

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет “*Транспортна інженерія*”

Кафедра “*Локомотиви*”

“ДО ЗАХИСТУ”

Зав. кафедрою \_\_\_\_\_ Борис БОДНАР

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи *магістра*

на тему: “**Поліпшення експлуатаційних показників тепловозів за рахунок їх модернізації**”

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

Виконав: студент групи *ЛГ2226*

\_\_\_\_\_ Владислав ГОЛОВАТИЙ

Керівник \_\_\_\_\_ Борис БОДНАР

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Людмила КОЛОДІЙ

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

Студент \_\_\_\_\_

Дніпро, 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет “Транспортна інженерія”

Кафедра “Локомотиви”

“ДО ЗАХИСТУ”

Зав. кафедрою Б. Боднар Борис БОДНАР

“ 16 ” 08 2024 р.

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи *магістра*

на тему: “Поліпшення експлуатаційних показників тепловозів за рахунок їх модернізації”

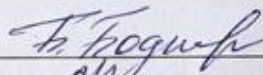
за освітньою програмою: “Локомотиви та локомотивне господарство”  
зі спеціальності 273 “Залізничний транспорт”  
галузі знань 27 “Транспорт”

Виконав: студент групи ЛГ2226



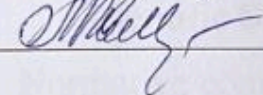
Владислав ГОЛОВАТИЙ

Керівник



Борис БОДНАР

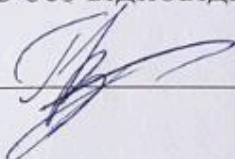
Нормоконтролер



Людмила КОЛОДІЙ

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

Студент



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

Faculty “*Transport engineering*”

Department “*Locomotives*”

EXPLANATORY NOTE

to Master’s Thesis

*master*

on the topic: “**Improvement of operational indicators of diesel locomotives due to their modernization**”

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

Done by the student of the group *LG2226*:

Vladyslav HOLOVATYI

Scientific Supervisor: Borys BODNAR

Normative controller: Liudmyla KOLODII

Dnipro, 2024

## РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему «Поліпшення експлуатаційних показників тепловозів за рахунок їх модернізації» у загальному обсязі 93 аркуші розрахунково-пояснювальної записки і 6 аркушів демонстраційного матеріалу складається з 5 розділів. Магістерська робота містить: 16 рисунків та 19 таблиць. Під час підготовки магістерської роботи було використано 18 наукових джерел, перелік яких наведено у розділі «Список літератури».

Об'єктом дослідження в дипломній магістерській роботі виступають техніко-економічні характеристики тепловоза, а метою дослідження – поліпшення експлуатаційних показників тепловозів за рахунок їх модернізації при заміні силової енергетичної установки. Предмет дослідження – тягові та експлуатаційні параметри тепловоза.

Для досягнення поставленої мети в дипломній магістерській роботі запропоновано провести модернізацію тепловоза серії 2М62 з використанням нової силової установки. Дана модернізація дозволить збільшити секційну потужність тепловоза з 1470 кВт до 2254 кВт (по дизелю) та з 1090 кВт до 1640 кВт (по дотичній потужності), збільшити вагу поїзда з 4400 т до 6250 т, покращити техніко-економічні показники використання тепловоза.

Під час вибору дизеля для модернізації тепловоза ми розглянули загальні відомості про дизелі й виконали порівняльний розрахунок дизелів 14Д40 та EMD 16-645 з визначенням показників роботи цих дизелів. Для модернізованого тепловоза ми виконали розрахунок техніко-економічних характеристик. При поліпшенні показників роботи локомотивів ми обрали ділянку й виконали розрахунок показників роботи локомотивів на підставі тягових розрахунків. Питомий показник витрати палива для тепловоза 2М62 – 14,4 кг/10<sup>4</sup>ткм; для тепловоза 2М62(М) – 12,6 кг/10<sup>4</sup>ткм

Ключовими словами в дипломній магістерській роботі являються: поліпшення, модернізація, силова установка, потужність, вага поїзда, техніко-економічні характеристики, тягові розрахунки, витрата палива.

					0032.226321.000.03МР.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ПИТАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЗІВ СЕРІЇ 2М62 СУЧАСНИМИ СИЛОВИМИ УСТАНОВКАМИ.....	9
1.1 Загальна характеристика тепловозів серії 2М62 .....	9
1.2 Обґрунтування необхідності проведення модернізації тепловозів серії 2М62.....	12
1.3 Огляд досвіду модернізації тепловозів серії 2М62 .....	14
1.4 Обґрунтування вимог на впровадження модернізованих тепловозів на підставі показників надійності та експлуатаційних характеристик.....	20
2 ПОРІВНЯЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ДИЗЕЛІВ 14Д40 ТА EMD 16-645.....	27
2.1 Загальні відомості про дизель 14Д40 та його характеристика .....	27
2.2 Визначення показників роботи дизелів 14Д40 та EMD 16-645 .....	27
3 РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕРНІЗОВАНОГО ТЕПЛОВОЗА .....	33
3.1 Визначення основних параметрів тепловоза з дизелем EMD 16-645 .....	33
3.2 Визначення параметрів тягового осьового редуктора .....	36
3.3 Розрахунок і побудова електромеханічних характеристик тягового електродвигуна проектного тепловоза .....	39
3.4 Розрахунок і побудова електротягових характеристик колісно-моторного блока.....	43
3.5 Розрахунок і побудова тягової характеристики тепловоза.....	45
4 ПОЛІПШЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ЛОКОМОТИВІВ ЗА РАХУНОК МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЗІВ .....	49
4.1 Вибір ділянки для поліпшення показників роботи локомотивів .....	49
4.2 Розрахунок показників роботи локомотивів на підставі тягових розрахунків.....	49

					<i>0032.226321.000.03MP.ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Поліпшення експлуатаційних показників тепловозів за рахунок їх модернізації</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	<i>Баднар</i>					Н	5	93
Перевір.	<i>Головатий</i>					<i>УДУНТ, гр. ЛГ2226</i>		
Реценз.								
Н. Контр.	<i>Колодій</i>							
Затверд.	<i>Баднар</i>							

5 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЗІВ СЕРІЇ 2М62 З ВИКОРИСТАННЯМ НОВОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ .....	80
5.1 Економічне обґрунтування проведення модернізації .....	80
5.2 Розрахунок економічної складової модернізації тепловозів серії 2М62 з використанням нової силової установки .....	81
5.3 Розрахунок річної економічної ефективності .....	85
ВИСНОВКИ .....	90
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	92

## ВСТУП

Залізниці України відіграють значну роль в державній економіці. Вони складають основу транспортної системи країни і покликані забезпечити якісне, повне і своєчасне задоволення потреб населення і господарства по перевезенням. Географічне розташування України передбачає створення транзитних транспортних коридорів, в першу чергу для вантажного руху. Якщо не використовувати цю вигоду, значить позбавити себе можливості поповнювати бюджет залізниць, державний бюджет та віддалюватись від мети інтеграції в залізничні лінії Європи.

Прогрес науки та техніки на залізничному транспорті пов'язаний з розвитком локомотивного господарства. В ньому зосереджена значна частина загальної вартості основних фондів залізниць і на його долю припадає близько третини експлуатаційних витрат, які витрачаються на перевезення пасажирів і вантажів [1].

Перспектива розвитку локомотивного господарства пов'язана з удосконаленням системи експлуатації, ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу, нормуванням режиму праці локомотивних бригад, підвищенням надійності функціонування ланок локомотивного господарства і безпеки [1]. Значну роль при забезпеченні процесу перевезень пасажирів і вантажів відіграє організація постачання матеріалами та запасними частинами для проведення планово-попереджувального ремонту тягового рухомого складу.

Однією з найважливіших задач локомотивного господарства є підвищення ефективності процесу перевезень за рахунок збільшення швидкості руху, маси складу, розвитку та технічного переоснащення локомотивних депо.

На сьогодні одним з головних напрямів при рішенні проблем експлуатації парку старіючих тепловозів, а також оновлення та капітального ремонту є їх комплексна модернізація, яка передбачає встановлення нових сучасних силових енергетичних установок, енергозаощаджуючого обладнання та систем керування. На сьогодні такі компанії, як «Дженерал Моторс» та «Катерпіллер» приймають

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

участь у глибокій модернізації тепловозів серій М62, 2М62, ЧМЕЗ.

Досвід експлуатації модернізованих за кордоном тепловозів на Литовській залізниці показує, що проведення комплексної модернізації тепловозів серії ЧМЕЗ дає змогу заощадити паливо-енергетичні ресурси – економія палива сягає близько 32%, масла – 69%. До того ж має місце збільшення вагової норми поїзда на 20%, зростання міжремонтних пробігів на 30%, підвищена експлуатаційна надійність локомотивів, поліпшені умови праці локомотивних бригад, зменшено викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище, відповідно до норм Євросоюзу.

Отже, модернізація тягового рухомого складу, технічне оснащення ремонтних виробництв на сьогодні є одним із найважливіших задач вітчизняного залізничного транспорту.

Модернізація рухомого складу в комплексному проекті потребує значних коштів для її реалізації. На ряду з нею для проведення перевізного процесу пасажирів та вантажів можна проводити удосконалення технологічних операцій ремонту окремих вузлів і агрегатів, яке не потягне за собою значних витрат.

Мета даної магістерської роботи полягає в поліпшенні якісних показників роботи локомотивів при модернізації тягового рухомого складу з використанням сучасних силових енергетичних установок.

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

# 1 АНАЛІЗ ПИТАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЗІВ СЕРІЇ 2М62 СУЧАСНИМИ СИЛОВИМИ УСТАНОВКАМИ

## 1.1 Загальна характеристика тепловозів серії 2М62

Двосекційний тепловоз серії 2М62 потужністю 2х1470 кВт з електричною передачею постійного струму призначений для роботи з вантажними поїздами на залізницях з шириною колії 1520 і 1435 мм. Конструкція тепловоза розрахована на роботу при зовнішніх температурах від -40 до +40°C. Управління тепловозом можна здійснювати з будь-якої кабіни управління, які знаходяться в обох секціях [2].

Кузов і рама зі встановленими на ній силовим і допоміжним обладнанням спираються на два тривісні візки. Рама тепловоза представляє з себе зварну конструкцію із двох двотаврових балок. Тепловоз обладнаний ударно-тяговим пристроями з обох сторін. На раму тепловоза встановлений кузов, який складається з декількох частин, які скріпляються між собою під час збирання.

В приміщенні кожної кабіни машиніста розміщений пульт управління, обладнаний пристроями, які забезпечують управління тепловозом і контроль за роботою силової установки. Для створення нормальних умов обслуговування та експлуатації кабіна машиніста і кузов мають шумоізоляційну обшивку. По середині кузова в дизельному приміщенні на рамі тепловоза розміщена силова установка, яка складається з дизеля та тягового генератора.

Дизель представляє собою двотактний дванадцятициліндровий двигун внутрішнього згорання з V-подібним розміщенням циліндрів і клапанно-щілинною продувкою. Рама має піддон, який служить резервуаром для масла. В кришці циліндра розміщені чотири випускні клапани, форсунки й індикаторний вентиль. Втулка циліндра підвішена до кришки на шпильках. Продувка і зарядка циліндра повітрям проходять через продувочні вікна по втулці циліндра, а випуск відпрацьованих газів – через випускні клапани. Паливна система високого тиску складається із блочного дванадцятиплунжерного насоса золотникового типу і дванадцяти форсунок закритого типу, з'єднаних із нагнітаючими штуцерами насоса форсуночними трубками. Дизель обладнаний об'єднаним регулятором з

					0032.226321.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

пусковим сервомотором, а також відцентровим кінцевим вимикачем. Система змащування дизеля циркуляційна, під тиском. Система охолодження дизеля – водяна, примусова, замкнутого типу. Для забезпечення розрідження дизеля в картері та в інших порожнинах, зв'язаних з ним, дизель обладнаний системою вентиляції. Тяговий генератор представляє собою електричну машину постійного струму з незалежним збудженням. Масляна система призначена для подачі масла для змащення і охолодження деталей дизеля, гідроприводу вентилятора і заднього розподільчого редуктора, а також для живлення гідроприводу і автоматичного приводу гідromуфти.

Вентилятор холодильної камери – осьовий, призначений для створення потоку повітря, який обдуває радіаторні секції холодильної камери. Рама тепловоза спирається на два тривісні візки через опорно-повертаючий пристрій, який служать для передачі вертикального навантаження на візок. Обидва візки однакові по конструкції, складаються із рами, пружного підвішування, опорно-повертаючих пристроїв, моторно-колісного блоку і важільної передачі. Гальмівна важільна передача призначена для передачі зусилля від гальмівних циліндрів до колодок. Вона забезпечує односторонній натиск гальмівних колодок на бандаж колісної пари. Тепловоз обладнаний пневматичним гальмом для гальмування тепловоза і поїзда й ручним гальмом для загальмовування одиночного локомотива на стоянці. Гальмівна система тепловоза забезпечується стисненим повітрям від компресора, який приводиться в дію від вала тягового генератора через пластинчасту муфту. Пісочна система тепловоза забезпечує подачу піску під першу та четверту колісні пари при русі вперед й під третю і шосту колісні пари при русі назад. Для гасіння пожежі тепловоз обладнаний стаціонарною піногасною установкою, яка розміщена в дизельному приміщенні, та автоматичною установкою пожежної сигналізації, при спрацюванні якої в кожній кабіні машиніста подаються світлові і звукові сигнали. Все допоміжне обладнання тепловоза працює від мережі постійного струму 75В. Для забезпечення безпеки руху на тепловозі встановлена локомотивна сигналізація з автостопом неперервної дії і контролем швидкості, а також для зв'язку локомотивної бригади

					<i>0032.226321.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

з черговим на тепловозі є радіостанція [2].

Технічні характеристики тепловоза 2М62 наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики тепловоза серії 2М62

Найменування характеристики	Величина
Рід служби	вантажний
Осьова характеристика	2 х (3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub> )
Потужність, к.с.	2 х 2000
Число ведучих осей, од.	12
Вага екіпірованого тепловоза, т	240±3%
Навантаження від вісі на рейки, кН	200±3%
Конструкційна швидкість, км/год	100
Розрахункова сила тяги в тривалому режимі, кН	3924
Швидкість тривалого режиму, км/год	20,0
Найменший радіус кривих, м	75
Висота осі автозчепи над рівнем головки рейки, мм	1055
Діаметр колеса по колу кочення, мм	1050
Запаси палива, кг	2 х 3390
Запаси охолоджуючої рідини, кг	2 х 950
Запаси масла для змащування і охолодження дизеля, кг	2 х 800
Запаси піску, кг	2 х 600
Габарит, тип	02ВМ
Довжина по осях автозчепи, мм	17400
Ширина кузова (по каркасу), мм	2950
Висота, мм	4493
Шкворнева база, мм	8600
Колісна база візка, мм	4200

## 1.2 Обґрунтування необхідності проведення модернізації тепловозів серії 2М62

Інвентарний парк тепловозів серії 2М62 на залізницях України становить 105 одиниць, з яких в постійній експлуатації – приблизно 50 одиниць (47,6%), в не експлуатаційному парку – приблизно 47 одиниць (44,8%), на технічних обслуговуваннях і ремонтах – приблизно 8 одиниць (7,6%).

При нормативному терміні служби тепловозів серії 2М62 20 років, за його межами експлуатується вже 100% парку.

Основна проблема експлуатації даної серії тепловозів полягає в тому, що дизельні двигуни типу 14Д40 на тепловозах 2М62 відпрацювали термін служби, морально застарілі та зняті з виробництва.

Але дана серія тепловозів має міцний та надійний кузов та ходову частину. Тому технічно тепловози серії 2М62 можливо модернізувати з гарантованим додатковим ресурсом несучих конструкції на 20-25 років.

При капітальних ремонтах виконується відновлення дизельних двигунів до паспортних даних. За період з 2016 до 2023 років на Львівській залізниці проведено капітальні ремонти даної серії тепловозів у кількості 12 одиниць, що є мінімальною кількістю при потребі на кожен рік по 12 тепловозів.

З інвентарного парку виведені та списані найстаріші локомотиви, але ще експлуатуються тепловози М62, 2М62 80-х років випуску. Частина тепловозів віком більше 25 років складає близько 60%, в тому числі близько 35% віком більше 30 років.

Технічні наслідки такого становища полягають в загальному старінні парку тепловозів серій М62, 2М62, як найбільш застарілих тепловозів, які відпрацювали свій ресурс закладений заводом-виробником. Як сумарний результат: зростання кількості відмов, пошкоджень, непланових ремонтів. Економічні наслідки – зростання експлуатаційних та невиробничих витрат, більша витрата палива та мастила порівняно з дизелями сучасного покоління, збільшення витратних матеріалів і запчастин.

					0032.226321.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12



обладнання). На другому місці ідуть електричне обладнання (електричні апарати, двомашинні агрегати типу А706, головні генератори типу ГП-312, синхронні підбуджувачі). Розподіл непланових видів ремонту обладнання зображено на рис. 1.1.

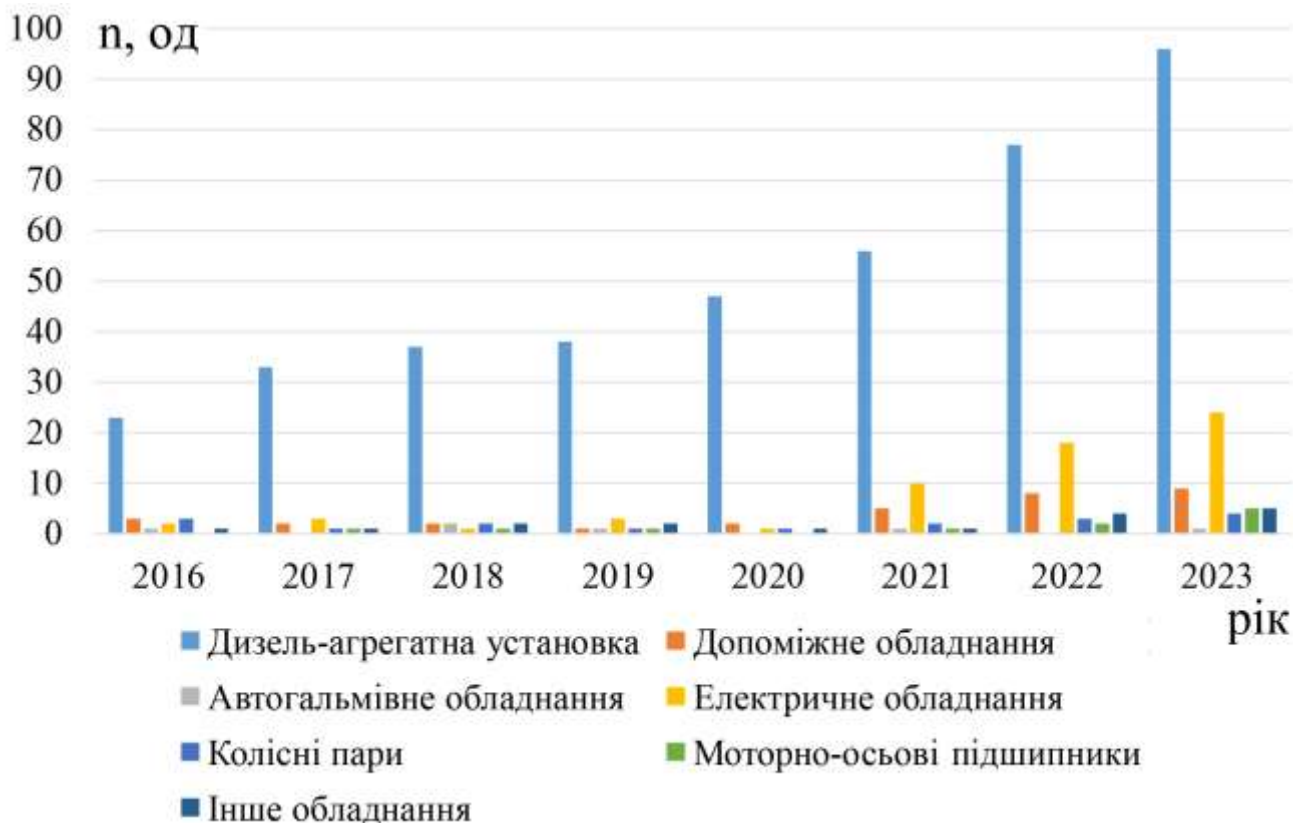


Рисунок 1.1 – Аналіз непланових ремонтів тепловозів 2М62

Отже, проведено аналіз непланових ремонтів тепловозів серії 2М62 в період 2016-2023 років і визначено основні їх причини – це є дизельна група та електрична апаратура. Виконання капітального ремонту з продовженням строку служби несучих конструкцій та заміна застарілого штатного тепловозного дизеля на сучасний економічний дизель з електричним обладнанням та апаратами надає можливість ввести в парк в середньому за 60% вартості нового, модернізований тепловоз з високими технічними та експлуатаційними характеристиками.

### 1.3 Огляд досвіду модернізації тепловозів серії 2М62

В Європі та СНД набутий значний досвід модернізації тепловозів із заміною двигунів. Так в Казахстані та на Якутській залізниці реалізовані проекти

комплексної модернізації тепловозів TE10, а в республіці Польща тепловозів ST44 (аналог М62), із встановленням дизелів компанії «Дженерал Електрик» та «Дженерал Моторс» (США). Також модернізують тепловози серій TE10, М62, ТЕМ із встановленням дизелів типу Д49. В Східній і Західній Європі реалізовано багато проектів модернізації тепловозів із встановленням нових дизелів «MTU» (Германія), «Катерпіллер» (США) тощо.

На протязі 2004-2009 років на залізниці Литви проведено комплексну модернізацію 22 од. тепловозів серії 2М62 із заміною штатного силового обладнання на дизеля виробництва компанії «Катерпіллер» [2].

Досвід експлуатації модернізованих тепловозів на залізниці Литви показав, що після проведення комплексної модернізації тепловозів М62 економія палива складає близько 32%, масла – 69%, збільшення вагової норми поїзда на 20%, збільшення міжремонтних пробігів на 30%, збільшена експлуатаційна надійність локомотивів, покращені умови праці локомотивних бригад, зменшено викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище до норм Євросоюзу.

Модернізація тепловоза серії 2М62 передбачає [2]:

- капітальний ремонт екіпажної частини та тягових електродвигунів з глибоким відновленням ресурсу;
- дефектоскопію, посилення несучих конструкцій з продовженням строку служби;
- встановлення нового сучасного дизель-генератора з інжекторним впорскуванням палива з мікропроцесорною системою управління та діагностики;
- модернізацією кузова та кабіни машиніста;
- заміну допоміжного та встановлення додаткового обладнання.

Розроблені технічні умови передбачають:

- скорочення витрат на паливо та мастильних матеріали за рахунок зниження витрат палива 25-30% та мастила 60-70%;
- повна відповідність тепловоза, який модернізується, сучасним технічним, ергономічним та екологічним вимогам;
- підвищення надійності експлуатації тепловоза, силової енергетичної

					<i>0032.226321.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

установки та допоміжного обладнання;

- зниження експлуатаційних витрат на ремонт за рахунок збільшення міжремонтних періодів;
- зменшення часу простоїв на ремонт та технічне обслуговування;
- підвищення моторесурсу до першого капітального ремонту дизеля;
- покращення умови праці локомотивних бригад.
- продовження строку служби тепловозів серії М62 на 20 років.

Порівняння технічних характеристик дизельних двигунів (штатного і модернізованого) наведено у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Порівняння технічних характеристик дизельних двигунів

Показник	Тип дизеля	
	14Д40	EMD 16-645
Потужність, кВт	1470	2254
Кількість циліндрів	12	16
Система впорскування палива, тип	механічний	електронний
Тактність дизеля	2	2
Частота обертів в режимі холостого ходу, хв <sup>-1</sup>	400	300
Максимальна частота обертів, об./хв.	750	904
Витрати палива в режимі холостого ходу, л/год.	25	12
Витрати палива на максимальній потужності г/кВт·год.	230	199
% витрат масла від палива	1,8	0,48

Для визначення економічної доцільності модернізації тепловозів у період з 23.04.2010 по 22.05.2010 було проведено порівняльні випробування штатного тепловозу М62 та М62М виробництва Rail Polska Sp z.o.o. з дизелем «Дженерал Моторс». В результаті проведених випробувань визначено, що питомі витрати



М62 новим силовим обладнанням. На даний час експлуатація тепловозів показує хороші результати, експлуатаційні та ремонтні характеристики.

Силами локомотивного депо під час проведення модернізації виконується:

– модернізація кузова під встановлення нового силового обладнання, що включає в себе видалення елементів кузова, супортів, стійок, опор і т.д., виготовлення додаткових технологічних отворів, встановлення нових елементів під силове та допоміжне обладнання;

– демонтаж високовольтної камери та шахти холодильника з секціями охолодження;

– демонтаж двигуна, генератора та допоміжного обладнання;

– демонтаж електричних приладів та приладів безпеки та монтаж у модернізовані кабіни, електроустаткування;

– підготовка каналів до нового електроустаткування;

– закриття зайвих отворів у стінках та полу кузова;

– ремонт зовнішньої частини кузова локомотива;

– прокладка електрокабелів від високовольтної камери до тягових двигунів;

– монтаж двигуна та генератора, розподільчих шаф, агрегатів, глушника та ущільнення його з'єднання із дахом;

– ремонт та монтаж дверей локомотива;

– ремонт автозчепного пристрою СА-3 та екіпажної частини [3];

– модернізацію кабін машиніста, що включає в себе вирізання зайвих елементів, монтаж впускних вентиляторів кабіни, приварювання листів опори елементів кабіни, монтаж підлоги під рамами пультів керувань, листів для закривання полу під рамою, вирізання отворів для електричних з'єднань, вирізання пластин, з'єднання, ущільнення термо- та звукоізоляційним матеріалом стінок; очисні та фарбувальні роботи по кузову, екіпажній частині та кабін машиніста.

Порівняльні характеристики тепловозів 2М62 до і після модернізації наведені в табл. 1.5.

					0032.226321.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Таблиця 1.5 – Порівняння технічних характеристик тепловозів

Назва показника	Показник по серіях тепловозів	
	2М62(М)	2М62
Ширина колії, мм	1520	1520
Осьова формула	2 х (3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub> )	2 х (3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub> )
Потужність двигуна, кВт	2254	1470
Максимальна робоча маса локомотива, т	240	240
Максимальне осьове навантаження на рейку, кН	200	200
Довжина локомотива, м	34,8	34,8
Ширина локомотива, м	2,95	2,95
Висота локомотива, м	4,615	4,615
Максимальна експлуатаційна швидкість, км/год	100	100
Максимальна конструкційна швидкість, км/год	100	100
Максимальна сила тяги при русанні, кН	840,5	700,4
Сила тяги у тривалому режимі, кН	549,4	392,4
Тип пневматичного гальма	Ерлікон	Матросов
Запас палива, л	3900	3900
Запас піску, кг	600	600
Місткість системи змащувального моторного масла, л	800	800
Місткість системи охолодження двигуна внутрішнього згорання, л	962	950

Проведення модернізації в умовах локомотивного депо є не тільки вигідним та економічно доцільним, але значно покращить як експлуатаційні, так і ремонтні показники, технічне оснащення, дозволить депо відповідати вимогам сучасного високотехнологічного підприємства однієї з основних галузей економіки країни - залізничного транспорту.

					0032.226321.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

За результатами виконаного техніко-економічного обґрунтування та експлуатації аналогічних тепловозів на залізниці Польщі термін окупності модернізованого тепловоза М62 складає 5,2 роки.

Водночас, після виконання модернізації і подальшій експлуатації модернізованих тепловозів в депо Львівської залізниці, значно покращиться технічна база депо, адже для обслуговування даних тепловозів, депо повинні будуть дооснащені обладнанням та пристосуваннями, що необхідні для підтримання в справному стані нового силового обладнання, компресора, засобів радіозв'язку, системи АЛСН-МУ та іншого.

Як бачимо, проведення модернізації в умовах локомотивного депо є не тільки вигідним та економічно доцільним, значно покращить як експлуатаційні, так і ремонтні показники, технічне оснащення депо, дозволить депо відповідати вимогам сучасного високотехнологічного підприємства однієї з основних галузей економіки країни – залізничного транспорту.

#### **1.4 Обґрунтування вимог на впровадження модернізованих тепловозів на підставі показників надійності та експлуатаційних характеристик**

Вимоги до конструкції, будову і показники призначення тепловоза 2М62(М) визначаються Технічним завданням і документацією на локомотив. Прилади безпеки, автогальмівного обладнання, колісні пари і автозчепний пристрій повинні відповідати вимогам діючої нормативної документації Укрзалізниці.

Оцінка експериментально визначених показників, які характеризують експлуатацію, технічне обслуговування та ремонт модернізованих тепловозів 2М62(М) ґрунтується на порівнянні їх із допустимими значеннями.

Первинний облік експлуатаційних, ремонтних і економічних показників проводиться за існуючими формами обліку та статистичної звітності в системі Укрзалізниці в локомотивному депо.

Оцінка надійності в умовах експлуатації проводиться шляхом збору даних для аналізу і розрахунку показників. Експлуатаційними показниками вважаються:

- добовий, середньодобовий і загальний пробіг;

					0032.226321.000.03МР.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- експлуатаційна питома витрата палива;
- трудомісткість технічного обслуговування (ТО) і поточних ремонтів (ПР);
- середньотехнічна та дільничні швидкості;
- працездатність систем управління та діагностики, безпеки руху;
- працездатність систем оперативного виведення інформації;
- працездатність системи пожежної сигналізації;
- температурний режим у кабіні машиніста;
- види проведених технічних обслуговувань;
- кількість і характер позапланових ремонтів;
- доступність складальних одиниць для огляду;
- легкозамінність і взаємозамінність відмовлених деталей; пристосованість

до основних технологічних операцій при технічних обслуговуваннях та поточних ремонтах [4].

Кожен місяць (або при проведенні ТО-3, ПР-1, ПР-2) та після завершення встановленого пробігу комісійним оглядом оцінюється технічний стан: екіпажної частини; дизель-агрегатної установки і його систем; обладнання тягової передачі; обладнання, що входить в систему власних потреб; обладнання мікропроцесорних систем керування та діагностики, безпеки руху, виведення інформації та пожежної сигналізації.

На основі цих даних розраховуються наступні показники:

- безвідмовності:

а) для ремонтованих вузлів тепловоза: ймовірність безвідмовної роботи тепловоза –  $P(t)$ ; інтенсивність відмов –  $\lambda(t)$ ; середнє напрацювання до першої відмови –  $T_{cp}$ .

б) для неремontованих вузлів тепловоза: ймовірність безвідмовної роботи тепловоза –  $P(t)$ ; параметр потоку відмов –  $\omega(t)$ ; середнє напрацювання на відмову –  $T_o$ .

- ремонтпридатності. Для оцінки ремонтпридатності модернізованого

					<i>0032.226321.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

тепловоза 2М62(М) і його вузлів при проведенні ТО і ПР при наявності інформації повинні визначені наступні показники: перелік робіт, які проводяться на ТО і ПР; середня оперативна тривалість і трудомісткість ТО і ПР; середня тривалість і трудомісткість ТО і ПР.

На підставі визначених показників ремонтпридатності повинні бути розраховані:

- коефіцієнт готовності;
- коефіцієнт оперативної готовності;
- коефіцієнт легкознімності.

На підставі отриманих розрахункових даних виконується загальний аналіз надійності модернізованого тепловоза 2М62(М) як в цілому, так і за основними його вузлами: експлуатаційні витрати; зарплата локомотивних бригад; паливо; матеріали (масло, пісок вода).

Ймовірність безвідмовної роботи [4] по системах тепловоза 2М62(М) визначається як

$$P(t) = 1 - \frac{n_i}{\sum n_i}, \quad (1.1)$$

де  $n_i$  – кількість елементів, які відмовили,  $n_i = 2$  од.

$\sum n_i$  – загальна кількість елементів,  $\sum n_i = 100$  од.

$$P(t) = 1 - \frac{2}{100} = 0,98.$$

Частоту відмов визначаємо за формулою:

$$f(t) = \frac{\Delta m_i}{\Delta t \cdot \sum n_i}, \quad (1.2)$$

де  $\Delta m_i$  – кількість елементів, що відмовили в інтервалі  $\Delta t$ ,  $\Delta m_i = 2$  од.

					0032.226321.000.03МР.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f(t) = \frac{2}{100} = 0,02.$$

Інтенсивність відмов визначаємо за наступною формулою:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}; \quad (1.3)$$

$$\lambda(t) = \frac{0,02}{0,98} = 0,02.$$

Середнє напрацювання до першої відмови визначаємо за формулою:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda(t)}; \quad (1.4)$$

$$T_{cp} = \frac{1}{0,02} = 50.$$

Для оцінки ремонтпридатності тепловоза 2М62(М) і його вузлів при проведенні ТО і ПР повинні бути визначені наступні показники:

- середня сумарна тривалість ТО і ПР;
- середня сумарна трудомісткість ТО і ПР.

На підставі визначених показників ремонтпридатності розраховуємо такі комплексні кількісні показники надійності [4].

Коефіцієнт готовності, який визначати з наступної формули:

$$K_e = \frac{T_e}{T_e + T_p}, \quad (1.5)$$

де  $T_e$  – сумарний час експлуатації тепловоза в працездатному стані за аналізований період,  $T_e = 7200$  год;

$T_p$  – сумарний час простою тепловоза 2М62(М) на ТО і ПР за цей же період,

$$T_p = 600 \text{ год.}$$

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_2 = \frac{7200}{7200 + 600} = 0,923.$$

Коефіцієнт простою визначаємо за наступною формулою:

$$K_n = 1 - K_2; \quad (1.6)$$

$$K_n = 1 - 0,923 = 0,077.$$

Коефіцієнт технічного використання визначається з наступної формули:

$$K_{mv} = \frac{T_e}{T_e + T_p + T_{рез}}, \quad (4.7)$$

де  $T_{рез}$  – сумарний час знаходження тепловоза 2М62 (М) в резерві,

$$T_{рез} = 48 \text{ год.}$$

$$K_{mv} = \frac{7200}{7200 + 600 + 48} = 0,917.$$

На підставі отриманих розрахункових даних виконується загальний аналіз надійності модернізованого тепловоза 2М62(М) як в цілому, так і за основними його вузлів.

Відомості про відмови модернізованого тепловоза 2М62(М) і його складальних одиниць за аналізований період заносяться в базу даних ПЕОМ для статистичної обробки за спеціальною розробленою програмою.

За результатами статистичної обробки даних маршрутних листів поїздок локомотивних бригад і відомостей журналу експлуатаційних випробувань визначаються [5, 6]

- добовий пробіг тепловоза 2М62(М), км;
- середньодобовий пробіг тепловоза 2М62(М), км/добу;
- загальний пробіг, км;
- експлуатаційна витрата палива, кг;

					0032.226321.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

– питомий експлуатаційний розхід палива, кг/т·км брутто.

Середньодобовий пробіг тепловоза визначаємо за формулою:

$$S_{\partial n} = \frac{\sum m_s}{M_e \cdot t}, \quad (1.8)$$

де  $\sum m_s$  – лінійний пробіг тепловозів 2М62 (М),  $\sum m_s = 240000$  км;

$M_e$  – експлуатований парк тепловозів 2М62 (М), зайнятих у вантажних перевезеннях,  $M_e = 2$  од;

$t$  – число діб за звітний період,  $t = 356$  діб.

$$S_{\partial n} = \frac{240000}{2 \cdot 356} = 337 \text{ км.}$$

Загальний пробіг визначаємо шляхом послідовного підсумовування добових пробігів.

Експлуатаційну витрату палива в кг за поїздку по вимірювальному приладі рівня палива на початку і в кінці робочої зміни визначаємо за формулою:

$$G_n = G_{nn} - G_{нк}, \quad (1.9)$$

де  $G_{nn}$  – кількість палива на початку поїздки, кг,  $G_{nn} = 4000$  кг;

$G_{нк}$  – кількість палива на кінець поїздки, кг,  $G_{нк} = 3700$  кг.

$$G_n = 4000 - 3700 = 300 \text{ кг.}$$

Працездатність системи управління та діагностики, безпека руху, оперативного виведення інформації та пожежної сигналізації оцінюється з аналізу змісту записів в Журналі технічного стану і Книзі зауважень машиністів. Температурний режим вимірюється прямим вимірюванням температури повітря за окремою методикою випробувань. Види проведених технічних обслуговувань, кількість і характер пошкоджень і позапланових ремонтів встановлюється за записами книги ремонтів (форма ТУ-28, ТУ-29).

					0032.226321.000.03МР.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пошкодження обладнання з причин класифікуються за ДСТУ «Надійність в техніці. Основні поняття. Терміни та визначення». Пошкодження обладнання в складних випадках, у т. ч., що спричинили розбирання вузлів, комісійно оцінюються відповідними фахівцями із складанням актів.

Визначення якісних характеристик ремонтпридатності і експлуатаційної технологічності тепловоза 2М62(М) (доступність складальних одиниць для огляду, легкознімність і взаємозамінність деталей, які відмовили, пристосованість до основних технологічних операцій при ТО) здійснюється візуальним спостереженням за виконанням технологічних операцій обслуговування з використанням зауважень і пропозицій безпосередніх виконавців робіт та пропозицій локомотивних бригад. Оцінка результатів випробувань і аналіз показників надійності тепловоза 2М62(М) виконується шляхом порівняння отриманих величин з їх допустимими значеннями, зазначеними в ТЗ і в чинній нормативно-технічній документації Укрзалізниці.

					0032.226321.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

## 2 ПОРІВНЯЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ДИЗЕЛІВ 14Д40 ТА EMD 16-645

### 2.1 Загальні відомості про дизель 14Д40 та його характеристика

Дизель 14Д40 (12ДН23/30) – двотактний з наддуванням, потужність-1470 кВт, розташування циліндрів V-подібне. Дизель 14Д40 являє собою двотактний дванадцятициліндровий двигун простої дії із прямоточною клапанно-щілинною продувкою, із дворядним V-подібним розташуванням циліндрів і комбінованою двоступінчастою системою наддування. Блок циліндрів установлений на рамі дизель-генератора й закріплений болтами. Рама має піддон, службовий резервуаром для масла. У нижній частині до блоку циліндрів на сталевих підвісках підвішений колінчатий вал.

Повітропостачання циліндрів дизеля – двоступінчасте. Перший ступінь повітропостачання складається із двох відцентрових турбокомпресорів, повітря в які надходить через фільтри із правої й лівої сторони тепловоза. З компресорів повітря направляється в нагнітач об'ємного типу (другий ступінь), який нагнітає його в циліндри дизеля через ресивери й продувні вікна втулок циліндрів під тиском порядку 1,2 кг/см<sup>2</sup>.

### 2.2 Визначення показників роботи дизелів 14Д40 та EMD 16-645

Тепловозні двигуни внутрішнього згоряння із самозапалюванням належать до теплових двигунів. Теплова енергія в них перетворюється в механічну через різні газоподібні речовини: повітря, горючої суміші, продуктів згоряння палива, водяної пари й ін. Робота дизеля оцінюється більшою кількістю техніко-економічних, теплових, екологічних і інших показників [7].

Середній ефективний тиск  $p_e$  [8, 9] визначаються в МПа:

$$N_e = 2 \cdot 10^3 \frac{p_e V_h i n}{\tau}, \quad (2.1)$$

звідки

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$p_e = \frac{N_e \tau}{2 \cdot 10^3 V_h i n}, \quad (2.2)$$

де  $N_e$  – ефективна потужність дизеля, кВт;

$i$  – число циліндрів;

$n$  – частота обертання колінчатого вала,  $c^{-1}$ ;

$\tau$  – тактність дизеля;

$V_h$  – обсяг одного циліндра,  $m^3$ .

Визначаємо робочий обсяг одного циліндра [8, 9] в  $m^3$

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} S, \quad (2.3)$$

де  $D$  – діаметр циліндра, м;

$S$  – хід поршня, м.

$$V_h = \frac{3,14 \cdot 0,23^2 \cdot 0,3}{4} = 0,012 \text{ м}^3;$$

$$p_e = \frac{1472 \cdot 2}{2 \cdot 10^3 \cdot 0,012 \cdot 12 \cdot 12,5} = 0,817 \text{ МПа.}$$

Визначаємо середній індикаторний тиск [8, 9] в МПа:

$$P_i = \frac{p_e}{\eta_m}, \quad (2.4)$$

де  $\eta_m$  – механічний ККД дизеля.

$$p_i = \frac{0,817}{0,83} = 0,984 \text{ МПа.}$$

Визначаємо ефективний ККД дизеля:

					0032.226321.000.03MP.P3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$\eta_e = \frac{3600}{Q_H^P b_e}, \quad (2.5)$$

де  $Q_H^P$  – нижча теплота згоряння дизельного палива [8], кДж/кг;

$b_e$  – питома ефективна витрата палива, кг/(кВт·год) [9].

$$\eta_e = \frac{3600}{42600 \cdot 0,231} = 0,366.$$

Визначаємо індикаторний ККД дизеля:

$$\eta_i = \frac{\eta_e}{\eta_m}; \quad (2.6)$$

$$\eta_i = \frac{0,366}{0,83} = 0,441.$$

Визначаємо питому індикаторну витрату палива, кг/(кВт·год):

$$b_i = \frac{3600}{Q_H^P \eta_i}; \quad (2.7)$$

$$b_i = \frac{3600}{42600 \cdot 0,441} = 0,192 \text{ кг/(кВт·год)}.$$

Визначаємо витрату палива дизелем на номінальному режимі, кг/год:

$$B_2 = b_e N_e; \quad (2.8)$$

$$B_2 = 0,231 \cdot 1472 = 340 \text{ кг/год}.$$

Визначаємо кількості палива, що подавати в циліндр за кожний цикл, кг/цикл:

$$q_{ц} = \frac{B_2}{2 \cdot 3600 n_i}; \quad (2.9)$$

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$q_{ц} = \frac{340}{2 \cdot 3600 \cdot 12 \cdot 12,5} = 0,000315 \text{ кг/цикл.}$$

Визначаємо теоретично необхідну кількість повітря, необхідну для згоряння 1 кг палива, по складу палива в частках маси, кмоль/кг:

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{O}{32} \right), \quad (2.10)$$

де  $C, H, O$  – склад дизельного палива в частках маси.

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left( \frac{0,86}{12} + \frac{0,135}{4} - \frac{0,005}{32} \right) = 0,505 \text{ кмоль/кг.}$$

Теоретично необхідна кількість повітря, необхідне для згоряння 1 кг палива в кг/кг:

$$L_0' = m_B L_0, \quad (2.11)$$

де  $m_B$  – молекулярна маса повітря,  $m_B = 28,29$  кг/моль.

$$L_0' = 28,29 \cdot 0,505 = 14,28 \text{ кг/кг.}$$

Визначаємо сумарний коефіцієнт надлишку повітря:

$$\alpha_{\Sigma} = \phi \alpha, \quad (2.12)$$

де  $\phi$  – коефіцієнт продувки;

$\alpha$  – коефіцієнт надлишку повітря для згоряння.

$$\alpha_{\Sigma} = 1,5 \cdot 2,1 = 3,15.$$

Визначаємо вартувий витрата повітря дизелем, кг/год:

$$G_B = \alpha_{\Sigma} L_0' B_2; \quad (2.13)$$

$$G_B = 3,15 \cdot 14,28 \cdot 340 = 15293,88 \text{ кг/год.}$$

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Визначаємо секундну витрату повітря дизелем, кг/с:

$$G_c = \frac{G_B}{3600}; \quad (2.14)$$

$$G_c = \frac{15293,88}{3600} = 4,248 \text{ кг/с.}$$

Визначаємо кількість відпрацьованих газів в кг/год:

$$G_{\Gamma} = (\alpha_{\Sigma} L_O' + 1) B_2; \quad (2.15)$$

$$G_{\Gamma} = (3,15 \cdot 14,28 + 1) \cdot 340 = 15633,88 \text{ кг/год.}$$

Визначаємо кількість відпрацьованих газів в кг/с

$$G_{\Gamma}^{(c)} = \frac{G_{\Gamma}}{3600}; \quad (2.16)$$

$$G_{\Gamma}^{(c)} = \frac{15633,88}{3600} = 4,34 \text{ кг/с.}$$

Визначаємо кількість продуктів згоряння на 1 кг палива, кмоль/кг:

$$M_r = (\alpha_{\Sigma} - 0,21) L_O + \frac{C}{12} + \frac{H}{2}; \quad (2.17)$$

$$M_r = (3,15 - 0,21) \cdot 0,505 + \frac{0,86}{12} + \frac{0,135}{2} = 1,642 \text{ кмоль/кг.}$$

Визначаємо молекулярну масу відпрацьованих газів в кг/кмоль:

$$m_r = \frac{\alpha_{\Sigma} L_O' + 1}{M_r}; \quad (2.18)$$

$$m_r = \frac{3,15 \cdot 14,28 + 1}{1,642} = 28,003 \text{ кг/кмоль.}$$

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Розрахунок параметрів дизеля типу EMD 16-645 виконуємо за цією ж методикою. Результати розрахунків зводимо в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунків параметрів дизелів

Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Значення по типу дизеля	
			14Д40	EMD 16-645
Потужність	$N_e$	кВт	1470	2254
Ефективний ККД дизеля	$\eta_e$	-	0,366	0,372
Індикаторний ККД дизеля	$\eta_i$	-	0,441	0,448
Питома індикаторна витрата палива	$b_i$	кг/(кВт·год)	0,192	0,088
Годинна витрата палива дизелем на номінальному режимі	$B_z$	кг/год	340	199
Кількість палива, що надходить в циліндр за кожний цикл	$q_{ц}$	кг	0,000315	0,000184
Теоретично необхідна кількість повітря, необхідна для згоряння 1 кг палива	$L_0$	кмоль/кг	0,505	0,652
	$L_0'$	кг/кг	14,3	18,4
Годинна витрата повітря дизелем	$G_B$	кг/год	15294	19744
Секундна витрата повітря дизелем	$G_c$	кг/с	4,25	5,48
Годинна кількість відпрацьованих газів	$G_{Г}$	кг/год	15634	23970
Секундна кількість відпрацьованих газів	$G_{Г}^{(c)}$	кг/с	4,34	6,65
Кількість продуктів згоряння на 1 кг палива	$M_r$	кмоль/кг	1,64	1,56
Молекулярна маса відпрацьованих газів	$m_r$	кг/кмоль	28,0	26,4

### 3 РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕРНІЗОВАНОГО ТЕПЛОВОЗА

#### 3.1 Визначення основних параметрів тепловоза з дизелем EMD 16-645

Дотична потужність тепловоза [ ] визначається за формулою:

$$N_{\partial} = \frac{F_{\partial p} \cdot V_p}{3,6}, \quad (3.1)$$

де  $F_{\partial p}$  – розрахункова дотична сила тяги, кН;

$V_p$  – розрахункова швидкість, км/год.

Потрібна ефективна потужність дизеля [10]

$$N'_e = \frac{N_{\partial}}{\eta_n \cdot \beta_{\partial on} \cdot n_c}, \quad (3.2)$$

де  $\beta_{\partial on}$  – коефіцієнт, що враховує витрати енергії на привод допоміжних агрегатів тепловоза;

$\eta_n$  – ККД передачі;

$n_c$  – кількість секцій у складі тепловоза.

$$\eta_n = \eta_z \cdot \eta_{\partial} \cdot \eta_m, \quad (3.3)$$

де  $\eta_z$ ,  $\eta_{\partial}$ ,  $\eta_m$  – ККД відповідно головного генератора, ТЕД, тягового редуктора, для розрахунків приймаємо:  $\eta_z = 0,93$ ;  $\eta_{\partial} = 0,85$ ;  $\eta_m = 0,97$  [10].

$$\eta_n = 0,93 \cdot 0,85 \cdot 0,97 = 0,759.$$

Коефіцієнт  $\beta_{\partial on}$  визначаємо з виразу

$$\beta_{\partial on} = \frac{N'_e - \sum N_{\partial on}}{N'_e}, \quad (3.4)$$

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

де  $\sum N_{\text{дон}}$  – сумарні витрати потужності на привод допоміжних агрегатів,

приймаємо  $\sum N_{\text{дон}} = 225$  кВт [10];

$$N'_e = \frac{N_{\partial}}{\eta_n \cdot \frac{N'_e - \sum N_{\text{дон}}}{N'_e} \cdot n_c}; \quad (3.5)$$

$$N'_e = 2389 \text{ кВт.}$$

З формули (3.2) визначаємо дотичну потужність

$$N_{\partial} = N'_e \cdot \eta_n \cdot \beta_{\text{дон}} \cdot n_c; \quad (3.6)$$

$$N_{\partial} = 2389 \cdot 0,759 \cdot 0,905 \cdot 1 = 1640 \text{ кВт.}$$

Розрахункова дотична сила тяги

$$F_{\partial p} = \frac{N_{\partial} \cdot 3,6}{V_p}; \quad (3.7)$$

$$F_{\partial p} = \frac{1640 \cdot 3,6}{20} = 295,2 \text{ кН.}$$

Потрібна потужність тягового електродвигуна проектного тепловоза

$$P'_{\text{дв}} = \frac{N_{\partial}}{\eta_m \cdot k}, \quad (3.8)$$

де  $k$  – кількість ТЕД на тепловозі,  $k = 6$  од.;

$$P'_{\text{дв}} = \frac{1640}{0,97 \cdot 6} = 284 \text{ кВт.}$$

Отримана з розрахунку потужність ТЕД на 7,5% відрізняється від тепловоза зразка. Отже для цього тепловоза можна прийняти ТЕД типу ЕД-118А.

					0032.226321.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Основні технічні дані для цього типу тягового електродвигуна зводимо в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні технічні дані тягового електродвигуна ЕД-118

Параметр	Значення
Марка ТЕД	ЕД-118
Потужність $P_{\partial e}$ , кВт	307
Напруга тривала $U_{\partial\infty}$ , В	463
Напруга максимальна $U_{\partial \max}$ , В	700
Частота обертання якоря в тривалому режимі $n_{\partial\infty}$ , хв <sup>-1</sup>	585
Максимальна частота обертання якоря $n_{\partial \max}$ , хв <sup>-1</sup>	2290
ККД, %	91,5
Обертаючий момент $M_{\partial\infty}$ , Н·м	4970

Мінімальна зчіпна вага  $P_{зч}$ , кН, однієї секції проектного тепловоза визначається з умови його руху по розрахунковому підйому без боксування

$$P_{зч} = \frac{3,6 \cdot N_{\partial}}{\eta_e \cdot \psi_p \cdot V_p \cdot n_c}, \quad (3.9)$$

де  $\psi_p$  – коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою при розрахунковій швидкості;

$\eta_e$  – коефіцієнт використання зчіпної ваги, значення якого залежить від конструкції екіпажної частини тепловоза й розташування ТЕД, приймаємо  $\eta_e = 0,88$ .

$$\psi_p = 0,118 + \frac{4}{22 + V_p}; \quad (3.10)$$

$$\psi_p = 0,118 + \frac{4}{22 + 20} = 0,213.$$

$$P_{зч} = \frac{3,6 \cdot 1640}{0,88 \cdot 0,213 \cdot 20 \cdot 1} = 1575 \text{ кН.}$$

### 3.2 Визначення параметрів тягового осьового редуктора

Основним параметром тягового редуктора тепловоза є передаточне число

$$\mu = \frac{z_2}{z_1}, \quad (3.11)$$

де  $z_2$  – число зубів веденої шестірні (зубчастого колеса);

$z_1$  – число зубів провідної шестірні.

Передаточне число тягового редуктора визначається після вибору тягового електродвигуна й діаметра ведучих коліс.

Передаточне число з умови забезпечення заданої швидкості  $V_p$  на розрахунковому підйомі

$$\mu_1 = \frac{F_{\partial\infty} \cdot D_k}{2M_{\partial\infty}}, \quad (3.12)$$

де  $F_{\partial\infty}$  – тривала сила тяги одного КМБ, кН;

$D_k$  – діаметр ведучих коліс тепловоза по колу кочення,  $D_k = 1,05$  м [11];

$M_{\partial\infty}$  – момент обертання на валу ТЕД у тривалому режимі, кНм.

Тривала сила тяги одного КМБ

$$F_{\partial\infty} = \frac{F_{\partial}}{k}; \quad (3.13)$$

$$F_{\partial\infty} = \frac{295}{6} = 49,1 \text{ кН.}$$

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Тривалий момент  $M_{\partial\infty}$  на валу ТЕД визначається виходячи з потужності  $P_{\partial}$  й частоти обертання якоря в тривалому режимі роботи ТЕД.

$$M_{\partial\infty} = 9,5 \frac{P_{\partial}}{n_{\partial\infty}}; \quad (3.14)$$

$$M_{\partial\infty} = 9,5 \frac{307}{585} = 5,00 \text{ кНм.}$$

$$\mu_1 = \frac{49,1 \cdot 1,05}{2 \cdot 5,00} = 5,16.$$

Отримане значення передаточного числа  $\mu_1$  необхідно перевірити по найбільшій частоті обертання якоря ТЕД під час руху тепловоза з конструкційною швидкістю  $V_k$ .

Максимальна частота обертання коліс тепловоза

$$n_k = \frac{1000 \cdot V_k}{60 \cdot \pi \cdot D_k}; \quad (3.15)$$

$$n_k = \frac{1000 \cdot 100}{60 \cdot 3,14 \cdot 1,05} = 505 \text{ хв}^{-1}.$$

Передаточне число з умови, що при конструкційній швидкості тепловоза частота обертання якоря ТЕД не перевищує, допустиму заводом-виготовлювачем.

$$\mu_2 = \frac{n_{\partial\max}}{n_k}; \quad (3.16)$$

$$\mu_2 = \frac{2290}{505} = 4,53.$$

Із двох отриманих значень  $\mu_1$  і  $\mu_2$  приймаємо менше.

Остаточне передаточне число обираємо таким, щоб довжина централі  $A$  (відстань між осями ТЕД і колісною парою) у порівнянні з аналогічним

					<i>0032.226321.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

параметром базового тепловоза залишилася без зміни.

Для тепловоза М62 довжина централі  $A = 468,8$  мм [11].

Для прийнятих значень довжини централі  $A$  и модуля зачеплення  $m$  визначаємо загальне число зубів тягового редуктора, а потім число зубів привідної  $z_2$  й веденої  $z_1$  шестірень.

Ці параметри тягового редуктора зв'язані між собою рівнянням

$$A = \frac{(z_1 + z_2) \cdot m}{2}, \quad (3.17)$$

де  $m$  – модуль зачеплення, який приймаємо по базовому тепловозу.

$$z_1 + z_2 = \frac{2 \cdot 468,8}{10} \approx 90;$$

$$\frac{z_2}{z_1} = \mu_1 = 4,31.$$

Розв'язавши ці два рівняння одержимо:  $z_1 = 18$ ;  $z_2 = 77$ .

Знайдені значення  $z_1$  й  $z_2$  округляємо до цілого числа, а потім встановлюємо остаточне розрахункове значення передаточного числа.

$$\mu_p = \frac{77}{18} = 4,27.$$

Найбільша частота обертання якоря ТЕД при конструкційній швидкості русі проектного тепловоза

$$n_{\infty}^p = n_k \cdot \mu_p; \quad (3.18)$$

$$n_{\infty}^p = 505 \cdot 4,27 = 2156 \text{ хв}^{-1} \leq 2290 \text{ хв}^{-1}.$$

Отримана частота обертання не перевищує частоту обертання, який допускається заводом-виготовлювачем, тобто

					<i>0032.226321.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$n_{\partial\infty}^p \leq n_{\partial\max} \cdot \quad (3.19)$$

Оскільки модернізація тепловоза не передбачає зміну передаточного відношення тягового осьового редуктора, то залишаємо його значення  $\mu_p = 4,53$ .

Розрахункова сила тяги тепловоза  $F_{кр}$ , відповідна до тривалого струму, уточнюємо по остаточно прийнятому значенню  $\mu_p$

$$F_{\partial p} = \frac{2 \cdot M_{\partial\infty} \cdot \mu_p \cdot \kappa}{D_{\kappa}}; \quad (3.20)$$

$$F_{\partial p} = \frac{2 \cdot 5,00 \cdot 4,53 \cdot 6}{1,05} = 258 \text{ кН}.$$

Необхідно перевірити можливість розміщення в нижній частині габариту рухомого складу веденої шестірні (зубчастого колеса) разом з кожухом тягового редуктора.

Відстань від нижньої частини кожуха до головки рейки при нових бандажах колісних пар визначається по формулі

$$\Delta = \frac{D_{\kappa} - (m \cdot z_2 + 2c)}{2} \geq 120-130 \text{ мм}, \quad (3.21)$$

де  $c$  – відстань від торця зубів веденої шестірні (зубчастого колеса) до нижньої поверхні кожуха,  $c = 18-25$  мм [11].

$$\Delta = \frac{1050 - 10 \cdot 77 + 2 \cdot 25}{2} = 165 \text{ мм}.$$

### 3.3 Розрахунок і побудова електроумехічних характеристик тягового електроудвигуна проекту тепловоза

Для побудови електромеханічних характеристик тягового електродвигуна використовуємо відношення обертаючих моментів і частот обертання проектного

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

й базового тепловозів через відомі параметри

$$\frac{M_{\partial n}}{M_{\partial \bar{b}}} = \frac{P_{\partial n}}{P_{\partial \bar{b}}} \cdot \frac{V_{\bar{b}}}{V_n} \cdot \frac{\mu_{\bar{b}}}{\mu_p} \cdot \frac{D_{кп}}{D_{к\bar{b}}}; \quad (3.22)$$

$$\frac{M_{\partial n}}{M_{\partial \bar{b}}} = \frac{284 \cdot 100 \cdot 4,53 \cdot 1,05}{307 \cdot 120 \cdot 4,53 \cdot 1,05} = 0,925; \quad (3.23)$$

$$\frac{n_{\partial n}}{n_{\partial \bar{b}}} = \frac{V_n}{V_{\bar{b}}} \cdot \frac{\mu_p}{\mu_{\bar{b}}} \cdot \frac{D_{к\bar{b}}}{D_{кп}}; \quad (3.24)$$

$$\frac{n_{\partial n}}{n_{\partial \bar{b}}} = \frac{100 \cdot 4,53 \cdot 1,05}{100 \cdot 4,53 \cdot 1,05} = 1,0$$

$$\frac{n_{\partial n}}{n_{\partial \bar{b}}} = \bar{n}_{\partial}. \quad (3.25)$$

Для перерахування значень обертаючих моментів і частот обертання з урахуванням заданих для проектного тепловоза режимів ослаблення поля необхідно використовувати залежності

$$M_{\partial n} = M_{\partial} \cdot \frac{\alpha_n}{\alpha_{\bar{b}}} \cdot M_{\partial \bar{b}}; \quad (3.26)$$

$$n_{\partial n} = \bar{n}_{\partial} \cdot \frac{\alpha_{\bar{b}}}{\alpha_n} \cdot n_{\partial \bar{b}}, \quad (3.27)$$

де  $\alpha_{\bar{b}}$  й  $\alpha_n$  – ступінь ослаблення магнітного поля ТЕД базового й проектного тепловоза [12].

Характеристики ТЕД базового тепловоза наведені на рис. 3.1. Перерахування електромеханічних характеристик зводимо в табл. 3.2.

За результатами розрахунків виконуємо графічну побудову електромеханічних характеристик ТЕД проектного тепловоза (рис. 3.2).

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

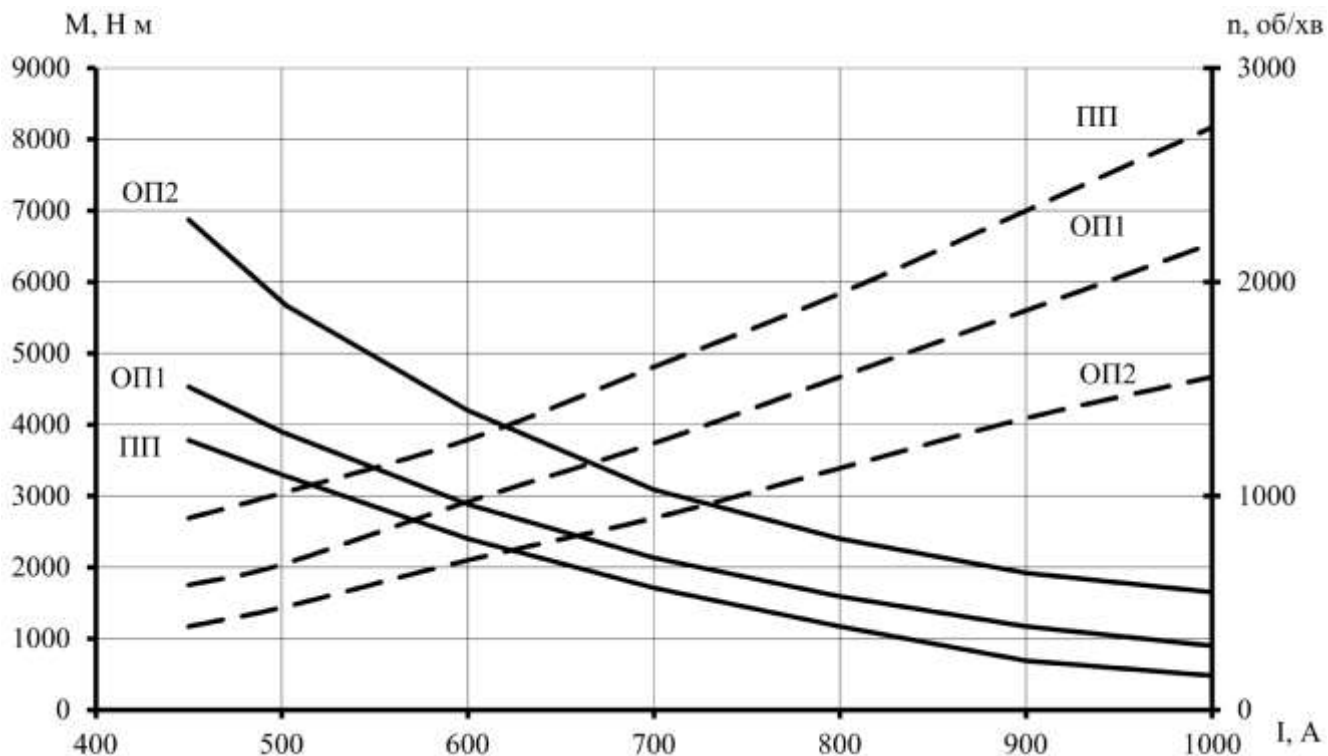


Рисунок 3.1 – Електромеханічні характеристики ТЕД ЕД-118А (307 кВт):

----- обертовий момент; ----- частота обертання

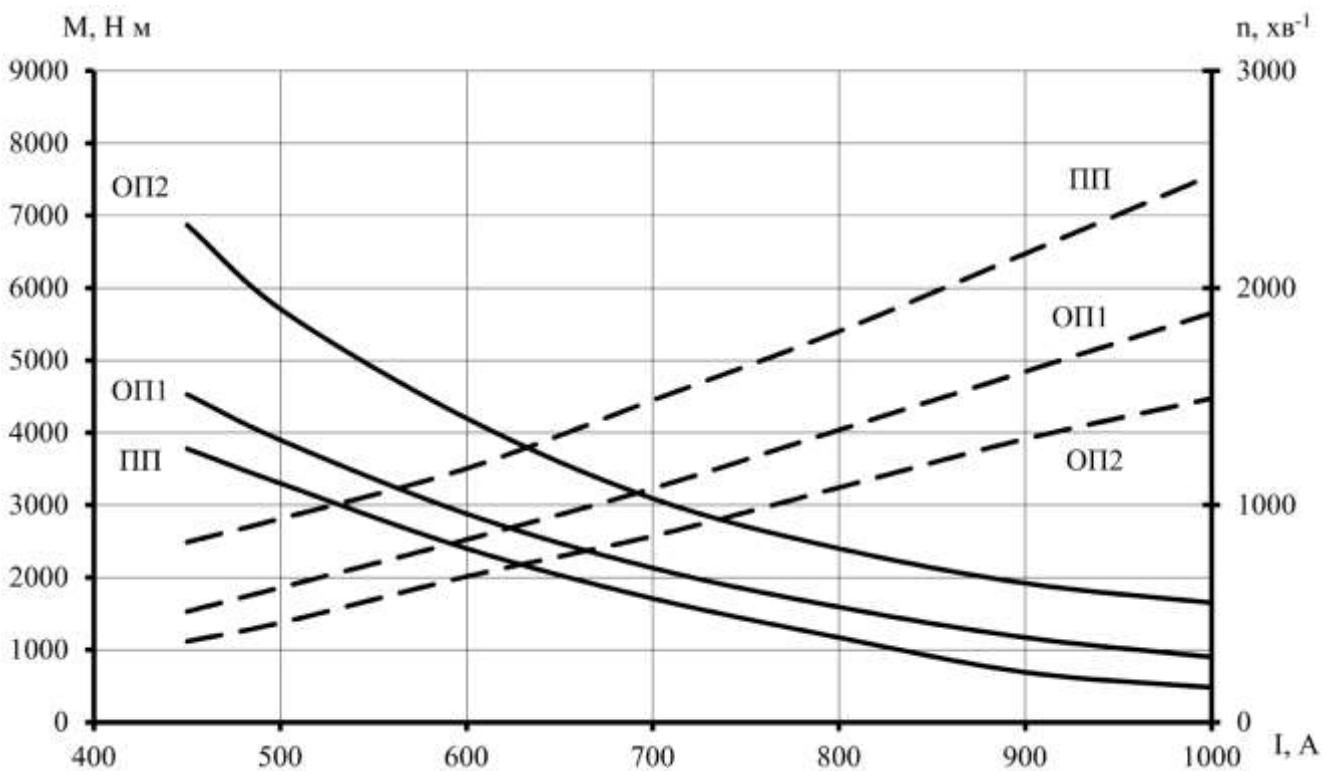


Рисунок 3.2 – Результати розрахунку електромеханічних характеристик

проектного тепловоза:

----- обертовий момент; ----- частота обертання

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.226321.000.03МР.ПЗ

Арк.

41

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку електромеханічних характеристик модернізованого тепловоза

$I_{\partial в}, А$	$\bar{M}$	$\bar{n}$	$M_{\partial в \bar{\sigma}}, Нм$	$n_{\partial в \bar{\sigma}}, ХВ^{-1}$	$M_{\partial в n}, Нм$	$n_{\partial в n}, ХВ^{-1}$
Повне поле (ПП), $\alpha_{\bar{\sigma}}=100\%$ , $\alpha_n=100\%$						
450	0,925	1,0	2690	1260	2569	1260
500			3040	1100	2903	1100
600			3790	800	3619	800
700			4810	570	4594	570
800			5840	390	5577	390
900			7000	230	6685	230
1000			8170	160	7802	160
Перший ступінь послаблення (ОП1), $\alpha_{\bar{\sigma}}=60\%$ , $\alpha_n=60\%$						
450	0,925	1,0	1750	1510	1530	1510
500			2040	1300	1860	1300
600			2920	960	2524	960
700			3740	710	3231	710
800			4670	530	4039	530
900			5600	390	4846	390
1000			6540	300	5653	300
Другий ступінь послаблення (ОП2), $\alpha_{\bar{\sigma}}=36\%$ , $\alpha_n=36\%$						
450	0,955	0,968	1170	2290	1117	2290
500			1450	1890	1387	1890
600			2100	1400	2013	1400
700			2690	1030	2572	1030
800			3390	800	3243	800
900			4090	640	3914	640
1000			4670	550	4474	550

### 3.4 Розрахунок і побудова електроотягових характеристик колісє-моторєго блока

Для побудови електроотягових характеристик необхідно визначити дотичну силу тяги тягового електродвигуна й швидкості руху тепловоза

$$F_{\partial} = \frac{2 \cdot \mu_p \cdot M_{\partial}}{D_k} \cdot \eta_M; \quad (3.28)$$

$$V = \frac{60 \cdot \pi \cdot D_k \cdot n_{\partial}}{1000 \cdot \mu_p}. \quad (3.29)$$

Розрахунок електроотягових характеристик КМБ модернізованого тепловоза зводимо в табл. 3.3.

На підставі розрахунків наводимо електроотягові характеристики КМБ модернізованого тепловоза на рис. 3.3.

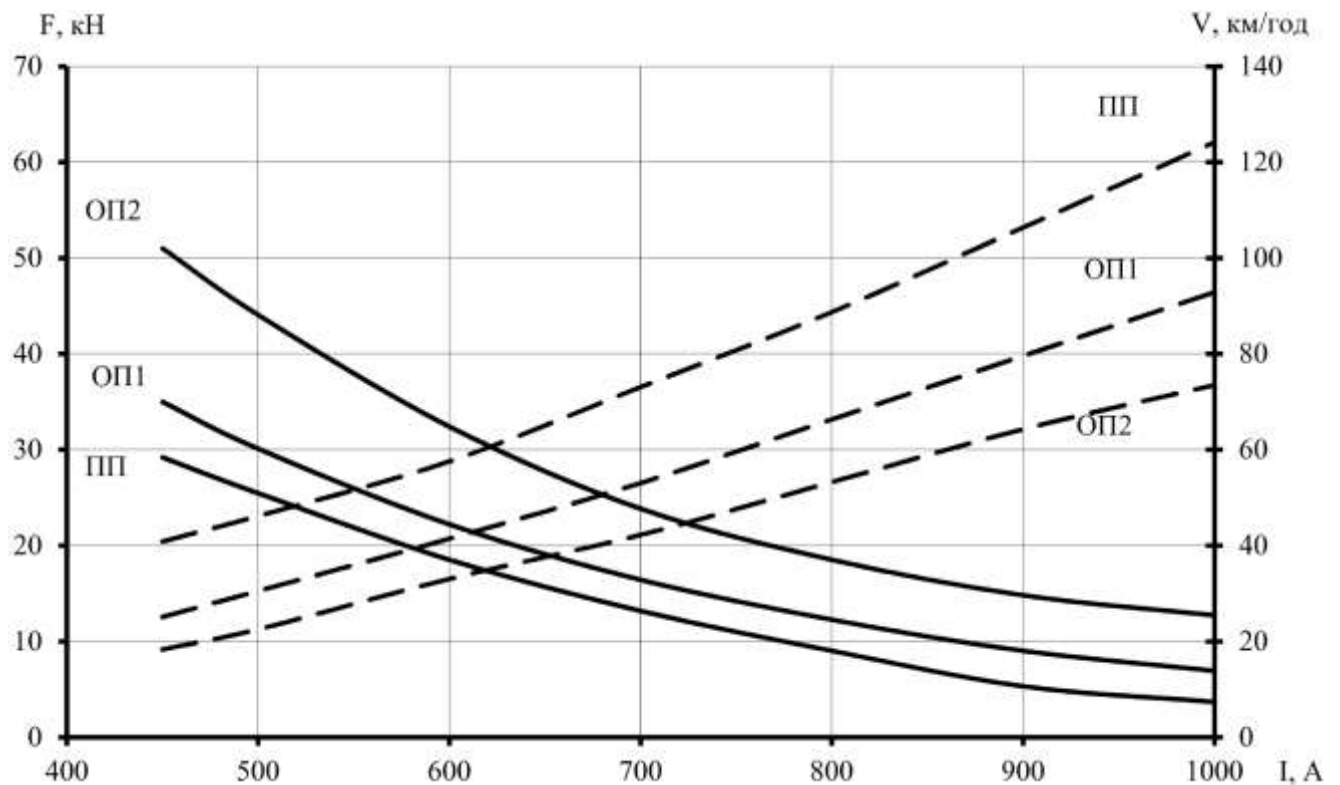


Рисунок 3.3 – Результати розрахунків електроотягових характеристик колісно-моторного блока:

----- сила тяги; ---- – швидкість

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків електролягових характеристик КМБ модернізованого тепловоза

$I_{дв}$	Повне поле (ПП), $\alpha_б = 100\%$ , $\alpha_n = 100\%$						Перший ступінь послаблення (ОП1), $\alpha_б = 62\%$ , $\alpha_n = 62\%$						Другий ступінь послаблення (ОП2), $\alpha_б = 36\%$ , $\alpha_n = 36\%$					
	$M_{дв n}$	$n_{дв n}$	$F_{дв n}$	$V_{дв n}$	$M_{дв n}$	$n_{дв n}$	$F_{дв n}$	$V_{дв n}$	$M_{дв n}$	$n_{дв n}$	$F_{дв n}$	$V_{дв n}$	$M_{дв n}$	$n_{дв n}$	$F_{дв n}$	$V_{дв n}$		
	НМ	хв <sup>-1</sup>	кН	км/ГОД	НМ	хв <sup>-1</sup>	кН	км/ГОД	НМ	хв <sup>-1</sup>	кН	км/ГОД	НМ	хв <sup>-1</sup>	кН	км/ГОД		
450	2488	1260	20	58	1530	1510	13	70	1117	2290	9	102						
500	2812	1100	23	51	1860	1300	15	60	1387	1890	11	88						
600	3506	800	29	37	2524	960	21	44	2013	1400	17	65						
700	4449	570	37	26	3231	710	27	33	2572	1030	21	48						
800	5402	390	44	18	4039	530	33	25	3243	800	27	37						
900	6475	230	53	11	4846	390	40	18	3914	640	32	30						
1000	7557	160	62	7	5653	300	46	14	4474	550	37	25						

### 3.5 Розрахунок і побудова тягової характеристики тепловоза

Сила тяги секції тепловоза визначається за формулою:

$$F_k = \frac{F_{\partial} \cdot \kappa}{n_c} \quad (3.30)$$

Для визначення швидкостей переходу з одного режиму роботи ТЕД на іншу використовуємо співвідношення:

$$V_n = V_{\partial} \frac{M_{\partial}}{M_n}; \quad (3.31)$$

де  $V_n$  і  $V_{\partial}$  – швидкість переходу з одного режиму на інший відповідно проектного й базового тепловоза, км/год [12];

$\mu_p$  і  $\mu_{\partial}$  – передаточне число тягового редуктора відповідно проектного й базового тепловозів [12].

$$V_{(III-OP1)} = 33,5 \frac{4,53}{4,53} = 33,5 \text{ км/год};$$

$$V_{(OP1-OP2)} = 61 \frac{4,53}{4,53} = 61 \text{ км/год};$$

$$V_{(OP2-OP1)} = 43,5 \frac{4,53}{4,53} = 43,5 \text{ км/год};$$

$$V_{(OP1-III)} = 29 \frac{4,53}{4,53} = 29 \text{ км/год}.$$

Сила тяги тепловоза, обмежена тривалим струмом

$$F_{\partial\infty} = F_{\infty} \cdot \kappa, \quad (3.32)$$

де  $F_{\infty}$  – сила тяги одного КМБ, яка визначається по електротягових

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

характеристиках, при значенні тривалого струму ТЕД  $I_{д\infty} = 720 \text{ А}$ ,

$$F_{\infty} = 38 \text{ кН.}$$

$$F_{д\infty} = 38 \cdot 6 = 228 \text{ кН.}$$

Наносимо силу тяги тепловоза, яка обмежена тривалим струмом на рис. 3.4.

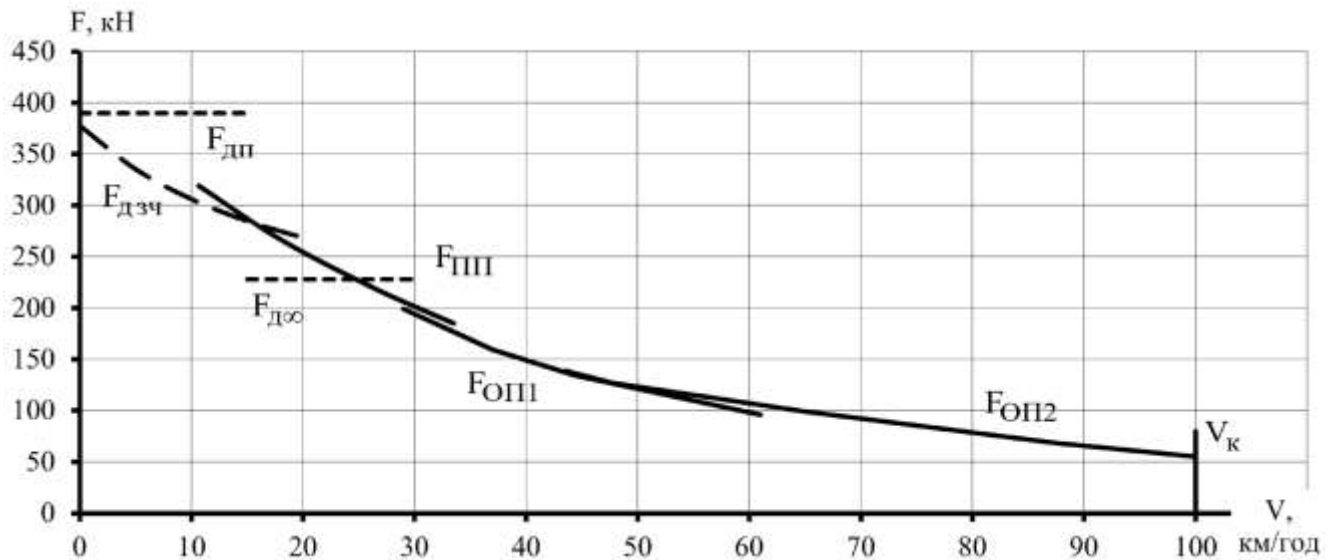


Рисунок 3.4 – Результати розрахунків тягової характеристики модернізованого тепловоза

Сила тяги тепловоза, обмежена пусковим струмом

$$F_{дп} = F_n \cdot \kappa, \quad (3.33)$$

де  $F_n$  – сила тяги одного КМБ, перебуває по електротягових характеристиках,

при значенні пускового струму ТЕД,  $I_{дп} = 1050 \text{ А}$ ,  $F_n = 65 \text{ кН}$ .

$$F_{дп} = 65 \cdot 6 = 390 \text{ кН.}$$

Наносимо силу тяги тепловоза, яка обмежена пусковим струмом на рис. 3.4.

Сила тяги тепловоза, обмежена по зчепленню коліс із рейками

$$F_{зч} = P_{зч} \cdot \psi, \quad (3.34)$$

де  $P_{зч}$  – зчіпна вага тепловоза,  $P_{зч}^{\delta} = 1260$  кН (приймаємо за даними базового тепловоза [12]).

Результати розрахунків зводимо в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Розрахунок значення обмеження сили тяги по зчепленню коліс з рейками

$V$ , км/ГОД	0	5	10	15	20
$\psi_p$	0,300	0,266	0,243	0,226	0,213
$F_{зч}$ , кН	378	335	306	285	269

За результатами розрахунків будемо залежність  $F_{зч} = f(V)$  і накладаємо на тягову характеристику (рис. 3.4).

Тягова характеристика однієї секції проектного тепловоза повинна бути побудована для номінальної потужності при трьох режимах роботи ТЕД [13].

Розрахунок зводимо в табл. 3.5. За результатами розрахунків будемо тягову характеристику тепловоза (однієї секції) (рис. 3.4).

Таблиця 3.5 – Результати розрахунку тягової характеристики однієї секції проектного тепловоза

Режим роботи ТЕД											
Повне поле (ПП), $\alpha_{\delta}=100\%$ , $\alpha_n=100\%$				Перший ступінь послаблення (ОП1), $\alpha_{\delta}=62\%$ , $\alpha_n=62\%$				Другий ступінь послаблення (ОП2), $\alpha_{\delta}=36\%$ , $\alpha_n=36\%$			
$V$ , км/ГОД	$I_{\delta}$ , А	$F_{\delta n}$ , кН	$F_K$ , кН	$V$ , км/ГОД	$I_{\delta}$ , А	$F_{\delta n}$ , кН	$F_K$ , кН	$V$ , км/ГОД	$I_{\delta}$ , А	$F_{\delta n}$ , кН	$F_K$ , кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	1000	62	373								
11	900	53	319								

Продовження табл. 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
18	800	44	266								
26	700	37	219								
34	600	31	185	29	800	33	199				
				37	700	27	159				
				44	600	22	134	44	800	27	139
				61	500	16	96	48	700	21	127
								65	600	17	99
								88	502,3	11	68
								100	450	9	55

## 4 ПОЛІПШЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ЛОКОМОТИВІВ ЗА РАХУНОК МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЗІВ

### 4.1 Вибір ділянки для поліпшення показників роботи локомотивів

Вибір ділянки для поліпшення показників роботи локомотивів необхідний для виконання тягових розрахунків та порівняння їх результатів. Тягові плечі обслуговування локомотивного депо Л. зображені на рис. 4.1, а характеристика тягових плечей приведена у табл. 4.1.

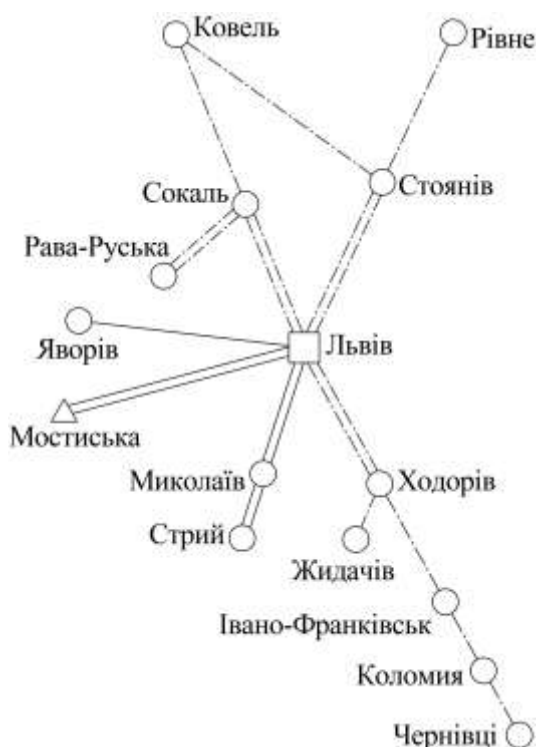


Рисунок 4.1 – Тягові плечі обслуговування локомотивного депо Л.

Для дослідження зміни показників роботи локомотивів обираємо ділянку №9 протяжністю 63,5 км (табл. 4.1).

### 4.2 Розрахунок показників роботи локомотивів на підставі тягових розрахунків

Одним з напрямків поліпшення якісних показників депо є модернізація тепловозів серії 2М62 новою силовою установкою. В цьому випадку зростуть такі якісні показники як середня вага поїзда, технічна швидкість, середньодобова

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Таблиця 4.1 – Характеристики тягових пліч, які обслуговуються локомотивами депо Л.

№ плеча	Основне депо	Оборотне депо (пункт обороту)	Довжина, км
Вантажний рух			
1	Львів	Сокаль	94
2	Львів	Яворів	58
3	Львів	Мостиська	78
4	Львів	Стрий	77
5	Львів	Рава-Руська	68
6	Львів	Миколаїв	45
7	Львів	Сокаль через Р.-Руську	133
Пасажирський рух			
1	Львів	Чернівці	248
2	Львів	Коломия	197
3	Львів	Івано-Франківськ	140
4	Львів	Ковель через Сокаль	198
5	Львів	Ковель через Стоянів	257
6	Львів	Сокаль	94
7	Львів	Рава-Руська	68
8	Львів	Рівне	247
9	Львів	Ходорів	63,5
10	Львів	Жидачів	76
11	Львів	Стоянів	94
12	Львів	Сокаль через Р.-Руську	133

продуктивність локомотива. Для тягових розрахунків вибираємо ділянку Л.-Х. довжиною 63,5 км. На цій ділянці є досить складний профіль колії з підйомами та спусками, на якому можна проводити тягові розрахунки для визначення маси

складу. При аналізі профілю перегону Л.-Х. видно наступне. На ділянці між станціями Л. та С. є ряд підйомів, найважчий із них характеризується підйомом 7,6‰ та довжиною 1,55 км, який знаходиться перед станцією П.; на ділянці між станціями С. та Х. є ряд спусків та площин, найкрутіший із спусків має ухил - 7,6‰ та довжину 3,85 км. Цей ухил знаходиться прямо за станцією С. у напрямку до станції Д. Згідно статистичних даних вага вантажних поїздів, що прямують зі станції Л. до станції Х. становить приблизно 4400 т. Характеристика спрямленого профілю ділянки Л.-Х. приведена у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Характеристика спрямленого профілю ділянки Л.-Х.

Номер елемента	Крутизна елемента, ‰	Довжина елемента, км	Номер елемента	Крутизна елемента, ‰	Довжина елемента, км	Номер елемента	Крутизна елемента, ‰	Довжина елемента, км
1	2,3	0,8	12	-7,6	3,85	23	-0,6	2,95
<b>2</b>	<b>-8,5</b>	<b>0,55</b>	13	-3,9	2,15	24	-1,5	3,25
3	4,5	0,8	14	-1,8	0,95	25	0,1	1,85
4	7,6	1	15	-3,7	1,9	26	-2,2	3,2
5	4,9	0,5	16	-1,4	0,9	27	-3,4	3,7
6	1,7	1,6	17	-3,9	2,25	28	-1,8	3,3
<b>7</b>	<b>7,6</b>	<b>1,55</b>	18	-2,4	2,65	29	-3,2	4,1
8	0,7	1,4	19	-0,1	1,45	30	0	3,35
9	3,1	2,75	20	-3,6	1,1	31	2,3	2,55
10	-2,8	1,6	21	-0,1	1,6	32	-1,5	1,75
11	0,8	0,75	22	-2,2	2,1	33	-2,1	2,40

Вихідні дані для проведення тягових розрахунків для зазначеної ділянки наведені у табл. 4.3.

#### 4.2.1 Визначення розрахункового підйому

Розрахунковий підйом  $i_p$  – це найбільш важкий для руху в даному напрямку елемент, на якому при наявній масі складу досягається розрахункова швидкість  $i$

Таблиця 4.3 – Вихідні дані для тягового розрахунку

Найменування показника	Значення
Серія локомотива	2М62, 2М62(М)
Склад поїзда в % за масою:	
-8-вісних вагонів	8
-4-вісних вагонів	92
Маса вагонів бруто, т	
-8-вісних	166
-4-вісних	88
Гальмівних осей в складі поїзда, %	100
Довжина приймально-відправних колій $l_{п.від}$ , м	1200
Гальмівні колодки	Чавун

відповідна розрахункова сила тяги локомотива. Розрахунковий підйом – один з основних параметрів, що визначають масу складу, яка може бути перевезена по дільниці при заданих умовах.

Визначенню розрахункового підйому повинен передувати аналіз повздовжнього профілю колії [14]. При аналізі необхідно виявити достатньо крутий і в той же час довгий елемент профілю, який не можна буде подолати за рахунок накопиченої, в першу чергу на спусках, кінетичної енергії на швидкості, що дорівнює або більша за розрахункову.

Слід зазначити, що розрахунковий підйом не обов'язково є найбільш крутим. Якщо на дільниці є підйом, крутіший за розрахунковий, але який має невелику протяжність і перед ним розташовані «легкі» елементи профілю (спуски, площадки), де поїзд може розвинути велику швидкість, то навіть при умові вповільнення на даному підйомі його швидкість може не досягнути розрахункової. У такому разі підйом необхідно вважати швидкісним  $i_{ш}$ .

Правильне визначення розрахункового, а також швидкісного підйомів має важливе значення для повного використання тягових можливостей локомотива,

провізної та пропускної спроможності заданої дільниці.

У якості розрахункового підйому приймаємо елемент №7  $i_p = +7,6\%$ ,  
 $S = 1,55$  м. У якості швидкісного підйому вибираємо елемент №2  $i_{ш} = +8,5\%$ ,  
 $S = 550$  м.

#### 4.2.2 Розрахунок маси складу

Маса складу – один з найважливіших показників роботи залізничного транспорту. Збільшення маси складу дозволяє підвищити перевізну спроможність залізничних ліній, зменшити витрату пального і електричної енергії, знизити собівартість перевезень. Тому масу вантажного складу визначають, виходячи з повного використання тягових якостей локомотива. Розрахунок будемо проводити як для тепловозів серії 2М62 та і для модернізованих тепловозів 2М62(М).

Для вибраного розрахункового підйому масу складу в тонах розраховуємо за формулою

$$Q = \frac{F_{\partial p} - (\omega_0' + i_p) \cdot P \cdot g}{(\omega_0'' + i_p) \cdot g}, \quad (4.1)$$

де  $F_{\partial p}$  – розрахункова сила тяги локомотива, кН;  $F_{\partial p}^{2M62} = 392\,400$  Н,

$$F_{\partial p}^{2M62(M)} = 549\,360 \text{ Н.}$$

$P$  – розрахункова маса локомотива, т;  $P = 240$  т, [15];

$\omega_0'$  – основний питомий опір локомотива, Н/кН;

$\omega_0''$  – основний питомий опір складу, Н/кН;

$i_p$  – крутизна розрахункового підйому;  $i_p = 7,6\%$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

При розрахунку маси складу величини  $\omega_0'$  і  $\omega_0''$  визначаємо для

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розрахункової швидкості локомотива  $V_p$ . Питомі сили відносять до 1 кН ваги поїзда, складу, вагона, локомотива.

Розрахункова швидкість, розрахункова сила тяги, маса локомотивів та інші розрахункові нормативи приведені в [16].

Основний питомий опір локомотивів визначають за формулою:

$$\omega'_0 = 1,9 + 0,01 \cdot V_p + 0,0003 \cdot V_p^2, \quad (4.2)$$

де  $V_p$  – розрахункова швидкість, км/год;  $V_p = 20$  км/год.

$$\omega'_0 = 1,9 + 0,01 \cdot 20 + 0,0003 \cdot 20^2 = 2,22 \text{ Н/кН.}$$

Основний питомий опір складу, Н/кН визначають за формулою

$$\omega''_0 = \alpha \cdot \omega''_{04} + \gamma \cdot \omega''_{08}, \quad (4.3)$$

де  $\alpha, \gamma$  – відповідно частки 4- і 8-вісних вагонів в складі за масою;

$\omega''_{04}$  – основний питомий опір 4-вісних вантажних вагонів, Н/кН:

$$\omega''_{04} = 0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot V + 0,0025 \cdot V^2}{q_{04}}, \quad (4.4)$$

$\omega''_{08}$  – основний питомий опір 8-вісних вантажних вагонів, Н/кН,

$$\omega''_{08} = 0,7 + \frac{6 + 0,038 \cdot V + 0,0021 \cdot V^2}{q_{08}}, \quad (4.5)$$

де  $q_{04}, q_{08}$  – маса, яка приходить на одну колісну пару відповідно 4- і 8-вісного вагона, т/вісь;

$$q_{04} = \frac{g_4}{4}; q_{08} = \frac{g_8}{8}, \quad (4.6)$$

					<i>0032.226321.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

де  $g_4, g_8$  – маса брутто відповідно 4-, 8-вісного вагона, т.

$$q_{04} = \frac{88}{4} = 22 \text{ т};$$

$$q_{08} = \frac{166}{8} = 20,75 \text{ т};$$

$$\omega''_{04} = 0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot 20 + 0,0025 \cdot 20^2}{22} = 0,97 \text{ Н/кН};$$

$$\omega''_{08} = 0,7 + \frac{6 + 0,038 \cdot 20 + 0,0025 \cdot 20^2}{20,75} = 1,07 \text{ Н/кН}.$$

Основний питомий опір складу

$$\omega''_0 = 0,08 \cdot 1,01 + 0,92 \cdot 0,97 = 0,98 \text{ Н/кН}.$$

Маса складу

$$Q^{2M62} = \frac{392400 - (2,22 + 7,6) \cdot 240 \cdot 9,81}{(0,98 + 7,6) \cdot 9,81} = 4387 \text{ т};$$

$$Q^{2M62(M)} = \frac{549360 - (2,22 + 7,6) \cdot 240 \cdot 9,81}{(0,98 + 7,6) \cdot 9,81} = 6252 \text{ т}.$$

Підраховану за формулою (4.1) масу складу у відповідності з [15] округляємо до 50 або 100 т. Приймаємо  $Q = 4400$  т при веденні його локомотивом 2М62, і  $Q = 6250$  т при веденні його локомотивом 2М62(М).

Отже, модернізовані тепловози 2М62(М) серії в порівнянні з тепловозами 2М62 можуть взяти вагу вантажного поїзда більшу на 42,1%.

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

#### 4.2.3 Перевірка оузрахункової маси складу на можливість надійного подолання коуткого підйому крутизною більше оузрахункового

Виконується перевірка на можливість подолання швидкісного підйому аналітичним методом, з урахуванням використання кінетичної енергії, накопиченої на подолання «легких» елементах профілю, виконується аналітичним методом. При цьому приймають гіпотезу про рівноуповільнений рух поїзда в інтервалі швидкості  $\Delta V \leq 10$  км/год і використовують наступну формулу:

$$S = \frac{4,17 \cdot (V_k^2 - V_n^2)}{f_{\text{д.сер}} - \omega_{\text{о.сер}}}, \quad (4.7)$$

де  $V_n$  – швидкість на початку інтервалу швидкості  $\Delta V$ ;

$V_k$  – швидкість в кінці інтервалу швидкості  $\Delta V$ .

Розрахунок пройденого шляху за (4.7) ведуть до тих пір, поки кінцева швидкість останнього інтервалу не буде дорівнювати розрахунковій, тобто  $V_k = V_p$ . Питому силу тяги  $f_{\text{д.сер}}$  і питомий опір  $\omega_{\text{о.сер}}$  в межах вибраного інтервалу зміни швидкостей  $\Delta V$  приймають рівними їхнім значенням при середній швидкості інтервалу

$$V_{\text{сер}} = \frac{V_n + V_k}{2}. \quad (4.8)$$

Ці питомі сили вираховують за формулами в Н/кН:

$$f_{\text{д.сер}} = \frac{F_{\text{д.сер}}}{(P + Q) \cdot g}; \quad (4.9)$$

$$\omega_{\text{о.сер}} = \frac{(\omega'_{\text{о.сер}} + i_{\text{нер}}) \cdot P \cdot g + (\omega''_{\text{о.сер}} + i_{\text{нер}}) \cdot Q \cdot g}{(P + Q) \cdot g}. \quad (4.10)$$

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Значення сили тяги локомотива  $F_{\text{дсер}}$  для середньої швидкості  $V_{\text{сер}}$  визначають за тяговою характеристикою локомотива. Для тієї ж середньої швидкості визначають основний питомий опір  $\omega_{\text{осер}}$  локомотива і основний питомий опір  $\omega''_{\text{осер}}$  складу [15]. Крутизна швидкісного підйому –  $i_{\text{шв}} = 8,5\%$ , його відстань – 550 м.

Розрахуємо пройдений шлях при швидкостях  $V_n = 40$  км/год та  $V_k = 30$  км/год, так як швидкісний підйом знаходиться на ділянці з обмеженням швидкості  $V_{\text{дон}} = 40$  км/год.

$$V_{\text{сер}} = \frac{40 + 30}{2} = 35 \text{ км/год};$$

$$f_{\text{дсер}}^{2M62} = \frac{241326}{(240 + 4400) \cdot 9,81} = 5,3 \text{ Н/кН};$$

$$f_{\text{дсер}}^{2M62(M)} = \frac{337856}{(240 + 6250) \cdot 9,81} = 5,31 \text{ Н/кН};$$

$$\omega'_{\text{осер}} = 1,9 + 0,01 \cdot 35 + 0,0003 \cdot 35^2 = 2,62 \text{ Н/кН};$$

$$\omega''_{04\text{коч}} = 0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot 35 + 0,0025 \cdot 35^2}{22,0} = 1,13 \text{ Н/кН};$$

$$\omega''_{08} = 0,7 + \frac{6 + 0,038 \cdot 35 + 0,0021 \cdot 35^2}{20,75} = 1,18 \text{ Н/кН};$$

$$\omega''_{\text{осер}} = 0,92 \cdot 1,13 + 0,08 \cdot 1,18 = 1,13;$$

$$\omega_{\text{осер}}^{2M62} = \frac{(2,62 + 8,5) \cdot 240 \cdot 9,81 + (1,13 + 8,5) \cdot 4400 \cdot 9,81}{(240 + 4400) \cdot 9,81} = 9,71 \text{ Н/кН};$$

$$\omega_{\text{осер}}^{2M62(M)} = \frac{(2,62 + 8,5) \cdot 240 \cdot 9,81 + (1,13 + 8,5) \cdot 6250 \cdot 9,81}{(240 + 6250) \cdot 9,81} = 9,69 \text{ Н/кН};$$

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

$$S_{2M62} = \frac{4,17 \cdot (30^2 - 40^2)}{5,3 - 9,71} = 661,9 \text{ м};$$

$$S_{2M62(M)} = \frac{4,17 \cdot (30^2 - 40^2)}{5,31 - 9,69} = 666,4 \text{ м}.$$

Умови

$$S_{2M62} = 661,9 \text{ м} \geq S_{пер} = 550 \text{ м};$$

$$S_{2M62(M)} = 666,4 \text{ м} \geq S_{пер} = 550 \text{ м}.$$

виконуються.

Так як відстань, що пройдена поїздом у відповідному інтервалі швидкостей  $\Delta V$ , більша довжини підйому  $S_{пер} = 550 \text{ м}$ , то це означає, що при розрахованій масі складу  $Q = 4400 \text{ т}$  та  $Q = 6250 \text{ т}$  поїзд надійно подолає підйом  $i_{ув} = 8,5\%$  з урахуванням використання накопиченої до початку елемента кінетичної енергії.

#### **4.2.4 Перевірка оузрахункової маси складу на зрушення з місця на оуздільних пунктах**

Перевірка розрахункової маси складу на зрушення з місця на роздільних пунктах виконується за формулою

$$Q_{зруш} = \frac{F_{дзруш}}{(\omega_{зруш} + i_{зруш}) \cdot g} - P_{зч}, \quad (4.11)$$

де  $F_{дзруш}$  – сила тяги локомотива при рушанні складу з місця, Н,

$$F_{дзруш}^{2M62} = 700434 \text{ Н}, \quad F_{дзруш}^{2M62(M)} = 840521 \text{ Н};$$

$i_{зруш}$  – крутизна найбільш важкого елемента на роздільних пунктах

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

(станціях) заданої дільниці, ‰ (в напрямку руху);

$\omega_{зруш}$  – питомий опір поїзда при рушанні з місця, Н/кН.

В нашому випадку  $i_{зруш} = 2,3\%$  (на станції Л.),  $P_{зч} = 240$  т.

Питомий опір при рушанні для напіввагонів з підшипниками кочення

$$\omega_{зруш}^{коч} = \frac{28}{q_0 + 7}; \quad (4.12)$$

$$\omega_{зруш}^{коч 4} = \frac{28}{22 + 7} = 0,97 \text{ Н/кН};$$

$$\omega_{зруш}^{коч 8} = \frac{28}{20,75 + 7} = 1,01 \text{ Н/кН};$$

$$\omega_{осер}'' = 0,92 \cdot 0,97 + 0,08 \cdot 1,01 = 0,97 \text{ Н/кН}.$$

За формулою (4.11) перевіримо масу складу на зрушення з місця

$$Q_{зруш}^{2M62} = \frac{700434}{(0,97 + 2,3) \cdot 9,81} - 240 = 21595 \text{ т};$$

$$Q_{зруш}^{2M62(M)} = \frac{840521}{(0,97 + 2,3) \cdot 9,81} - 240 = 25962 \text{ т}.$$

Маса складу  $Q_{зруш}$ , отримана за умовами зрушення з місця, є більшою за розраховану масу складу  $Q$ , визначену за розрахунковим підйомом, тобто

$$Q_{зруш}^{2M62} = 21595 \text{ т} > Q = 4400 \text{ т};$$

$$Q_{зруш}^{2M62(M)} = 25962 \text{ т} > Q = 6250 \text{ т}.$$

Так як для перевірки маси складу на зрушення з місця була вибрана станція Л., розташована на найбільш важкому елементі профілю колії, то рушання складу

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

з місця і розгін поїзда забезпечені на всіх роздільних пунктах дільниці.

#### 4.2.5 Перевірка маси складу по довжині приймально-відправних колій

Щоб виконати перевірку маси складу по довжині приймально-відправних колій, визначаємо число вагонів у складі, довжину поїзда і порівнюємо довжину з заданою довжиною приймально-відправних колій станцій. У даному поїзді вантажні вагони є чотиривісні (92%) і восьмивісні (8%).

Число вагонів у складі вантажного поїзда становить:

$$n_{ваг} = \frac{Q}{q} \cdot \eta, \quad (4.13)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт, який враховує відсоток наявності вагонів у поїзді.

$$n_4^{2M62} = \frac{4400}{88} \cdot 0,92 \approx 46 \text{ ваг.};$$

$$n_8^{2M62} = \frac{4400}{166} \cdot 0,08 \approx 2 \text{ ваг.};$$

$$n_4^{2M62(M)} = \frac{6250}{88} \cdot 0,92 \approx 66 \text{ ваг.};$$

$$n_8^{2M62(M)} = \frac{6250}{166} \cdot 0,08 \approx 3 \text{ ваг.}$$

Довжина чотиривісного вагона становить  $l_4 = 15$  м, восьмивісного –  $l_8 = 20$  м. Загальна довжина поїзда в м дорівнює:

$$L_n = l_{лок} + n_{4-хваг} \cdot l_4 + n_8 \cdot l_8 + \delta l, \quad (4.14)$$

де  $l_{лок}$  – довжина тепловоза 2М62,  $l_{лок} = 34,8$  м;

$\delta l$  – запас довжини поїзда на неточність встановлення поїзда,  $\delta l = 10$  м.

$$L_n^{2M62} = 34,8 + 46 \cdot 15 + 2 \cdot 20 + 10 = 774,8 \text{ м};$$

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

$$L_n^{2M62(M)} = 34,8 + 66 \cdot 15 + 3 \cdot 20 + 10 = 1094,8 \text{ м.}$$

Довжина приймально-відправних колій становить  $L_{np.відп.} = 1250 \text{ м.}$

Перевірка можливості встановлення поїзда на приймально-відправних коліях виконується за співвідношенням:

$$L_n \leq L_{np.відп.}; \quad (4.15)$$

$$L_n^{2M62} = 774,8 \text{ м} \leq 1250 \text{ м};$$

$$L_n^{2M62(M)} = 1094,8 \text{ м} \leq 1250 \text{ м.}$$

Умова виконується, тобто довжину та масу поїзда зменшувати не потрібно.

#### 4.2.6 Побудова діаграми питомих рівнодіючих сил

Для побудови діаграми питомих рівнодіючих сил попередньо складається табл. 4.4, 4.5 для таких режимів ведення поїзда по прямій горизонтальній дільниці:

- для режиму тяги  $f_{\partial} - \omega_0 = f_1(V)$ ;
- для режиму холостого ходу  $\omega_{0x} = f_2(V)$ ;
- для режиму гальмування:
- при службовому регульовальному гальмуванні  $\omega_{0x} + 0,5 \cdot b_2 = f_3(V)$ ,
- при екстреному гальмуванні  $\omega_{0x} + b_2 = f_4(V)$ .

Таблицю заповнюємо для швидкостей від 0 до конструкційної  $V_K$  через 10 км/год; крім цього, в цей стовпчик введено також величини швидкостей, які відповідають характерним точкам тягової характеристики [15].

Основний питомий опір складу  $\omega_0''$  для занесених в розрахункову таблицю швидкостей визначається за формулою (4.3) з використанням формул (4.4)-(4.6).

Результати розрахунку питомих рівнодіючих сил для поїздів з тепловозами 2М62 та 2М62(М) для сили тяги, холостого ходу та гальмування занесені до табл. 4.4, 4.5.

					0032.226321.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Таблиця 4.4 – Значення питомих рівнодіючих сил (тепловоз 2М62, маса складу 4400 т)

V, км/год	Режим тяги										Режим холостого ходу				Режим гальмування			
	$F_a H$	$w_a H/кН$	$H \frac{w}{M}$	$H \frac{w}{M}$	$H \frac{w}{M}$	$F_a M H$	$F_a M H$	$f_a \cdot w_a H/кН$	$H \frac{w}{M}$	$H \frac{w}{M}$	$H \frac{w}{M}$	$H \frac{w}{M}$	$H \frac{w}{M}$	$H \frac{w}{M}$	$H \frac{w}{M}$	$H \frac{w}{M}$	$H \frac{w}{M}$	$H \frac{w}{M}$
0	700434	1,9	8947	0,77	33236	42183	658251	14,46	2,55	12007	45243	0,99	0,27	85,7	43,84	86,69		
10	586049	2,03	9559	0,82	35394	44953	541096	11,89	2,55	12007	47401	1,04	0,198	62,8	32,44	63,84		
20	392400	2,22	10454	0,89	38416	48870	343530	7,55	2,76	12996	51412	1,13	0,162	51,4	26,83	52,53		
30	272718	2,47	11631	0,99	42732	54363	218355	4,8	3,05	14362	57094	1,25	0,14	44,4	23,45	45,65		
40	209934	2,78	13090	1,1	47480	60570	149364	3,28	3,4	16010	63490	1,39	0,126	40	21,39	41,39		
50	170694	3,15	14833	1,24	53523	68356	102338	2,25	3,83	18035	71558	1,57	0,116	36,8	19,97	38,37		
60	143226	3,58	16858	1,4	60430	77288	65938	1,45	4,32	20342	80772	1,77	0,108	34,3	18,92	36,07		
70	121644	4,07	19165	1,57	67767	86932	34712	0,76	4,89	23026	90793	1,99	0,102	32,4	18,19	34,39		
80	103986	4,62	21755	1,78	76832	98587	5399	0,12	5,52	25993	102825	2,26	0,097	30,8	17,66	33,06		
90	88290	5,23	24627	2	86328	110955	-22665	-0,5	6,23	29336	115664	2,54	0,093	29,5	17,29	32,04		
100	76518	5,9	27782	2,24	96687	124469	-47951	-1,05	7,00	32962	129649	2,85	0,09	28,6	17,15	31,45		

Таблиця 4.5 – Значення питомих рівнодіючих сил (тепловоз 2М62(М), маса складу 6250 т)

L, км/год	Режим тяги										Режим холостого ходу				Режим гальмування			
	$F_{\text{сн}}$ Н	$w_{\text{сн}}^{\text{д}}$ Н/кН	$W_{\text{сн}}^{\text{д}}$ Н	$w_{\text{сн}}^{\text{д}}$ Н/кН	$W_{\text{сн}}^{\text{д}}$ Н	$F_{\text{сн}}$ Н	$f_{\text{сн}}$ Н/кН	$w_{\text{сн}}$ Н/кН	$W_{\text{сн}}$ Н	$W_{\text{сн}}^{\text{д}}$ Н	$W_{\text{сн}}^{\text{д}}$ Н/кН	$\phi$	$b=1000\phi_{\text{сн}}$	$w_{\text{сн}}^{\text{д}}$	$w_{\text{сн}}^{\text{д}}$	$w_{\text{сн}}^{\text{д}}$ Н/кН		
0	840521	1,9	8947	0,77	47211	56158	12,32	2,55	12007	45243	0,99	0,27	85,7	43,84	86,69			
10	732562	2,03	9559	0,82	50276	59835	10,57	2,55	12007	47401	1,04	0,198	62,8	32,44	63,84			
20	549360	2,22	10454	0,89	54568	65022	7,61	2,76	12996	51412	1,13	0,162	51,4	26,83	52,53			
30	381805	2,47	11631	0,99	60699	72330	4,86	3,05	14362	57094	1,25	0,14	44,4	23,45	45,65			
40	293908	2,78	13090	1,1	67444	80534	3,35	3,4	16010	63490	1,39	0,126	40	21,39	41,39			
50	238972	3,15	14833	1,24	76028	90861	2,33	3,83	18035	71558	1,57	0,116	36,8	19,97	38,37			
60	200516	3,58	16858	1,4	85838	102696	1,54	4,32	20342	80772	1,77	0,108	34,3	18,92	36,07			
70	170302	4,07	19165	1,57	96261	115426	0,86	4,89	23026	90793	1,99	0,102	32,4	18,19	34,39			
80	145580	4,62	21755	1,78	109136	130891	0,23	5,52	25993	102825	2,26	0,097	30,8	17,66	33,06			
90	123606	5,23	24627	2	122625	147252	-0,37	6,23	29336	115664	2,54	0,093	29,5	17,29	32,04			
100	107125	5,9	27782	2,24	137340	165122	-0,91	7,00	32962	129649	2,85	0,09	28,6	17,15	31,45			

0032.226321.000.03MP.ПЗ

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



$$\omega_x = 2,4 + 0,011 \cdot V + 0,00035 \cdot V^2. \quad (4.16)$$

Основні питомі опори  $\omega_0'$ ,  $\omega_x$  і  $\omega_0''$  можна визначати, використовуючи розрахункові таблиці, приведені в [15]. Основний питомий опір всього поїзда (при слідуванні його по прямій горизонтальній ділянці колії) при русі локомотива на холостому ході (без струму) розраховують за формулою:

$$\omega_{0x} = \frac{P \cdot \omega_x + Q \cdot \omega_0''}{P + Q}. \quad (4.17)$$

Величини  $\omega_0'$ ,  $\omega_x$ ,  $\omega_0''$  і  $\omega_{0x}$  визначаються вказаним шляхом для швидкостей, починаючи з 10 км/год і вище до конструкційної. Значення цих величин при  $V=0$  (в момент зрушення поїзда з місця) приймаються відповідно такими ж, як при  $V=10$  км/год.

При визначенні розрахункового гальмівного коефіцієнта вантажних поїздів на спусках до 20 ‰ маса і гальмівні засоби локомотива не враховуються; це спрощує розрахунки і не знижує їхню точність.

Питома сповільнююча сила, яка діє на поїзд в режимі гальмування, Н/кН:

– при службовому регульовальному гальмуванні  $\omega_{0x} + 0,5b_2$ ;

– при екстремому гальмуванні  $\omega_{0x} + b_2$ .

За даними табл. 4.4, 4.5 побудовано по розрахункових точках діаграму питомих рівнодіючих сил для режиму тяги  $f_\partial - \omega_0 = f_1(V)$ , режиму холостого ходу  $\omega_{0x} = f_2(V)$  і режиму службового гальмування  $\omega_{0x} + 0,5 \cdot b_2 = f_3(V)$  (рис. 4.2, 4.3).

#### 4.2.7 Рішення гальмівної задачі

Перед тим, як приступити до побудови кривих швидкості і часу ходу поїзда по дільниці, необхідно вирішити гальмівну задачу, яка полягає в визначенні максимально допустимої швидкості руху поїзда по найбільш крутому спуску дільниці при заданих гальмівних засобах і прийнятому гальмівному шляху [15]. Ця

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

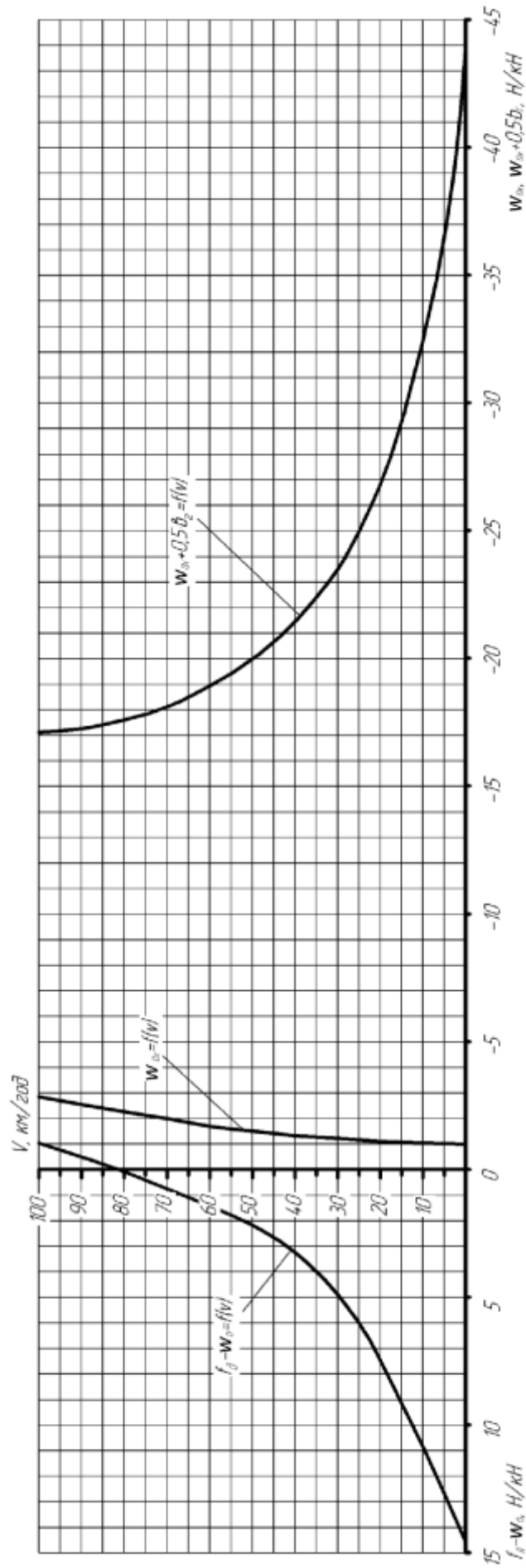


Рисунок 4.2 – Діаграма питомих рівнодіючих сил (тепловоз 2М62, маса складу 4400 т)

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

0032.226321.000.03МР.ПЗ

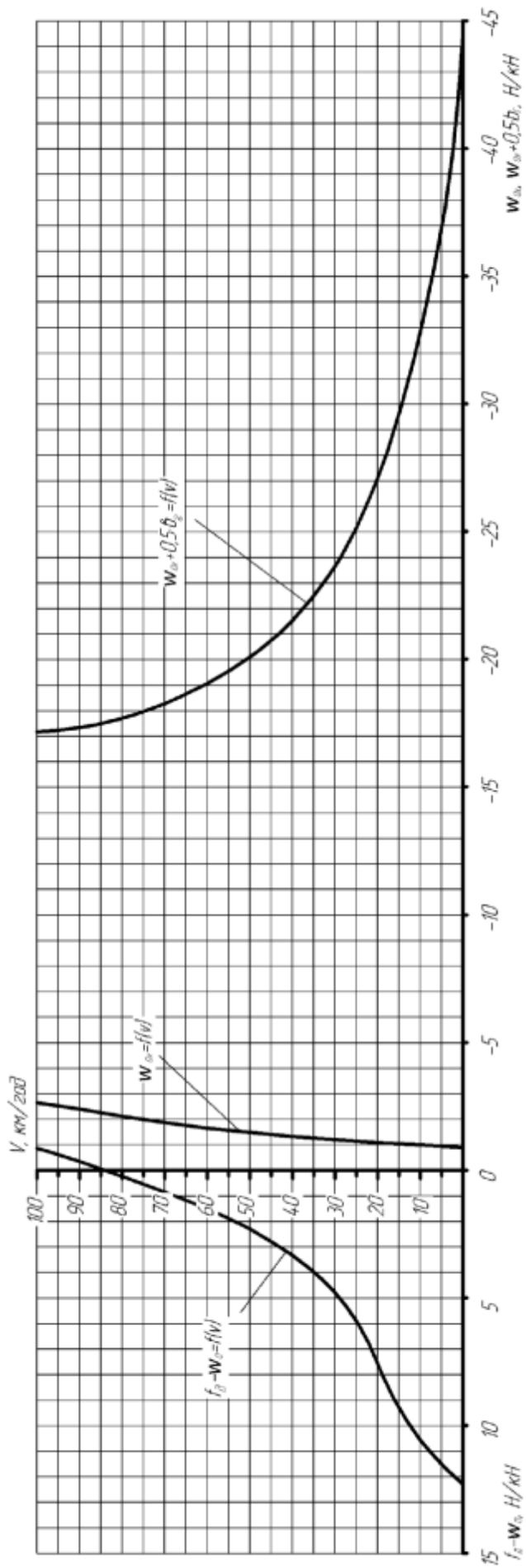


Рисунок 4.3 – Діаграма питомих рівнодіючих сил (тепловоз 2М62(М), маса складу 6250 т)

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

0032.226321.000.03МР.ПЗ

задача в магістерській роботі розв'язується графічним способом.

Приймаємо для розрахунку що в межах ухилу від 0‰ до -6‰ гальмівний шлях потяга має становити 1000 м, на ухилі від -6‰ і далі – 1200 м. Проводитимемо графічні розрахунки при чотирьох варіантах: при ухилі 0‰ – гальмівний шлях 1000 м, при ухилі -6‰ – гальмівний шлях 1000 м, при ухилі -6‰ – гальмівний шлях 1200 м, при ухилі -8,5‰ – гальмівний шлях 1200 м.

На основі цих розрахунків будемо графік залежності  $V = f(i)$ .

Повний (розрахунковий) гальмівний шлях  $S_2$

$$S_2 = S_n + S_\partial, \quad (4.18)$$

де  $S_n$  – шлях підготовки гальм до дії, на протязі якого гальма поїзда умовно приймаються недіючими (від моменту встановлення ручки крана машиніста в гальмівне положення до включення гальм поїзда), м;

$S_\partial$  – дійсний гальмівний шлях, на протязі якого поїзд рухається з діючими в повну силу гальмами (кінець шляху  $S_n$  співпадає з початком шляху  $S_\partial$ ), м.

Рівняння (4.18) дозволяє знайти допустиму швидкість як величину, яка відповідає точці перетину графічних залежностей підготовчого шляху  $S_n$  і дійсного гальмівного шляху  $S_\partial$  від швидкості руху поїзда в режимі гальмування.

За даними табл. 4.4, 4.5 питомих рівнодіючих сил будемо по точках залежність питомих сповільнюючих сил при екстреному гальмуванні від швидкості  $\omega_{0x} + b_2 = f(V)$ , а поруч, справа, встановлюємо у відповідних масштабах систему координат  $V - S$  (рис. 4.4). Осі швидкостей  $V$  в обох системах координат повинні бути паралельні, а осі питомих сил  $\omega_{0x} + b_2$  і шляху  $S$  повинні лежати на одній прямій [16]. Методика розв'язку гальмівної задачі детально описана у [15].

Розрахунки проведемо для найкрутішого спуску на ділянці  $i_2 = -8,5\%$ . Приймаємо швидкість на початку гальмування  $V_{поч}$  для всіх локомотивів у

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

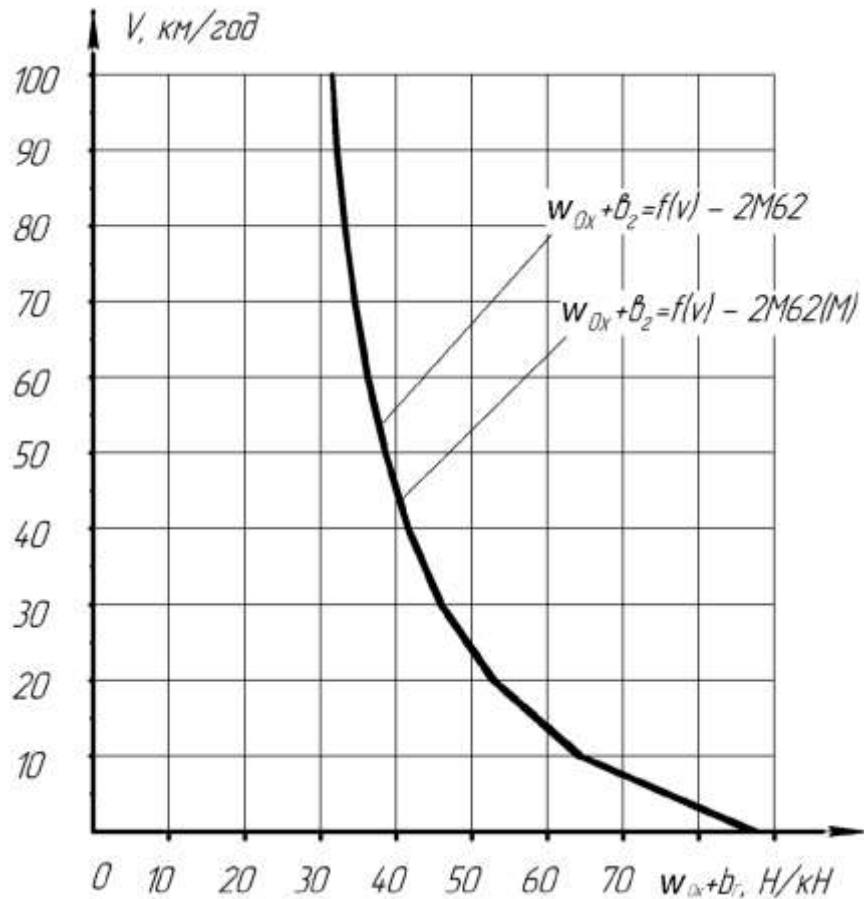


Рисунок 4.4 – Залежність питомих сповільнюючих сил при екстремому гальмуванні

вантажному русі рівною 90 км/год. На цей же графік варто нанести залежність підготовчого гальмівного шляху від швидкості

$$S_n = 0,278 \cdot V_{поч} \cdot t_n, \quad (4.19)$$

де  $V_{поч}$  – швидкість на початку гальмування, км/год;

$t_n$  – час підготовки гальм до дії, с; цей час для автогальм вантажного типу рівний:

– для складу довжиною 200 осей і менше

$$t_n = 7 - \frac{10 \cdot i_2}{b_2}; \quad (4.20)$$

– для складу довжиною від 200 до 300 осей

$$t_n = 10 \cdot \frac{15 \cdot i_2}{b_2}, \quad (4.21)$$

де  $i_2$  – крутизна ухилу, для якого розв'язується гальмівна задача (для спусків зі знаком мінус), ‰.

$b_2$  – питома гальмівна сила при початковій швидкості гальмування, Н/кН.

Число осей в складі поїзда

$$n = n_4 + n_8; \quad (4.22)$$

$$n_4 = m_4 \cdot 4; \quad (4.23)$$

$$n_8 = m_8 \cdot 8, \quad (4.24)$$

де  $n_4, n_8$  – кількість 4-вісних і 8-вісних вагонів.

$$n_{2M62} = 46 \cdot 4 + 2 \cdot 8 = 200 \text{ осей};$$

$$n_{2M62(M)} = 66 \cdot 4 + 3 \cdot 8 = 288 \text{ осей}.$$

Результати вирішення гальмівної задачі необхідно враховувати при побудові кривої швидкості руху поїзда  $V = f(S)$  з тим, щоб ніде не перевищити швидкості, яка допускається по гальмах, тобто щоб поїзд міг бути завжди зупинений на відстані, яка не перевищує довжини повного гальмівного шляху.

Питомі гальмівні сили поїзда розраховуються за формулою

$$b_2 = 1000 \cdot \varphi_{кр} \cdot v_p, \quad (4.25)$$

де  $\varphi_{кр}$  – розрахунковий коефіцієнт тертя колодок об колесо;

$v_p$  – розрахунковий гальмівний коефіцієнт складу.

Розрахунковий коефіцієнт тертя колодок об колесо розраховується за

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

формулою:

$$\varphi_{кр} = 0,27 \frac{V + 100}{5V + 100} . \quad (4.26)$$

Розрахунковий гальмівний коефіцієнт складу розраховується за формулою:

$$v_p = \frac{\sigma \cdot (k_p \cdot n)}{Q} , \quad (4.27)$$

де  $n$  – число осей складу;

$k_p$  – розрахункові сили натиснення гальмівних колодок на вісь вагонів,  $k_p = 68,5$ .

$\sigma$  – частка гальмівних осей в складі,  $\sigma = 1,00$ .

$$v_p^{2M62} = \frac{1 \cdot (68,5 \cdot 200)}{4400 \cdot 9,81} = 0,32 ;$$

$$v_p^{2M62(M)} = \frac{1 \cdot (68,5 \cdot 288)}{6250 \cdot 9,81} = 0,32 ;$$

$$\varphi_{кр} = 0,27 \cdot \frac{90 + 100}{5 \cdot 90 + 100} = 0,093 ;$$

$$b_z = 1000 \cdot 0,093 \cdot 0,32 = 29,76 .$$

Час підготовки гальм до дії  $t_n$  :

– для ухилу  $-8,5\%$

$$t_n^{2M62} = 7 - \frac{10 \cdot (-8,5)}{29,76} = 9,86 \text{ с} ;$$

$$t_n^{2M62(M)} = 10 - \frac{15 \cdot (-8,5)}{29,76} = 14,28 \text{ с} ;$$

– для ухилу  $-6\%$

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_n^{2M62} = 7 - \frac{10 \cdot (-6,0)}{29,76} = 9,02 \text{ с};$$

$$t_n^{2M62(M)} = 10 - \frac{15 \cdot (-6,0)}{29,76} = 13,02 \text{ с};$$

– для ухилу 0‰

$$t_n^{2M62} = 7 - \frac{10 \cdot (0,0)}{29,76} = 7,0 \text{ с};$$

$$t_n^{2M62(M)} = 10 - \frac{15 \cdot (0,0)}{29,76} = 10,0 \text{ с}.$$

Довжина підготовчого шляху  $S_{II}$ :

– для ухилу -8,5‰

$$S_n^{2M62} = 0,278 \cdot 90 \cdot 9,86 = 246,7 \text{ м};$$

$$S_n^{2M62(M)} = 0,278 \cdot 90 \cdot 14,28 = 357,3 \text{ м};$$

– для ухилу -6‰

$$S_n^{2M62} = 0,278 \cdot 90 \cdot 9,02 = 225,7 \text{ м};$$

$$S_n^{2M62(M)} = 0,278 \cdot 90 \cdot 13,02 = 325,8 \text{ м};$$

– для ухилу 0‰

$$S_n^{2M62} = 0,278 \cdot 90 \cdot 7,0 = 175,1 \text{ м};$$

$$S_n^{2M62(M)} = 0,278 \cdot 90 \cdot 10 = 250,2 \text{ м}.$$

Зведені результати розв'язку гальмівної задачі наведені у табл. 4.6. У результаті графічного розв'язку гальмівної задачі побудовано графік (рис. 4.5-4.8),

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

за яким можна визначити допустиму швидкість руху поїзда по усіх спусках ділянки (рис. 4.9).

Таблиця 4.6 – Результати розв’язку гальмівної задачі

Ухил $i$ , ‰	Допустимий гальмівний шлях $S_2$ , м	$V_{доп}$ , км/год (2М62)	$V_{доп}$ , км/год (2М62 (М))
0	1000	86,1	82,9
- 6	1000	77,8	73,7
- 6	1200	85,6	82,2
-8,5	1200	82,0	78,3

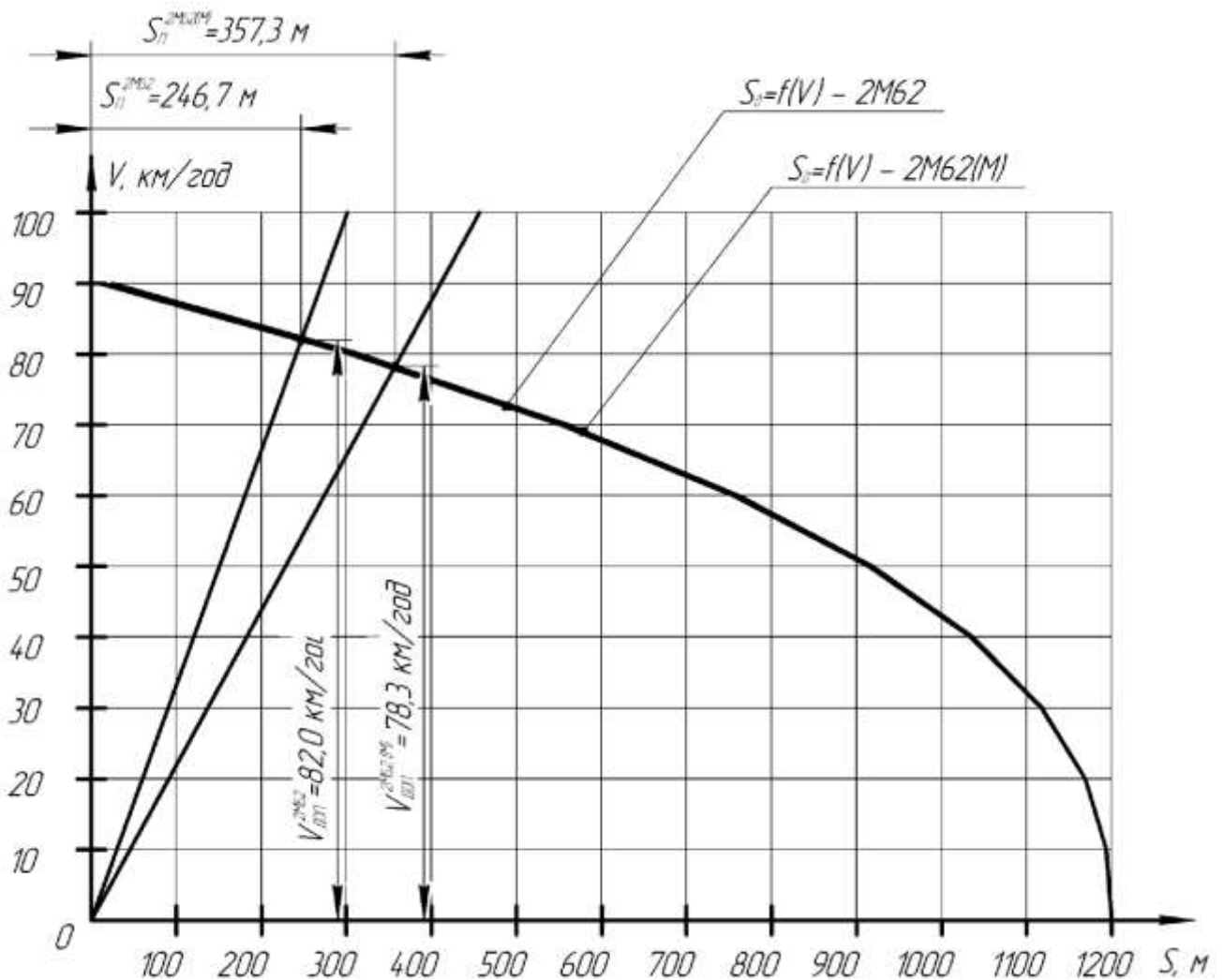


Рисунок 4.5 – Графічне розв’язання гальмівної задачі для ухилу  $i_2 = -8,5\text{‰}$

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

0032.226321.000.03МР.ПЗ

Арк.

73

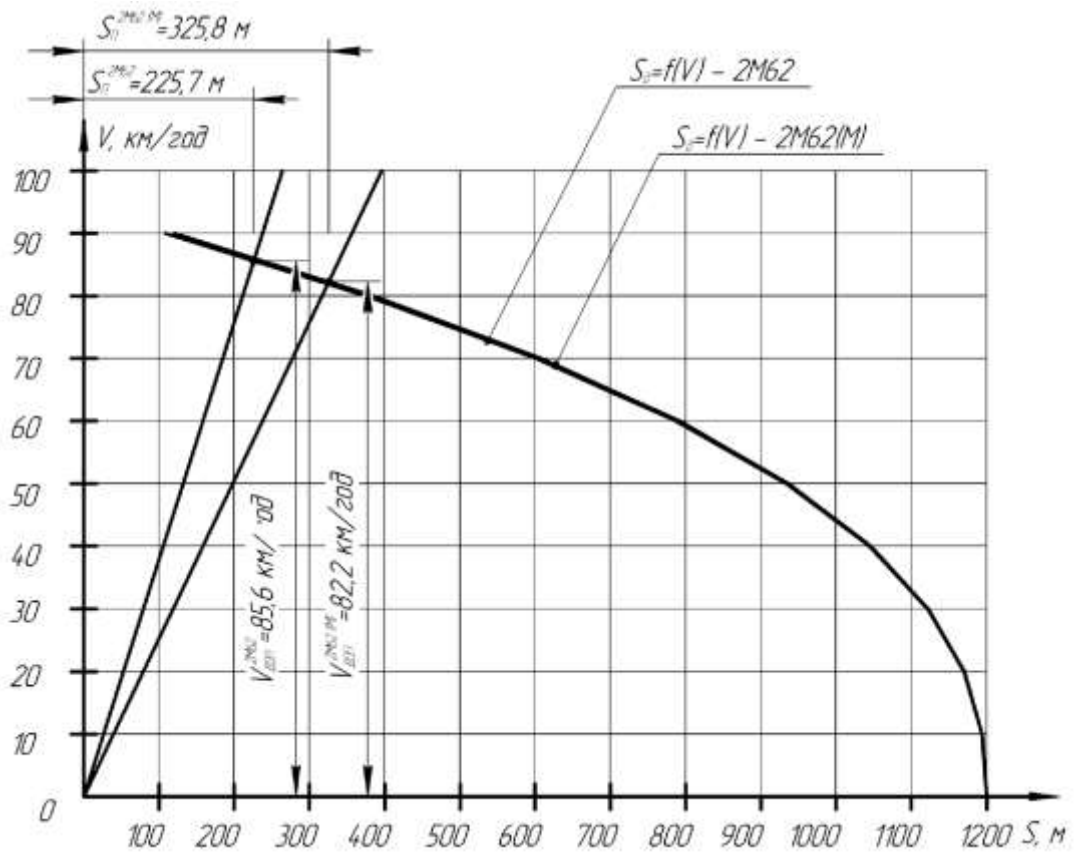


Рисунок 4.6 – Графічне розв’язання гальмівної задачі для ухилу  $i_2 = -6‰$

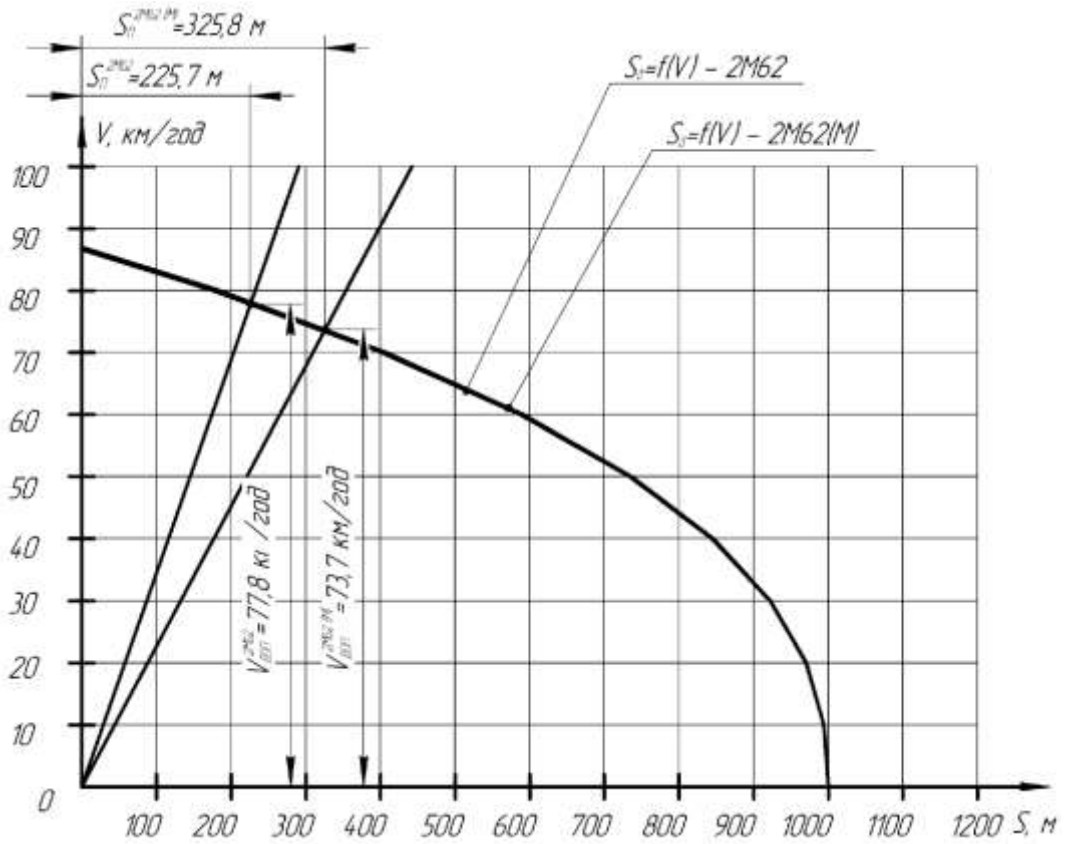


Рисунок 4.7 – Графічне розв’язання гальмівної задачі для ухилу  $i_2 = -6‰$

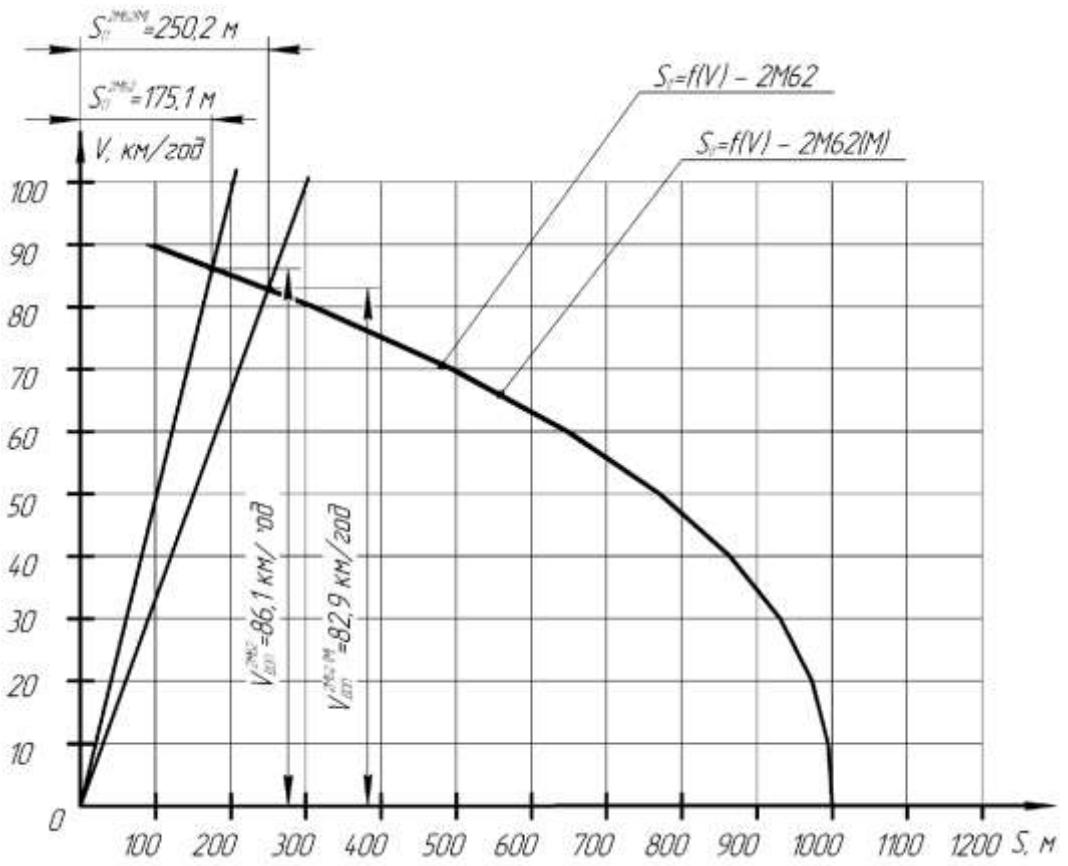


Рисунок 4.8 – Графічне розв’язання гальмівної задачі для ухилу  $i_2 = 0\%$

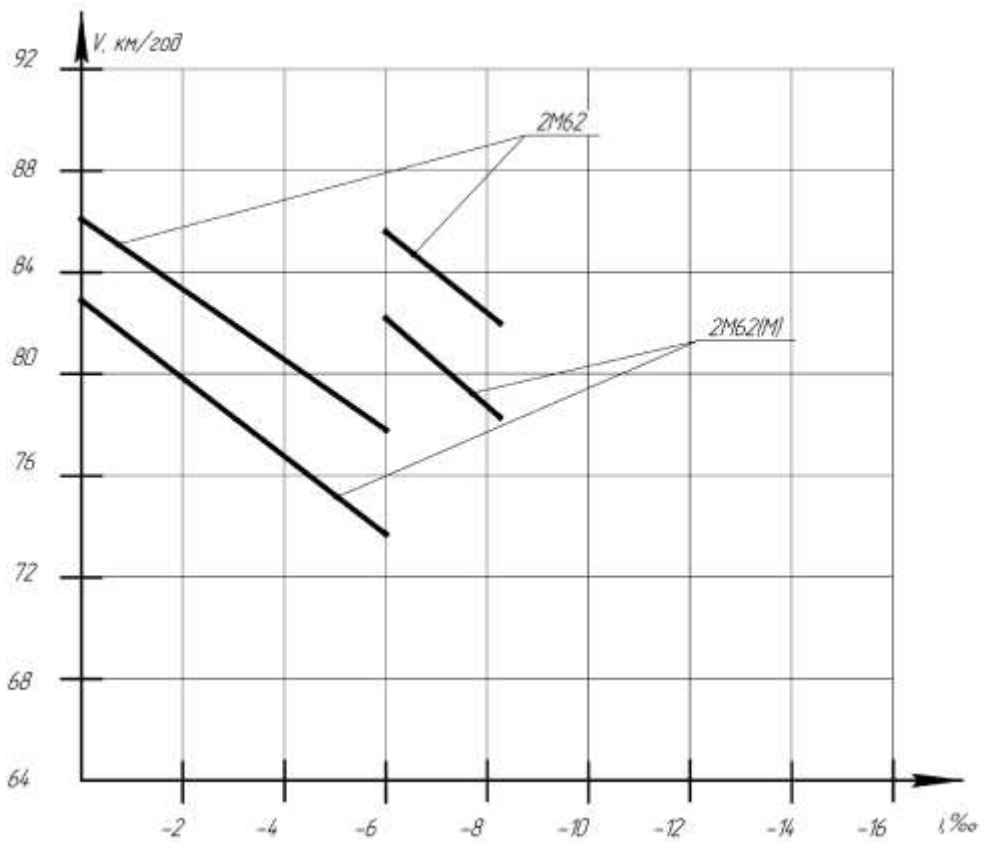


Рисунок 4.9 – Допустима швидкість руху поїзда по усіх спусках ділянки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.226321.000.03MP.ПЗ

#### 4.2.8 Побудова кривих швидкості та часу ходу поїзда

Криву швидкості будуємо для руху поїзда в одному напрямку. При цьому дотримуємось умови, що швидкість поїзда по вхідних стрілках станції, на якій передбачена зупинка, не повинна перевищує 50 км/год для можливого прийому на бокову колію для схрещування або обгону.

При побудові кривої  $V = f(S)$  враховуємо обмеження найбільшої допустимої швидкості руху поїзда:

- конструктивна швидкість вантажних вагонів 100 км/год;
- найбільша допустима швидкість поїзда за міцністю колії 100 км/год;
- конструктивна швидкість локомотива 100 км/год;
- найбільша допустима швидкість поїзда, визначена гальмівними засобами, розрахована вище при розв'язуванні гальмівної задачі.

Графіки побудови кривих швидкості та часу руху поїзда зображені на рис. 4.10.

#### 4.2.9 Визначення часу ходу поїзда у чистому русі та ходової швидкості

У зв'язку зі значною протяжністю профілю ділянки час ходу поїзда по ділянці пропонується визначити методом рівномірних швидкостей. Вказаний метод заснований на припущенні про рівномірний рух поїзда по кожному елементі профілю. При цьому швидкість рівномірного руху на кожному елементі спрямленого профілю визначаємо за діаграмою питомих рівнодіючих сил для режиму тяги [17].

Для підйомів більш крутих, ніж розрахунковий, величину рівномірної швидкості приймаємо рівною розрахунковій швидкості  $V_p$ . На спусках, коли, рівномірна швидкість, визначена за діаграмою питомих сил для режиму тяги, є вищою за допустиму по гальмівних засобах, приймаємо рівномірну швидкість рівною максимально допустимій.

Всі дані зведемо у табл. 3.8, причому прийнятий для графіка руху поїздів час ходу між вузловими станціями округлюється з точністю до 1 хв. у більшу сторону.

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

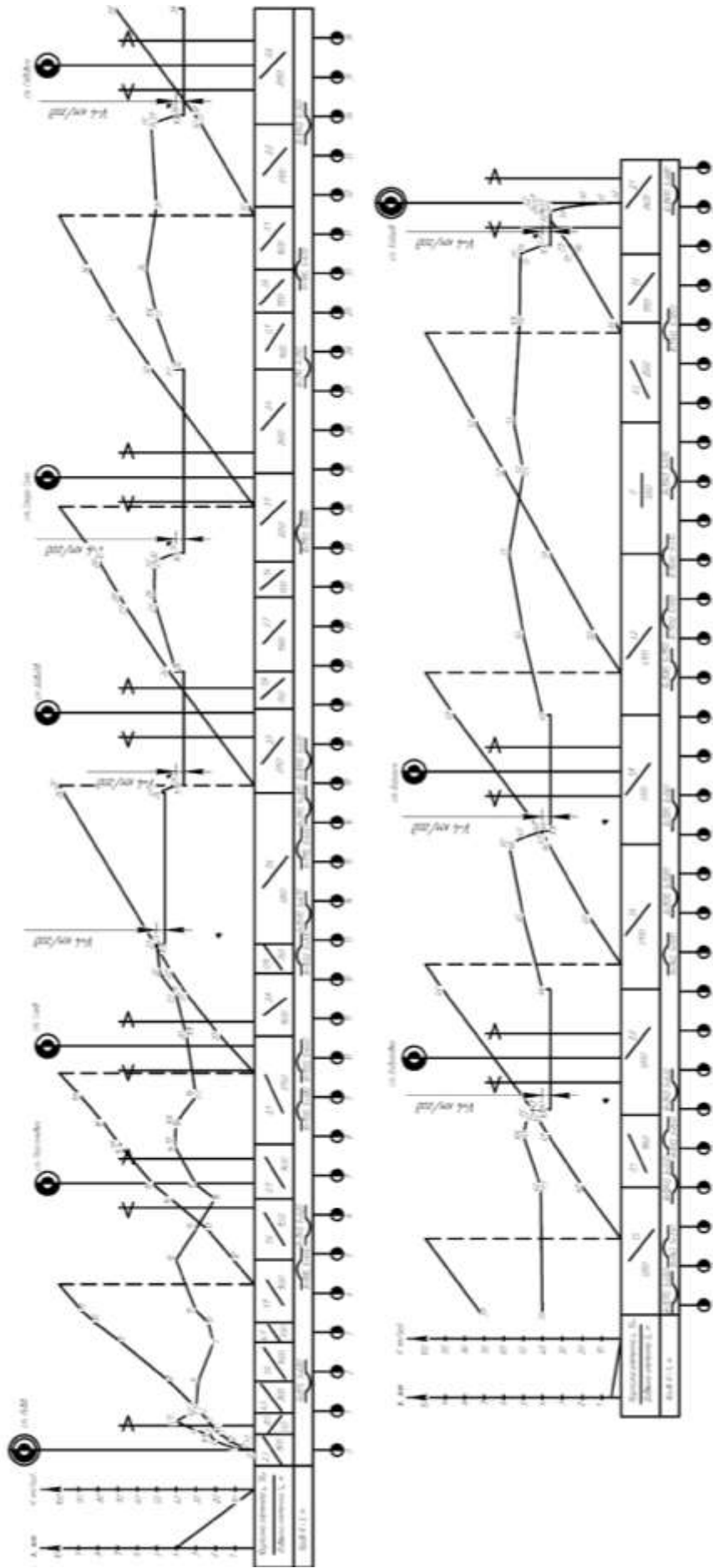


Рисунок 4.10 – Криві швидкості та часу ходу поїзда з локомотивом 2М62 та 2М62(М)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.226321.000.03МР.ПЗ

Арк.

77

Таблиця 3.8 – Розрахунок часу ходу поїзда методом рівномірних швидкостей

Перегін	Довжина, км	Час ходу, хв	
		розрахунковий	графіковий
Ковель-Сокаль	111,29	87,0	87
Сокаль-Сапіжанка	46,4	42,2	43
Сапіжанка-Львів	40,95	36,12	37
Львів-Ходорів	65,1	56	56
Ходорів-Івано-Франківськ	72,99	69,6	70
Івано-Франківськ-Коломия	47,67	68,3	69
Коломия-Чернівці	61,5	55,7	56
По дільниці	445,9	414,9	418

#### 4.2.10 Визначення витрат дизельного пального тепловозом на ділянці

Для визначення витрат палива тепловозом необхідно користуватись побудованими кривими швидкості та часу руху поїзда. Визначимо витрати дизельного пального на ділянці Л.-К. при веденні тепловозом 2М62 (вага складу 4400 т) та 2М62(М) (вага складу 6250 т). Витрати дизельного пального тепловозом на заданій дільниці визначають за формулою

$$E = G \cdot t_m + g_x \cdot t_x, \quad (4.28)$$

де  $G$  – витрата дизельного пального тепловозом у режимі тяги, що відповідає п'ятнадцятому положенню ручки контролера машиніста, кг/год [15];

$t_m$  – сумарний час роботи тепловоза у режимі тяги, год;

$g_x$  – витрата пального тепловозом у режимі холостого ходу і гальмування,

$$g_x = 50,4 \text{ кг/год};$$

$t_x$  – сумарний час руху даного тепловоза у режимі холостого ходу і гальмування, год.

Питома витрата дизельного пального на вимірювач, у  $\text{кг}/10^4 \text{ т-км}$ , визначається за формулою:

$$e = \frac{E}{Q \cdot L} 10^4. \quad (4.29)$$

Згідно [15] витрата пального тепловозом 2М62 на 15-й позиції контролера машиніста становить 696  $\text{кг}/\text{год}$ . Витрати пального на холостому ходу тепловозом 2М62(М), який модернізований новою силовою установкою, становить 24  $\text{кг}/\text{год}$ , а на максимальній потужності – 897  $\text{кг}/\text{год}$ .

Витрата дизельного пального тепловозом серії 2М62 з вагою поїзда 4400 т, та тепловозом серії 2М62(М) з вагою поїзда 6250 т становить

$$E^{2M62} = 696 \cdot 3,83 + 50,4 \cdot 3,14 = 2823,9 \text{ кг};$$

$$E^{2M62(M)} = 897 \cdot 3,83 + 24,0 \cdot 3,14 = 3510,9 \text{ кг}.$$

Питома витрата пального за тих же умов буде дорівнювати:

$$e^{2M62} = \frac{2823,9}{4400 \cdot 445,9} \cdot 10^4 = 14,4 \text{ кг} / 10^4 \text{ ткм};$$

$$e^{2M62(M)} = \frac{3510,9}{6250 \cdot 445,9} \cdot 10^4 = 12,6 \text{ кг} / 10^4 \text{ ткм}.$$

За результатами розрахунків встановлено, що загальна витрата дизельного пального при веденні поїзда вагою 6250 т тепловозом серії 2М62(М) більша за витрату дизельного пального при веденні поїзда вагою 6250 т тепловозом 2М62 на 24,3%, але більша і вага поїзда на 42,0%. Разом із тим менша питома витрата пального на 14,3%.

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## **5 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЗІВ СЕРІЇ 2М62 З ВИКОРИСТАННЯМ НОВОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ**

### **5.1 Економічне обґрунтування проведення модернізації**

Світова практика виробничої діяльності підприємств засвідчила, що її ефективність у ринкових економічних умовах визначається не тільки офіційною рентабельністю, але й реальною грошовою прибутковістю. Тому, якщо взяти, як приклад, конкретну виробничу діяльність локомотивобудівних, локомотиворемонтних заводів і локомотивних депо, то, приступаючи на цих підприємствах до підготовки випуску запроектованого нового виробу або до модернізації існуючого, слід найретельнішим чином проаналізувати умови й розробити відповідні заходи з оцінювання очікуваної прибутковості.

Ця задача у ринкових умовах господарювання ускладнюється різноманітністю форм власності підприємств, видів їх об'єднання, принципів концентрації капіталу та додаткових вимог, які висуваються окремими нормативними та розпорядчими документам органів підпорядкування підприємств, а також умовами взаємовідносин між конкретними підприємствами.

Враховуючи наведене вище, можна зробити висновок, що цінову політику тепловозобудівних і тепловозоремонтних заводів з випуску нових і модернізації існуючих виробів слід визначати на основі вивчення і всебічного аналізу підходів до цього питання й досвіду економічних розрахунків, накопиченого не тільки конкретними підприємствами, але й різними науково-дослідницькими та іншими установами і організаціями (зокрема – профільними вищими навчальними закладами). При цьому слід також враховувати й особливості експлуатаційного використання нових і модернізованих виробів.

Зважаючи на вище викладене, модернізація тепловозів серії 2М62 із встановленням нової силової установки буде економічно вигіднішим в порівнянні закупівлі нового рухомого складу чи капітального ремонту тепловоза на локомотиворемонтному заводі.

					<i>0032.226321.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Після проведення експлуатаційних випробувань на базі Львівської залізниці встановлено наступне:

- питомі витрати палива на тепловозі серії М62(М) в середньому на 23,05% менше, ніж у тепловозів серії М62;
- середньодобова продуктивність тепловозів серії М62(М) на 38% більша, ніж у тепловозів серії М62.

Загалом, вміла експлуатація тепловозів серії М62(М) на Львівській залізниці не тільки підтвердила техніко-економічні показники виробника, але й покращила їх на 20%.

Модернізація тепловозів серії 2М62 торкається надвізкової частини та полягає в заміні:

- дизель-генератора;
- електричної системи управління;
- системи охолодження, змащування дизеля;
- системи вентиляції локомотиву та тягових двигунів;
- компресору пневматичної системи;
- стаціонарної протипожежної установки;
- обладнання кабіни машиніста.

## **5.2 Розрахунок економічної складової модернізації тепловозів серії 2М62 з використанням нової силової установки**

У магістерській роботі у рамках модернізації тепловозів серії 2М62 пропонується провести заміну дизель-агрегатної установки із всім електричним обладнанням та електричними апаратами, механічним обладнанням, повітряним компресором, вентиляторами.

Основними складовими очікуваного економічного ефекту буде:

- збільшення потужності тепловоза;
- збільшення ваги поїзда;
- збільшення якісних характеристик, як середньодобовий пробіг, середня вага поїзда, ходова та дільнична швидкості;

					0032.226321.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

- зменшення кількості непланових ремонтів модернізованих тепловозів;
- покращення техніко-економічних характеристик дизель-агрегатної установки;
- зменшення питомих витрат палива та дизельного масла.

Витрати, які ідуть на забезпечення перевізного процесу є наступні: експлуатаційні витрати (заробітна плата локомотивним бригадам, витрати палива, масла, екіпірувальних матеріалів), витрати на ремонт (заробітна плата ремонтному персоналу, матеріали, запасні частини), інші витрати. Розрахунок економічного ефекту знаходимо по різниці витрат до та після модернізації [18].

Загальні витрати на процес ремонту обладнання можна визначити за наступною формулою:

$$C = B_{\text{прям}} + B_{\text{заг.вир}} + B_{\text{заг.госп}}, \quad (5.1)$$

де  $B_{\text{прям}}$  – прямі витрати на ремонт;

$B_{\text{заг.вир}}$  – витрати на утримання загальновиробничого персоналу;

$B_{\text{заг.госп}}$  – витрати на утримання загальногосподарського персоналу.

Прямі витрати депо визначаються за наступною формулою:

$$B_{\text{прям}} = B_{\text{мат}} + B_{\text{з/пл}} + B_{\text{соц}} + A_{\text{відр}} + B_{\text{пал}} + B_{\text{ел}} + B_{\text{ін}}, \quad (5.2)$$

де  $B_{\text{мат}}$  – матеріальні витрати;

$B_{\text{з/пл}}$  – витрати на оплату праці;

$B_{\text{соц}}$  – відрахування до соціальних фондів;

$A_{\text{відр}}$  – амортизація;

$B_{\text{пал}}$  – витрати на паливо;

$B_{\text{ел}}$  – витрати електроенергії;

$B_{\text{ін}}$  – інші витрати.

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Матеріальні витрати визначаються за наступною формулою:

$$B_M = C \cdot m \cdot n, \quad (5.3)$$

де  $C$  – ціна матеріалу та запасних частин, грн;

$m$  – кількість матеріалу та запасних частин, що йде на ремонт,

$n$  – кількість одиниць, що підлягає ремонту.

Витрати на оплату праці визначаються за формулою:

$$B_{з/нл} = ГТС \cdot t, \quad (5.4)$$

де  $ГТС$  – годинна тарифна ставка згідно розряду, грн;

$t$  – фактичний час роботи, год.

Відрахування до соціальних фондів складають певну долю від витрат на оплату праці і визначаються за формулою:

$$B_{сс} = B_{з/нл} \cdot 37,61\%. \quad (5.5)$$

Амортизаційні відрахування обладнання у локомотивному депо визначаються за наступною формулою:

$$A_{відр} = \frac{B_{перв} - B_{лікв}}{T_{кор.в.}}, \quad (5.6)$$

де  $B_{перв}$  – балансова вартість основних засобів;

$B_{лікв}$  – ліквідна вартість основних засобів;

$T_{кор.в.}$  – термін корисного використання основних засобів.

Витрати на паливо визначаються за формулою:

$$B_{нал} = C_{нал} \cdot q, \quad (5.7)$$

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

де  $C_{нал}$  – ціна палива, грн;

$q$  – витрата палива, т.

Витрати електроенергії можна визначити за наступною формулою

$$B_{ел.е} = C_{ел.е} \cdot k \cdot t, \quad (5.8)$$

де  $C_{ел.е}$  – ціна 1 кВт·год електроенергії;

$k$  – потужність обладнання, кВт;

$t$  – термін експлуатації обладнання.

До інших витрат відносяться витрати на відрядження, обслуговування кредитів і т.д.

Витрати на утримання загальнопромислового та адміністративного персоналу приймаються, як доля від прямих витрат

$$B_{заг.вир} = 0,45 \cdot (B_{прям} - B_{нал} - B_{ел.е}); \quad (5.9)$$

$$B_{заг.госп} = 0,55 \cdot (B_{прям} - B_{нал} - B_{ел.е}). \quad (5.10)$$

Термін окупності – це період часу, необхідний для того, щоб доходи, що генеруються інвестиціями, покрили витрати на інвестиції. Однак у терміні окупності є недолік, який полягає у тому, що цей показник ігнорує всі надходження коштів після моменту повного відшкодування початкових витрат. При виборі з декількох інвестиційних проектів, якщо виходити тільки з терміну окупності інвестицій, не враховуватиметься обсяг прибутку, створений проектами. Термін окупності визначається за формулою:

$$T_{ок} = \frac{K}{C_1 - C_2}, \quad (5.11)$$

де  $K$  – капітальні витрати, пов'язані з впровадженням заходу, грн;

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

$C_1$  – загальні витрати до впровадження заходу, грн;

$C_2$  – загальні витрати після впровадження заходу, грн.

Економічний ефект передбачає будь-який корисний результат, виражений у вартісній оцінці та називають виражену в грошових одиницях різницю між доходом, отриманим від певної діяльності протягом певного проміжку часу і витратами на її здійснення за той же період. Економічний ефект визначається за формулою:

$$E = C_1 - C_2. \quad (5.12)$$

Розрахунок економічної ефективності рекомендується проводити шляхом порівняння витрат з економічним ефектом як грошовим виразом результату за формулою:

$$E_e = \frac{C_1 - C_2}{K} \cdot 100, \quad (5.13)$$

де  $K$  – капітальні витрати, пов'язані з впровадженням заходу, грн;

$C_1$  – загальні витрати до впровадження заходу, грн;

$C_2$  – загальні витрати після впровадження заходу, грн;

100 – коефіцієнт переводу.

### 5.3 Розрахунок річної економічної ефективності

Для визначення річної економічної ефективності прийmemo наступне. Обсяг річних перевезень,  $Q$ , в вантажному русі за показниками локомотивного депо Л. становить 2107,7 млн т км брутто. При проведених вище розрахунках тепловози серії 2М62 можуть вести вантажний поїзд вагою  $q = 4400$  т, а модернізовані тепловози серії 2М62(М) – вантажний поїзд вагою  $q = 6250$  т.

Розрахуємо скільки поїздів на рік мають перевозити тепловози серії 2М62:

					0032.226321.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

$$N = \frac{Q}{q}, \quad (5.14)$$

де  $Q$  – обсяг перевезень локомотивного депо Л., млн. т км брутто;

$q$  – вага вантажного поїзда, т

$$N_{2M62} = \frac{2107,7 \cdot 10^3}{4400} = 479 \text{ поїздів};$$

$$N_{2M62(M)} = \frac{2107,7 \cdot 10^3}{6250} = 337 \text{ поїздів}.$$

Витрати дизельного палива та масла  $E$ , яка необхідна для перевезення вантажного поїзда на досліджуваній ділянці для тепловоза серії 2М62 становить 2,8 т, а тепловоза 2М62(М) – 3,5 т.

Розрахуємо загальну витрату дизельного палива на рік  $e_{заг}$ , яка буде затрачена на ведення вантажного поїзда масою 4400 т та 6250 т відповідно:

$$E_n = e_n \cdot N, \quad (5.15)$$

де  $e_n$  – витрата дизельного палива при веденні вантажного поїзда, кг;

$$E_n^{2M62} = 2,8 \cdot 479 = 1341,2 \text{ т};$$

$$E_n^{2M62(M)} = 3,5 \cdot 337 = 1179,5 \text{ т}.$$

Прийmemo для розрахунків вартість дизельного пального для підприємств залізничного транспорту 47276 грн/т, отже затрати на дизельне пальне за рік можна визначити за формулою:

$$Ц_n = ц \cdot e_{заг}, \quad (5.16)$$

де  $ц$  – вартість однієї тони дизельного пального, грн.

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Ц_n^{2M62} = 47276 \cdot 1341,2 = 63406571,2 \text{ грн};$$

$$Ц_n^{2M62(M)} = 47276 \cdot 1179,5 = 55762042 \text{ грн.}$$

Визначимо витрати дизельного масла на досліджуваній ділянці. Витрати масла тепловозом 2М62 становлять 13,2 кг/год, а тепловозом 2М62(М) – 1,4 кг/год. При тривалості поїздки 6,97 год, загальні витрати масла тепловозом 2М62 становлять 92 кг, 2М62(М) – 9,7 кг. Вартість дизельного масла марки М14В2 становить 61580 грн/т.

$$E_M^{2M62} = 0,092 \cdot 479 = 44 \text{ т};$$

$$e_M^{2M62(M)} = 0,0097 \cdot 337 = 3,3 \text{ т};$$

$$Ц_M^{2M62} = 61580 \cdot 44 = 2709520 \text{ грн};$$

$$Ц_M^{2M62(M)} = 61580 \cdot 3,3 = 203214 \text{ грн};$$

$$Ц_{2M62} = 63406571,2 + 2709520 = 66116091,2 \text{ грн},$$

$$Ц_{2M62(M)} = 55762042 + 203214 = 55965256 \text{ грн.}$$

Отже, для виконання заданого обсягу перевезень при перевезенні вантажних поїздів тепловозами 2М62 та 2М62(М) на ділянці затрати на дизельне пальне та масло в рік становлять 66116 тис грн та 55965 тис грн, що менше на 15,3% від теперішніх витрат.

Різниця вартості витрат дизельного пального та матеріалів  $P_n$ , яка необхідна для перевезення вантажних поїздів протягом року на ділянці визначається за наступною формулою:

$$P_n = Ц_{2M62} - Ц_{2M62(M)}; \quad (5.17)$$

					0032.226321.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

$$P_n = 66116 - 55965 = 10151 \text{ тис грн.}$$

Отже річна економія по затратам дизельного палива та масла при веденні вантажних поїздів на ділянці становить 10,151 млн грн.

Зарплата локомотивним бригадам залишається такою самою, тож розрахунок для неї проводити не будемо.

Капітальні вкладення, які пов'язані з модернізацією тепловозів серії 2М62 із заміною нової силової установки, є наступними. Вони складаються із матеріальної частини (сама дизель-агрегатна установка із всіма додатковим механічним та електричним обладнанням), заробітної плати працівникам залізниці, які будуть проводити її установку, відрахувань та інших витрат. Орієнтовна вартість установки з додатковим обладнанням становить 58017,6 тис грн за дві секції. Орієнтовна вартість заробітної плати за модернізацію становить 712,8 тис грн. Відрахування становлять 87,5% від заробітної плати, а саме 623,7 тис грн. Отже, вартість модернізації одного тепловоза серії 2М62 коштуватиме 59354,1 тис грн.

Загальні витрати до проведення модернізації тепловозів серії 2М62 становлять  $C_1 = 66116$  тис грн.

Загальні витрати після модернізації тепловозів серії 2М62 становлять  $C_2 = 55965$  тис грн.

Термін окупності при вказаній величині капітальних вкладень визначається за формулою:

$$T_{ок} = \frac{59354,1}{66116-55965} = 5,84 \text{ років.}$$

Економічний ефект при модернізації тепловоза визначається за наступною формулою:

$$E = 66116-55965 = 10151 \text{ тис грн.}$$

Економічна ефективність визначається за наступною формулою:

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$E_e = \frac{66116-55965}{59354,1} \cdot 100 = 17,1\%.$$

**Висновок до розділу.** Річний економічний ефект від модернізації тепловоза серії 2М62 з використанням нової силової установки становить 59354,1 тис грн. При такому розмірі капітальних вкладень на їх модернізацію середній термін окупності становитиме близько 6 років, що менше нормативного (8 років). Економічна ефективність від модернізації тепловозів серії 2М62 становить 17%.

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі запропоновано шляхи покращення якісних показників роботи локомотивів, а саме середня вага поїзда, технічна швидкість (для уніфікованої маси складу базового та модернізованого тепловозів), обсяг перевезень та середньодобова продуктивність локомотива.

При виконанні магістерської роботи запропоновано провести модернізацію тепловоза серії 2М62 з використанням нової силової установки. Дана модернізація дозволить збільшити секційну потужність тепловоза з 1470 кВт до 2254 кВт (по дизелю) та з 1090 кВт до 1640 кВт (по дотичній потужності), збільшити вагу поїзда з 4400 т до 6250 т, покращити техніко-економічні показники використання тепловоза.

Для досягнення поставленої задачі ми навели загальну характеристику тепловозів серії 2М62 та обґрунтували необхідність проведення модернізації вказаних тепловозів. Виходячи з огляду та аналізу досвіду модернізації тепловозів ми обґрунтували вимоги на впровадження модернізованих тепловозів на підставі показників надійності.

Під час вибору дизеля для модернізації тепловоза ми розглянули загальні відомості про дизелі й виконали порівняльний розрахунок дизелів 14Д40 та EMD 16-645 з визначенням показників роботи цих дизелів, а саме потужність дизеля підвищено з 1470 кВт до 2254 кВт; ефективний ККД дизеля вище на 0,006; годинна витрата палива дизелем на номінальному режимі прогнозовано зменшиться з 340 кг/год до 199 кг/год.

Для модернізованого тепловоза ми виконали розрахунок техніко-економічних характеристик, а саме: визначили основні параметрів тепловоза з дизелем EMD 16-645: дотична потужність склала 1640 кВт; розрахункова дотична сила тяги 258 кН; зчіпна вага 1575 кН; визначили параметри тягового осьового редуктора – передаточне відношення 4,31; розраховали і побудували електромеханічні характеристики тягового електродвигуна проектного тепловоза, електротягові характеристики колісно-моторного блока, тягову характеристику тепловоза, згідно з якою виконали тягові розрахунки.

					0032.226321.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

Для поліпшення показників роботи локомотивів за рахунок модернізації тепловозів ми обрали ділянку й виконали розрахунок показників роботи локомотивів на підставі тягових розрахунків, які включають в себе: визначення розрахункового підйому; розрахунок маси складу: для тепловоза 2М62 – 4400 т; для тепловоза 2М62(М) – 6250 т ; перевірки розрахункової маси складу, побудова діаграми питомих рівнодіючих сил; рішення гальмівної задачі; визначення часу ходу поїзда у чистому русі та ходової швидкості; визначення витрат дизельного пального на ділянці. Питомий показник витрати палива для тепловоза 2М62 – 14,4 кг/10<sup>4</sup>ткм; для тепловоза 2М62(М) – 12,6 кг/10<sup>4</sup>ткм

Обґрунтували економічну ефективність від модернізації тепловозів серії 2М62 розрахунками економічної складової модернізації тепловозів з використанням нової силової установки та річної економічної ефективності. Річний економічний ефект від модернізації тепловозів серії 2М62 становить 51202,3 тис грн. При розмірі капітальних вкладень на їх модернізацію в розмірі 332658,9 тис грн середній термін окупності становитиме 6,5 років, що менше нормативного (8 років). Економічна ефективність від модернізації тепловозів становить 44%.

					<i>0032.226321.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Корнійчук М.П., Липовець Н.В., Шамрай Д.О. Технологія галузі і технічні засоби залізничного транспорту. Ч. 2: Підручник. – К.: «Дельта», 2007. – 424 с.
2. Модернізація тепловоза М62 у депо Ковель /О.А. Денисюк //Локомотив-інформ. – 2011. – №12. – С. 58-61.
3. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового та моторвагонного рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро- та дизель-поїздів) №429Ц/ОД: затв. Наказом Укрзалізниці від 15.10.2015. – К.: вид-во Укрзалізниці, 2015. – 45 с.
4. Надійність техніки: Аналіз надійності. Основні положення: ДСТУ 2861-94. – К.: Держстандарт України, 1995. – 32 с.
5. Теорія локомотивної тяги. Тягові розрахунки для маневрової роботи: навчальний посібник /Д.В. Бобирь, І.М. Білоконь, О.Б. Очкасов, В.Н. Сердюк. – Дніпро: Український державний університет науки і технологій, 2023. – 131 с.
6. Теорія локомотивної тяги. Тягові розрахунки для промислового залізничного транспорту: навчальний посібник /Д. В. Бобирь, М. І. Капіца, В. Н. Сердюк ; за ред. д-ра техн. наук, проф. М. І. Капіци. – Дніпро: Український державний університет науки і технологій. – 2022. – 112 с.
7. Поліпшення техніко-енергетичних параметрів тепловозів за рахунок впровадження автоматизованих систем керування дизелем /М. І. Капіца, М. І. Мартишевський, Д. М. Кислий, І. І. Палій //Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2015. – № 3(57). – С. 176-185.
8. Двигуни внутрішнього згорання: методичні вказівки до курсового та дипломного проектування /Уклад: М.І. Мартишевський, Д.В. Бобирь. – Дніпро: ДНУЗТ, 2018. – 36с.
9. Двигуни внутрішнього згорання: завдання для контрольної роботи з методичними вказівками /Уклад. М.І. Мартишевський, Д.В. Бобирь. – Дніпро: ДНУЗТ, 2018. – 20с.

					0032.226321.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

10. Боднар Б. Є., Нечаєв Є. Г., Бобир Д. В. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування: Підручник для ВНЗ залізнич. трансп. /Під ред. д-ра техн. наук, проф. Б. Є. Боднара. – Д.: ПП «Ліра ЛТД», 2010. – 360 с.
11. Боднар Б. Є., Нечаєв Є. Г., Бобир Д. В. Теорія та конструкція локомотивів. Екіпажна частина: Підручник для ВНЗ залізнич. трансп. /Під ред. д-ра техн. наук, проф. Б. Є. Боднара. – Д.: ПП «Ліра ЛТД», 2008. – 287 с.
12. Теорія та конструкція локомотивів: Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Розрахунок техніко-економічних характеристик» /Уклад.: Д.В. Бобирь, Л.С. Казаріна, М.І. Мартишевський, Є.Г. Нечаєв. – Д., 2006. – 26 с.
13. Боднар Б. Є. Визначення сили тяги локомотива з урахуванням нерівномірності навантаження колісно-моторних блоків /Б. Є. Боднар, М.І. Капіца, Д. М. Кислий //Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2013. – № 6. – С. 63-71.
14. Гетьман Г. К. Теория Электрической тяги: монография: в 2 т. /Г. К. Гетьман. – Д.: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та железн. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2010. – Т. 1. – 450 с.
15. Теорія локомотивної тяги. Технічне обслуговування транспортних засобів: методичні вказівки до виконання курсової роботи /Уклад.: Д.В. Бобирь, О.М. Гончаров, М.І. Капіца, В.Н. Сердюк. – Д.: ДНУЗТ, 2003. – 62 с.
16. Бобирь Д. В., Грищенко М. А., Сердюк В. Н. Теорія локомотивної тяги: підручник. Дніпро: Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2022. – 385 с.
17. Експлуатація локомотивів та локомотивне господарство: методичні вказівки до виконання контрольної роботи /Уклад.: Л.Ф. Гагін, М.П. Довбня, Д.В. Бобирь, А.П. Шепотенко – Д.: ДНУЗТ, 2003. – 25 с.
18. Економіка залізничного транспорту: підручник /О.М. Пшінько та ін.; за ред.: Ю.Ф. Кулаєва, Ю.С. Бараша, М.В. Гненного. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2014. – 480 с.

					0032.226321.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93