

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра _____ «Електрорухомий склад залізниць»
(повна назва)

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

Г.К.Гетьман

(підпис)

(ПІБ)

2020 р. _____ «____»

ДИПЛОМНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА
на здобуття ОС «Магістр»

Галузь знань _____ 14 _____ «Електрична інженерія»
(шифр) (назва)

Спеціальність _____ 141 _____ "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"
(код) (повна назва)

Тема _____ **ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ
НОМІНАЛЬНОГО РЕЖИМУ ШВИДКІСНОГО ПОЇЗДА ДЛЯ
УКРАЇНСЬКИХ ЗАЛІЗНИЦЬ**

Theme _____ **DETERMINATION OF RATIONAL PARAMETERS OF THE
NOMINAL MODE OF HIGH-SPEED TRAIN FOR
UKRAINIAN RAILWAYS**

Керівник роботи _____ Арпуль С. В.
(посада) (підпис) (П. І. Б.)

Нормоконтролер _____ Арпуль С. В.
(посада) (підпис) (П. І. Б.)

Студент групи _____ ЕТ 1921 _____ Жаров М. Д.
(група) (підпис) (П. І. Б.)

Student _____ Zharov Maksym
(Family name)

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Факультет
Кафедра
Спеціальність

Управління енергетичними процесами
Електрорухомий склад залізниць
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри

(підпис)

«____» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
до магістерської роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

студента групи **ЕТ1921** **Жаров Максим Дмитрович**
(номер групи) (ПІБ)

1. Тема магістерської роботи **Визначення раціональних параметрів номінального режиму швидкісного поїзда для Українських залізниць**

затверджена наказом по університету № **199 ст** від « **09** » **червня** 20 **20** р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи **14 грудня 2020 року**

3. Вихідні дані до магістерської роботи _____

1) основні параметри сучасного електрорухомого складу

2) поздовжній профіль залізничної колії діляниць Київ Пасажирський – Дніпро Головний та Київ Пасажирський – Харків Пасажирський

3) дані про обмеження швидкості на вказаних ділянках

4 Розділи магістерської роботи та терміни виконання.

Назва розділу магістерської роботи	Термін виконання	Обсяг розділу, %	Кількість ілюстрацій
Вступ	09-28.06.20	5%	
1. Аналіз параметрів сучасних швидкісних потягів	01-20.09.20	10%	3
2. Визначення універсальної тягової характеристики електрорухомого складу	21-30.09.20	15%	1
3. Методика визначення параметрів номінального режиму електрорухомого складу	01-31.10.20	25%	1
4. Визначення параметрів номінального режиму електрорухомого складу для обслуговування швидкісних поїздів на Українських залізницях	01-30.11.20	20%	3
Висновки	01-10.12.20	5%	

5. Рекомендована література

1. Концепція Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005 – 2015 роки. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 31 грудня 2004 р. N 979 р.
2. Гетьман Г. К., Арпуль С. В., Кийко А. И., Михайленко Ю. В. Выбор рациональных параметров номинального режима пассажирских электровозов: Монография коллектива авторов / Г. К. Гетьман, С. В. Арпуль, А. И. Кийко, Ю. В. Михайленко. – Д.: Изд-во Маковецкий, 2012.– 185 с.
3. Арпуль С. В. Моделирование области допустимых управлений уравнения движения пассажирского поезда / С. В. Арпуль // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. – 2004. – № 4. – С.17-22.
4. Корженевич І. П., Торопов Б. І., та інші. Оцінка можливості підвищення швидкості пасажирських поїздів на залізницях України. // Залізничний транспорт України. – 2007. – № 6. –с. 9-11.
5. Христофор О. В., Мельник Т. С., Можливості і перспективи впровадження швидкісних двосистемних міжрегіональних поїздів з розподіленою тягою. // Залізничний транспорт України. – 2011. – № 3. – С. 53–57.
6. Гетьман Г. К. Моделирование ограниченной области допустимых управлений уравнения движения поезда в задачах тягового обеспечения / Г. К. Гетьман // Вісник Харківського державного політехнічного університету: зб. наук.пр. – Харків: ХДПУ, 1999. – № 85. – С.44-51.
7. Гетьман Г. К. Определение оптимальной по минимуму расхода энергии на движение поезда мощности локомотива // Транспорт. Математичне моделювання в інженерних та економічних задачах транспорту: Зб. наук.пр. / Ред. кол.: Босов А. А. / гол. ред./ та ін. – Дніпропетровськ: Січ, 1999. – С. 177–182.
8. Тимчасова інструкція з організації швидкісного руху пасажирських поїздів. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу: ВНД 32.1.07.000–02. – К., –2002.
9. Кулаев Ю. Ф. Методические подходы к оценке эффективности скоростного движения на железных дорогах Украины. // Залізничний транспорт України. – 2004. – № 2. – с. 46–49.
10. Кірта Г. М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему. – Д.: ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна, 2004. – 248 с.

Дата видачі завдання: « 09 » червня 20 20 р.

Керівник магістерської роботи

(підпис)

С. В. Арпуль

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

М. Д. Жаров

(ПІБ)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка до дипломної магістерської роботи на тему «Визначення раціональних параметрів номінального режиму швидкісного поїзда для Українських залізниць» містить 81 сторінку, складається з 4 розділів, містить 28 рисунків, 20 таблиць та 12 джерел використаної літератури.

У магістерській роботі приведені основні характеристики сучасних швидкісних поїздів; викладено методики визначення універсальних тягових характеристик, номінальної швидкості та потужності електрорухомого складу; визначено раціональні параметри номінального режиму електровозів для обслуговування швидкісних пасажирських поїздів різної составності для залізниць України.

Ключові слова: швидкісний електровоз, номінальні параметри, номінальна сила тяги, номінальна швидкість, технічна швидкість, тяговий асинхронний двигун, питомі витрати електроенергії, тягова характеристика, прискорення поїзда.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Реферат	3
Вступ.....	6
1 Аналіз параметрів сучасних швидкісних потягів	10
1.1 Швидкісні потяги Японії.....	10
1.2 Швидкісні потяги Франції	16
1.3 Швидкісні потяги Німеччини	22
2 Визначення універсальної тягової характеристики електрорухомого складу	25
2.1 Тягова характеристика пасажирських електровозів з колекторними тяговими двигунами.....	25
2.2 Тягова характеристика пасажирських електровозів з асинхронними тяговими електродвигунами	29
3 Методика визначення параметрів номінального режиму електрорухомого складу.....	34
3.1 Задачі які потрібно вирішити при визначенні параметрів ЕРС.....	34
3.2 Визначення витрат електроенергії на тягу потягів.....	44
4 Вибір раціональних параметрів електровоза	47
4.1 Аналіз програми визначення основних параметрів електровозів	47

					Визначення раціональних параметрів номінального режиму швидкісного поїзда для Українських залізниць		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Жаров			Розрахунково-пояснювальна записка		
Перевір.		Арпуль					
Реценз.							
Н. Контр.		Арпуль					
Затверд.		Гетьман					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						4	82
					ДНУЗТ, зр. ЕТ1921		

4.2 Тягові розрахунки та побудова кривих

швидкості на заданій ділянці 54

Висновки 70

Список використаних джерел 71

Додаток А Демонстраційні матеріали до захисту
дипломної роботи «Визначення раціональних параметрів
номінального режиму швидкісного поїзда для
Українських залізниць» -----73

						Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Залізниця України займає шосте місце у світі і четверте на Євразійському континенті за об'ємами перевезень. 82,7% вантажообігу і 42,5% пасажирських перевезень припадає на долю залізниць. Мережа залізничних доріг України є однією з найбільш розвинутих у Європі, експлуатаційна довжина складає більше 22000 км. Електрифіковано понад ніж 46% колії. В окремі місяці об'єми навантаження складають 1,1 млн.т/добу і більше [2].

Нажаль, на даний момент проведений аналіз стану парку рухомого складу демонструє, що положення є критичним. Для прикладу, більша частина електрорухомого складу має фактичний термін експлуатації 25-40 років, а знос складає від 70% до 80%.

Більша частина локомотивів була виготовлена ще в 60-х роках минулого століття, згідно технічних вимог того часу, як результат у порівнянні із сучасним рухомим складом вони мають низьку економічність, і високу вартість утримання.

За останній час рухомий склад майже не оновлювався, як і інші матеріально-технічна база. По цій причині головною задачею для Укрзалізниці на даний момент є оновлення парку рухомого складу.

На даний момент в інвентарному парку залізниці України знаходиться 1188 електровозів та 247 електропоїздів.

Локомотивний парк Укрзалізниці в основному формувався за рахунок надходжень до 1993 року, а максимальними були надходження за 1987 рік та за період 1970-1975 роки. На даний момент 89,3% електровозів, із наявного парку локомотивів, вже відпрацювали термін служби який був зазначений заводами-виробниками.

Більша частина локомотивів, які на даний момент експлуатуються, у порівнянні з сучасним рухомим складом потребують на 40-60 % більше витрат на ремонти та технічне обслуговування. Проте, більшість з локомотивів за своєю максимальною конструктивною швидкістю не здатні забезпечити прискорений рух, тобто із швидкостями до 120 – 160 км/год.

						Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При проведенні першого етапу повинно було засвоюватись виробництво на вітчизняних підприємствах або придбання із-за кордону нових рухомих складів покращеної конструкції на базі відпрацьованих моделей. Проте подібна практика проводилась Укрзалізницею в обмежених об'ємах ще до впровадження програми.

Для розвитку залізниці України, окрім створення нових зразків рухомого складу, необхідне впровадження тягового рухомого складу зовсім нового рівня.

За участю іноземних підприємств, таких як Skoda, Siemens та Трансмашхолдинг проводились активні підготовчі роботи зі створення і організації виробництва двосистемного електровоза з асинхронним тяговим приводом з максимальною швидкістю до 160 – 200 км/год і потужністю 6000 – 6400 кВт. Він повинен був стати основою для другого етапу оновлення електровозів і забезпечити швидкісні перевезення пасажирів у всіх напрямках.

Дещо допомогло вирішити питання оновлення парку пасажирських електровозів введення в експлуатацію міжрегіональних двосистемних електропоїздів з асинхронним тяговим приводом серії HRCS2 корпорації «Hyundai Rotem» та електропоїздів фірми «Skoda». Але при цьому більша частина нового рухомого складу, розробленого на вітчизняних підприємствах, виконана на базі старих конструкцій, тож його можна вважати перехідним етапом оновлення тягового рухомого складу, а не повноцінно сучасною технікою нового покоління. За окремими вузлами і системами ці моделі можуть бути прототипами, на базі яких буде виконуватись розробка сучасних машин для другого етапу оновлення. Лише електровози ДСЗ, за своїми техніко-економічними показниками, в більшій мірі відповідають сучасному світовому рівню і їх можна віднести до другого етапу оновлення ЕРС.

На залізницях України використовується дві системи тяги:

- постійного струму з напругою 3кВ
- змінного струму за напругою 25 кВ та частотою 50 Гц.

Для організації руху поїздів через дільниці, які стикаються на розмежуванні різних родів струму, застосовуються два способи:

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- станції стикування з перемикачами роду струму (таблиця В.1).

Таблиця В.1 – Станції стикування тягових мереж з застосуванням перемикачів роду струму

Станція стикування родів струму	Назва ділянки зі сторони змінного струму	Назва ділянки зі сторони постійного струму
Іловайськ	Горлівка	Успенська
П'ятихатки-Стикова	П'ятихатки	Знам'янка
Львів	Стрий Самбір Пшемисль	Красне
Тимково	Кривий Ріг	Долинська
Лозова	Павлоград Слав'янськ	Полтава-Південна

при такому способі необхідна зупинка поїзда на станції та заміна ЕРС постійного струму на змінний і навпаки.

- станції стикування з нейтральною вставкою (таблиця В.2).

Таблиця В.2 – Станції стикування тягових мереж з нейтральною вставкою

Станція стикування родів струму	Назва ділянки зі сторони змінного струму	Назва ділянки зі сторони постійного струму
Граково	Основа	Куп'янськ-Вузловий
Огульці	Люботин	Полтава-Південна
Святогорськ	Основа Червоний Лиман	Куп'янськ-Вузловий
Червоноград	Харків-Пасажирський	Лозова Полтава-Південна

При такому способі організації руху не потрібна зупинка поїзда на станції стикування, проте ЕРС має бути з двосистемним виконанням.

Рухомий склад подвійного живлення є більш раціональним та вигіднішим, у порівнянні із односистемним ЕРС, так як дає можливість знизити кількість інвентарного парку локомотивів та значно збільшити показники пропускної спроможності через те, що не потрібен час на зупинку і заміну РС між ділянками різного роду струму.

За останніми даними парк двосистемного ЕРС Укрзалізниці нараховує 2 електропоїзди EJ675, 10 електропоїздів HRCS2 та 49 електровозів ВЛ82М. Але електровози ВЛ82М, які були виготовлені в 1972 – 1979 роках, вже майже вичерпали свій експлуатаційний ресурс і не можуть відповідати сучасним вимогам, через що потребують заміни більш сучасними двосистемними електровозами.

Тож, роблячи висновки, можна зазначити, що в даний момент однією з найголовніших задач Укрзалізниці є стрімке оновлення рухомого складу.

						Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Основні дані лінії Сінкансен

Компанія	Дорога	Дата введення	Кінцеві станції	Довжина, км	Потяг (Рік введення)
JR Central	<i>Токайдо</i>	10.1964	<i>Токіо-Осака</i>	515	0(1964), 100(1985), 300(1992), 700(2000)
JR West	<i>Санъе</i>	03.1970 03.1975	<i>Осака-Окіяма</i> <i>Окіяма-Хаката</i>	161 402	0(1970), 100(1985), 300(1993), 700(2000)
JR East	<i>Тохоку</i>	06.1982	<i>Токіо-Моріока</i>	496	200(1982), 400(1992), E1(1994), E2,3,4(1997)
	<i>Дзоецу</i>	11.1982	<i>Омія-Ніагата</i>	270	200(1982), E1(1994), E2,4(1997)
	<i>Ямагата</i>	07.1992	<i>Фокусіма-Ямагата</i>	90	400(1992)
	<i>Акіта</i>	03.1992	<i>Маріока-Акіта</i>	127	E3(1997)
	<i>Хокурику</i>	10.1997	<i>Такасакі-Нагано</i>	118	E2(1997)
JR Kyushu	<i>Кюсю</i>	03.2004	<i>Хакато-Кагосіма</i>	249	800(2004)

Шлях залізниці Сінкансен розміщено, в основному, на естакадах, в тунелях та на мостах. Менша його частина (32%) виконується на земляній основі.

Мережа зовнішнього електропостачання має напругу 77 та 154 кВ а також 220 та 275 кВ з частотою 50 та 60 Гц. Для тягової мережі прийнята схема живлення 2х25 кВ. На тягових підстанціях, розташованих на відстані 20-50 км, розташовано по два трансформатора потужністю 20-150 МВА, підключених за схемою Скотта чи Вудбриджа яка перетворює трифазний змінний струм в два ланцюга

однофазного змінного струму, від кожного з яких живиться своє тягове плече. Рухомий склад отримує живлення безпосередньо від автотрансформаторів потужністю 10 МВА, розташованих між тяговими підстанціями з інтервалом 10 км.

На магістралях Сінкансен експлуатується 11 типів потягів. С самого початку велася безперервна робота по удосконаленню рухомого складу а саме підвищенню провізної здатності при раціональних енергозатратах. Суттєво підвищити такі показники як максимальна швидкість та енергоозброєність рухомого складу вдавалося в разі, якщо к моменту створення потягу нової серії в розпорядженні розробників мались нові технології. З цих позицій потяги високошвидкісної залізниці Японії можна умовно віднести до 3-х поколінь.

- Перше покоління – потяги серії 0.
- Друге покоління – потяги серії 100, 200, 400.
- Трете покоління – потяги серії 300, E1, 500, E2, E3, E4, 700.

Таблиця 1.2 – Рухомий склад Японії 1-го та 2-го покоління

Характеристики	Серія 0	Серія 100	Серія 200	Серія 400
Рік випуску	1964	1982	1985	1992
Вагонів	16	12	16	6
Конфігурація	8с×2пр	6с×2пр	8с×2пр + 4пц	3с×2пр
Макс. швидкість км/год	220	240	240	240
Пасажиромісткість	1285	885	1285	395
Розміри, м				
Довжина	400	303	395	128,2
Ширина	3,38	3,38	3,38	2,947
Висота	3,975	4	4	3,97
Матеріал корпусу	Сталь	Алюміній	Сталь	Сталь
Маса складу, т	970	702	930	278
Візків	32	24	32	12
Навантаженні на вісь, т	16	15	15	13
Система ел.постачання	25 кВ, 60 Гц	25 кВ, 50 Гц	25 кВ, 60 Гц	25 кВ, 50 Гц
Струмоприймачів	8	6	6	2+1
Потужність приводу, МВт	11,9	11	11	5
ТЕД·потужність, кВт	64×185	48×230	48×230	24×210
Енергоспоживання, кВт·год/пас·км	0,0417	0,0518	0,0357	0,0527
Тип тягового двигуна	колекторний			
	пост. струму	пульсуючого струму		
Система керування	трансформаторно-реостатна	тиристорно-фазова		

Технічна концепція потягів 3-го покоління

Основу складають наступні положення:

- Висока експлуатаційна швидкість;
- Задовільний рівень енергоспоживання;
- Комфортні умови поїздки;
- Високий рівень надійності і ремонтпридатності.

Допустима швидкість руху у порівнянні з потягами 2-го покоління збільшилась на 15% та досягла 270-300 км/год. Задовільну динаміку взаємодії колеса з рейкою вдалося забезпечити завдяки зниженню навантаження на вісь колісної пари.

Це вдалося здійснити завдяки використанню нових технологій: для виготовлення корпусів використовували сотові конструкції з екструдированих елементів на базі алюмінієвих сплавів. Вирішальним стало введення тягового асинхронного електроприводу.

Завдяки асинхронному електроприводу та придання потягам більш обтічної форми вдалося знизити рівень енергоспоживання до 0,037-0,034 кКт·год/пас·км.

Вимоги високого рівня надійності задовільнена шляхом використання прийнятої схеми розподілення тяги, а вимога ремонтпригодності – блочно-модульною конструкцією систем перетворення енергії, охолодження і контролю, доступ к вузлам яких забезпечено з обох сторін рухомого складу.

Таблиця 1.3 – Рухомий склад Японії 3-го покоління

Тип потягу	300	E1	E500	E2	E3	E4	700
Рік випуску	1993	1994	1996	1997	1997	1997	1999
Вагонів	16	12	16	8	5	8	16
Конфігурація	5с × (2пр+1пц)	3с × (2пр+2пц)	4с × 4пр	2г+3с × 2пр	2пр+ 1пц+2пр	2с × (1пц+1пр+ 1пц+1пр)	4с × (3пр+1пц)
Макс. швидкість км/год	270	240	300	275	275	240	285
Пасажирів	1123	1235	1234	630	270	817	1323
Розміри, м							

						Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Довжина	395	301	404	202	108	202	405
Ширина	3,38	3,38	3,38	3,38	2,947	3,38	3,38
Висота	3,65	4,485	3,69	3,7	3,97	4,485	3,65
Матеріал корпусу	Алюм.	Сталь	Алюм.	Алюм.	Алюм.	Алюм.	Алюм.
Маса складу, т	710	695	688	366	220	428	708
Візків	32	24	32	16	10	16	32
Навантаженні на вісь, т	11,3	14	10,8	11,4	11	16	11
Система ел.постачання	25 кВ, 60 Гц	25 кВ, 50 Гц	25 кВ, 60 Гц	25 кВ, 50 Гц	25 кВ, 50 Гц	25 кВ, 50 Гц	25 кВ, 60 Гц
Струмоприймачів	3	3	2	2	2	2	2
Потужність приводу, МВт	12	9,84	18,2	7,2	4,8	6,72	13,2
ТЕД x Потужність кВт	40 × 300	24 × 410	64 × 285	24 × 300	16 × 300	16 × 420	48 × 275
Енергоспоживання, кВт·год/пас·км	0,0336	0,0331	0,0459	0,0415	0,0646	0,0342	0,037
Тип двигуна	Асинхронний ТЕД з короткозамкненим ротором						
Система керування	4q-s перетворювач + інвертор напруги						
	На базі GTO-тиристорів					На базі IGBT-тиристорів	

Нове покоління

На початок 2007 р. було прийняте рішення щодо початку виробництва і поступового введення в експлуатацію високошвидкісних електропоїздів нового покоління серії N700.

Цей потяг формується з 14 моторних та двох причіпних вагонів, має 1323 місць для сидіння. Сумарна потужність тягового приводу, яка складає 17 тис. кВт, дозволяє потягу розвивати максимальну швидкість 300 км/год та прискорення 0,72 м/с².

Основною відмінністю від потягу 700 є наявність системи ухилу кузову вагонів, що дозволяє підняти швидкість руху в кривих радіусом 2500 м і більше до 270 км/год. Крім того, завдяки оптимальним обрисам лобних частин потяг має більш досконалі аеродинамічні характеристики, за рахунок чого споживання електроенергії зменшується на 19%.

						Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 – Потяг N700

Одночасно продовжуються випробування високошвидкісних електропоїздів нового покоління типу Fastech 360. Вважається що після введення в роботу ці потяги будуть найшвидшими у світі в умовах регулярної експлуатації .

Fastech 360 складається з шести вагонів, колісні пари всіх візків обмоторені, за винятком крайніх візків кінцевих вагонів. Конструкційна швидкість потягу рівна 405 км/год, розрахункова максимальна експлуатаційна швидкість складає – 360 км/год.

						Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

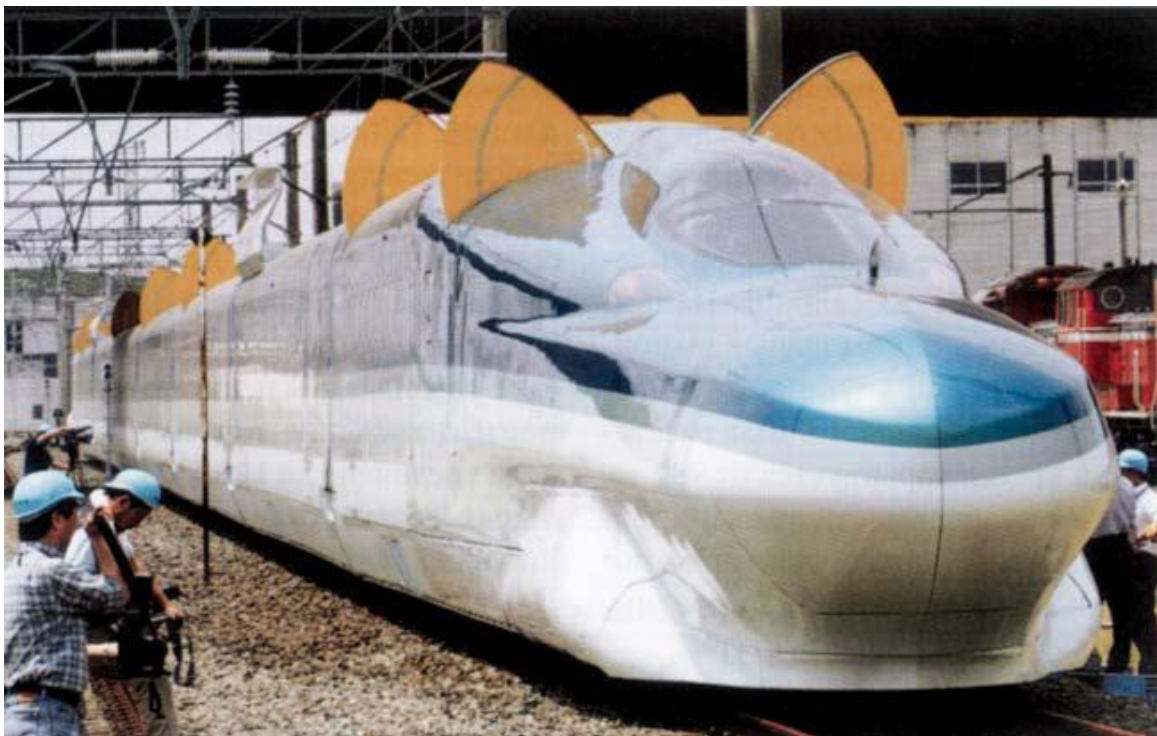


Рисунок 1.3 – Fastech 360 з висунутими гальмівними щитками

Кузови вагонів потягу виготовленні з використанням двошарових панелей з алюмінієвого сплаву. Обрис лобних частин двох кінцевих вагонів мають довжину 16 м, тобто більше ніж половину загальної довжини цих вагонів, яка складає 27,3 м.

Безшкворневі візки оснащені ресорною підвіскою з пневматичними балонами і активною системою гасіння вібрацій та ухилу кузова в кривих на кут до 2° для збереження необхідного рівня комфорту пасажирів.

Найпомітнішою відзнакою потягів Fastech 360 від тих, що зараз експлуатуються є наявність висувних щитків для значного збільшення аеродинамічного опору руху у випадку екстреного гальмування. Одночасно з щитками включається подача керамічного порошку під колеса з метою збереження зчеплення та запобігання прослизання.

1.2 Швидкісні потяги Франції

						Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В Європі передовим є досвід Франції, яка ввела на LGV (Ligne a Grande Vitesse – лінія високої швидкості) TGV (Train a Grande Vitesse – потяг високої швидкості), який рухається зі швидкістю 200-300 км/год.

Мережі зовнішнього електроживлення мають напругу 400, 225 та 90кВ, 50 Гц. Для тягової мережі прийняті схеми 2х25 кВ, та 1х25 кВ, 50 Гц. В районі Парижу (29 км), Ліону (18 км) і Тура (14 км) тягові мережі експлуатуються на постійному струмі при напрузі 1,5 кВ. На підстанціях, які знаходяться на відстані 45-90 км одна від одної, встановлюють по два трансформатори, потужністю 40 або 60 МВА, обладнаних перемикачем ступенів під навантаженням.

Таблиця 1.1 – Основні дані дороги LGV

Дорога (LGV)	Дата вводу	Кінцеві станції	Довжина, км	Потяг (рік випуску)
Sud-Est	1981	Париж-Ліон	418	TGV Sud-Est (1981) TGV Reseau (1993) TGV Duplex (1996)
Altantique	1989	Париж-Ліман	284	TGV Altantique (1988) TGV Reseau (1993)
Nord-Europe	1993	Париж-Лиль-Кале	346	TGV Reseau (1993) Eurostar (1994, 1997) TGV Thalys PBA (1996) TGV Thalys PBKA (1997)
Rhones-Alpes	1994	Ліон-Валанс	115	TGV Sud-Est (1994) TGV Reseau (1993) TGV Duplex (1996)
Intercon-nexion	1994	Вокзали «Північний»-«Монпарнас»	104	TGV Reseau (1993) TGV Duplex (1996) TGV Thalys PBA (1996) TGV Thalys PBKA (1997)
Mediterranee	2001	Валанс-Марсель	240	TGV Sud-Est (1981) TGV Reseau (1993) TGV Duplex (1996)
Est-Europeenne	2007	Париж-Страсбург	470	TGV Pos ICE 3M

Рухомий склад TGV

						Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На високошвидкісних магістралях Франції експлуатується 3 покоління потягів TGV, які базуються на прийнятій в 1974 році концепції потягів постійної составності вагонів зчленованої конструкції (спирання кінців суміжних вагонів на загальні візки) при локомотивній тязі з розміщенням тягового електрообладнання на кінцевих вагонах.

Зчленована конструкція вагонів в поєднанні з особливостями ходової частини дали можливість зменшити кількість візків і, як результат – зменшити вагу рухомого складу, знизити положення центру ваги, забезпечити надійне з'єднання і зменшити рівень вібрації. Ці технічні рішення також дозволили знизити сили основного опору руху (Аеродинамічного, опір від внутрішнього тертя в рухомому складі, а також взаємодії рухомого складу і шляху) що забезпечує можливість досягнення високих швидкостей.

Таблиця 1.5 – Характеристики рухомого складу TGV

Тип потягу	Sud-Est	Atlanti que	Reseau	Duple x	Thaly s	Eurostar	
Рік випуску	1981	1988	1993/1996	1996	1997	1994	1997
Конфігурація	2лк+8пц	2лк+10пц	2лк+8пц	2лк+8пц	2лк+8пц	2лк+18пц	2лк+14пц
Макс.швидк, км/год	270	300	300	300	300	300	300
Пасажирів	386	485	377	516	377	794	578
Довжина, м	200,2	237,6	200,2	200,2	200,2	393,7	318,9
Ширина, м	2,814	2,904	2,904	2,887	2,904	2,814	2,814
Висота, м	3,43	3,48	3,48	4,38	3,48	3,69	3,69
Матеріал корпусу	сталь			алюміній			
Маса складу, т	384	450	385	380	385	723	620
Маса з Пасажирами, т	417	490	418	425	418	787	665
Кількість візків							
Загальне	13	15	13	13	13	24	20
Моторних	6	4	4	4	4	6	6

Навантаження на вісь, т	17	17	17	17	17	17	17
Потужність тягового приводу, МВт							
~25 кВ, 50 Гц	6,4	8,8	8,8	8,8	8,8	12,24	12,24
=1,5 кВ	3,1	3,6	3,68	3,68	3,68	4,0	-
=3 кВ	-	-	3,68	-	3,68	5,7	5,7
~15 кВ, 16 2/3 Гц	2,8	-	-	-	-	-	-
=0,75 кВ	-	-	-	-	-	3,4	3,4
Кількість струмоприймачів	4	4	4	4	4	6	6
Кількість ТЕД х Потужність, кВт	12×530	8×1100	8×1100	8×1100	8×1100	12×1020	12×1020
Енергоспоживання, кВт*год/пас*км	0,0614	0,0604	0,0778	0,0568	0,0778	0,0514	0,0706
Тип двигуна	Колекторний	Синхронний					Асинхронний
Система керування	Тиристорно-фазове	= імпульсний регулятор напруги + інвертор струму ~ випрямляч + інвертор струму					4 q-s + інвертор напруги

Синхронні тягові двигуни мають опорно-кузовне підвішування. Потужність тягового двигуна складає 1120 кВт, максимальна частота обертання – 4000 об/хв, маса – 1460 кг. Момент до колісних пар передається двоступінчатим проміжним редуктором з відношенням передачі 1,16, виконаними загально з двигуном та вісьовим редуктором. Загальне передаточне відношення приводу складає 2,1894. Передача обертового моменту до вісьового редуктора здійснюється поперечним розсувним карданним валом, конструкція якого дозволяє компенсувати взаємні переміщення кузова та візка.

						Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потяг TGV Sud-Est є потягом *першого покоління*. Виходячи з існуючого в той час електрообладнання, привод створений на базі колекторних двигунів пульсуючого струму.

До *другого покоління* відносяться потяги TGV Atlantique, TGV Réseau та TGV Thalys. Відмінною рисою цих потягів є використання для системи електроприводу синхронного тягового двигуна з інвертором струму, що дозволило за рахунок підвищення потужності двигуна в одиниці виконання до 1,1 МВт встановити тягове електрообладнання в двох кінцевих вагонах. Таких приводів використовувався, з незначними змінами, у всіх потягах TGV другого та третього покоління.

TGV Atlantique виконаний двосистемним і експлуатується від Парижу до Бордо. TGV Réseau та TGV Thalys – трьохсистемні, експлуатуються по всій мережі LGV.

Для з'єднання між Францією на Британією через тунель під Ла-Маншем використовується потяг Eurostar, який хоча і являється потягом сімейства TGV, проте не відноситься не до одного з поколінь. Конфігурацією системи тягового приводу він повторює TGV Sud-Est, але виконана на базі асинхронних тягових двигунів.

Головні вагони потягів *третього покоління* Duplex та Thalys РВКА відрізняються від потягів попередніх поколінь більш обтічною формою.

Потяги Duplex забезпечують більшу провізну спроможність за рахунок використання двоповерхових причіпних вагонів.

						Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.4 – Потяг TGV Duplex

Потяг Thalys РВКА пристосований до 4-х систем тягового електропостачання та 6 систем сигналізації та зв'язку. Його 4-х системний тяговий привод оснащений автоматичним перемикачем на потрібний рід струму.



Рисунок 1.5 – Потяг TGV Thalys РВКА

						Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потягами TGV встановлено світові рекорди з максимальної швидкості для залізничних доріг. Максимальна швидкість у 515,3 км/год була досягнута на модифікованому потягу TGV Atlantique, 18.05.1990 р. в 10:06, поблизу станції Вандом. А 3.04.2007 експериментальний потяг, сформований з двох кінцевих моторних вагонів TGV POS і трьох проміжних типу TGV Duplex, поблизу населеного пункту Пассаван-ан-Аргонн досяг максимальної швидкості у 574,8 км/год.

1.3 Швидкісні потяги Німеччини

З загальної довжини залізниці Німеччини у 37600 км. високошвидкісними є 1000 км, на яких експлуатуються потяги на швидкостях до 280-330 км/год.

Таблиця 1.6 – Основні дані високошвидкісної дороги Німеччини

Кінцеві станції	Рік вводу	Довжина	Рухомий склад
Ганновер-Вюрцбург	1991	327	ICE1,2,3
Мангейм-Штутгарт	1991	99	ICE1,2,3
Ганновер-Берлін	1997	264	ICE1,2,3
Франкфурт-Кельн	2001	219	ICE3
Нюрнберг-Інгольштадт	2006	89	ICE3

Таблиця 1.7 – Основні дані високошвидкісних потягів Німеччини

Тип потягу	ICE1	ICE2	ICE3	
Рік випуску	1991	1996	1999	1998
Конфігурація				
Макс.швидкість, км/год	280	280	330	330
Кількість пасажирів	685	391	415	404
Розміри, м				
Довжина	358	205	200	200
Ширина	3,02	3,02	2,95	2,95
Висота	3,84	3,84	3,89	3,89
Матеріал корпусу	Сталь	Алюміній		
Маса, т	795	410	415	415
З пасажирями	846	440	440	440
Кількість візків				
Загальне	28	16	16	16

Моторних	4	2	8	8
Навантаження на вісь, т	19,5	19	14	15
Потужність тягового приводу, МВт				
~ 25 кВ, 50 Гц	-	-	-	8,0
= 3 кВ	-	-	-	4,2
= 1,5 кВ	-	-	-	3,6
~ 15 кВ, 16,7 Гц	9,6	4,8	8,0	8,0
Кількість струмоприймачів	2	1	2	6
Кількість ТЕД х Потужність, кВт	8×1200	4×1200	16×500	16×500
Енергоспоживання, кВт*год/пас*км	0,0417	0,0438	0,0584	0,06
Тип двигуна	Асинхронний			
Система керування	4qs-s + АІН (GTO)			

Для потягу ICE1 була прийнята локомотивна тяга, коли 2 локомотива загальною потужністю 9,6 МВт повинні тягнути 12 причіпних вагонів. Кінцеві моторні вагони обладнанні системою тягового приводу трьохфазного струму.

Потяг ICE2 являє собою половину потягу ICE1 і містить: 1 кінцевий моторний вагон, 6 причіпних і 1 кінцевий з кабіною керування.

Потяг IC3 існує у 2-х виконаннях – односистемний, для використання по Німеччині, та чотирьохсистемний, для міжнародних перевезень. Восьмивагонні потяги ICE3 зроблені з розподіленою тягою і складаються з двох секцій. В кожній секції є по два моторних вагони – перший, третій та шостий, восьмий. Силові обладнання кожної секції розподілено по трьох вагонах: на другому и сьомому вагонах встановлені тягові трансформатори, на першому, третьому а також на шостому та восьмому – тягові перетворювачі.

						Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.6 – Потяги серії ICE1,2,3

						Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ВИЗНАЧЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОЇ ТЯГОВОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

2.1 Тягова характеристика пасажирських електровозів з колекторними тяговими двигунами

Для вирішення задач, подібних задачі вибору тягового засобу, зазвичай використовують процентні або універсальні характеристики тягових двигунів. Але в даному випадку переважніше використовувати універсальні тягові характеристики електровозів. При чому їх доцільно отримувати окремо для електровозів постійного та змінного струмів, так як при цьому зберігається єдиний алгоритм розрахунку граничних характеристик і одночасно для електровозів постійного струму враховується вплив зовнішньої характеристики перетворювальної установки.

Практична можливість отримати універсальні тягові характеристики впливає із відомого в теорії тягових електричних машин факту практично повного збігу представлених у відносних одиницях магнітних характеристик різних по параметрам і конструктивному виконанню тягових двигунів, що мають однаковий коефіцієнт насичення в номінальному режимі. Більш того, відносні магнітні характеристики тягових двигунів, навіть при різних коефіцієнтах насичення, практично співпадають, а ступінь насичення магнітного кола визначає лише положення точки номінального режиму на магнітній характеристиці. Для сучасних тягових двигунів постійного струму коефіцієнт насичення в номінальному режимі знаходиться в межах 1,6-2,0, тому слід очікувати гарного збігу наданих у відносних одиницях тягових характеристик електровозів одного роду струму.

Координати тягових характеристик сучасних пасажирських електровозів враховуємо згідно приведених [2].

Аналіз даних вказує, що надані у відносних одиницях тягові характеристики пасажирських електровозів одного роду струму незначно відрізняються один від одного. Тому доцільно отримати для декількох електровозів (одного роду струму) одну універсальну характеристику. Розглянемо можливість апроксимації одним з

						Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виразів, який застосовується для розрахунку характеристик вантажних електровозів:

$$F_k^* = \frac{1}{(a_0 + a_1 v^* + a_2 v^{*2})}; \quad (2.1)$$

$$F_k^* = a_0 + \frac{a_1}{v^*} + \frac{a_2}{v^{*2}}; \quad (2.2)$$

$$F_k^* = \frac{1}{(a_0 + a_1 v^*)}; \quad (2.3)$$

$$F_k^* = \frac{a_0}{(v^* - a_1)} - a_2. \quad (2.4)$$

де a_0, a_1, a_2 – постійні коефіцієнти.

Ці коефіцієнти визначаються методом найменших квадратів.

Універсальна тягова характеристика $F_k^*(v^*)$ дозволяє визначити координати граничної тягової характеристики електровоза в областях обмеження по комутації в абсолютних величинах.

$$F_{k(cd)} = F_k^*(v^*) \frac{F_{k\infty}}{\beta_{min}}; \quad (2.5)$$

Однак, при визначеннях граничних тягових характеристик перспективних електровозів дане вираження не може бути використане, так як в цьому випадку значення сили тяги і швидкості номінального режиму є невідомими. Для вирішення задачі можна спробувати виразити швидкість і силу тяги номінального режим через пускову швидкість і пускову силу тяги, тобто як:

$$v_{\infty} = \frac{v_{\Pi}}{k_v}; \quad F_{k\infty} = \frac{F_{k\Pi}}{k_f}. \quad (2.6)$$

де k_v та k_f – коефіцієнти, які відповідно рівні:

						Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_v = \frac{v_{\Pi}}{v_{\infty}}; k_f = \frac{F_{\text{кп}}}{F_{\text{к}\infty}}. \quad (2.7)$$

В результаті аналізу значень k_v та k_f можна зробити висновок, що для реальних електровозів коефіцієнт k_f змінюється в межах 1,43-1,98 і в задачах тягового забезпечення можна прийняти його середнє значення $k_f = 1,7$.

Також слід зазначити що коефіцієнт k_f численно дорівнює значенню $F_{\text{к}}^*$ при $v = v_{\Pi}$, тобто $k_f = F_{\text{к}}^*|_{v^*} = v_{\Pi}^*$

Ця обставина по заданому значенню k_f дозволяє отримати однозначне значення k_v . Для цього необхідно в виразах (2.22-2.25) замінити $F_{\text{к}}^*$ на k_f а v^* на k_v . Відповідно отримаємо вирази:

$$k_v = -\frac{k_f a_1 + \sqrt{k_f a_1 + 4k_f a_2(1 - k_f a_0)}}{2k_f a_2}; \quad (2.8)$$

$$k_v = -\frac{a_1 - \sqrt{a_1^2 - 4a_2(a_0 + k_f)}}{2(a_0 - k_f)}; \quad (2.9)$$

$$k_v = \frac{1 - k_f a_0}{k_f a_1}; \quad (2.10)$$

$$k_v = \frac{a_0 + a_1 a_2 + k_f a_1}{a_2 + k_f}. \quad (2.11)$$

З цього випливає, що для розрахунку граничної тягової характеристики при відомих координатах пускового режиму ($F_{\text{кп}}$; v_{Π}) достатньо задати значення k_f або k_v .

						Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переважніше приймати заданим значення коефіцієнта k_f , оскільки відносне значення пускової сили тяги впливає на ймовірність виникнення необхідності обмеження режимів навантаження по умовам нагріву електрообладнання.

При заданих k_f та k_v координати граничної тягової характеристики в абсолютних величинах визначаємо за допомогою виразу:

$$F_{k(cd)} = F_k^* \left(k_v \frac{v}{v_{\pi}} \right) \frac{F_{кп}}{k_f \beta_{min}}; \quad (2.12)$$

де $F_{кп}$ – пускова сила тяги.

Для визначення окремих ділянок граничної тягової характеристики в питомих одиницях використаємо формулу:

$$\bar{f}_{кп} = w_{оп} + i + 102 a_{\pi} (1 + \gamma); \quad (2.13)$$

$$\bar{f}_{к(bc)}(v) = \bar{f}_{кп} \frac{v_{\pi}}{v}; \quad (2.14)$$

$$\bar{f}_{к(cd)}(v) = F_k^* \left(k_v \frac{v}{v_{\pi}} \right) \frac{\bar{f}_{кп}}{k_f \beta_{min}}. \quad (2.15)$$

З цих виразів робимо висновок, що гранична тягова характеристика у питомих одиницях $\bar{f}_k(v)$ є функцією швидкості та двох параметрів a_{π} та v_{π} .

Важливою точкою тягової характеристики пасажирського електровоза є точка, відповідна характеристиці найбільш глибокого ослаблення збудження. Так як для швидкості руху $v = v_a$ справедлива рівність $F_{к(bc)}(v_a) = F_{к(cd)}(v_a)$, то

$$F_{кп} \frac{v_{\pi}}{v} = F_k^* \left(k_v \frac{v_a}{v_{\pi}} \right) \frac{F_{кп}}{k_f \beta_{min}}. \quad (2.16)$$

Необхідно зазначити, що параметри номінального режиму пасажирських електровозів повинні бути визначені таким образом, щоб забезпечувати можливість досягнення максимальної швидкості руху v_{max} на прямій

						Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

горизонтальній ділянці при веденні потягу заданої составності. Для цього необхідно щоб при конструкційної швидкості забезпечувалась реалізація прискорення заданої величини a_0 . На досвідах визначено що оптимальним є значення $a_0=0,04-0,05 \text{ м/с}^2$.

Отже, визначаючи координати граничної тягової характеристики по вихідним значенням $a_{\text{п}}$ та $v_{\text{п}}$, необхідно слідкувати за виконанням умови

$$a_0 \geq a_{0(\text{задане})}$$

Величину a_0 можна визначити із рівняння руху потягу як

$$a_0 = \frac{F_{\text{к}}^* \left(k_v \frac{v_{\text{max}}}{v_{\text{п}}} \right) \frac{\bar{f}_{\text{кп}}}{k_f \beta_{\text{min}}} - w_0(v_{\text{max}})}{102(1 + \gamma)}. \quad (2.17)$$

Зіставляючи вирази приходимо до висновку, що a_0 є функцією також двох параметрів – пускової швидкості $v_{\text{п}}$ і прискорення $a_{\text{п}}$. Тому у випадку коли умова $a_0 \geq a_{0(\text{задане})}$ не виконується слід визначити координати граничної тягової характеристики електровоза при іншому значенні швидкості руху $v_{\text{п}}$ або пускового прискорення $a_{\text{п}}$.

2.2 Тягова характеристика пасажирських електровозів з асинхронними тяговими електродвигунами

Задача значного збільшення потужності ЕРС при одночасному підвищенні надійності на залізницях світу вирішується шляхом переходу на безколекторні тягові двигуни, які мають питому потужність в 2-2,5 разів більшу ніж колекторні машини, і характеризуються більш високим ККД (на 1,5-2%).

Створення сучасного тягового рухомого складу з асинхронним тяговим приводом в даний час є одним з головних напрямків розвитку електровозобудування. Сказане підтверджується, як практикою країн далекого зарубіжжя, так і країн СНД. Так в 2008 році на випробувальному кільці Velim в Чехії почалися випробування нового трьохсистемного пасажирського електровоза Skoda 109E, у вересні був вперше представлений на виставці «InnoTrans» в Берліні.

						Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В 2010 р. проведені тягово-енергетичні випробування дослідного двосистемного електровоза ЕП20 з асинхронним тяговим приводом створений Новочеркаським електровозобудівним заводом спільно з французькою фірмою Alstom, а восени 2011 року був вперше представлений публіці на залізничній виставці ЕХРО – 1520 в Москві. На залізницях України експлуатується вантажопасажирський електровоз змінного струму з асинхронними тяговими двигунами ДСЗ, створений НПО «ДЕВЗ» і фірмою «Сіменс». Основні технічні характеристики згаданих вище електровозів і їх тягові характеристики наведені в таблиці 2.1, основні тягові характеристики наведені на рисунку 2.1.

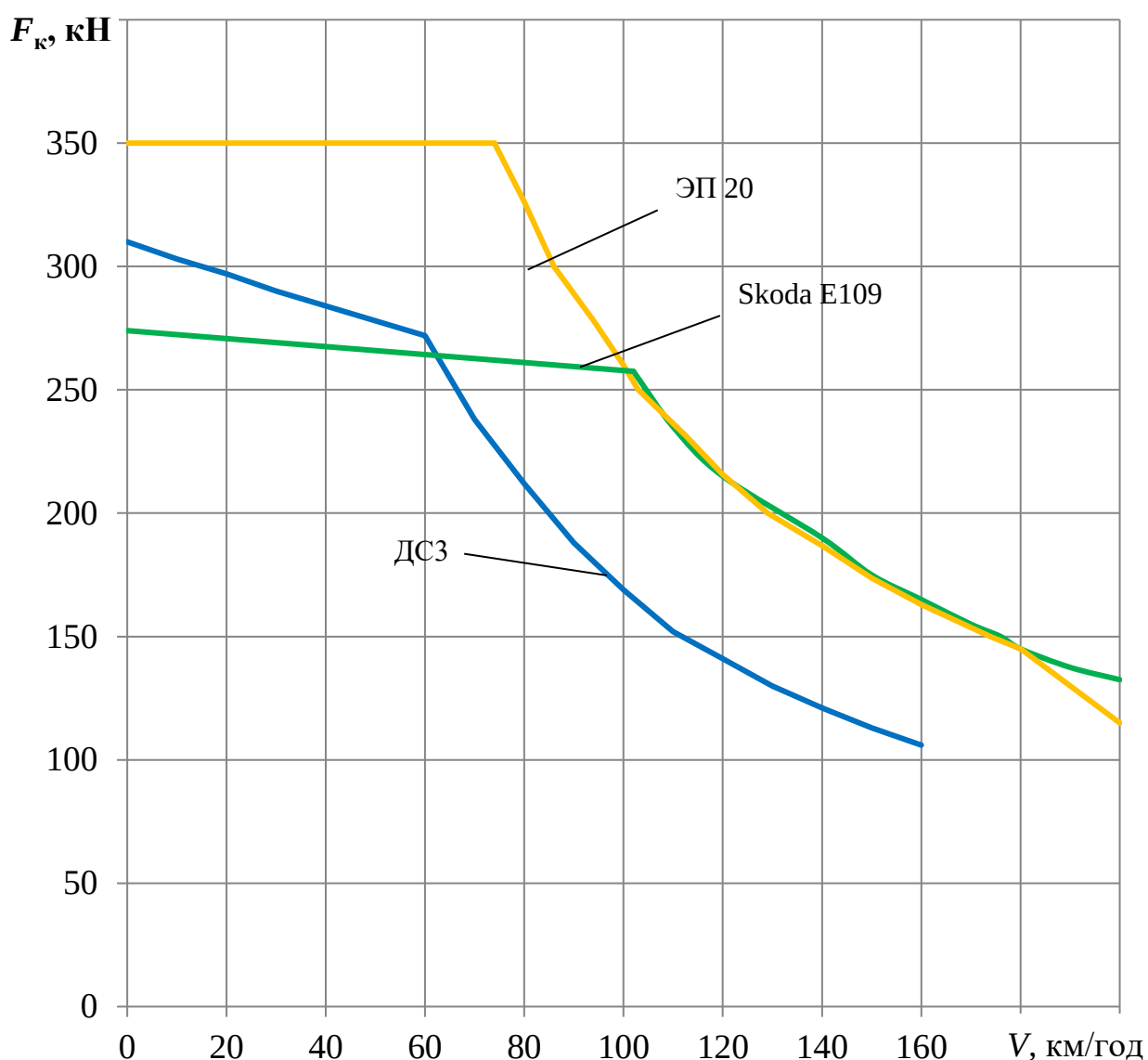


Рисунок 2.1 – Тягові характеристики пасажирських електровозів

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики пасажирських електровозів

Параметри	Тип електровозу			
	Skoda 109E	ЕП20	Siemens ES64U4	ДСЗ
Номинальна напруга контактної мережі, кВ:				
змінний струм 50 Гц	25	25	25	25
змінний струм 16,7 Гц	15	–	15	–
постійний струм	3	3	3	–
Осьова формула	$2_0 - 2_0$	$2_0 - 2_0 - 2_0$	$2_0 - 2_0$	$2_0 - 2_0$
Діаметр коліс по колу кочення при нових бандажах, мм	1250	1250	1150	1250
Колія, мм	1435/1520	1520	1435	1520
Маса, т	87,6	129	87	90
Навантаження на вісь, т	22	21,5	22,5	22,5
Потужність на валах тягових двигунів, кВт:				
годинний режим	7200	7200	6400	–
тривалий режим	6400	6600	–	4800
Швидкість, км/год:				
конструкційна	200	200	230	160
тривалого режиму	102	100	–	62,7
Сила тяги, кН:				
Максимальна	274	350	304	310
Тривалого режиму	213	230		270
КПД годинного режиму:				
змінний струм	–	0,86	–	–
постійний струм	–	0,875	–	0,85
Електричне гальмування:	рекуперативне, реостатне	рекуперативне, реостатне	–	рекуперативне
Мінімальний радіус прохідних кривих при швидкості до 10 км/год, м	120	–	95	125
Довжина електровоза по буферам, мм	18000	22500	19580	17000

Для того щоб встановити порядок визначення координат граничної тягової характеристики електрорухомого складу з асинхронним двигуном розглянемо особливості регулювання потужності такого рухомого складу.

На ЕРС з асинхронним тяговим приводом найчастіше використовується дві або три зони регулювання потужності.

У випадку трьохзонного регулювання тягові характеристики мають наступний вигляд.

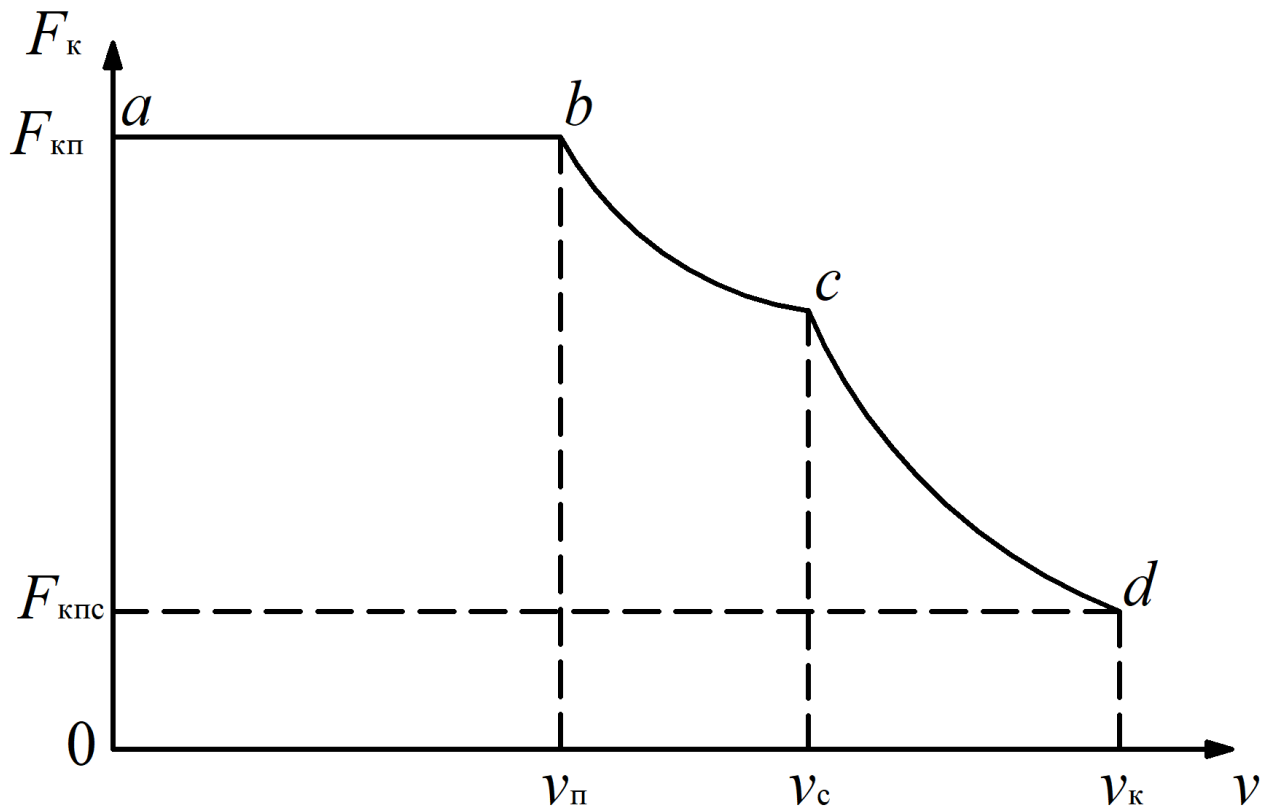


Рисунок 2.1 – Тягова характеристика електровоза з асинхронним тяговим приводом

Друга зона регулювання відповідає реалізації постійної потужності. В даній зоні сила тяги електровоза змінюється зворотно-пропорційно швидкості руху.

Третя зона регулювання обмежена швидкостями v_c та v_k і передбачає зміну сили тяги зворотно-пропорційно квадрату швидкості руху, а реалізована тягова характеристика часто називається «серієсною».

Слід зазначити, що для тягового асинхронного двигуна в якості номінального режиму приймається режим напруги, відповідний виходу на реалізацію номінальної потужності, тобто режим, що на тяговій характеристиці визначається координатами $F_{кп}$ та $v_{п}$.

Виходячи з умов реалізації граничної по умовам змінам пускової сили тяги в момент виходу на номінальний режим, тобто при $v = v_{\text{п}}$, і враховуючи, що для асинхронного тягового приводу $k_f = k_v = 1$, робимо висновок, що ділянки ab і bc тягової характеристики визначаються формулами зазначеними раніше, а ділянку cd можна визначити як

$$\bar{f}_{\text{к(bc)}}(v) = \bar{f}_{\text{кп}} \frac{v_{\text{п}} v_{\text{с}}}{v^2}. \quad (2.18)$$

Зазначимо, що аналіз виразів показує, що використання запропонованих універсальних граничних тягових характеристик і методу визначення маси зчеплення електровозу дозволяє визначити керуючі параметри рівняння руху потягу у вигляді залежності, яка не являється функцією маси состава. Це значно облегшує рішення задач тягового забезпечення.

						Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НОМІНАЛЬНОГО РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

Завдання тягового забезпечення ставлять метою визначення раціональних зовнішніх параметрів тягових засобів. До останніх відносяться, насамперед, параметри номінального режиму (потужність і швидкість руху). Для вантажних електровозів важливі також параметри розрахункового режиму, які мають істотний вплив на основні експлуатаційні показники транспортного процесу (масу поїздів і швидкість їх руху).

Зауважимо, що при вирішенні таких завдань раціональне поєднання параметрів електропоїзда визначаються, як правило, шляхом зіставлення відповідних порівнювань експлуатаційної роботи, наприклад, витрата електроенергії на тягу поїздів. У свою чергу чисельну оцінку таких показників можна дати за результатами тягових розрахунків.

Швидкість номінального режиму і тісно пов'язану з нею розрахункову швидкість руху доцільно визначити з умови освоєння вантажопотоку при мінімальній витраті електроенергії на тягу поїздів. Вирішення цього завдання може бути засноване на порівнянні результатів тягових розрахунків для ряду варіантів, що відрізняються швидкістю розрахункового режиму.

Завдання тягового забезпечення вирішуються в припущенні можливості плавного регулювання тягової потужності. Тому для виконання тягових розрахунків досить встановити координати граничної тягової характеристики електрорухомого складу.

Щоб уникнути придбання малоефективного рухомого складу, необхідна розробка нових підходів до визначення основних параметрів електропоїздів - швидкості і потужності номінального режиму.

3.1 Задачі які потрібно вирішити при визначенні параметрів ЕРС

Для виконання зазначеної вище проблеми потрібно рішення наступних завдань:

						Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- визначення раціональних значень основних зовнішніх параметрів електровоза для ведення поїзда на конкретному напрямку при заданій їх составності та технічній швидкості руху;
- визначення оптимальної градації потужності парку електрозів для забезпечення пасажирських перевезень на заданому полігоні тяги.

В даному розділі проекту буде розглянуто вирішення першого завдання. В якості критерію оптимальності при виборі основних параметрів електропоїзда слід прийняти мінімум витрат електроенергії на здійснення перевезень при заданому часі руху електропоїзда. Такий підхід є виправданим, оскільки витрати на електроенергію складають суттєву частку експлуатаційних витрат залізниць.

Використовуючи одиниці вимірювання фізичних величин, регламентовані правилами тягових розрахунків, потужність номінального режиму електропоїзда визначимо як

$$N_H = 2,725 k_N F_{\text{кп}} v_{\text{п}}, \quad (3.1)$$

де $F_{\text{кп}}$ – середнє значення граничної сили тяги електропоїзда в період пуску (пускова сила тяги);

$v_{\text{п}}$ – швидкість виходу на характеристику номінальної напруги (пускова швидкість);

k_N – коефіцієнт, що дорівнює відношенню потужності тривалого режиму до потужності, відповідно виходу на пускову швидкість.

$$k_N = 1 / (k_f \cdot k_v), \quad (3.2)$$

де k_f – відношення пусковий сили тяги до сили тяги тривалого режиму;

k_v – відношення пусковий швидкості до швидкості тривалого режиму.

Необхідне значення пускової сили тяги, а значить і потужності номінального режиму, слід визначати так, щоб забезпечити можливість реалізації

						Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в момент виходу на пускову швидкість заданої величини прискорення a_{π} .

Сформованій умові відповідає сила тяги:

$$F_{\text{кп}} = (P + Q) \cdot [w_{\text{оп}} + 102(1 + \gamma)a_{\pi}], \quad (3.3)$$

де P – маса електровоза, т;

Q – маса состава, т;

$w_{\text{оп}}$ – основне питомий опір руху поїзда в режимі тяги при пусковий швидкості;

$(1 + \gamma)$ – коефіцієнт інерції обертових мас;

a_{π} – значення прискорення при досягненні пусковий швидкості та рух поїзда на майданчику (може бути прийнято рівним 0,3...0,4 м/с²).

У виразі (3.3) фігурує маса електропоїзда P . Її доцільно визначити з умови реалізації необхідної величини $F_{\text{кп}}$ при заданому розрахунковому коефіцієнті зчеплення при пусковий швидкості $\psi_{\text{кр}}$, тобто з рівності

$$F_{\text{кзч}} = 1000P \cdot \psi_{\text{кр}}. \quad (3.4)$$

Для зручності вироблених розрахунків введемо коефіцієнт

$$k_p = P / Q, \quad (3.5)$$

який, прирівнявши праві частини (3) і (4) і врахуючи, що

$$w_0 = \frac{Pw'_{\text{оп}} + Q(w''_{\text{оп}} + w_{\text{пг}})}{P + Q},$$

отримаємо у вигляді

$$k_p = \frac{w''_{\text{оп}} + w_{\text{пг}} + 102a_{\pi}(1 + \gamma)}{1000\psi_{\text{кр}} - [w'_{\text{оп}} + 102a_{\pi}(1 + \gamma)]}, \quad (3.6)$$

де $w'_{\text{оп}}$, $w''_{\text{оп}}$ – основний питомий опір руху при пусковий швидкості, в режимі тяги;

						Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

w_{III} – додатковий питомий опір руху від підвагонних генераторів.

Згідно [12]

$$w_{III} = \frac{136P'}{q_0 \cdot v},$$

де q_0 – маса, яка припадає на одну вісь пасажирського вагону

($q_0 = 15 \text{ т}$);

P' – умовна середня потужність підвагонного генератора одного вагона, кВт.

$$P' = \frac{[P'' \cdot n + (P'' + P_K) \cdot n_K]}{m},$$

де P'' – фактична потужність під вагонного генератора, споживана на службові потреби вагона, крім кондиціонування повітря (для середніх умов приймаємо $P'' = 2 \text{ кВт}$);

P_K – фактична потужність під вагонного генератора, споживана на кондиціонування повітря (величину приймаємо для поїздів Кримсько-Кавказького напрямку 9 кВт);

n – число вагонів в поїзді без кондиціонування повітря, але які мають підвагонні генератори;

n_K – число вагонів в поїзді з кондиціонуванням повітря;

m – загальна кількість вагонів в поїзді.

Так, як всі вагони обладнані кондиціонуванням повітря, отримаємо

$$P' = \frac{(2 + 9) \cdot 17}{17} = 11 \text{ кВт}$$

$$w_{III} = \frac{136 \cdot 11}{15 \cdot 100} = 0,99 \text{ кгс/т}$$

Основний питомий опір руху електровоза в режимі тяги визначимо за формулою [12]

						Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$w'_o = 1.9 + 0.008 \cdot v_{II} + 0.00025 \cdot v_{II}^2,$$

де v_{II} – пускова швидкість, км/год.

$$w'_o = 1.9 + 0.008 \cdot 100 + 0.00025 \cdot 100^2 = 5,2 \text{ кгс/т}$$

Знайдемо основний питомий опір руху пасажирського вагону при швидкості 100 км/год

$$w'' = 0.7 \cdot \frac{8 + 0.16 \cdot v_{II} + 0.0023 \cdot v_{II}^2}{q_0},$$

$$w'' = 0.7 \cdot \frac{8 + 0.16 \cdot 100 + 0.0023 \cdot 100^2}{15} = 3,83 \text{ кгс/т}$$

Визначимо розрахунковий коефіцієнт зчеплення для електровозів з асинхронним тяговим приводом

$$\psi_{KII} = 0,351 - 0,0007 \cdot v_{II}, \quad (3.7)$$

$$\psi_{KII} = 0,351 - 0,0007 \cdot 100 = 0,28$$

Тоді

$$k_p = \frac{3,83 + 0,99 + 0 + 102 \cdot 0,3 \cdot 1,06}{1000 \cdot 0,28 - (5,2 + 0 + 102 \cdot 0,3 \cdot 1,6)} = 0,15$$

Аналіз виразу (3.6) показав, що величина k_p залежить, головним чином, від пускової швидкості v_{II} та прискорення при пуску a_{II} . Значення k_p не залежить від величини уклону, так як задача розв'язується виходячи з умови реалізації заданого пускового прискорення на площині.

						Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином k_p є функцією двох змінних v_{II} та a_{II} , а також залежить від типу електровоза, який визначають залежність $\psi_K(v)$. Характер цієї функції ілюструє графік на рисунку 3.1.

Про ступінь кожного аргументу можна судити по даним рисунку 3.2 та 3.3. З цих рисунків видно, що залежність k_p залежить від v_{II} лінійно, а від пускового прискорення k_p залежить в степені, більшого за одиницю. Асинхронному приводу при інших рівних умовах відповідає менше значення k_p , так як у цих електровозів коефіцієнт зчеплення вище.

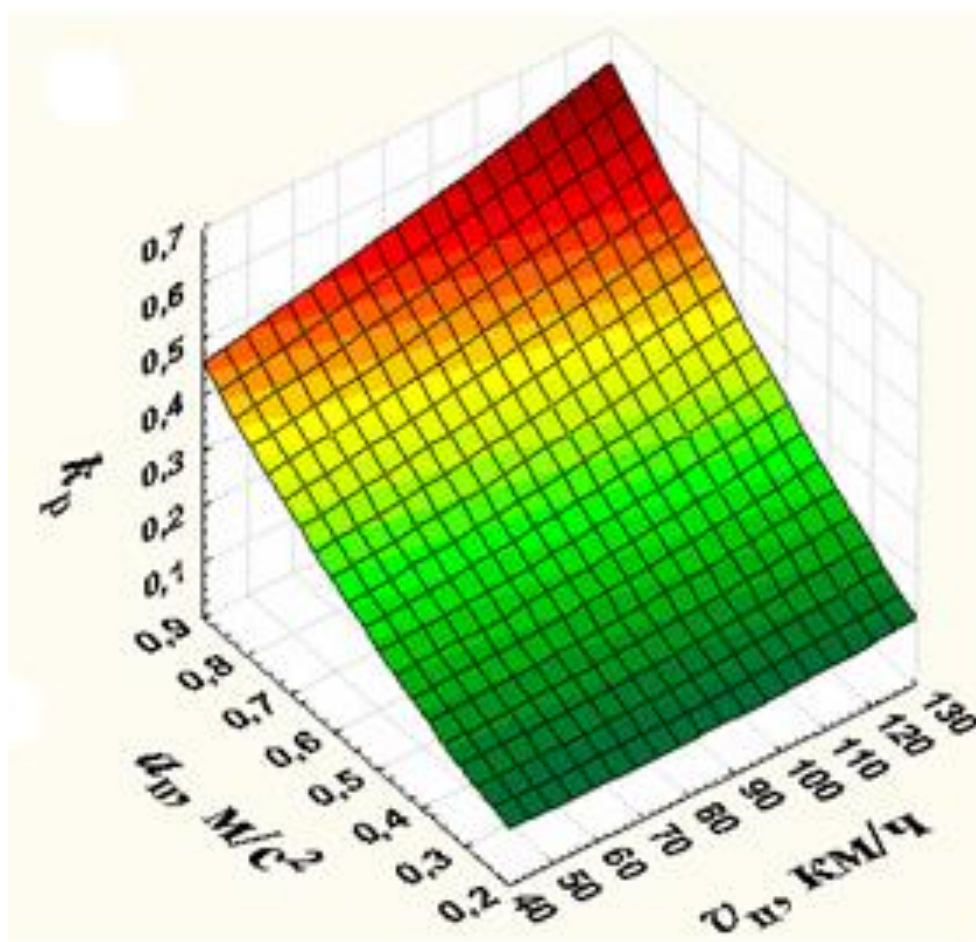


Рисунок 3.1 – Залежність $k_p(v_{II}, a_{II})$ для електровозу з асинхронним тяговим приводом

Аналіз виразу (3.6) показав, що основними параметрами, що визначають величину k_p , є пускова швидкість v_{II} і прискорення при пуску a_{II} . Значення k_p не залежить від величини ухилу, так як завдання вирішується, виходячи з умови

реалізації заданого пускового прискорення на горизонтальній ділянці колії. З достатньою для практичних розрахунків точністю залежність $k_p(v_{\Pi}, a_{\Pi})$, яка визначається виразом (3.6), можна апроксимувати до тричлену виду:

$$k_p = b_0 + b_1 \cdot v_{\Pi} + b_2 \cdot a_{\Pi}^2 \quad (3.8)$$

де v_{Π} – значення пускової швидкості;

a_{Π} – значення пускового прискорення, м/с²;

b_0, b_1, b_2 – коефіцієнти апроксимації, значення яких наведені в таблиці 3.1.

Значення коефіцієнтів b_0, b_1 та b_2 , отримані на основі розрахованих по (3.6) значень k_p , приведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнтів в виразі

Тип ЕРС	b_0	b_1	b_2	Точність апроксимації
Постійного струму	-0,061	0,0022	1,0146	98,2
Змінного струму	-0,044	0,0019	0,8171	98,1
З асинхронним ТЕД	0,009	0,0011	0,5704	98,7

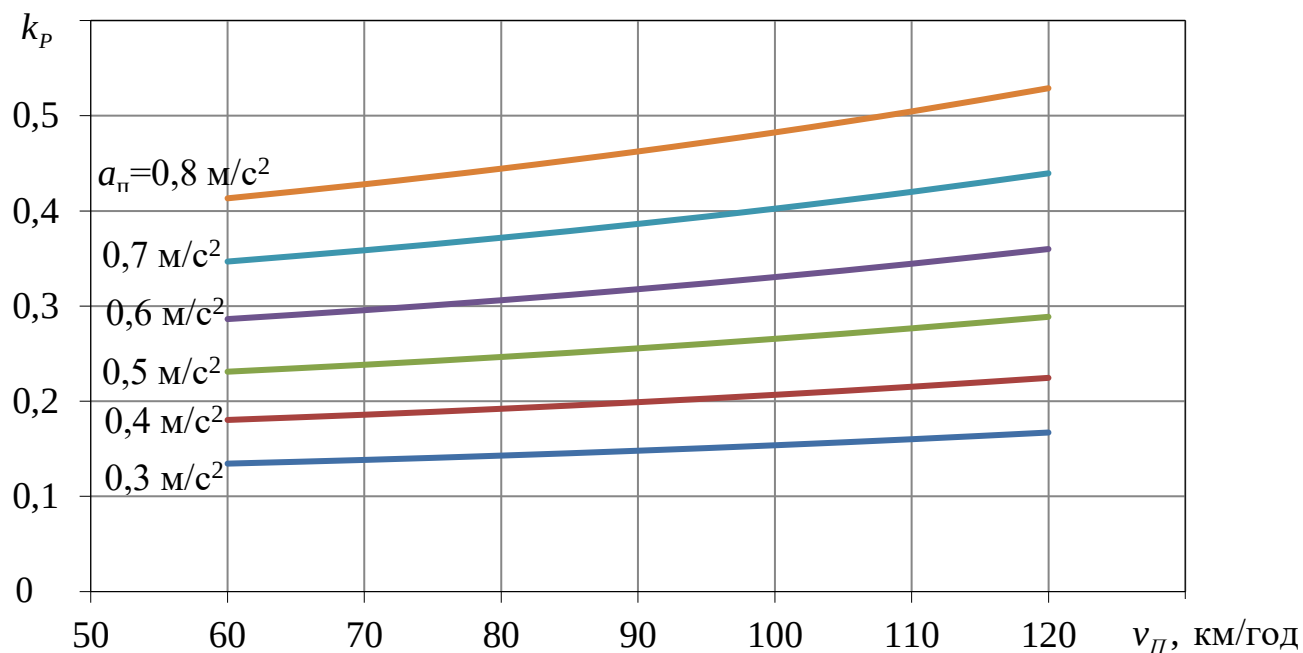


Рисунок 3.2 – Аналіз залежності $k_p(v_{II})$ для ЕРС з асинхронним приводом

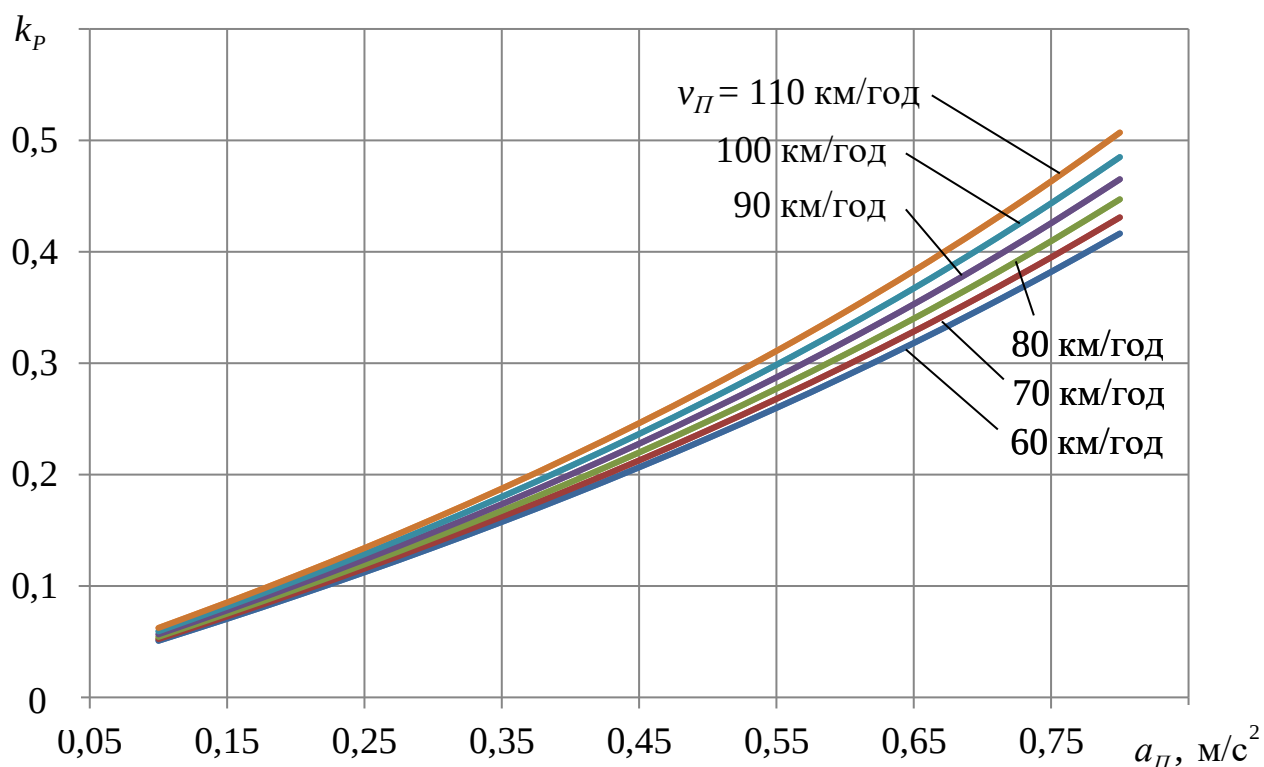


Рисунок 3.3 – Аналіз залежності $k_p(a_{II})$ для ЕРС з асинхронним ТЕД

Розрахуємо долю маси локомотива від маси состава для електровоза ЕП20, який працює на лінії Москва – Санкт-Петербург зі швидкісним пасажирським поїздом «Невський експрес», який складається з 12 вагонів і рухається зі швидкістю

200 км/год. Для наочності виконаємо розрахунки за формулами 3.5 та 3.6, а також 3.8.

$$k_p = \frac{129}{720} = 0,179$$

$$k_p = \frac{3,83 + 0,99 + 0 + 100 \cdot 0,3 \cdot 1,06}{1000 \cdot 0,28 - (5,2 + 0 + 100 \cdot 0,3 \cdot 1,6)} = 0,176$$

$$k_p = 0,009 + 0,0011 \cdot 100 + 0,5704 \cdot 0,3^2 = 0,172$$

Проаналізувавши всі три відповіді можна зробити висновок, що всі формули показують приблизно однакову відповідь і всі три формули можна використовувати для подальших розрахунків при виконанні тягових розрахунків при виборі параметрів номінального режиму.

З урахуванням (3.5) вираз (3.3) приведемо до вигляду

$$F_{\text{кп}} = (1 + k_p) \cdot [w_{\text{оп}} + 102(1 + \gamma)a_{\text{п}}]Q \quad (3.9)$$

Згідно (3.1) при заданій силі тяги $F_{\text{кп}}$ потужність номінального режиму є функцією пускової швидкості. Її значення визначається виходячи з прийнятих вище критеріїв оптимізації.

Аналіз виразу (3.1) показує, що потужність електропоїзда при заданій масі поїзда визначається, головним чином, величиною пускової швидкості. Отже, визначення оптимальної потужності електропоїзда зводиться до встановлення оптимального значення пускової швидкості $v_{\text{п(оп)}}$.

Для вирішення завдання скористаємося запропонованим підходом до визначення пускової швидкості електровоза.

Рішення даної задачі передбачає виконання наступної процедури:

– для ряду заданих значень пускової швидкості визначаються граничні тягові характеристики електропоїзда;

						Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– для прийнятих значень пусковий швидкості v_{Π} на підставі тягових розрахунків визначається залежність мінімальної витрати електроенергії від заданої величини технічної швидкості;

– по $a_{\min}(v_T, v_{\Pi})$ визначається залежність оптимальної пускової швидкості $v_{\Pi(opt)}$ відповідної мінімуму витрати електроенергії на тягу і відповідно потужності номінального режиму від технічної швидкості.

Встановлені залежності $v_{\Pi(opt)}(v_T)$ і $N_{H(opt)}(v_T)$ характеризують конкретну ділянку залізничної лінії і не залежать від складу поїзда. Доведемо це твердження.

Рівняння руху поїзда представимо у вигляді:

$$v \frac{dv}{ds} = \xi (f_K(v) - b_K(v) - w_O(v) - i(v)) \quad (3.10)$$

де ξ – розмірний коефіцієнт, значення якого залежить від прийнятих одиниць вимірювання фізичних величин;

w_O – питомий основний опір руху поїзда;

f_K – питома сила тяги електровоза;

b_K – питома гальмівна сила поїзда;

$i(s)$ – поздовжній профіль залізничної лінії.

Область визначення керуючих параметрів $b_K(v)$, $f_K(v)$ і $w_O(v)$ можна встановити наступним чином.

Гальмівна сила поїзда може приймати такі значення:

$$0 \leq b_K \leq \bar{b}_K, \quad (3.10)$$

де $\bar{b}_K$ – граничне значення гальмівної сили

$$\bar{b}_K = 1000 \cdot \vartheta_p \varphi_{kp} \quad (3.11)$$

						Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де ϑ_p – розрахунковий гальмівний коефіцієнт, що визначається діючими гальмівними нормативами;

$\varphi_{кр}$ – розрахунковий коефіцієнт тертя гальмівних колодок.

Сила тяги електропоїзда задовольняє умові

$$0 \leq f_k(v) \leq \bar{f}_k(v), \quad (3.12)$$

де $\bar{f}_k(v)$ – гранична тягова характеристика електропоїзда в питомих одиницях.

3.2 Визначення витрат електроенергії на тягу потягів

Витрати електроенергії можна визначити за виразом

$$A = 2,725 \int_{S_H}^{S_K} \frac{F_k(S)}{\eta(S)} ds \quad (3.13)$$

де η – к.к.д. електровоза.

У питомих одиницях витрати електроенергії визначаються

$$a = \frac{2,725(1 + k_p)}{(S_K - S_H)} \int_{S_H}^{S_K} \frac{f_k(S)}{\eta(S)} ds \quad (3.14)$$

Потужність кіл власних потреб електровоза пропорційна номінальній потужності N_H

$$P_{сн} = k_{сн} \quad (3.15)$$

Згідно ПТР [12] витрати електроенергії на власні потреби визначаються як

$$A_{сн} = P_{сн} \cdot t \quad (3.16)$$

Питомі витрати електроенергії на власні потреби можна виразити у вигляді

$$a_{сн} = 2,725 \frac{k_{сн}}{k_f k_U} (1 + k_p) [w_{оп} + i + 102 a_{п} (1 + \gamma)] v_{п} v_y^{-1} \quad (3.17)$$

де v_y – дільнична швидкість.

						Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт $k_{\text{сн}}$ для електровозів змінного струму приймається 0,35.

З приведених вище виразів можна зробити висновки що питомі витрати електроенергії не залежать від маси рухомого складу. Це дозволяє отримати простий алгоритм визначення потужності локомотиву із умов забезпечення пасажирських перевезень при мінімальних витратах енергії і заданому часу руху.

Слід зазначити, що кожен ділянку характеризує «своя» залежність $v_{\text{п(опт)}}(v_{\text{т}})$ (рис. 3.4), оскільки характер цієї залежності визначається специфікою конкретної ділянки (характеристики поздовжнього профілю, встановлені обмеження швидкості, відстані між роздільними пунктами і т.д.). Таким чином, одному і тому ж значенню технічної швидкості на різних ділянках відповідають різні значення $v_{\text{п(опт)}}$.

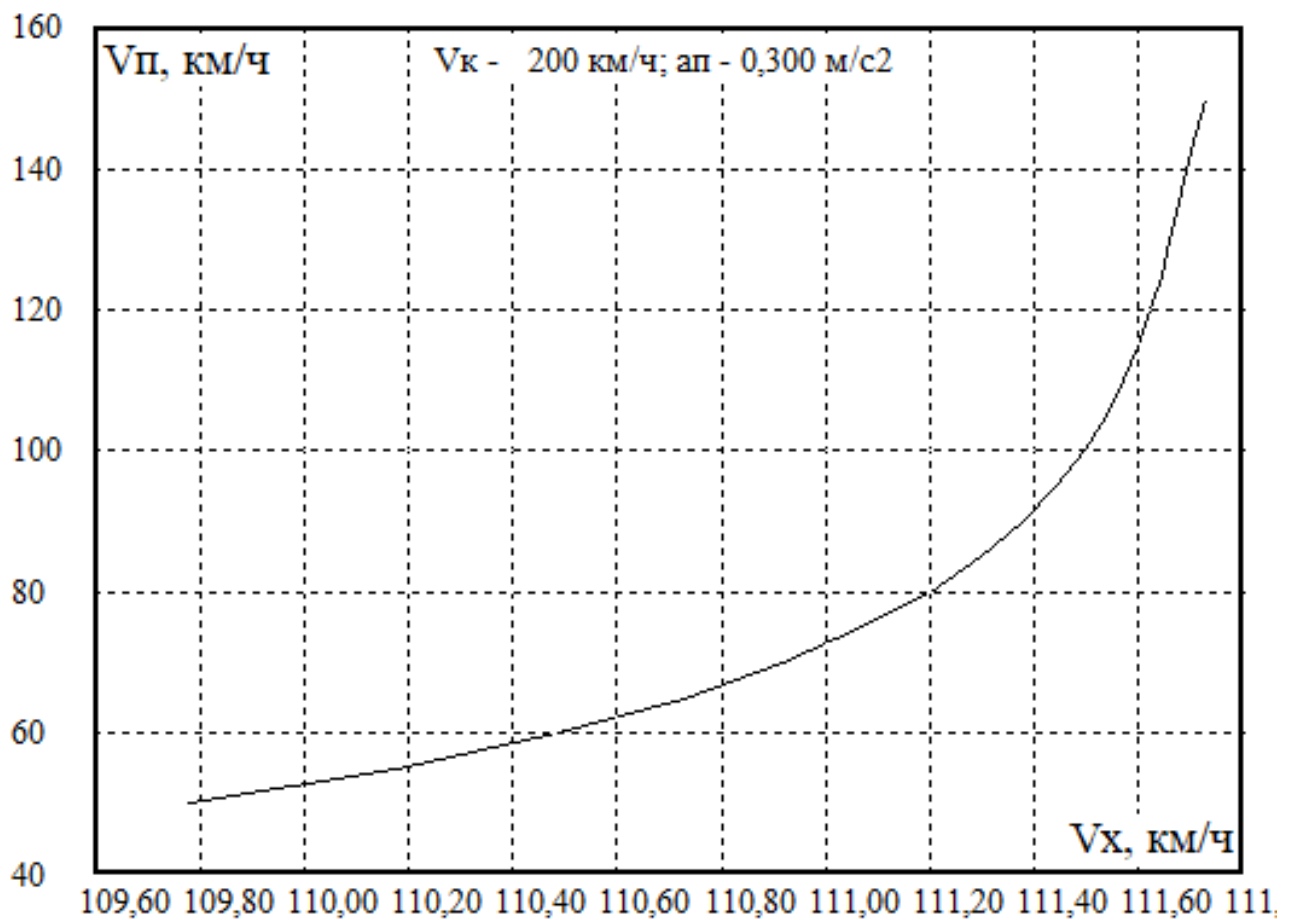


Рисунок 3.4 – Залежність оптимальної пускової швидкості від технічної швидкості на ділянках Дніпро – Київ

Разом з тим на полігоні тяги, яка обслуговується тяговими засобами одного або декількох локомотивних депо, економічно не вигідно вводити в експлуатацію різнотипні електровози. Тому для залізниць Україна слід вибрати пускову швидкість для полігону тяги на постійному і змінному струмі з умови можливості реалізації заданої технічної швидкості на кожній ділянці полігону, тобто як

$$v_{\Pi(opt)} = \max \left\{ v_{\Pi(opt)i} (v_T)_i \mid v_{Ti} = v_{T3} \right\}, i = \overline{1, k}, \quad (3.18)$$

де v_{T3} – задана величина технічної швидкості;

k – кількість ділянок обігу полігону тяги.

Вираз (3.18) визначає лімітуючу дільницю на полігоні тяги, тобто на якій при однакових обмеженнях швидкості руху заданий рівень технічної швидкості реалізується при найбільшій питомій потужності електровоза, а наведені на рисунку 3.1 залежності слід розглядати як рекомендації при виборі номінальної потужності перспективних електровозів.

						Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОВОЗА

4.1 Аналіз програми визначення основних параметрів електровозів

Для рішення поставленої задачі була використана методика для визначення основних параметрів електровоза. По цій методиці був складений алгоритм та програма написана мовою програмування «Borland Delphi 7.0»

Дана програма призначена для розрахунку номінальної потужності електровоза, що забезпечує ведення поїзда встановленої маси на конкретній залізничній лінії при заданому часі ходу (заданій технічній швидкості) і мінімальних витратах електроенергії.

Програмою передбачене виконання для заданої ділянки з урахуванням обмежень швидкості:

- розрахунків оптимальних по мінімуму витрати енергії й часу ходу кривих руху поїзда при фіксованому значенні пускової швидкості (номінальної потужності) електровоза;

- визначення витрат електроенергії на тягу поїздів і його складових (на рух поїзда з урахуванням і без урахування рекуперації, на власні потреби) при фіксованій пусковій швидкості залежно від заданого часу ходу по дільниці;

- визначення оптимальної по мінімуму витрати енергії пускової швидкості (номінальної потужності), що забезпечує рух поїзда із заданою технічною швидкістю при мінімальних витратах електроенергії.

Розрахунки можуть бути виконані для електровозів постійного і змінного струмів з колекторними тяговими двигунами, а також електровозів з асинхронним приводом.

Після запуску програми на виконання на екрані з'явиться вікно, зображене на рисунку 4.1.

Верхній рядок цього вікна являє собою головне меню. Кожне слово в основному меню (крім «**Расчет**») є заголовком вертикального підменю, що може з'являтися під ним.

						Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

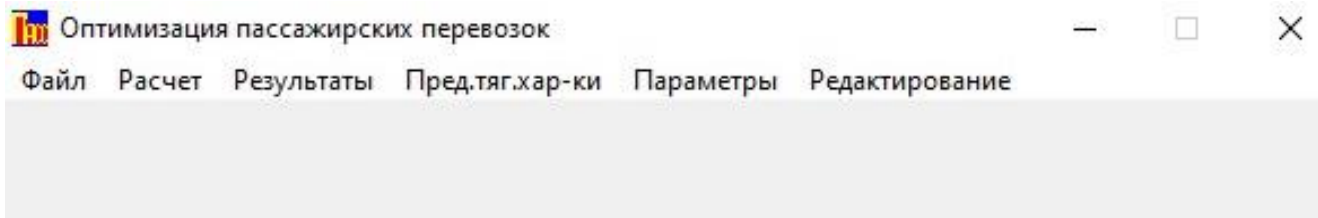


Рисунок 4.1 – Основне меню

Функції головного меню:

1. пункт «**Файл**»;
2. пункт «**Расчет**»;
3. пункт «**Результаты**»;
4. пункт «**Пред. тяг. хар-ки**»;
5. пункт «**Параметры**»;
6. пункт «**Редактирование**».

Пункт «**Файл**» призначений для читання існуючого й створення нового профілю. Вертикальне підменю пункту «**Файл**» зображене на рисунку 4.5.

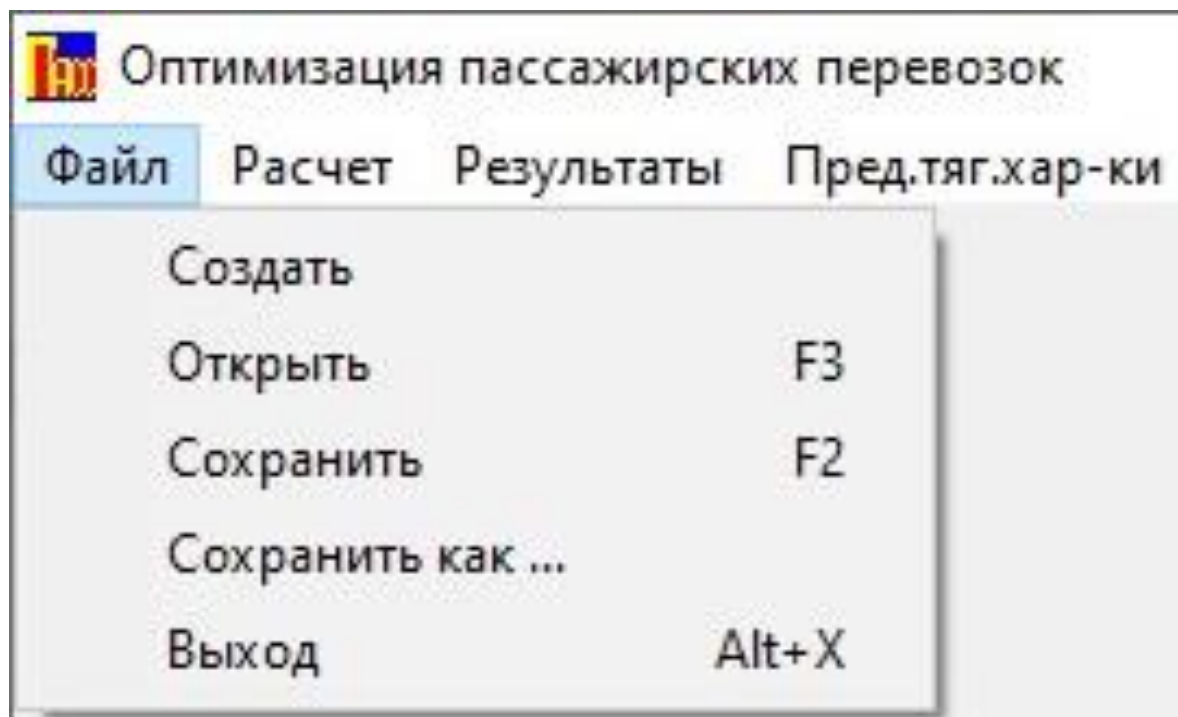


Рисунок 4.2 – Пункт головного меню «Файл»

Пункт головного меню «**Расчет**» приводить до виконання розрахунку. Після завершення розрахунків на екрані з'явиться вікно з повідомленням «**Расчет окончен**».

Пункт «**Редактирование**» призначений для редагування, додавання й видалення даних по ділянках профілю. Користувач одержує можливість відредагувати дані про поточну ділянку профілю (поточна ділянка виділена кольором).

Пункт головного меню «**Параметры**» містить три підменю: «**Параметры**» (рисунок 2.6), «**Константы**» (рисунок 2.7) та «**Ограничения**» (рисунок 2.8), за допомогою яких користувач одержує можливість задавати необхідні вихідні дані для розрахунків. При виводі запиту в будь-якому пункті цього меню присутня кнопка «**По умолчанию**», активізація якої приведе до відновлення параметрів значеннями, заданими за замовчуванням.

Рисунок 4.3 – Підменю головного меню «Параметры»

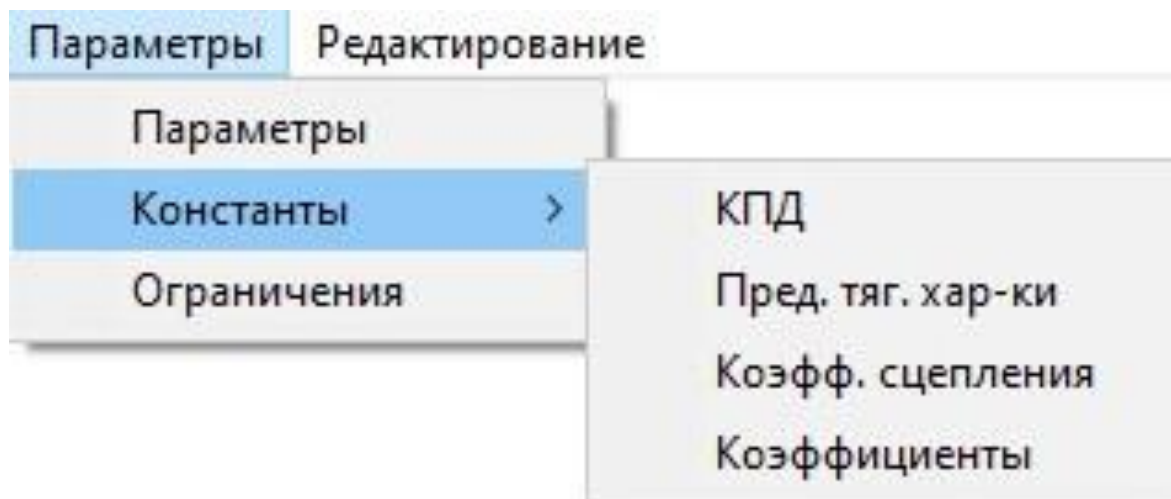


Рисунок 4.4 – Пункт головного меню «Параметры»

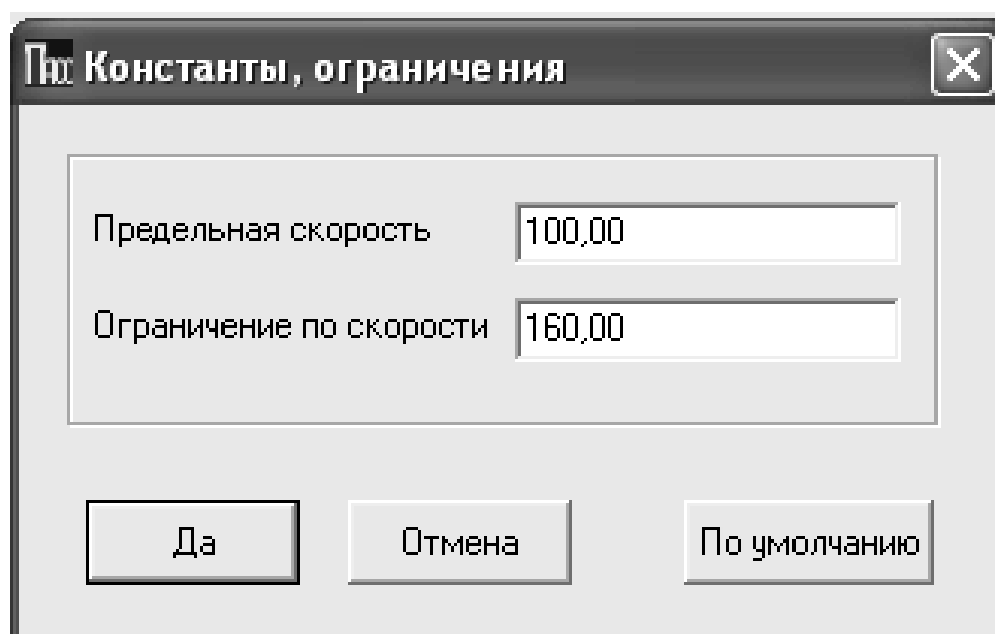


Рисунок 4.5 – Підпункт головного меню «Ограничения»

При виборі пункту меню «**Результаты**» на екрані з'явиться підменю, що випадає, з наступними пунктами (рисунок 4.6):

- «Оптим. траект $v(S)$ » – призначений для виводу оптимальних траєкторій $v(S)$;
- «Витрати енергії $a(v_x)$ » – призначений для висновку залежності витрати енергії від ходової швидкості (рисунок 4.7);
- «Оптимальні залежності» – призначений для виводу залежностей оптимальних значень пускової швидкості від технічної швидкості, витрат енергії

від ходової швидкості, витрат енергії від розрахункової швидкості й оптимального значення питомої потужності локомотива від ходової швидкості (рисунк 4.8).

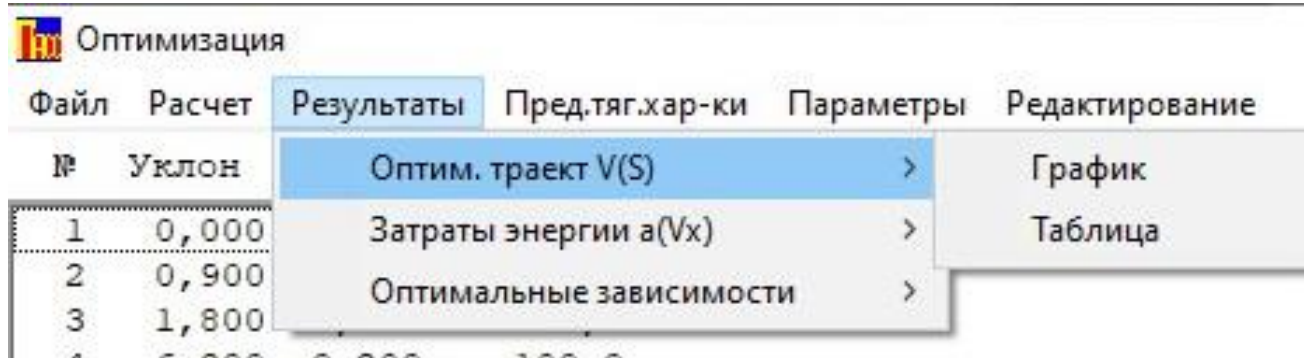


Рисунок 4.6 – Пункт «Результаты»



Рисунок 4.7 – Подпункт «Затраты энергии»

Вид зависимости

Выберите вид зависимости

Энергия от ходовой скорости

Энергия от пусковой скорости

Пусковая скорость от ходовой

Остаточное ускорение от пусковой скорости

Кр от пусковой скорости

Удельная мощность от ходовой скорости

Рисунок 4.8 – Подпункт «Оптимальные зависимости»

Пункт меню «**Пред. тяг. хар-ки**» предназначен для расчета граничной тяговой характеристики электровоза. При активизации этого пункта меню на экране появится окно с запросом на ввода следующих выходных данных (див. рисунок 4.9)

 Исходные данные

Руководящий уклон 0,00

Нагрузка на ось 17

Расчетная скорость 80,00

Масса состава 476

Тип локомотива 3

Да Отмена По умолчанию

Рисунок 4.9 – Подпункт «Пред. тяг. хар-ки»

Результат розрахунку виводиться у вигляді графіка (рисунок 4.10).

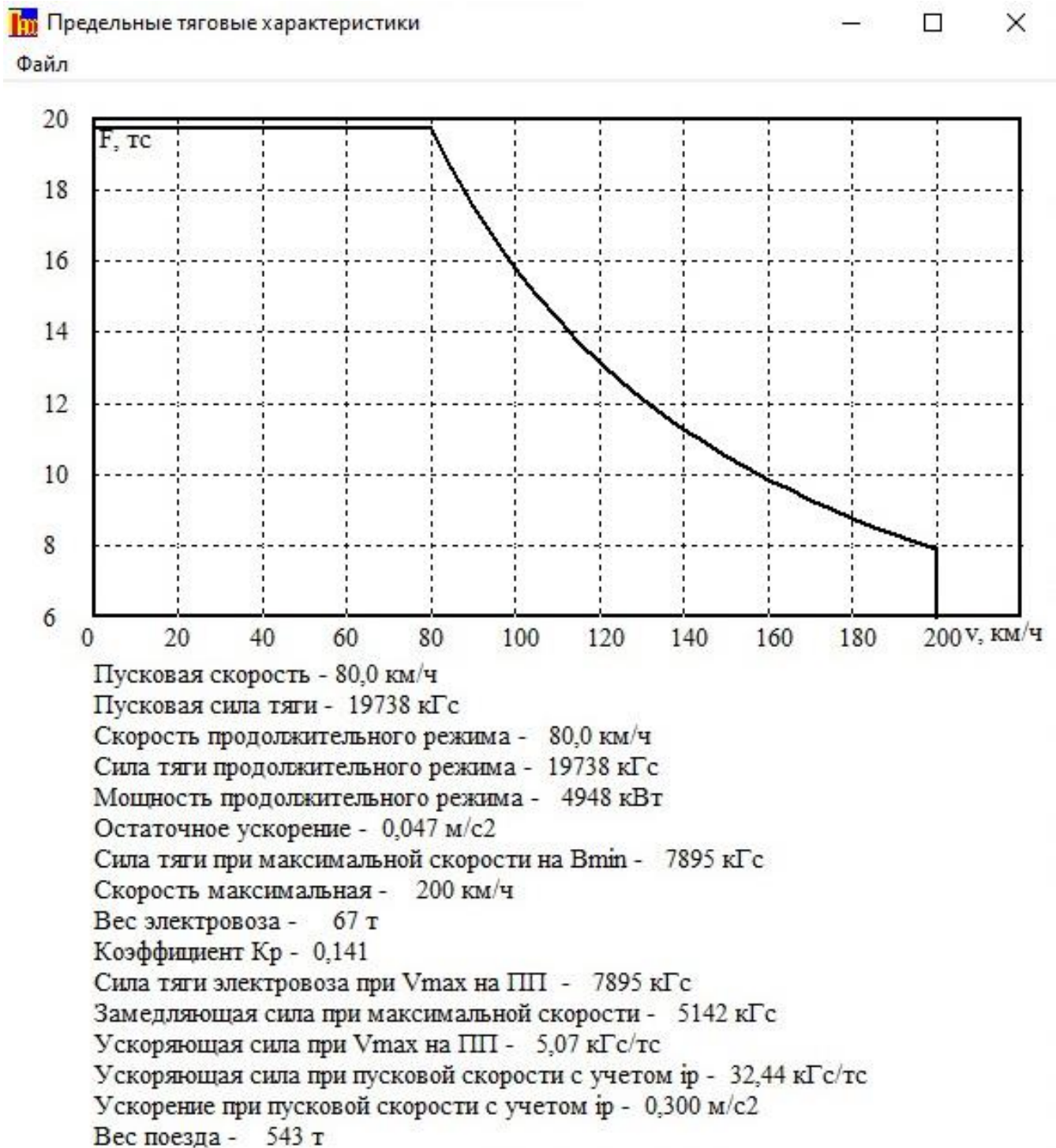


Рисунок 4.10 – Графік граничної тягової характеристики та значення основних параметрів

						Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Тягові розрахунки та побудова кривих швидкості на заданій ділянці

Для вироблення рекомендацій з вибору питомої потужності і швидкості номінального режиму перспективних електровозів для залізниць України були виконані відповідні розрахунки для реальної ділянки.

Для побудови та розрахунку залежності швидкості руху поїзда від пройденого шляху буде використана ділянка Дніпро – Київ на якій відповідно будуть розглядатись декілька варіантів обмежень швидкості, у тому числі і діючі обмеження. Розподілення та значення обмежень по ділянці зазначено в таблиці 4.1.

Розрахунки виконані для реального поздовжнього профілю ділянки при наступних вихідних даних:

- прискорення електровоза на площадці в період розгону – не нижче $0,3 \text{ м/с}^2$;
- залишкове прискорення електровоза на площадці при досягненні конструкційної швидкості – $0,05 \text{ м/с}^2$;
- реалізована на найскладніших підйомах швидкість руху електровоза – не нижче пускової;
- конструкційна швидкість електровоза 200 км/год ;
- обмеження максимальної швидкості руху на ділянці – таблиця 4.1;
- значення технічної швидкості руху – 150 км/год ;
- навантаження на вісь електровоза – 17 т ;
- значення пускової швидкості – $50 \dots 150 \text{ км/год}$.

Зупинимося докладніше на аналізі отриманих результатів.

Підвищення технічної швидкості руху пасажирських поїздів можливо тільки при збільшенні максимально допустимої швидкості руху на ділянці.

По цій причині збільшуємо максимальну швидкість руху на всіх елементах профілю на 60 км/год . При цьому максимальна швидкість руху на 30% ділянці досягне позначки 200 км/год .

						Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Обмеження швидкості на ділянці Дніпро – Київ

Обмеження швидкості діюче, км/год 1 варіант	Обмеження швидкості задане, км/год 2 варіант	Обмеження швидкості задане, км/год 3 варіант	Обмеження швидкості задане, км/год 4 варіант	Відносна довжина обмеження швидкості, %
100	120	140	160	31
110	130	150	170	8
120	140	160	180	20
130	150	170	190	17
140	160	180	200	30

Використовуючи вище описану програму проведемо розрахунки для різних варіантів обмеження максимальної швидкості руху (таблиці 4.2-4.5)

Таблиця 4.2 – Результати розрахунків при діючому обмеженні максимальної швидкості (140 км/год, 1 варіант)

V_{Π} , км/год	V_{Γ} , км/год	a , кВт·год/(т·км)	N_y , кВт/т	a_o , м/с ²	K_p
50	109,78	27,474	6,382	-0,004	0,1289
55	110,18	27,892	7,027	0,004	0,1305
60	110,49	28,289	7,68	0,013	0,1322
65	110,73	28,672	8,343	0,021	0,1341
70	110,92	29,011	9,016	0,03	0,1361
75	111,07	29,339	9,7	0,038	0,1383
80	111,2	29,659	10,396	0,047	0,1406
85	111,3	29,967	11,104	0,056	0,143
90	111,38	30,279	11,825	0,065	0,1456
95	111,44	30,582	12,559	0,074	0,1483
100	111,5	30,89	13,309	0,083	0,1511
105	111,54	31,202	14,074	0,092	0,1541
110	111,57	31,513	14,855	0,101	0,1573
115	111,6	31,828	15,653	0,111	0,1606
120	111,62	32,144	16,47	0,12	0,164
125	111,64	32,464	17,306	0,13	0,1677
130	111,66	32,791	18,163	0,14	0,1715
135	111,68	33,145	19,041	0,15	0,1755
140	111,69	33,485	19,942	0,161	0,1797
145	111,71	33,839	20,867	0,171	0,1841
150	111,73	34,194	21,818	0,182	0,1887

Таблиця 4.3 – Результати розрахунків при заданому обмеженні максимальної швидкості (160 км/год, 2 варіант)

$V_{\text{П}},$ км/ГОД	$V_{\text{Т}},$ км/ГОД	$a,$ кВт·ГОД/(Т·км)	$N_{\text{у}},$ кВт/Т	$a_{\text{о}},$ м/с ²	$K_{\text{р}}$
50	122,91	31,31	6,382	-0,004	0,1289
55	123,84	31,939	7,027	0,004	0,1305
60	124,56	32,467	7,68	0,013	0,1322
65	125,12	32,951	8,343	0,021	0,1341
70	125,59	33,411	9,016	0,03	0,1361
75	125,95	33,835	9,7	0,038	0,1383
80	126,26	34,243	10,396	0,047	0,1406
85	126,51	34,65	11,104	0,056	0,143
90	126,72	35,013	11,825	0,065	0,1456
95	126,87	35,345	12,559	0,074	0,1483
100	126,99	35,652	13,309	0,083	0,1511
105	127,09	35,958	14,074	0,092	0,1541
110	127,18	36,262	14,855	0,101	0,1573
115	127,26	36,551	15,653	0,111	0,1606
120	127,32	36,849	16,47	0,12	0,164
125	127,38	37,145	17,306	0,13	0,1677
130	127,42	37,446	18,163	0,14	0,1715
135	127,46	37,76	19,041	0,15	0,1755
140	127,5	38,071	19,942	0,161	0,1797
145	127,53	38,395	20,867	0,171	0,1841
150	127,57	38,713	21,818	0,182	0,1887

Таблиця 4.1 – Результати розрахунків при заданому обмеженні максимальної швидкості (180 км/год, 3 варіант)

$V_{\text{П}},$ км/ГОД	$V_{\text{Т}},$ км/ГОД	$a,$ кВт·ГОД/(Т·км)	$N_{\text{у}},$ кВт/Т	$a_{\text{о}},$ м/с ²	$K_{\text{р}}$
50	132,75	33,821	6,382	-0,004	0,1289
55	134,43	35,16	7,027	0,004	0,1305
60	135,81	36,28	7,68	0,013	0,1322
65	136,9	37,165	8,343	0,021	0,1341
70	137,8	37,872	9,016	0,03	0,1361
75	138,53	38,48	9,7	0,038	0,1383
80	139,14	38,984	10,396	0,047	0,1406
85	139,62	39,461	11,104	0,056	0,143
90	140,04	39,916	11,825	0,065	0,1456

V_{Π} , км/ГОД	V_{τ} , км/ГОД	a , кВт·год/(т·км)	N_y , кВт/т	a_o , м/с ²	K_p
95	140,34	40,324	12,559	0,074	0,1483
100	140,6	40,718	13,309	0,083	0,1511
105	140,82	41,106	14,074	0,092	0,1541
110	141	41,48	14,855	0,101	0,1573
115	141,15	41,837	15,653	0,111	0,1606
120	141,29	42,186	16,47	0,12	0,164
125	141,4	42,528	17,306	0,13	0,1677
130	141,51	42,862	18,163	0,14	0,1715
135	141,6	43,195	19,041	0,15	0,1755
140	141,69	43,528	19,942	0,161	0,1797
145	141,76	43,85	20,867	0,171	0,1841
150	141,83	44,169	21,818	0,182	0,1887

Таблиця 4.5 – Результати розрахунків при заданому обмеженні максимальної швидкості (200 км/год, 4 варіант)

V_{Π} , км/ГОД	V_{τ} , км/ГОД	a , кВт·год/(т·км)	N_y , кВт/т	a_o , м/с ²	K_p
50	139,61	35,18	6,382	-0,004	0,1289
55	141,96	36,88	7,027	0,004	0,1305
60	144,04	38,482	7,68	0,013	0,1322
65	145,77	39,95	8,343	0,021	0,1341
70	147,26	41,227	9,016	0,03	0,1361
75	148,51	42,315	9,7	0,038	0,1383
80	149,58	43,242	10,396	0,047	0,1406
85	150,44	44,06	11,104	0,056	0,143
90	151,19	44,764	11,825	0,065	0,1456
95	151,77	45,355	12,559	0,074	0,1483
100	152,25	45,895	13,309	0,083	0,1511
105	152,67	46,365	14,074	0,092	0,1541
110	153,02	46,814	14,855	0,101	0,1573
115	153,31	47,241	15,653	0,111	0,1606
120	153,56	47,628	16,47	0,12	0,164
125	153,77	48,01	17,306	0,13	0,1677
130	153,96	48,384	18,163	0,14	0,1715
135	154,12	48,749	19,041	0,15	0,1755
140	154,27	49,109	19,942	0,161	0,1797
145	154,4	49,466	20,867	0,171	0,1841
150	154,52	49,819	21,818	0,182	0,1887

Як показав аналіз результатів розрахунків перші 3 варіанти не дозволяють реалізувати задане значення технічної швидкості 150 км/год, тому для подальших розрахунків розглядаємо 4 варіант, з обмеженням максимальної швидкості до 200 км/год.

В цьому випадку оптимальне значення пускової швидкості буде мати значення 85 км/год, а значення питомої потужності номінального режиму - 11,1 кВт/т (див. таблицю 4.5 та рисунки 4.11 і 4.12).

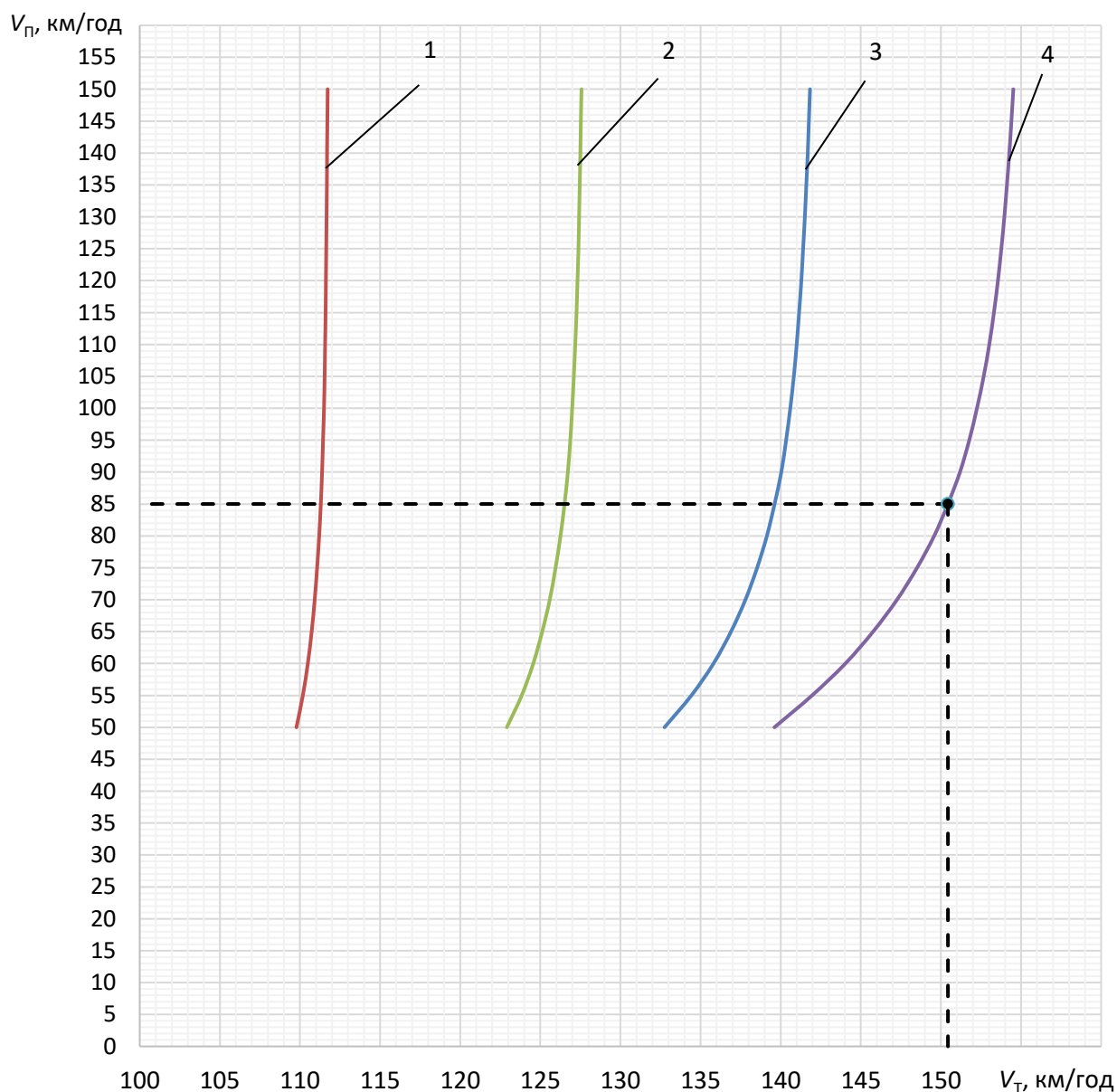


Рисунок 4.11 – Залежність оптимальної пускової швидкості електровоза від технічної швидкості руху

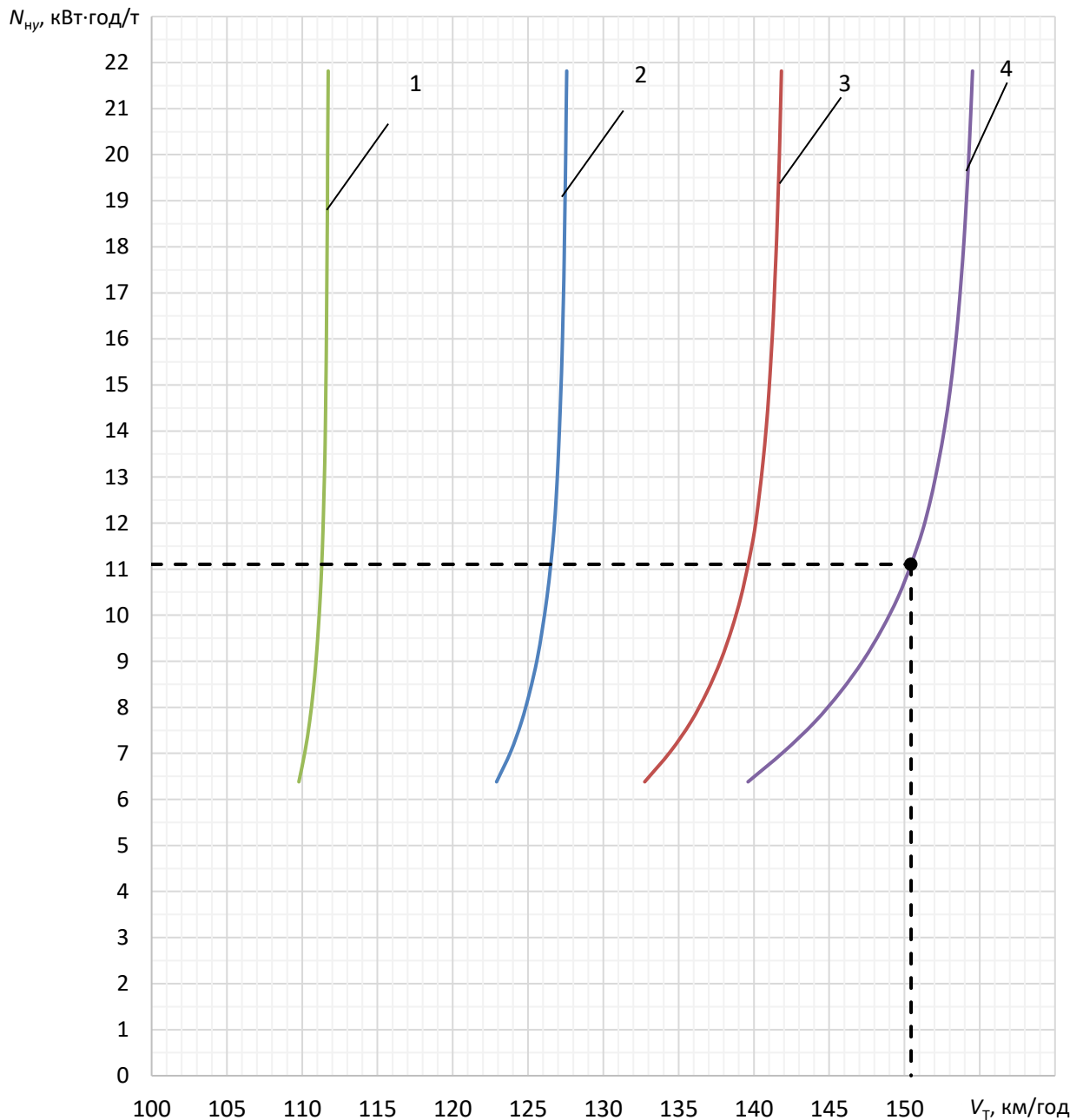


Рисунок 4.11 – Залежність оптимальної питомої потужності номінального режиму електровоза від технічної швидкості руху

На рисунках 4.11 та 4.12 прийнято такі позначення:

- позиція 1 – діючі обмеження (до 140 км/год);
- позиція 2 – обмеження до 160 км/год;
- позиція 3 – обмеження до 180 км/год;

– позиція 4 – обмеження до 200 км/год.

Горизонтальні лінії на зазначених рисунках відповідають обмеженням пускової швидкості і питомої потужності тяги, при яких можлива реалізація конструкційної швидкості електровоза при русі на горизонтальній ділянці колії, тобто значення, нижче яких не забезпечується реалізація величини залишкового прискорення – $0,05 \text{ м/с}^2$.

Криві руху поїзда на вказаній ділянці для електровоза з раціональними параметрами ($V_{\text{п}} = 85 \text{ км/год}$, та $N_{\text{н}} = 11,1 \text{ кВт/т}$) представлено графіками рисунку 4.13. При цьому електровоз при даній пусковій швидкості забезпечить рух поїзда з залишковим прискоренням $a_o \approx 0,05 \text{ м/с}^2$.

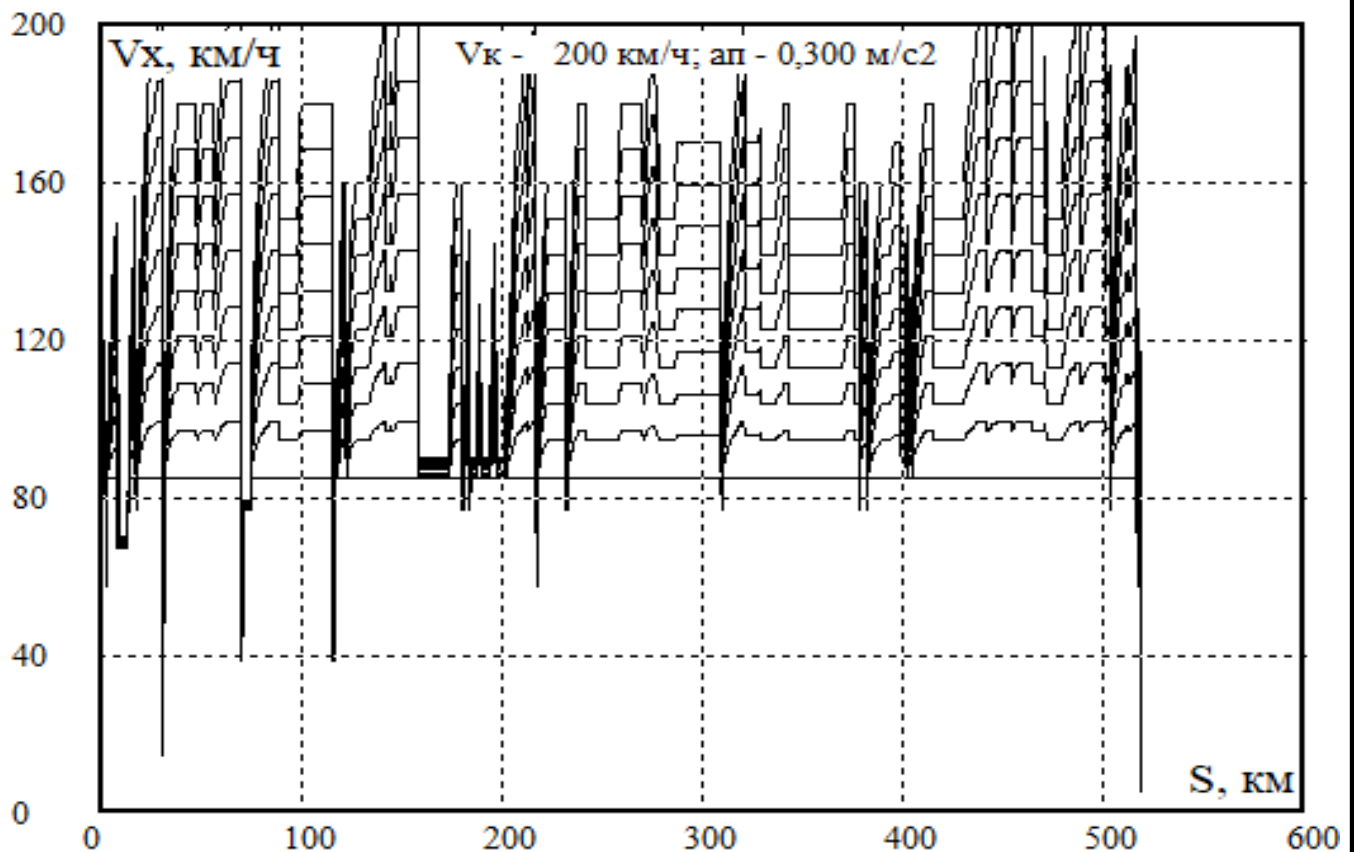


Рисунок 4.13 – Криві руху поїзда на ділянці Дніпро – Київ, при пусковій швидкості 85 км/год

Для прикладу розрахуємо потужність номінального режиму та тягову характеристику електровоза для наступних даних:

					Арк. 60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

- кількість вагонів в составі – 18 вагонів;
- навантаження на вісь вагона – 14 т.

Так як в кожному вагоні по 4 колісні пари, то в результаті отримаємо загальну масу складу – 1008 тон.

Регулювання потужності буде мати 2 зони.

- до номінальної швидкості (0...85 км/год) сила тяги електровоза буде мати значення рівне номінальній силі тяги, тобто $F_k = F_{кп}$;
- від номінальної швидкості руху до конструкційної (85...200 км/год) сила тяги буде змінюватися по закону, який описується виразом [4]

$$F_k = \frac{F_{кп} v_H}{v}.$$

Номінальну силу тяги електровоза визначимо, виходячи з отриманих параметрів номінального режиму – номінальної швидкості 85 км/год та питомої номінальної потужності 11,1 кВт/т.

Таким чином номінальна потужність електровоза буде мати значення

$$N_H = N_{\text{н}} Q = 11,1 \cdot 1008 = 11200 \text{ кВт}.$$

Силу тяги номінального режиму визначимо за виразом

$$F_{кп} = 3,6 N_H / V_H = 3,6 \cdot 11200 / 85 = 474 \text{ кН}.$$

Розрахунок тягової характеристики приведено в таблиці 4.6 та зображено на рисунку 4.14. Також в таблиці 4.6 приведено розрахунок основного опору руху, питомої сили тяги, питомого основного опору руху та прискорення поїзда.

Таблиця 4.6 – Тягова характеристика електровоза та основний опір руху поїзда ($P+Q = 144+1008 = 1152 \text{ т.}$)

V, км/год	F_k , кН	W_0 , кН	f_k , Н/кН	w_0 , Н/кН	a , м/с ²
0	474	15	41,94	1,35	0,375
10	474	17	41,94	1,48	0,374
20	474	19	41,94	1,64	0,373

V , км/год	F_k , кН	W_0 , кН	f_k , Н/кН	w_0 , Н/кН	a , м/с ²
30	474	21	41,94	1,84	0,371
40	474	23	41,94	2,07	0,369
50	474	26	41,94	2,34	0,366
60	474	30	41,94	2,64	0,363
70	474	34	41,94	2,98	0,360
80	474	38	41,94	3,35	0,357
85	474	40	41,94	3,55	0,355
90	448	42	39,64	3,76	0,332
95	424	45	37,51	3,97	0,310
100	403	47	35,66	4,20	0,291
105	384	50	33,97	4,43	0,273
110	366	53	32,38	4,68	0,256
115	350	56	30,97	4,93	0,241
120	336	59	29,73	5,19	0,227
125	322	62	28,49	5,46	0,213
130	310	65	27,43	5,74	0,201
135	298	68	26,37	6,02	0,188
140	288	71	25,48	6,32	0,177
145	278	75	24,60	6,62	0,166
150	269	78	23,80	6,94	0,156
155	260	82	23,00	7,26	0,146
160	252	86	22,30	7,59	0,136
165	244	90	21,59	7,93	0,126
170	237	94	20,97	8,28	0,117
175	230	98	20,35	8,63	0,108
180	224	102	19,82	9,00	0,100
185	218	106	19,29	9,37	0,092
190	212	110	18,76	9,76	0,083
195	207	115	18,31	10,15	0,076
200	201	119	17,78	10,55	0,067

						Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

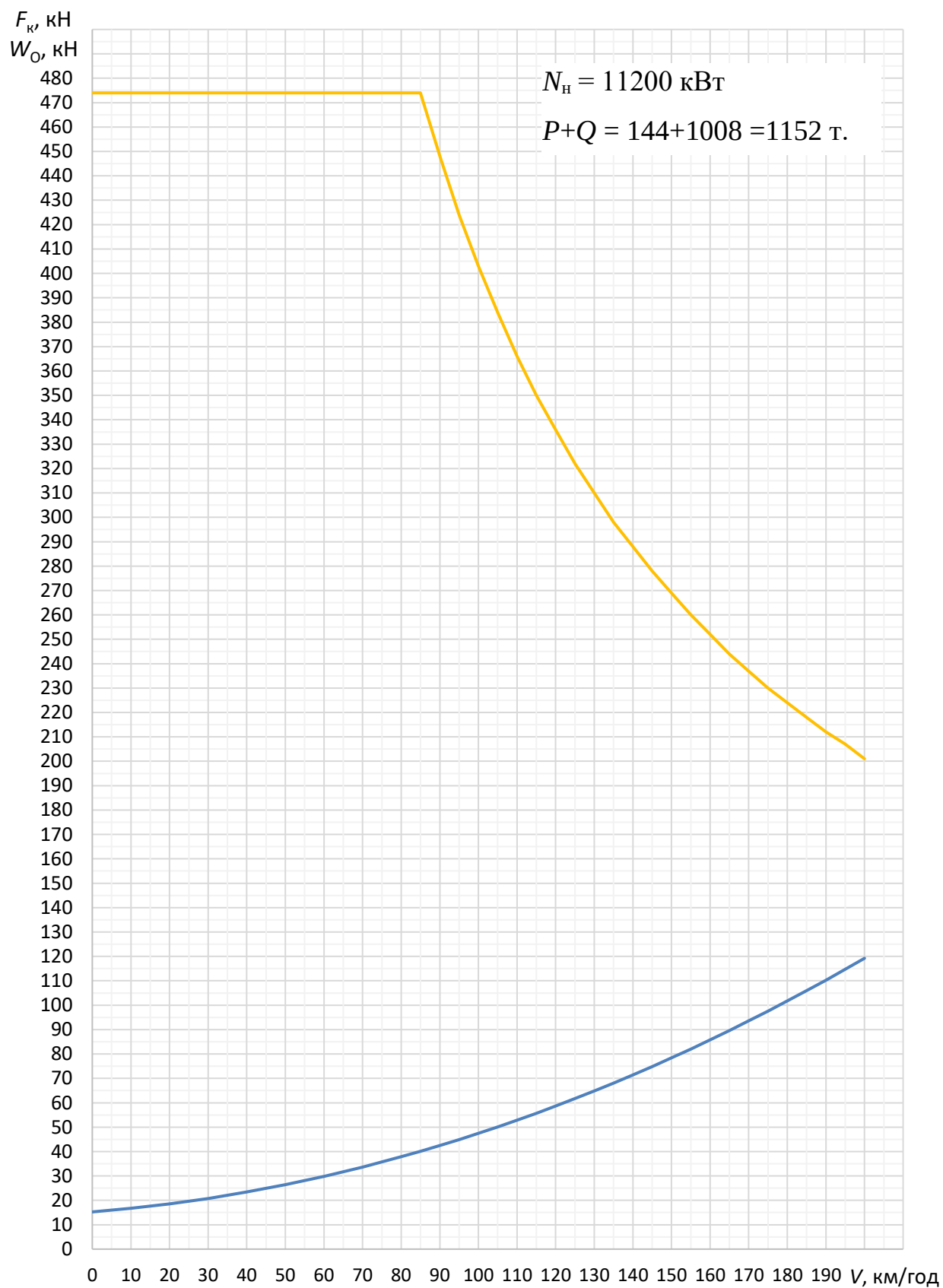


Рисунок 4.14 – Тяговая характеристика электровоза ($P+Q = 144+1008 = 1152 \text{ т.}$)

						Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В таблиці 4.7 приведено вихідні дані для розрахунків потужності та тягових характеристик електровозів та отримані значення потужності електровозів, для різних мас составів.

Таблиця 4.7 – Вихідні дані для розрахунків потужності та тягових характеристик електровозів та значення потужності електровозів

Параметр	Варіант		
	1	2	3
n , шт	18	15	10
q_0 , т	14	14	14
Q , т	1008	840	560
P , т	144	120	80
$P+Q$, т	1152	960	640
V_H , км/год	85	85	85
F_{KH} , кН	474	395	263
N_H , кВт	11193	9327	6218

В таблицях 4.8 та 4.9 приведено результати розрахунків тягових характеристик електровозів для обслуговування швидкісних пасажирських поїздів з 15 та 10 вагонами (маса состава 840 та 560 т, відповідно), а на рисунках 4.15 та 4.16 представлено графіки цих тягових характеристик.

Таблиця 4.8 – Тягова характеристика електровоза та основний опір руху поїзда ($P+Q = 120+840 = 960$ т.)

V , км/год	F_k , кН	W_0 , кН	f_k , Н/кН	w_0 , Н/кН	a , м/с ²
0	395	13	41,94	1,35	0,375
10	395	14	41,94	1,48	0,374
20	395	15	41,94	1,64	0,373
30	395	17	41,94	1,84	0,371
40	395	19	41,94	2,07	0,369
50	395	22	41,94	2,34	0,366
60	395	25	41,94	2,64	0,363
70	395	28	41,94	2,98	0,360
80	395	32	41,94	3,35	0,357
85	395	33	41,94	3,55	0,355
90	373	35	39,60	3,76	0,332
95	353	37	37,48	3,97	0,310

V , км/год	F_k , кН	W_0 , кН	f_k , Н/кН	w_0 , Н/кН	a , м/с ²
100	336	40	35,67	4,20	0,291
105	320	42	33,97	4,43	0,273
110	305	44	32,38	4,68	0,256
115	292	46	31,00	4,93	0,241
120	280	49	29,73	5,19	0,227
125	269	51	28,56	5,46	0,214
130	258	54	27,39	5,74	0,200
135	249	57	26,44	6,02	0,189
140	240	60	25,48	6,32	0,177
145	232	62	24,63	6,62	0,167
150	224	65	23,78	6,94	0,156
155	217	68	23,04	7,26	0,146
160	210	71	22,30	7,59	0,136
165	203	75	21,55	7,93	0,126
170	198	78	21,02	8,28	0,118
175	192	81	20,38	8,63	0,109
180	187	85	19,85	9,00	0,100
185	181	88	19,22	9,37	0,091
190	177	92	18,79	9,76	0,084
195	172	96	18,26	10,15	0,075
200	168	99	17,84	10,55	0,067

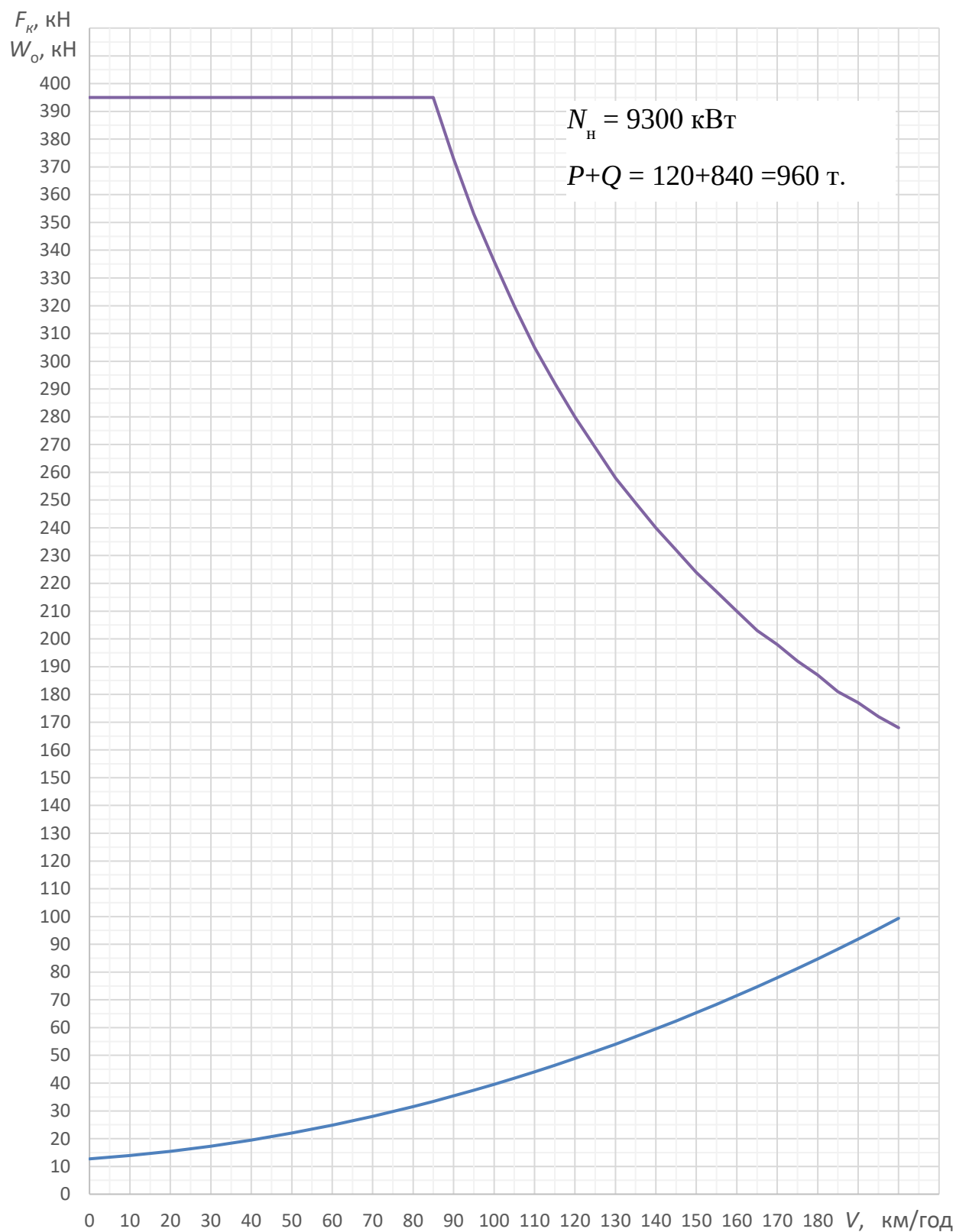


Рисунок 4.15 – Тяговая характеристика электровоза ($P+Q = 120+840 = 960 \text{ т.}$)

						Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.9 – Тягова характеристика електровоза та основний опір руху поїзда
($P+Q = 80+560 = 640$ т.)

V , км/год	F_k , кН	W_0 , кН	f_k , Н/кН	w_0 , Н/кН	a , м/с ²
0	263	8	41,88	1,35	0,375
10	263	9	41,88	1,48	0,374
20	263	10	41,88	1,64	0,372
30	263	12	41,88	1,84	0,370
40	263	13	41,88	2,07	0,368
50	263	15	41,88	2,34	0,366
60	263	17	41,88	2,64	0,363
70	263	19	41,88	2,98	0,360
80	263	21	41,88	3,35	0,356
85	263	22	41,88	3,55	0,355
90	248	24	39,50	3,76	0,331
95	235	25	37,43	3,97	0,309
100	224	26	35,67	4,20	0,291
105	213	28	33,92	4,43	0,273
110	203	29	32,33	4,68	0,256
115	194	31	30,90	4,93	0,240
120	186	33	29,62	5,19	0,226
125	179	34	28,51	5,46	0,213
130	172	36	27,39	5,74	0,200
135	166	38	26,44	6,02	0,189
140	160	40	25,48	6,32	0,177
145	154	42	24,53	6,62	0,166
150	149	44	23,73	6,94	0,155
155	144	46	22,93	7,26	0,145
160	140	48	22,30	7,59	0,136
165	135	50	21,50	7,93	0,126
170	132	52	21,02	8,28	0,118
175	128	54	20,38	8,63	0,109
180	124	57	19,75	9,00	0,099
185	121	59	19,27	9,37	0,092
190	118	61	18,79	9,76	0,084
195	115	64	18,31	10,15	0,076
200	112	66	17,84	10,55	0,067

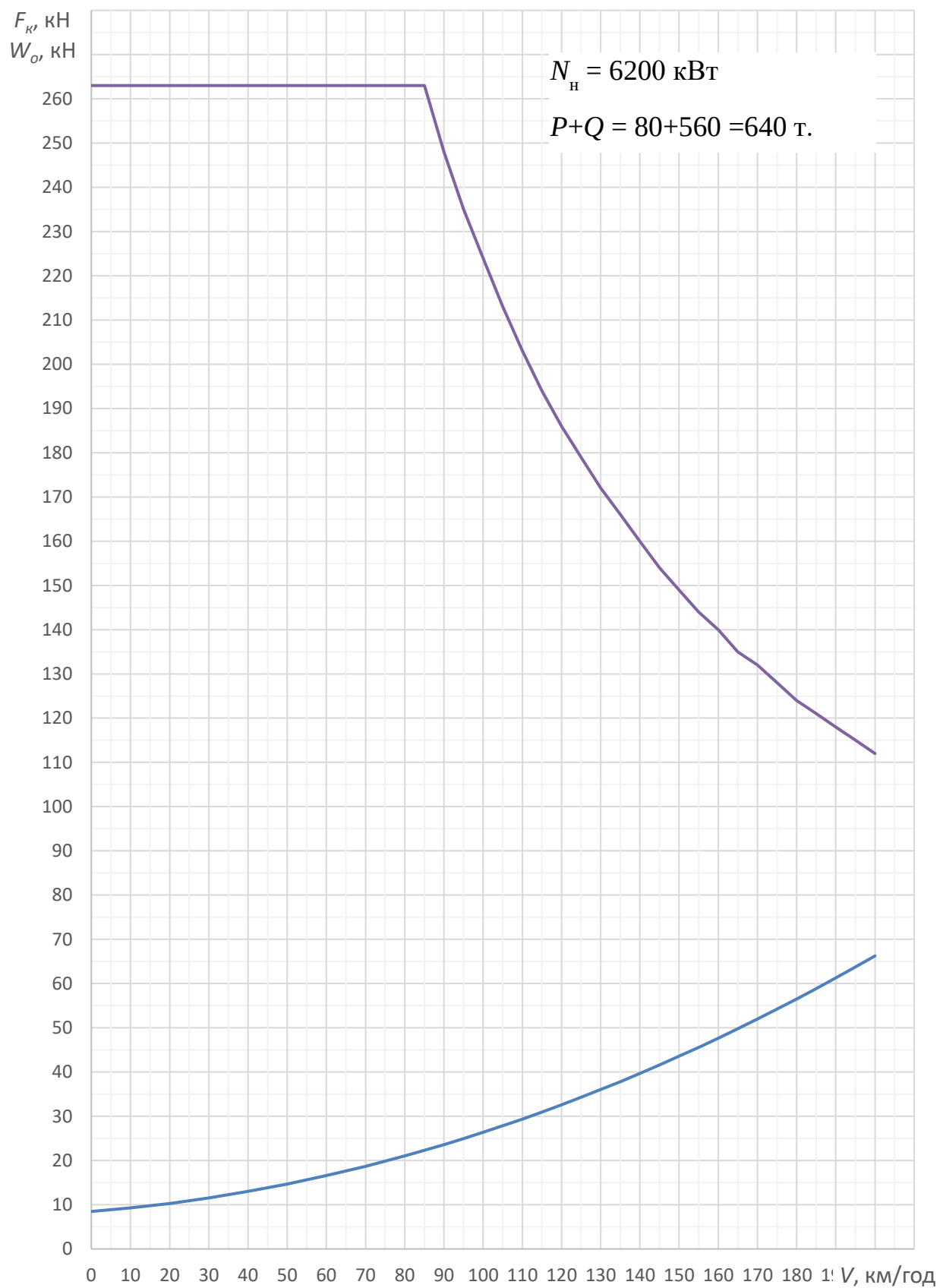


Рисунок 4.16 – Тяговая характеристика электровоза ($P+Q = 80+560 = 640 \text{ т.}$)

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	68

З приведених розрахунків видно, що потужності електровозів достатньо щоб забезпечить рух з конструкційною швидкістю 200 км/год на горизонтальній ділянці колії, що підтверджується значенням залишкового прискорення $0,067 \text{ м/с}^2$. Слід також звернути увагу на те, що прискорююча сила поїзда буде однаковою для всіх трьох варіантів електровозів, що підтверджується порівнянням значень прискорень поїзда, які наведені в останньому стовпчику таблиць 4.6, 4.8 та 4.9.

						Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Аналіз результатів виконаних тягових розрахунків дозволив встановити, що пускова швидкість перспективних пасажирських електровозів з асинхронними тяговими двигунами може бути прийнята рівною 85 км/год, а питома потужність номінального режиму 11,1 кВт/т.

Розрахунки показали, що для реалізації технічної швидкості на рівні 150 км/год електровозом з масою причіпної частини 1008 т. його потужність має становити 11200 кВт, при масі состава 840 т – 9300 кВт, а при 560 т – 6200 кВт.

На підставі виконаних досліджень доведено, що для кожної залізничної лінії існує своя залежність оптимальних значень номінальної швидкості від величини заданої технічної швидкості руху, яка може бути використана для визначення раціональної швидкості номінального режиму електровоза та слугувати рекомендацією при виборі раціональних параметрів перспективних електровозів для залізниць України.

						Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Концепція державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 31 грудня 2004 р. N 979 р.
2. Гетьман Г.К., Арпуль С.В., Кийко А.И., Михайленко Ю.В. Выбор рациональных параметров номинального режима пассажирских электровозов: Монография коллектива авторов. –Д.: Изд-во Маковецкий, 2012.-185 с.
3. Забарило Д.О. Підвищення ефективності електрорухомого складу подвійного живлення з асинхронним тяговим приводом // Дисертація на здобуття наукового степеня кандидат технічних наук – 2015 р. – С.11-17.
4. Арпуль С.В. Моделирование области допустимых управлений уравнения движения пассажирского поезда // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. - 2004.- №4.-С.17-22.
5. Корженевич І.П., Торопов Б.І., та інші. Оцінка можливості підвищення швидкості пасажирських поїздів на залізницях України. // Залізничний транспорт України. – 2007. - №6.-с 9-11.
6. Христофор О.В., Мельник Т.С., Можливості і перспективи впровадження швидкісних двосистемних міжрегіональних поїздів з розподіленою тягою. // Залізничний транспорт України. – 2011. - №3. – С53-57.
7. Гетьман Г.К. Моделирование ограниченной области допустимых управлений уравнения движения поезда в задачах тягового обеспечения. // Вісник Харківського державного політехнічного університету: зб.наук.пр. – Харків: ХДПУ, 1999. - №85. – С.44-51.
8. Гетьман Г.К. Определение оптимальной по минимуму расхода энергии на движение поезда мощности локомотива// Транспорт. Математичне моделювання в інженерних та економічних задачах транспорту: Зб.наук.пр.- Дніпропетровськ: Січ, 1999. – С.177-182.

						Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Тимчасова інструкція з організації швидкісного руху пасажирських поїздів. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу: ВНД 32.1.07.000-02. – К., 2002.

10. Кулаев Ю.Ф. Методические подходы к оценке эффективности скоростного движения на железных дорогах Украины. //Залізничний транспорт України. – 2004. - №2. – С.46-49.

11. Кірта Г.М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему. – Д.: ДНУЗТ ім. академіка В.Лазаряна, 2004. – 248 с.

12. Правила тяговых расчетов для поездной работы. М.: Транспорт, 1985.

						Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		