Сумарна потужність локомотивів за формулою (3.41)

$$\Sigma N_д = 2792 \cdot 20 = 55840 \text{ кВт.}$$

Тоді кількість тонно-кілометрів брутто на одиницю потужності, $q_{сер}$, ткм брутто/кВт·год,

$$q_{сер} = \frac{L_р \cdot Q_{бр}}{\Sigma N_д}. \qquad (3.43)$$

$$q_{сер} = \frac{5,3 \cdot 10^6 \cdot 4150}{55840} = 0,39 \cdot 10^6 \text{ ткм брутто/кВт·год.}$$

3.5 Розрахунок потреби у локомотивних бригадах

До явочного контингенту відносяться локомотивні бригади, які зайняті на роботі, беруть участь у процесі приймання - здачі, технічного обслуговування локомотивів та які знаходяться на відпочинку після роботи.

Потрібна кількість локомотивних бригад для заданих розмірів руху на ділянці обороту при змінному обслуговуванні локомотивів, $B_{бр}^{яв}$, бриг,

$$B_{бр}^{яв} = \frac{30,4 \cdot \Sigma T_{бр}}{169,4}, \tag{3.44}$$

де $\Sigma T_{бр}$ – добова сумарна кількість бригадо-годин;

30,4 – середньорічна кількість діб у місяці;

169,4 – середній місячний фонд робочого часу однієї бригади, год;

$$\Sigma T_{бр} = \Sigma t_2 + \Sigma t_4 + \Sigma t_6 + \Sigma t_8 + \Sigma t_{дод} \tag{3.45}$$

де $\Sigma t_{дод}$ - додатковий час роботи бригад на приймання та здачу локомотивів на станціях А, Б, В та ін.

На приймання та здачу локомотивів установлюється середній час не більше 30 хв на станції основного депо та в пунктах обороту локомотивів, а в проміжних пунктах зміни локомотивних бригад - не більше 20 хв (при цьому потрібно врахувати, що працюють одночасно дві бригади - та, що приймає локомотив, і та, що здає). Для схеми обслуговування ділянок локомотивними бригадами, наведеної на рисунку 3.1,

$$\Sigma t_{дод} = (0,5 \cdot 2 \cdot 4 + 0,33 \cdot 2 \cdot 4)n, \tag{3.46}$$

де n - розміри руху пар поїздів на добу (3.23).

$$\Sigma t_{дод} = (0,5 \cdot 2 \cdot 4 + 0,33 \cdot 2 \cdot 4) \cdot 10 = 66,4 \text{ год.}$$

Добова сумарна кількість бригадо-годин за формулою (3.45)

$$\Sigma T_{бр} = 82 + 58 + 55 + 70,3 + 66,4 = 331,7 \text{ год.}$$

Потрібна кількість локомотивних бригад для заданих розмірів руху на ділянці обороту при змінному обслуговуванні локомотивів за формулою (3.44)

$$B_{бр}^{яв} = \frac{30,4 \cdot 331,7}{169,4} = 60 \text{ бриг.} \quad (3.47)$$

З урахуванням підміни бригад, які знаходяться у відпустці, відрядженні, хворих та інших, визначається облікова кількість бригад, $B_{бр}^{об}$, бриг,

$$B_{бр}^{об} = (1,10...1,14)\, B_{бр}^{яв} \quad (3.48)$$

$$B_{бр}^{об} = 1,1 \cdot 60 = 66 \text{ бриг.}$$

3.6 Визначення тривалості відпочинку локомотивної бригади за місцем проживання

Робочий час бригади складається від моменту явки до місця роботи за розкладом, нарядом або викликом і до здачі локомотива. Він включає до себе: основний час (ведення поїзда по ділянці з урахуванням простоїв), допоміжний час, час регламентованих технологічних перерв, підготовчо-заключний час.

Тривалість відпочинку, $T_{від}$, год,

$$T_{від} = (t_1 + t_2) \cdot \alpha - t_{по} \pm t_п^н \geq 12, \quad (3.49)$$

де t_1 - тривалість безупинної роботи бригади в напрямку від пункту постійного проживання до пункту обороту бригади («туди»), год;

t_2 - те ж у зворотному напрямку («обернено»), год;

α - коефіцієнт відпочинку локомотивної бригади при сорокагодинному робочому тижні (при шестиденному робочому тижні - $\alpha_6 = 2,60$, при п'ятиденному - $\alpha_5 = 2,0$);

$t_{по}$ - час відпочинку бригади в пункті обороту, год;

$t_п^н$ - час недовідпочинку або перевідпочинку бригади в пункті її місця проживання після попередньої поїздки.

Для бригад основного депо А (рисунок 3.1),

$$t_1 = \Sigma t_2' + t_{дод} = \frac{l_{АД}}{V_{дп}} + (t_{пр}^{ос} + t_{зд}^{зм}), \quad (3.50)$$

$$t_2 = \Sigma t_4' + t_{дод} = \frac{l_{ДА}}{V_{дн}} + (t_{пр}^{зм} + t_{зд}^{осн.}), \quad (3.51)$$

де $\Sigma t_2'$ - час у дорозі від пункту проживання до пункту обороту бригади;

$\Sigma t_4'$ - те ж у зворотному напрямку.

$$t_1 = \frac{228}{31} + (0,33 + 0,5) = 8,1 \text{ год};$$

$$t_2 = \frac{228}{37} + (0,33 + 0,5) = 6,9 \text{ год}.$$

Час відпочинку бригади в пункті обороту $t_{по}$ приймається рівним не менше $0{,}5t_1$ і не більше t_1 :

$$t_{по} = (0{,}5 \ldots 1{,}0)t_1, \tag{3.52}$$

$$t_{по} = 0{,}5 \cdot 8{,}1 = 4{,}05 \text{ год.}$$

Тривалість відпочинку за формулою (3.49)

$$T_{від} = \left(8{,}1 + 6{,}9\right) \cdot 2 - 4{,}05 = 26 \text{ год.}$$

Крім щоденного відпочинку після поїздки, бригадам надаються щотижневі дні відпочинку (вихідні дні) тривалістю не менше 42 год з урахуванням належного відпочинку після попередньої поїздки

$$T_{вих} = (T_{від} + 24) \geq 42 \text{ год.} \tag{3.53}$$

$$T_{вих} = (26 + 24) = 50 \text{ год.}$$

3.7 Основні показники роботи локомотивних бригад

Такими є середня годинна продуктивність та місячний виробіток. Середня годинна продуктивність локомотивної бригади, $T_{\text{бр}}$, ткм брутто/год,

$$T_{бр} = \frac{2\left(L_{БА} + L_{АВ}\right) \cdot n \cdot Q_{бр}}{\Sigma T_{бр}} \tag{3.54}$$

$$T_{бр} = \frac{2(226+456)\cdot 10\cdot 4150}{331,7} = 170654,2 \text{ ткм брутто/год.}$$

Місячний виробіток локомотивної бригади, виражений в кілометрах, $L^{M}_{б\text{р}}$, км/міс,

$$L^{M}_{б\text{р}} = \frac{30,4\cdot 2(L_{БА}+L_{АВ})\,n}{Б^{сп}_{бр}} \tag{3.55}$$

$$L^{M}_{б\text{р}} = \frac{30,4\cdot 2(226+456)\cdot 10}{66} = 6282,6 \text{ км/міс.}$$

3.8 Організація ремонту локомотивів

3.8.1 Розрахунок програми та фронту ремонту для поїзних локомотивів.

Вихідними даними для розрахунку програми ремонту локомотивів є річні пробіги локомотивів, циклічність ремонтів та міжремонтні періоди.

Розрахунок річної програми сервісних обслуговувань поїзних локомотивів здійснюється за такими формулами:

$$N_{\text{СО}-1} = \frac{365N_E}{T_{\text{СО}-1}} - \frac{12N_E}{T_{СО-2}}; \tag{3.56}$$

$$N_{СО-2} = \frac{12N_E}{T_{СО-2}}\left(1-\frac{T_{\text{СО}-2}}{T_{СО-3}}\right); \tag{3.57}$$

$$N_{СО-3} = \frac{12N_E}{T_{СО-3}}\left(1-\frac{T_{СО-3}}{T_{СО-4}}\right); \tag{3.58}$$

$$N_{CO-4} = \frac{12N_E}{T_{CO-4}}\left(1 - \frac{T_{CO-4}}{12T_{CO-5}}\right); \quad (3.59)$$

$$N_{CO-5} = \frac{N_E}{T_{CO-5}}\left(1 - \frac{T_{CO-5}}{T_{CO-6}}\right); \quad (3.60)$$

$$N_{CO-6} = \frac{N_E}{T_{CO-6}}; \quad (3.61)$$

де N_E - парк локомотивів, що експлуатується;

$T_{CO-1} \ldots T_{CO-6}$ - періоди між сервісними обслуговуваннями [2];

$$N_{CO-6} = \frac{20}{8} = 3 \text{ лок}; \quad N_{CO-5} = \frac{20}{3}\left(1 - \frac{3}{8}\right) = 4 \text{ лок};$$

$$N_{CO-4} = \frac{12 \cdot 20}{24}\left(1 - \frac{24}{12 \cdot 3}\right) = 3 \text{ лок}; \quad N_{CO-3} = \frac{12 \cdot 20}{12}\left(1 - \frac{12}{24}\right) = 10 \text{ лок};$$

$$N_{CO-2} = \frac{12 \cdot 20}{6}\left(1 - \frac{6}{12}\right) = 30 \text{ лок}; \quad N_{CO-1} = \frac{365 \cdot 20}{92} - \frac{12 \cdot 20}{6} = 39 \text{ лок}.$$

У зв’язку з тим, що Правилами ремонту на КР-2, КР-1, ПР-3 передбачається обточка бандажів, то технічне обслуговування ТО-4 проводиться через 6 місяців пробігу поїзних локомотивів

Кількість технічних обслуговувань ТО-4, N_{TO-4}, лок,

$$N_{TO-4} = \frac{12N_E}{T_{TO-4}} - \left(N_{CO-6} + N_{CO-5} + N_{CO-4}\right), \qquad (3.63)$$

де T_{TO-4} - період між обточками бандажів, міс.

$$N_{TO-4} = \frac{12 \cdot 20}{6} - \left(3+4+3\right) = 30 \text{ лок.}$$

Кількість позапланових ремонтів приймається як $N_{ПР}=0,2 \cdot N_e = 0,2 \cdot 20 = 4$ лок.

Фронтом ремонту називається кількість локомотивів, які одночасно знаходяться в даному (i-му) виді ремонту

$$f_i = \frac{N_i t_i}{D}, \qquad (3.64)$$

де N_i - річна програма даного виду ремонту;

t_i - простій локомотива на ремонті даного виду [9, 10];

D - розрахункова кількість робочих днів у році (260,4 дня - при тривалості зміни 8 год та 254 дні – при тривалості зміни 8 год 12 хв для ПР-2 і ПР-3).

$$f_{CO-6} = \frac{3 \cdot 30}{254} = 0,35 \ ; \quad f_{CO-5} = \frac{4 \cdot 20}{254} = 0,31 \ ; \quad f_{CO-4} = \frac{3 \cdot 8}{254} = 0,09 \ ;$$

$$f_{CO-3} = \frac{10 \cdot 6}{254} = 0,24 \ ; \quad f_{CO-2} = \frac{\frac{30 \cdot 14}{24}}{365} = 0,06 \ ; \quad f_{CO-1} = \frac{\frac{39 \cdot 12}{24}}{365} = 0,05 \ ;$$

$$f_{ТО-4} = \frac{\frac{30 \cdot 8}{24}}{365} = 0,03;\ f_{ПР} = \frac{\frac{4 \cdot 4}{24}}{365} = 0,002.$$

3.8.2 Визначення інвентарного парку та розрахунок відсотку несправних локомотивів.

Інвентарний парк локомотивів $N_{\text{інв}}$ складається з локомотивів: $N_{\text{е}}$ - які експлуатуються; $N_{\text{рем}}$ - які знаходяться у ремонті; $N_{\text{рез}}$ - які знаходяться у резерві управління залізниці; $N_{\text{зап}}$ - у запасі Укрзалізниці; $N_{\text{ор}}$ - в оренді; $N_{\text{відр}}$ - у відрядженні та визначається за формулою,

$$N_{інв} = N_{е} + N_{рем} + N_{рез} + N_{зап} + N_{ор} + N_{відр} \qquad (3.65)$$

де $N_{\text{рем}} = \sum f_{\text{і}}$;

f_i – фронти КР, ПР, ТО та позапланових ремонтів усіх типів локомотивів (формула (3.70)).

$$N_{\text{рем}} = 0,35 + 0,31 + 0,09 + 0,24 + 0,06 + 0,05 + 0,03 + 0,002 = 1,14 \text{ лок.}$$

Кількість локомотивів, які знаходяться у резерві управління залізниці, можна прийняти до 10 %, а у запасі Укрзалізниці - 5 % від парку локомотивів, які експлуатуються. Розрахунок виконується як для вантажних локомотивів.

$$N_{\text{рез}} = 0,1 \cdot 20 = 2 \text{ лок};\ N_{\text{зап}} = 0,05 \cdot 20 = 1 \text{ лок.}$$

Кількість локомотивів, які знаходяться в розпорядженні депо, $N_{\text{р.д.}}$, лок,

$$N_{\text{р.д}} = N_{\text{е}} + N_{\text{рем}} + N_{\text{рез}}. \quad (3.66)$$

$$N_{\text{р.д}} = 20 + 1{,}14 + 2 + 1 = 24{,}14 \text{ лок.}$$

Інвентарний парк локомотивів за формулою (3.65)

$$N_{інв} = 20 + 1{,}14 + 2 + 1 = 24{,}14 \text{ лок.}$$

Деповський відсоток несправних локомотивів, $X_{\text{деп}}$, %,

$$X_{ДЕП} = \left(\frac{f_{СО-5} + f_{СО-4} + f_{СО-3} + f_{СО-2} + f_{СО-1} + f_{ТО-4}}{N_{р.д}} \right) \times 100. \quad (3.67)$$

$$X_{ДЕП} = \left(\frac{0{,}31 + 0{,}09 + 0{,}24 + 0{,}06 + 0{,}05 + 0{,}03}{24{,}14} \right) \times 100 = 3{,}3\ \%.$$

Заводський відсоток несправних локомотивів, $X_{\text{зав}}$, %,

$$X_{ЗАВ} = \left(\frac{f_{СО-6}}{N_{р.д.}} \right) \times 100. \quad (3.68)$$

$$X_{ЗАВ} = \left(\frac{0{,}35}{24{,}14} \right) \times 100 = 1{,}5\ \%.$$

Загальний відсоток несправних локомотивів, $X_{\text{ЗАГ}}$, %,

$$X_{ЗАГ} = X_{ДЕП} + X_{ЗАВ}, \quad (3.69)$$

$$X_{ЗАГ} = 1,5 + 3,3 = 4,8\ \%.$$

3.9 Екіпірування локомотивів

3.9.1 Визначення добової витрати і експлуатаційного запасу дизельного палива та ємностей для його зберігання.

Розміри та потужності екіпірувального господарства визначаються сумарною добовою витратою дизельного палива, яку можна отримати з виразу

$$E_{д.пал} = \alpha_{д.пал} E^{ВТ}_{д.пал} + E^{РВ}_{д.пал}, \qquad (3.70)$$

де $E^{ВТ}_{д.пал}$ – добові витрати дизельного палива локомотивами для вантажного руху поїздів, кг;

$E^{РВ}_{д.пал}$ – добова витрата палива на реостатні випробування локомотивів після ремонту, кг;

$\alpha_{д.пал}$, – коефіцієнти, які враховують частку палива, що видається на локомотиви відповідного виду руху з цього складу. Значення $\alpha_{д.пал}$ для вантажних тепловозів приймається в залежності від кількості пунктів екіпірування (рекомендується $\alpha_{д.пал}$=0,2...0,3).

Добова витрата дизельного палива, кг, локомотивами для вантажного руху визначається як

$$E^{ВТ}_{д.пал} = \sum 2 L_i n_i Q_i e^{ВТ}_{д.пал} 10^{-4}. \qquad (3.71)$$

де L_i – довжина ділянки обертання локомотива, км;

n_i – число пар поїздів;

Q_i – маса поїзда брутто, т;

$e_{д.пал}^{ВТ}$ – норма витрат натурального дизельного пального, кг/т км брутто.

$$E_{д.пал}^{ВТ} = 2 \cdot 682 \cdot 10 \cdot 4150 \cdot 23,6 \cdot 10^{-4} = 133190,2 \text{ кг.}$$

Добова витрата палива, кг, на реостатні випробування локомотивів після виконання їм ПР-1, ПР-2, ПР-3, КР-1 та КР-2 визначається як

$$E_{д.пал}^{РВ} = \sum N_{РВ}^{i} e_{РВ}^{i}, \quad (3.72)$$

де $N_{РВ}^{i}$ – кількість локомотивів, що проходять реостатні випробування після *і*-го виду ремонту за добу, лок.;

$e_{РВ}^{i}$ – норма витрати палива, кг, на реостатні випробування після *і*-го виду ремонту

$$E_{д.пал}^{РВ} = \left(\frac{10+3}{365}\right) \cdot 500 + \left(\frac{30+4+3}{365}\right) \cdot 140 = 32 \text{ кг.}$$

Розміри та потужності екіпірувального господарства визначаються сумарною добовою витратою дизельного палива за формулою (3.65)

$$E_{д.пал} = 0,2 \cdot 133190,2 + 32 = 26670 \text{ кг.}$$

3.9.2 Визначення потреби оливи та технічних мастил.

Сумарна добова витрата мастил, кг, на експлуатацію локомотивів визначається за формулою

$$E_{\text{М}} = \sum \alpha_M E_{д.пал}^{доб}, \quad (3.73)$$

де $E_{д.пал}^{доб}$ – добова витрата дизельної оливи, кг;

α_M – коефіцієнт, що враховує частку оливи, яка видається на відповідну серію локомотива з цього складу. Приймається в залежності від кількості пунктів екіпірування так само, як і для дизельного палива.

Складові частини цього виразу розраховуються за наступними формулами.

Добова витрата дизельної оливи, кг, нормується у відсотках від витрати дизельного палива й визначається за формулою

$$E_{диз.ол}^{доб} = \sum E_{д.пал} \cdot 0,01 \cdot e_{диз.ол}, \quad (3.74)$$

де $\sum E_{д.пал}$ – добова витрата дизельного палива усіма дизельними локомотивами,

$\sum E_{д.пал} = 26670$ кг;

$e_{диз.ол}$ – норма витрати дизельної оливи для експлуатаційних потреб у відсотках від витрат дизельного палива, $e_{диз.ол} = 1,7$ %.

$$E_{диз.ол}^{доб} = 26670 \cdot 0,01 \cdot 1,5 = 400 \text{ кг};$$

Сумарна добова витрата мастил, кг, на експлуатацію локомотивів визначається за формулою (3.73)

$$E_{\text{М}} = 0,5 \cdot 400 = 200 \text{ кг}.$$

3.9.3 Визначення добової витрати охолоджувальної води.

Добова витрата охолоджувальної води, дм^3 (л), для тепловозних дизелів

визначається за формулою

$$B_{заг} = B_e + B_{рем}, \tag{3.75}$$

де B_e - витрата охолоджувальної води на потреби експлуатації, *л*;

$B_{рем}$ - витрата охолоджувальної води на потреби ремонту тепловозів, *л*.

Витрата охолоджувальної води, дм^3 (л), на потреби експлуатації визначається за формулою

$$B_e = \sum 2L_i n_i e_B^{П} a_B 10^{-3}, \tag{3.76}$$

де $\sum 2L_i n_i$ – величина добового пробігу поїзних локомотивів, км;

$e_B^{П}$ – норма витрати води, л, одним поїзним локомотивом на 1000 лок·км, яка приймається відповідно до таблиці 2.14 [1];

a_B – коефіцієнт, який ураховує кількість води, що отримується локомотивом у даному депо (або пункті обертання). Приймається в залежності від кількості пунктів екіпірування;

$$B_e = 2 \cdot 682 \cdot 10 \cdot 50 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-3} = 341 \text{ л.}$$

Витрата охолоджувальної води, дм^3 (л), на потреби ремонту локомотивів визначається за формулою

$$B_{рем} = \frac{\left(N_{СО\text{-}4} + N_{СО\text{-}3} + N_{СО\text{-}2}\right) V_B}{Д} \mu_B, \tag{3.77}$$

де $N_{ПР\text{-}3}$, $N_{ПР\text{-}2}$, $N_{ПР\text{-}1}$ – відповідно річна програма сервісних обслуговувань

СО-4, СО-3 та СО-2;

$Д$ – кількість днів у році;

$\mu_В$ – коефіцієнт, який ураховує непланову зміну води у системі охолодження локомотива; приймається $\mu_В = 1{,}1 \ldots 1.2$;

$V_В$ – місткість води у системі локомотива, яка приймається відповідно таблиці 2.14 [9].

$$B_{рем} = \frac{(3+10+30)\cdot 1306}{365} \cdot 1{,}1 = 153{,}9 \text{ л.}$$

Добова витрата охолоджувальної води за формулою (3.75)

$$B_{заг} = 341 + 154 = 495 \text{ л.}$$

3.9.4 Визначення добової витрати й експлуатаційного запасу піску

Загальна добова витрата піску, м^3, для постачання локомотивів визначається за формулою

$$W_П^{заг} = W'_П, \tag{3.78}$$

де $W'_П$ – добова витрата піску вантажними локомотивами, м^3;

Добова витрата піску вантажними локомотивами, м^3, визначається за формулою

$$W'_П = \frac{2\sum L_i n_i Q_i e_П}{10^6}, \tag{3.79}$$

де $e_П$ – середня норма витрати піску на 10^6 ткм брутто вантажними локомотивами, м^3. Приймається згідно з таблицею 2.15 [1].

$$W'_{П} = \frac{2 \cdot 682 \cdot 10 \cdot 4150 \cdot 0,06}{10^6} = 3,4 \text{м}^3.$$

Загальна добова витрата піску за формулою (3.78)

$$W_{П}^{заг} = 3,4 \text{м}^3.$$

3.9.5 Результат заміни типу локомотива експлуатуємого локомотивного парку

Результати розрахунків розділів 2, 3 приведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Показники локомотивів

№ з/п	Показник	2ТЕ116	ТЕ33А	Зміна показника, % (+-)
1	2	3	4	5
1	Маса поїзду, т	4000	4150	+3,8
2	Число пар поїздів	11	10	-9,1
3	Кількість пунктів ПТОЛ	2	2	0,0
4	Час обороту тепловоза, год	48,3	48,3	0,0
5	Експлуатаційний парк	22	20	-9,1
6	Річна робота, лок-год	202356	183960	-9,1
7	Середньодобовий пробіг, км	682	682	0,0
8	Час корисної роботи, год	20	20	0,0
9	Добова продуктивність, ткм брутто/доб.	$2,598 \cdot 10^6$	$2,696 \cdot 10^6$	+3,8
10	Штат локомотивних бригад	69	66	-4,3
11	Годинна продуктивність бригади, ткм брутто/год	180934,6	170654,2	-5,7

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
12	Програми ремонтів	7	6	-14,3
	КР-2/СО-6	3	3	0,0
	КР-1/СО-5	6	4	-33,3
	ПР-3/СО-4	17	3	-82,4
	ПР-2/СО-3	35	10	-71,4
	ПР-1/СО-2	103	30	-70,9
	ТО-3/СО-1	518	39	-92,5
	ТО-2	4004	–	-100,0
13	Добова витрата палива, т	33,363	26,670	-20,1
14	Добова витрата оливи, кг	283,6	200	-29,5
15	Добова витрата води, л	1812	495	-72,7
16	Добова витрата піску, $м^3$	11,4	3,4	-70,2

4 Визначення енергозаощаджуючих режимів ведення поїздів

4.1 Методи оптимізації режимів ведення поїзда

Розрахунок кривих руху поїзда базується на інтегруванні рівняння руху поїзда [4,5]:

$$m\frac{dv}{dt} = \frac{(F - W - B)}{1+\gamma}, \tag{4.1}$$

де m - маса дизель-поїзда;

v - швидкість руху дизель-поїзда;

$1+\gamma$ - коефіцієнт інерції часток, що обертаються;

t - значення часу;

F - сила тяги;

B - тормозна сила;

W - повний опір руху;

γ - безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив обертових частин на прискорення руху дизель-поїзда.

На реально існуючих ділянках шляху мінімізація витрат енергії є складною багато критеріальним завданням.

В [6] наведено спосіб, згідно з яким дотична сила тяги не має перевищувати силу зчеплення коліс з рейками

$$F_{дот} \le F_{зч}. \tag{4.2}$$

Машиніст реалізовує частину тягової характеристики від 0 км/год до виходу на автоматичний режим. Цей спосіб не враховує енергозбереження, але час розгону є мінімальним.

Метод Ейлера враховує зміну сил опору руху поїзда. Знаходження оптимального рішення рівняння виконується мінімізацією інтеграла [7]

$$Q = \int_0^T (\dot{v} + W)^2 dt \quad . \tag{4.3}$$

В [8] авторами розглянуто оптимізацію тягових розрахунків за мінімальними значеннями двох показників – витрати часу t на переміщення поїзда та роботи сил опору руху A.

$$t = \int_{S_1}^{S_2} \frac{ds}{v(s)} \to \min \quad ;$$

$$A = \int_{S_1}^{S_2} w(v) ds \to \min \quad . \tag{4.4}$$

При цьому оптимізація зводиться до рішення двох задач:

- виконання тягових розрахунків для визначення мінімального часу руху;

- мінімізація сил опору руху поїзда для знайденого часу ходу.

Вищевказані методики розглядають рух поїзда з початковою та кінцевою швидкістю $V = 0$ км/год.

В [9, 10] на підставі багатоваріантних розрахунків удосконалено алгоритм визначення енергозаощаджуючих траєкторій руху поїзда під час рушання та розгону, побудовано багатопараметричну функцію управління потужністю локомотива, яка дозволяє зменшити витрату енергоресурсів від 13 до 25 % залежно від маси складу та ухилу порівняно з методикою ПТР.

Методика вибору енергозаощаджуючої траєкторії руху поїзда та управління потужністю електровозів та тепловозів з електричною передачею передбачає розрахунок багатоваріантних траєкторій з варіативними вихідними даними параметрів складу та поїзної ситуації. Методика враховує математичні методи рівномірного пошуку та параметричної оптимізації.

Режим ведення поїзда складається з таких фаз:

− пуск локомотива та розгін поїзда до виходу на обрану ходову характеристику локомотива;

− рух при включених тягових двигунах;

− рух на вибігу при вимкнених тягових двигунах; регулювальне гальмування-пригальмовування поїзда на спусках для підтримування швидкості на заданому рівні;

− гальмування для зниження швидкості перед сигналами і зупинками.

Кожна з цих фаз робить істотний вплив на результати використання потужності локомотивів та витрати енергетичних ресурсів на тягу поїздів [5].

Додаткові динамічні навантаження виникають як в тяговому режимі, так і під час руху в режимі вибігу, а також в гальмівному режимі та в процесі відпускання гальм. Сили, що виникають на цих режимах, можуть досягати найбільшого значення в різних частинах поїзда залежно від однорідності вагонів та ступеня їх завантаження, а також від того, зібраний склад або розтягнутий. У вантажних поїздах ці сили можуть призводити до обриву поїзда або видавлювання вагонів. Значення динамічних сил залежать від маси та довжини поїзда, профілю колії, режимів тяги та гальмування, швидкості руху, зазорів в автозчепних пристроях, швидкості поширення гальмівної хвилі по довжині поїзда, типу й стану гальмівних пристроїв.

Під час руху поїзда доцільно тримати склад або в зібраному, або в розтягнутому стані. Однак це не завжди можливо під час руху реальним профілем колії. Для того щоб перевести рухомий склад із зібраного стану в розтягнутий, рукоятку контролера машиніста ставлять у поїзне положення.

Щоб стиснути склад, раніше розтягнутий, поступово вимикають тягові двигуни, переводячи рукоятку контролера на нижчі позиції до нульової. Якщо цього недостатньо, то приводять в дію електричні гальма, а на локомотивах, не обладнаних електричними гальмами – пневматичні.

Умови ведення поїзда, регулювання потужності локомотива та швидкості руху значно відрізняються у вантажного й пасажирського поїздів. Вони суттєво відрізняються і всередині кожної з цих груп, наприклад, великоваговий чи порожній, а для пасажирських – швидкий або приміський.

Високі швидкості руху на коротких перегонах викликають необхідність початку гальмування при великій швидкості.

На перевалистому профілі, де чергуються підйоми, горизонтальні ділянки та спуски, доцільно вести поїзд в розтягнутому стані при включеному контролері. У цьому випадку регулюють швидкість руху шляхом зміни сили тяги. При проходженні підйомів силу тяги збільшують, на горизонтальних ділянках та спусках – зменшують. Підходячи до підйому, який не можна пройти за рахунок використання кінетичної енергії, збільшують силу тяги, переводячи рукоятку контролера на вищі позиції або застосовуючи ступені ослаблення збудження.

Під час руху по ділянках з рівнинним профілем колії та відносно нечастими зупинками необхідний режим ведення, що забезпечує найменші коливання швидкості при використанні позицій, що відповідають найбільш високим значенням ККД локомотива. Зменшення нерівномірності руху дає помітний ефект внаслідок нелінійної залежності між силою опору руху і швидкістю руху.

Зазвичай профіль ділянок залізничної мережі, на яких є обмеження у використанні потужності локомотивів по зчепленню, характеризується наявністю підйомів великої крутизни, але відносно невеликої довжини. Тому при розробці та реалізації раціональних режимів ведення поїздів на таких

ділянках дуже важливо поряд з реалізацією найбільших сил тяги забезпечувати максимальне використання кінетичної енергії поїзда.

Оскільки кінетична енергія пропорційна квадрату швидкості, то при підході поїзда до важких елементів профілю швидкість повинна бути найбільш допустимою, що дає можливість пройти частину підйому за рахунок накопиченої на попередніх елементах профілю кінетичної енергії поїзда.

Під час руху по підйому швидкість падає по мірі використання кінетичної енергії, струм тягових двигунів зростає, однак переходити на нижчі позиції слід тільки при досягненні струму тягових двигунів та сили тяги локомотива граничних значень.

Якщо після переходу на нижчі позиції ослаблення збудження тягових двигунів швидкість руху поїзда продовжує зменшуватись, то необхідно перейти на повне збудження.

Для тепловозів в подібних випадках допускається швидкість нижче розрахункової, але відстань, що може проїхати поїзд, повинна бути не більше ніж 500 м.

Часто елементи профілю колії з важкими підйомами чергуються з елементами профілю меншої крутизни. Останні слід використовувати для підвищення швидкості руху та накопичення кінетичної енергії. Для цього доцільно переходити на більш глибоке ослаблення збудження або високі позиції регулювання.

Подібні умови руху наприкінці підйому можуть виявитися раціональними відносно економії електроенергії або палива в тому випадку, якщо після підйому розташована станція, на якій передбачена зупинка поїзда, або шкідливий спуск. Тоді зниження втрат енергії при подальшому гальмуванні дозволить отримати деяку економію паливно-енергетичних ресурсів.

4.2 Методика визначення енергозаощаджуючих режимів ведення поїздів

Методика, що пропонується для визначення енергозаощаджуючих режимів ведення поїздів базується на рівномірному русі. Для рівномірного руху необхідно, щоб сили, створені штучно в результаті керування локомотивом, врівноважували сили опору.

Особливі умови, які накладаються на модель:

довжина ділянки l =20 км; при цьому маса поїзда P + Q змінюється в межах 1000 ÷ 6000 т з інтервалом 1000 т; межі ухилів для ділянок складають i = − 4÷ 7,5 ‰.

Довжина ділянки l =20 км зумовлена тим, що при використанні ітераційного обчислення з кількістю кроків n = 3 вказана довжина дає найбільш достовірний результат.

Нижня межа ухилу зумовлена тим, що під час руху на ділянках зі значенням ухилу i < −2 ‰ напрямок сили від ухилу співпадає з напрямком руху для допустимого діапазону швидкостей, тому вона буде прискорювати поїзд. Верхня межа визначена аналітично. При значеннях ухилу i >7,5 ‰ режим керування відповідає найбільшій потужності локомотива.

Після розв’язання рівняння руху поїзда для конкретних вихідних даних розраховується коефіцієнт питомої витрати палива під час руху на рівномірній швидкості c,

$$c = 10^6 g / t Q V^2 / 2 , \tag{4.5}$$

де g – витрата палива, кг; t – час ходу поїзда, год; Q – маса складу, кг; V – швидкість руху, м/с.

Приклад визначення значень коефіцієнта c для маси складу Q=2000 т та ухилу $i = -0{,}5$ ‰ наводимо на рисунку 4.1.

Для деяких значень ухилу та маси складу мінімальні значення коефіцієнта питомої витрати палива $c_{\min}$ відповідають значенням рівномірної швидкості, вищої за допустиму за конструкційними параметрами рухомого складу, тому вводимо додатковий обмежувальний параметр

$$V\text{рівн} \le V\text{доп}.$$

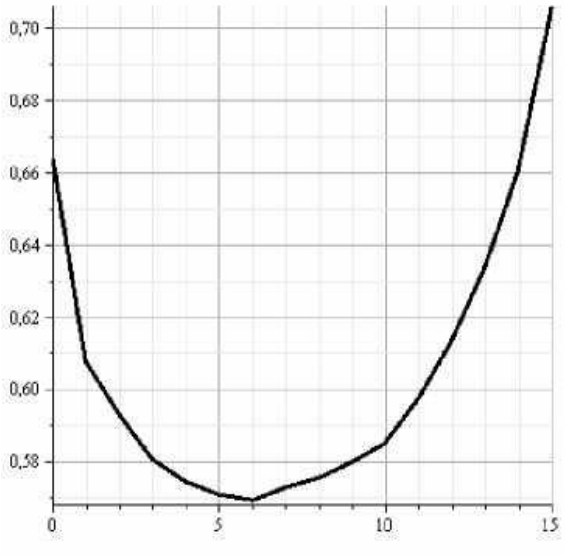


Рисунок 4.1 - Залежність коефіцієнта питомої витрати палива під час руху з рівномірною швидкістю від позиції контролера машиніста

Загальна умова вибору раціонального управління

$$PKM_{\max_V}^{\min_c} = \begin{cases} c \Rightarrow \min; \\ V^{\text{рівн}} \le V^{\text{доп}}. \end{cases}$$

Після отримання аргументів при мінімальних значеннях функції коефіцієнта питомої витрати палива під час руху з рівномірною швидкістю

для Q =1000; 2 000...6 000 та i = −2,5...7,5 будуємо графічну залежність - рисунок 4.2.

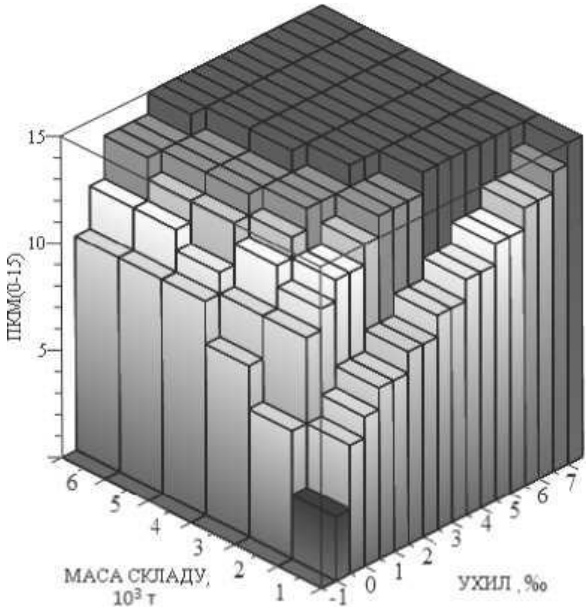


Рисунок 4.2 - Значення $ПКМ^{\min_t}_{\max_v}$

Відповідні значення рівномірних швидкостей наводимона рисунку 4.3.

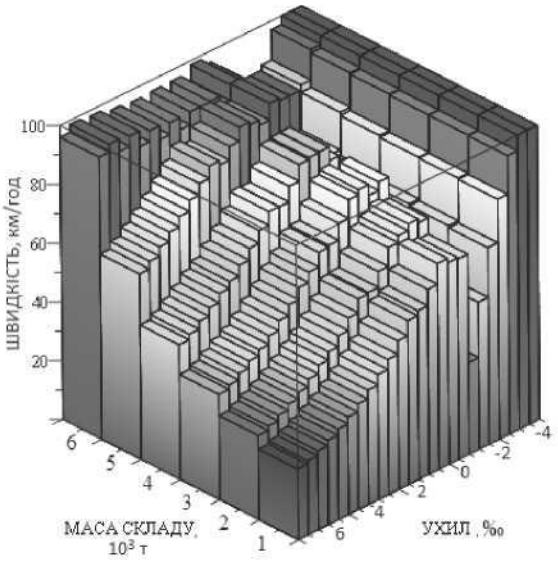


Рисунок 4.3 - Рівномірні швидкості, відповідні $ПКМ^{\min_t}_{\max_v}$

Для можливості застосування дискретних даних матриці $ПКМ^{\min_t}_{\max_v}$ та відповідних рівномірних швидкостей в математичній моделі необхідно

виконати інтерполяцію. Інтерполяцію виконуємо лінійним сплайном для значень маси поїзда вказаного діапазону з аргументом ухилу *i*.

Для визначення рівномірної швидкості, що відповідає $PKM^{\underline{Q}\le Q<\bar{Q}}$, виконуємо аналогічні обчислення.

Після обчислення $PKM^{\underline{Q}\le Q<\bar{Q}}$ визначається сила тяги

$$F_j = \frac{3{,}6 \cdot N_e \left(PKM^{\underline{Q}\le Q<\bar{Q}} \right) \cdot n_c \cdot \eta_{j-1}}{V_{j-1} \pm \Delta V}$$

та розв'язується рівняння руху поїзда.

Таким чином крива *V=f(S)* прагне до рівномірної швидкості - рисунок 4.4.

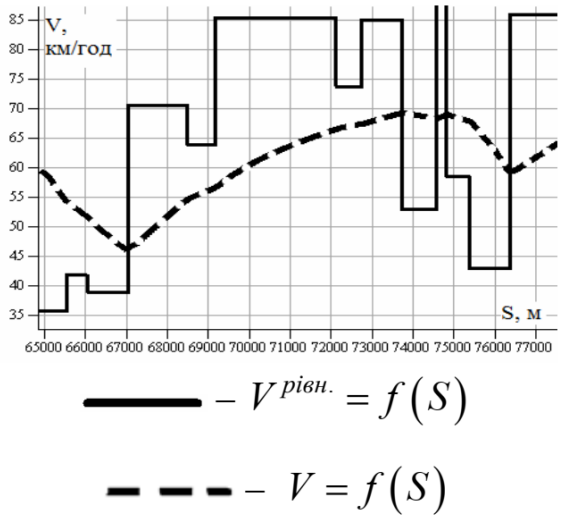


Рисунок 4.4 - Крива швидкості руху поїзда

Крива *Vрівн.=f (S)* будується на підставі усереднення ухилів профілю колії по довжині поїзда з інтервалом ΔS=15 м (довжина чотиривісного вагона). Для цього виконується сплайн-інтерполяція ухилів по довжині ділянки та обирається фазова координата відправлення поїзда (станція, світлофор, пікет та ін.).

Для даної маси поїзда та довжини поїзда визначаються значення ухилів по осях кожного вагона і локомотива та на підставі мас останніх визначається середнє значення для центру мас поїзда.

$$i_n = \frac{1}{Q} \int_{-l_n/2}^{l_n/2} i^d Q(l_n) \cdot dS .$$

По мірі переміщення поїзда з інтервалом ΔS визначаються дискретні значення для всієї ділянки, які перебудовуються в сплайн $i=f(S)$. Останній використовується при визначенні прискорюючо-уповільнюючих сил рівняння руху поїзда

$$V_j = Re\sqrt{\left(V_{j-1}^2 + \frac{ds\cdot\xi\cdot\left(f(v)-\omega(v)\right)}{500} + \frac{ds\cdot\xi\cdot\left(-b_z(v)-i(S)\right)}{500}\right)}.$$

За вказаною методикою виконано тягово-енергетичні розрахунки для поїзда масою 3 000 т, що рухається по ділянці з поздовжнім профілем III складності в прямому та зворотному напрямках. Для порівняння розрахунки виконано за методикою ПТР. Визначено узагальнений показник хвилинної витрати палива g , кг/хв. Результати наведено в таблиці 4.1.

Розглянута методика управління потужністю локомотива дозволяє зменшити витрату енергоресурсів від 11 до 13 % залежно від профілю колії, маси поїзда та поїзної ситуації порівняно з методикою ПТР.

Таблиця 4.1 - Результати тягово-енергетичних розрахунків

Методика	t, хв	q, кг	g , кг/хв
ПТР	120 100	1555 1063	13 10,7
Розглянута	131 108	1383 927	10,6 8,6
Різниця, %	9,4 8,3	-11,1 -12,8	-18,8 -19,5

*Примітка: в чисельнику – в прямому напрямку; в знаменнику – в зворотному напрямку.

5 Економічне обґрунтування впровадження нового тепловоза

5.1 Коротка характеристика технічного рішення

Вихідні данні:

Серія тепловоза – 2ТЕ116/ТЕ33АС;

Довжина ділянки Б-В, – 682 км;

Кількість проміжних зупинок на ділянці 3;

Технічна швидкість у непарному напрямку (Б-В) – 37 км/год;

Технічна швидкість у парному напрямку (Б-А) – 31 км/год;

Середня маса потягу – 4000/4150 т;

Добова витрата палива – 33,363/26,670 т;

Ціна придбання тепловоза з урахуванням впровадження 42400/86000 тис. грн.

Ціна капітального ремонту КР-1/СО-5 тепловоза з урахуванням витрат на транспортування – 2900/3200 тис. грн;

Ціна капітального ремонту КР-2/СО-6 тепловоза з урахуванням модернізації та витрат на транспортування 10620/11850 тис. грн;

Годинні тарифні ставки:

Машиніст при роботі з вантажними поїздами на дільницях залізниці – 145,57 грн;

Помічник машиніста при роботі з вантажними поїздами на дільницях залізниці – 132,38 грн;

Єдиний соціальний внесок – 22 %;

Ціна 1 кг палива – 87,4 , грн;

Норма витрат матеріалів – 320/245 грн/1000 км пробігу тепловоза

Час на приймання локомотива бригадою в основному депо – 1,2/1,2 год;

Час на здачу локомотива локомотивною бригадою в основному депо – 1,2/1,2 год

Обертання одиниці ТРС по кільцевому способі складає – 48,2 год

Обертання локомотивної бригади складає – 9,5 год.

Час простою локомотива в основному депо – 3 год;

Час простою локомотива в оборотному депо – 1,2 год;

Ставка дисконту – 0,15

Термін життєвого циклу локомотива – 25 р;

5.2 Визначення складових вартості життєвого циклу тепловоза

5.2.1 Розрахунок витрат на паливо

Прямі виробничі витрати на заробітну плату локомотивної бригади за оборот одиниці ТРС визначаються, грн,

$$B_{з.п.}^{л.б.} = (1 + \kappa_{дод} + \kappa_{пр.} + \kappa_{н.ч.} + \kappa_{св.д.} + \kappa_{кл}) \cdot (c_{м} + c_{п.м.}) \cdot T_{об.}^{л.б.}, \quad (5.1)$$

де $c_м$, $c_{п.м.}$- годинна тарифна ставка відповідно, машиніста та помічника машиніста, грн;

$к_{дод}$, $к_{пр}$, $к_{н.ч.}$, $к_{св.д.}$, $к_{кл}$ – коефіцієнти, що враховують виплати відповідно, додаткової заробітної плати, премії, доплати за роботу у нічний час, святкові дні, класність.

$$B_{зп.}^{л.б.} = (1 + 0{,}269 + 0{,}15 + 0{,}1333 + 0{,}0274 + 0{,}05) \cdot (145{,}57 + 132{,}38) \cdot 18 = 22860{,}21 \text{грн.}$$

Відрахування на єдиний соціальний внесок визначаються у відсотках до витрат на заробітну плату у відповідності з діючою ставкою нарахувань,

$$B_{з.п}^{л.б} = к_{с.з.} \cdot B_{з.п.}^{л.б.}, \quad (5.2)$$

де $к_{с.з.}$ - коефіцієнт, що враховує нарахування на єдиний соціальний внесок.

$$B_{з.п}^{л.б} = 0,22 \cdot 2286,21 = 502,9 \text{ грн.}$$

Прямі виробничі витрати на матеріали для поїзної роботи, грн, визначаються нормативом витрат на 1000 кілометрів пробігу і розраховуються

$$B_{м}^{п.р.} = \frac{2 \cdot L \cdot a_{м}}{1000}, \quad (5.3)$$

де L - довжина ділянки обертання одиниці ТРС, км;

$a_м$ - норматив витрат матеріалів на 1000 лок-км пробігу, грн.

$$B_{м.(2ТЕ116)}^{п.р.} = \frac{2 \cdot 682 \cdot 320}{1000} = 436,48 \text{ грн}; \; B_{м.(3ТЕ33А)}^{п.р.} = \frac{2 \cdot 682 \cdot 245}{1000} = 334,18 \text{ грн.}$$

Прямі виробничі витрати на паливо для поїзної роботи, грн,

$$B_{п}^{п.р.} = (\frac{c_{п} \cdot E_{д.пал}^{ВТ}}{N_{е}}) \cdot 0,6686, \quad (5.4)$$

де $с_п$ - ціна 1 кг палива, грн.;

$E_{д.пал}^{ВТ}$ - добова витрата дизельного палива локомотивним парком, кг;

0,6686 – частка плеча АВ відносно ділянки БВ;

$$B^{n.p.}_{n(2TE116)} = (\frac{27,4 \cdot 33363}{22}) \cdot 0,6686 = 27781 \text{ грн};$$

$$B^{n.p.}_{n(TE33A)} = (\frac{27,4 \cdot 26670}{20}) \cdot 0,6686 = 24428 \text{ грн};$$

Прямі виробничі витрати за витрат на роботу одиниці ТРС за обіг, грн,

$$B^{пр.в}_{об} = B^{л.б.}_{з.п.} + B^{л.б}_{с.з} + B^{n.p.}_{м} + B^{n.p}_{п} \quad (5.5)$$

$$B^{пр.в}_{об(2TE116)} = 2286,21 + 502,9 + 436,48 + 27781,67 = 31007,26 \text{ грн};$$

$$B^{пр.в}_{об(TE33A)} = 2286,21 + 502,9 + 334,18 + 24428,64 = 27551,93 \text{ грн}.$$

5.2.2. Виробничі витрати, пов'язані з проведенням технічного обслуговування та поточних ремонтів

Витрати, що пов'язані з проведенням технічного обслуговування та поточного ремонту одиниці ТРС ураховуються за відповідними статтями номенклатури експлуатаційних витрат по основній діяльності підприємств залізничного транспорту України .

До статей витрат на поточний ремонт локомотива за програмою ПР-1/СО-2, ПР-2/СО-3, ПР-3/СО-4 та технічних обслуговувань ТО-3/СО-1 відносять:

- витрати на оплату праці робітників, бригадирів, включаючи звільнених, зайнятих ремонтом ТРС;
- відрахування на єдиний соціальний внесок;
- витрати на запасні частини і матеріали, включаючи мастильні, підбивні та обтиральні, витрачені для ремонту локомотива;

- витрати на поповнення до комплекту інструменту та інвентарю замість зношеного;
- витрати на електроенергію та паливо, яка витрачена на випробування двигунів і для обкатування;
- інші витрати.

Прямі виробничі витрати на заробітну плату, що пов'язані з виконанням і-го виду поточного ремонту та технічного обслуговування ТО-3/СО-1 ТРС визначаються,

$$B_{з.п}^{i} = H_i \cdot n_c \cdot c_i \cdot (1 + \kappa_{дод} + \kappa + \kappa_{пр.} + \kappa_{н.ч.} + \kappa_{св.д} + \kappa_{ін}), \quad (5.6)$$

де c_i - годинна тарифна ставка середнього розряду робіт з і-го виду сервісного обслуговування;

$n_{c.}$ - кількість секцій локомотива;

H_i - норма трудомісткості одиниці і-го виду поточного ремонту або ТО-3, чол-год.

$\kappa_{дод}$, $\kappa_{пр}$, $\kappa_{н.ч.}$, $\kappa_{св.д.}$, $\kappa_{ін.}$ - коефіцієнти, що враховують виплати відповідно, додаткової заробітної плати, премії, доплати за роботу у нічний час, святкові дні, ін.

Годинна тарифна ставка середнього розряду робіт визначається,

$$c_i = c_i^{м} + (c_i^{б} + c_i^{м}) \cdot (i_{сер} - i_{м}) \quad (5.7)$$

де $c_i^{б}, c_i^{м}$ - тарифна ставка відповідно, меншого цілого розряду, що передує середньому та більшого цілого розряду, що слідує за середнім, грн.;

$i_{сер}, i_{м}$ - відповідно, середній розряд та менший цілий розряд, що передує середньому.

Відрахування на єдиний соціальний внесок визначаються,

$$B^{i}_{с.з.} = \kappa_{с.з.} \cdot B^{i}_{з.п.}, \quad (5.8)$$

Прямі виробничі матеріальні витрати для здійснення одиниці і-го сервісного обслуговування визначаються нормою витрат матеріалів $В^{i}_{м}$, палива $В^{i}_{п}$ та електроенергії $В^{i}_{е}$ на секцію локомотива.

Таким чином прямі виробничі витрати на здійснення одиниці і-го виду сервісного обслуговування локомотива, грн, визначаються за формулою:

$$B_i^{пр.в} = H_i \cdot n_c \cdot c_i \cdot (1+\kappa_{дод} + \kappa_{пр.} + \kappa_{н.ч.} + \kappa_{св.д.} + \kappa_{ін.}) \cdot (1+\kappa_{с.з.}) + n_c \cdot B^{i}_{м} + n_c \cdot B^{s}_{п} + n_c \cdot B^{i}_{е} \quad (4.9)$$

Результати розрахунків за формулами 5.6 – 5.9 зведені до таблиць 5.1, 5.2.

Підсумкові результати розрахунків зведені у таблицю 5.3.

Таблиця 5.1 – Витрати на проведення СО локомотива

	СО-1	СО-2	СО-3	СО-4
H_i	7,5	115	285	2100
n_c	1	1	1	1
Сер. розряд	4	4,1	4,3	4,4
$С^{м}_{і}$	31,67	31,67	31,67	31,67
$С^{б}_{і}$	39,93	39,93	39,93	39,93
$і_м$	4	4	4	4
$С_і$	31,67	32,50	34,15	34,97
$к_д$	0,68	0,68	0,68	0,68
$В^{i}_{зп}$	12237,29	31118,17	240948,29	434796,77
$В^{i}_{сз}$	2692,20	6846,00	53008,62	95655,29
$В^{i}_{м}$	6100	12613	180510	419090
$В^{i}_{пр.в}$	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06

Таблиця 5.2 - Результати визначення поточних витрат на одиницю поточного ремонту та технічного обслуговування локомотива, грн.

Серія локомотива	Прямі виробничі витрати на одиницю виду роботи з утримання локомотива в технічно справному стані			
	СО-1	СО-2	СО-3	СО-4
1	3	4	5	6
ТЕ33АС	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06

5.3 Визначення загальної вартості життєвого циклу тепловоза ТЕ33АС

Попередні розрахунки складових вартості життєвого циклу стали основою для визначення загальної вартості життєвого циклу ТРС при експлуатації на вибраній дільниці, результати яких наведено у таблиці 5.1. За даними таблиці будується графік вартості життєвого циклу за роками.

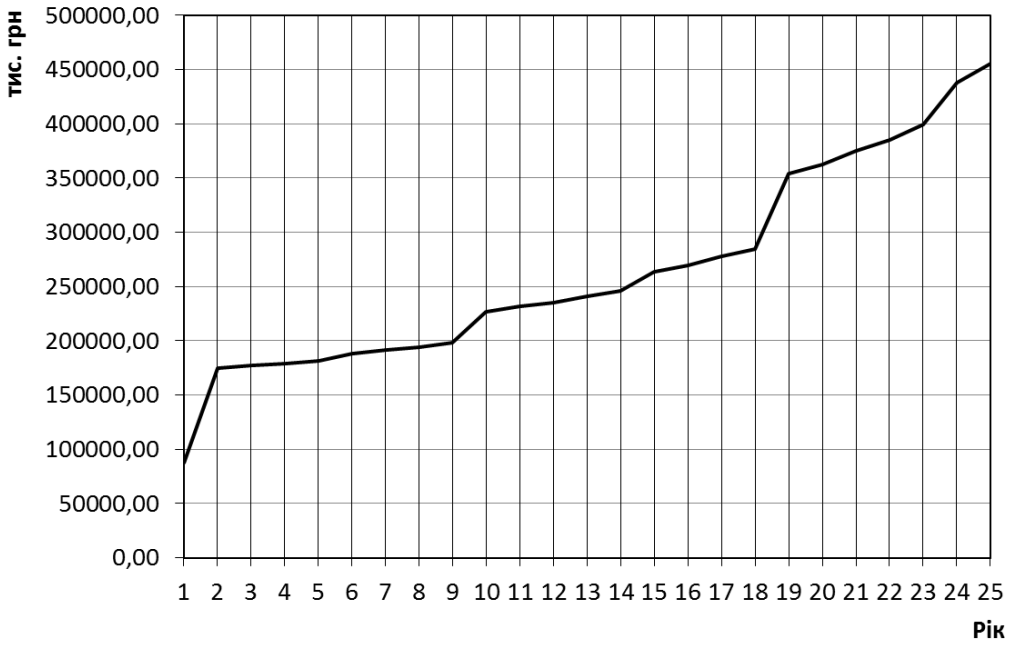


Рисунок 5.1 - Зміна вартості життєвого цикл

Таблиця 5.3 - Визначення витрат на проведення поточних ремонтів ПР-3, ПР-2 ПР-1 та технічних обслуговувань ТО-3 тепловоза за роками ЖЦ

Рік життєвого циклу	Вид та кількість робіт з утримання локомотива в технічно справному стані				Прямі виробничі витрати на проведення одиниці роботи, грн.				Сума витрат на проведення роботи з утримання локомотива в технічно справному стані за рік, грн.				Всього витрат, грн.
	СО-1	Сервісне обслуговування			СО-1	Сервісне обслуговування			СО-1	Сервісне обслуговування			
		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	17	3	1	0	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	451982,02	1293308,06
2	17	3	1	1	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	949542,06	1790868,10
3	17	3	1	0	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	451982,02	1293308,06
4	17	3	1	1	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	949542,06	1790868,10
5	17	3	1	0	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	451982,02	1293308,06
6	17	3	1	1	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	949542,06	1790868,10
7	17	3	1	0	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	451982,02	1293308,06
8	17	3	1	1	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	949542,06	1790868,10
9	17	3	1	0	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	451982,02	1293308,06
10	17	3	1	1	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	949542,06	1790868,10

Продовження таблиці 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
11	17	3	1	0	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	451982,02	1293308,06
12	17	3	1	1	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	949542,06	1790868,10
13	17	3	1	0	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	451982,02	1293308,06
14	17	3	1	1	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	949542,06	1790868,10
15	17	3	1	0	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	451982,02	1293308,06
16	17	3	1	1	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	949542,06	1790868,10
17	17	3	1	0	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	451982,02	1293308,06
18	17	3	1	1	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	949542,06	1790868,10
19	17	3	1	0	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	451982,02	1293308,06
20	17	3	1	1	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	949542,06	1790868,10
21	17	3	1	0	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	451982,02	1293308,06
22	17	3	1	1	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	949542,06	1790868,10
23	17	3	1	0	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	451982,02	1293308,06
24	17	3	1	1	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	949542,06	1790868,10
25	17	3	1	0	21029,49	50577,17	474466,91	949542,06	357501,35	145055,31	338769,37	451982,02	1293308,06

Висновки

Проведено порівнянний аналіз показників тепловозів, які експлуатуються у наступний час (2ТЕ116) та тепловозів ТЕ33АС. Проведені розрахунки для ділянки обігу 682 км, дозволили визначити потребу локомотивного парку, загальні витрати на експлуатацію, витрати на паливо, ремонт та утримання бригад. За результатами розрахунків впровадження тепловозів ТЕ33АС дозволило:

– зменшити експлуатаційний парк для задоволення потреб обслуговування ділянки обігу, зменшити штат локомотивних бригад;

– збільшити максимальну масу поїзда, яка обмежується довжиною приймально-відправних колій, відповідно – зменшити річну роботу локомотивів, збільшити оберт, збільшити добову продуктивність локомотивів;

– умови експлуатації ТЕ33АС дали змогу відказатися від ТО-2, перейти на сервісне обслуговування, що в свою чергу допомогло зменшити відсоток несправних локомотивів;

– досліджено залежність коефіцієнта питомої витрати палива під час руху з рівномірною швидкістю від позиції контролера машиніста, що дозволило зменшити витрату експлуатаційних матеріалів (палива, піску, охолоджуючої води, мастила).

Список використаних джерел

1. Альжанов Б.Б., Бакит Б.Г. Тепловоз ТЭ33А виробництва АО «Локомотив құрастыру зауыты». Устрій, призначення вузлів та агрегатів. Підручник для проф. навчання. - Астана: ЛКЗ, 2012. - 247 с.

2. Бабанін О. Б., Жалкін С. Г. Організація та технологія експлуатації локомотивів: Конспект лекцій. - Харків: УкрДУЗТ, 2017. - 54 с.

3. Бабанін О. Б., Жалкін С. Г. Організація технічних обслуговувань локомотивів: Конспект лекцій. - Харків: УкрДУЗТ, 2017. - Ч. 2. - 38 с.

4. Боднар Б.Є., Капіца М.І., Афанасов А.М., Кислий Д.М. Визначення енергозберігаючих режимів розгону поїздів // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту. залізн. трансп. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 5. – С. 40–52.

5. Боднарь Б.Е., Босов А.А., Бобирь Д.В. О незрівняних варіантах в задачі тягових розрахунків // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту. залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 12. – С. 57–59.

6. Кислий Д.М. Визначення енергозберігаючих режимів ведення поїздів // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту. залізн. трансп. – Дніпропетровськ, 2016. – Вип. 1. – С. 71–84.

7. Комплексна програма оновлення рухомого складу на 2008-2020 роки,: затверджена наказом Міністерства транспорту та зв’язку від 14.10.2008 №1259. - 45 с.

8. 8. Wabtec Corporation. First GE Transportation Locomotive Enters Service with Ukrainian Railways [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу: Wabtec Corporation – офіційна публікація

9. Позднякова Л.О., Котик В.В., Котик В.О., Куделя В.І Методичні рекомендації до розрахунку економічної частини дипломного проекту для студентів механіко-енергетичного факультету усіх форм навчання. – Харків.: УкрДУЗТ, 2020. -19 с.

10. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування рухомого складу АТ «Укрзалізниця» (локомотиви та моторвагонний рухомий склад) ухвалене на засіданні правління АТ «Укрзалізниця від 01.05.2023

11. Правила технічного обслуговування та поточного ремонту тепловозів 2ТЕ116 / наказ ЦТ-0043. – К: Укрзалізниця, 2002. – 323 с.

12. Яковенко В.Г., Мирошниченко Ю.В., Моцна І.В., Жердєв М.Д. Методичні вказівки до розрахунку економічної частини дипломного проекту. для студентів спеціальності «Залізничний транспорт» за освітньою програмою «Локомотиви та локомотивне господарство» усіх форм навчання. –Харків.: УкрДУЗТ, 2020. - 46 с.

13. Scheepmaker G. M., Goverde R. M. P., Kroon L. G. Review of energy-efficient train control and timetabling // European Journal of Operational Research. – 2017. – Vol. 257, No. 2. – P. 355–376. Наукова публікація (Erasmus University Repository)

Додатки

Додаток А

Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. MicroCAD-2026 373

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ТЯГОВИХ ПЕРЕДАЧ

Бобрицький С.В.[1] , Анацький О.О.[2] , Кіріяк Ю.Ю.[3] , Мацуй А.С.[2] , Бобрицький О.В.[4]
1Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м.Харків
2Український державний університет залізничного транспорту, м.Харків
3АТ «Укренергомашини», м. Харків
4КП «Харківський метрополітен» м. Харків

Однією з головних умов, що забезпечують довговічність зубчастої передачі, є максимальна повнота поздовжнього контакту зубців у навантаженому стані. Зменшення поздовжнього контакту, або, інакше кажучи, робочої довжини зубців, призводить до значного збільшення питомих навантажень на зуб, передчасного його зносу та розвитку прогресивно зростаючих тріщин втоми. Дослідження проводились для тягової передачі класу I (класифікація за [1]). В приводах цього класу електродвигун з одного боку жорстко спирається на вісь колісної пари через моторно-вісьові підшипники (МВП), а з іншого боку - опорними виступами через пружинну підвіску на підресорену раму візка. Тяговий редуктор розташований на вісі колісної пари. Встановлено, що на зменшення контакта за довжиною зубців впливають наступні фактори: − згин вісі колісної пари; − згин вала якоря електродвигуна; − закручування вісі колісної пари та вала якоря електродвигуна; − перекіс вала якоря за рахунок зазорів в МВП та в підшипниках вала якоря; − похибки виготовлення та монтажу зубчастих коліс. З урахуванням наведених факторів були встановлені кути перекоса шестерні та зубчастого колеса та визначена контактна частина довжини зубця. Результати досліджень показали, що можливими шляхами збільшення контакта зубців за довжиною є: 1. виготовлення «бочкоподібного» криволінійного в плані профіля зубця; 2. зкошений або клиновий несиметричний зуб, що має один прямолінійний зкос на кожній стороні; 3. забезпечення раціонального підбору зазорів в МВП до значень, що будуть забезпечувати умови змащення; 4. вибір матеріалів вкладишей МВП з меншою інтенсивністю зносу, ніж знос зубців; 5. забезпечення своєчасної заміни вкладишей МПВ в експлуатації.

Додаток Б

АКТ

перевірки кваліфікаційної роботи магістра

на наявність ознак академічного плагіату

Відповідно до даних сервісу Strikeplagiarism.com кваліфікаційна робота магістра на тему: «Розроблення рекомендацій щодо вибору раціональних режимів ведення поїздів для підвищення паливної економічності тепловозів 2ТЕ33АС.» автора: Мацуя Антона Сергійовича містить 35,76 % запозичень. Ознаки академічного плагіату – відсутні.

Перевірку виконав

Ст. викладач кафедри експлуатації

та ремонту рухомого складу _____ Олександр АНАЦЬКИЙ

(підпис)

09.06.2026 р.