

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра \_\_\_\_\_ Електрорухомий склад залізниць \_\_\_\_\_  
(повна назва)

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

Гетьман Г.К.  
(підпис) (ПІБ)

20 20 р. \_\_\_\_\_ грудень « \_\_\_\_\_ »

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА  
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань \_\_\_\_\_ 14 Електрична інженерія \_\_\_\_\_  
(шифр) (назва)

Спеціальність \_\_\_\_\_ 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка \_\_\_\_\_  
(код) (повна назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_ Електричний транспорт \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Тема \_\_\_\_\_ Розробка раціональних способів ведення вантажного поїзда на ділянці  
Нижньодніпровськ Вузол – П'ятихатки \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Theme \_\_\_\_\_ Development of rational methods for conducting a vantage trip to the village  
Nizhnodniprovs'k Vuzol - Pyatikhatki \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_ ст. викладач \_\_\_\_\_ Голік С.М.  
(посада) (підпис) (ПІБ)

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ ст. викладач \_\_\_\_\_ Голік С.М.,  
(посада) (підпис) (ПІБ)

Студент групи \_\_\_\_\_ ЕТ1921 \_\_\_\_\_ Арестенко О.І.  
(група) (підпис) (ПІБ)

Student \_\_\_\_\_ Arestenko Oleksandr \_\_\_\_\_  
(Family name)

Дніпро

2020

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В.Лазаряна

Факультет «Управління енергетичними процесами» Кафедра «Електрорухомий склад залізниць»  
Спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

Г.К.Гетьман

" \_\_\_\_ " грудня 2020 р.

### ЗАВДАННЯ

до магістерської роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Студента групи ET1921 Арестенка Олександра Ігоровича  
(П. І. Б.)

1 Тема магістерської роботи: \_\_\_\_\_

***Розробка раціональних способів ведення вантажного поїзда  
на ділянці Нижньодніпровськ Вузол – П'ятихатки***

затверджена наказом по університету № \_\_\_\_\_ від «0» червня 2020 р.

2 Термін подання студентом закінченої роботи: «13» грудня 2020 р.

3 Вихідні дані до магістерської роботи: \_\_\_\_\_

*1) основні технічні дані вантажного електровоза ВЛ11М6;*

*2) профіль залізничної колії ділянки Нижньодніпровськ Вузол – П'ятихатки*

#### 4 Розділи магістерської роботи та терміни виконання.

Назва розділу магістерської роботи	Термін виконання	Обсяг розділу, %	Кількість ілюстрацій	Рекомендована літ-ра
Вступ	09.06–28.06	5	–	
1 Аналіз факторів, що впливають на вибір раціональних режимів ведення поїзда	01.09–20.09	15	1	2–4
2 Вибір раціональних режимів ведення поїзда	21.09–01.11	50	6	1–3
3 Розробка режимних карт	02–22.11	15	1	1–3
Висновок	23–29.11	5		
Оформлення	30.11–13.12	10		

#### 5 Рекомендована література

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

2 Теория электрической тяги. / Под ред. И.П. Исаева. – М.: Транспорт, 1995.

3 Гетьман Г. К. Теорія електричної тяги: підручник у 2 т. / Г. К. Гетьман. - Дніпропетровськ : Акцент ПП, 2014.

4 Цукало П. В. Экономия электроэнергии на электроподвижном составе. М.: Транспорт, 1983.– 174 с.

Дата видачі завдання: « 09 » червня 2020 р.

Керівник магістерської роботи:

(підпис)

Голік С. М.

(П. І. Б.)

Консультант:

(підпис)

(П. І. Б.)

Завдання прийняв до виконання:

(підпис)

Арестенко О. І.

(П. І. Б.)

## РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему: «Розробка раціональних способів ведення вантажного поїзда на ділянці Нижньодніпровськ Вузол – П'ятихатки» виконана на 113 сторінках основного тексту і містить: рисунків – 12, таблиць – 6, літературних джерел – 14, додатків – 3.

В магістерській роботі проведено аналіз факторів, що впливають на вибір раціонального режиму ведення поїзда.

Розглянуто характеристики: тягова, струмова характеристика електровоза, характеристики електровоза в режимі рекуперативного гальмування, електротягові, швидкісна.

За результатами розрахунків запропоновано використовувати запас кінетичної енергії для подолання підйомів, правильно вибирати швидкість початку гальмування, використовувати максимально можливі значення сил тяги

Ключові слова: електровоз, тяговий двигун, тягові розрахунки, струм двигуна, режим управління, витрати електроенергії, режимні карти.

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Аналіз факторів, що впливають на вибір раціональних режимів ведення поїзда.....	6
2 Вибір раціональних режимів ведення поїзда.....	16
2.1 Основні характеристики електровоза вл11м/6.....	16
2.2 Підготовка поздовжнього профілю колії.....	25
2.3 Розрахунок маси состава поїзда.....	28
2.4 Розрахунок та побудова діаграм питомих рівнодіючих сил за умови руху поїзда на площадці.....	34
2.5 Побудова кривих руху поїзда.....	43
2.6 Побудова кривих струму.....	49
2.7 Розрахунок витрати електроенергії на тягу поїзда.....	50
3 Розробка режимної карти.....	53
3.1 Принцип побудови режимних карт.....	53
3.2 Розробка режимної карти для електровоза ВЛ11М/6 на напрямку Нижньодніпровськ Вузол – П’ятихатки.....	56
Висновок.....	57
Список використаних джерел.....	59
ДОДАТОК А.....	61
ДОДАТОК Б.....	72
ДОДАТОК В.....	112

					Розробка раціональних способів ведення вантажного поїзда на ділянці Нижньодніпровськ Вузол – П’ятихатки					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Арестенко О.І.			Розрахунково - пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Голік С.М.								
Реценз.										
Н. Контр.		Голік С.М.								
Затверд.		Гетьман Г.К.								
					ДНУЗТ, ЕТ1921					

## ВСТУП

В даний час на Придніпровській залізниці в експлуатації знаходиться 512,5 од. тягового рухомого складу, зокрема, 298 магістральних електровозів, 183 маневрові тепловози серії ЧМЕЗ та 31,5 од. магістральних тепловозів. Понад встановлений термін служби експлуатуються 100% електровозів серій ВЛ8 та ЧС2, 80,5% тепловозів серії ЧМЕЗ, 95,1% тепловозів серії 2ТЕ116, які вимагають дедалі більших витрат на ремонти, а також мають низьку економічність у порівнянні із тяговим рухомим складом нового покоління [1]. У зв'язку з цим у регіональній філії «Придніпровська залізниця» була прийнята та втілена «Програма з оновлення локомотивного парку», яка дозволила здійснювати вантажні та пасажирські перевезення ефективніше, а також зменшити експлуатаційні витрати на утримання локомотивів і зменшити витрати енергоресурсів. З цією ціллю було придбано 110 електровозів серії ВЛ11М/6 [1]. Оскільки нові електровози значно відрізняються за характеристиками від електровозів, які вже експлуатуються на ділянці Нижньодніпровськ Вузол – П'ятихатки, то виникає потреба в проведенні тягових розрахунків та розробленні режимних карт для нового тягового рухомого складу, щоб досягти якомога ефективного режиму експлуатації. Звісно під час експлуатації дані режимні карти будуть підлягати редагуванню у зв'язку з тим, що теоретичні розрахунки в більшості випадків значною мірою відрізняються від практичної експлуатації. Оскільки під час теоретичних розрахунків неможливо врахувати всіх факторів, які можуть відбутися на практиці та вплинути на вибір методу ведення поїзда.

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

## 1 АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ВЕДЕННЯ ПОЇЗДА

Умови роботи локомотивів під час ведення поїздів характеризуються безперервною зміною сили тяги і швидкості руху, до цього також додаються коливання напруги контактної мережі, ділянки шляху з недостатнім зчепленням. При цьому потужність локомотива залежить від багатьох обставин, вона змінюється в залежності від швидкості, що реалізується, вибраного з'єднання і ступеня ослаблення поля збудження, рівня напруги контактної мережі. Ці обставини дозволяють реалізувати різноманітні режими управління тяговим рухомим складом, що відрізняються від прийнятих при тягових розрахунках та зазначених в режимних картах [2].

Все це створює труднощі в процесі розробки та практичного використання раціональних режимів ведення поїздів. Досвід показує, що навіть за наявності режимних карт та реалізації рекомендованих режимів ведення поїздів, технічно обґрунтованих для деяких середніх експлуатаційних умов, фактична витрата електроенергії у різних машиністів на одних і тих самих ділянках різна, відхилення можуть бути як у більшу, так і в меншу сторону від встановленої норми (до 10%) [5].

Передові машиністи, які добре підготовлені технічно і глибоко розуміють основи енергетики роботи локомотива, тяги і руху поїзда вміло враховують конкретні експлуатаційні умови, швидко приймають правильні рішення, корегують рекомендації режимних карт і досягають значної економії електроенергії.

На рисунку 1.1 наведено схему, яка ілюструє фактори, що впливають на вибір режимів ведення поїзда.

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

## Фактори, що впливають на вибір раціональних режимів ведення поїзда:

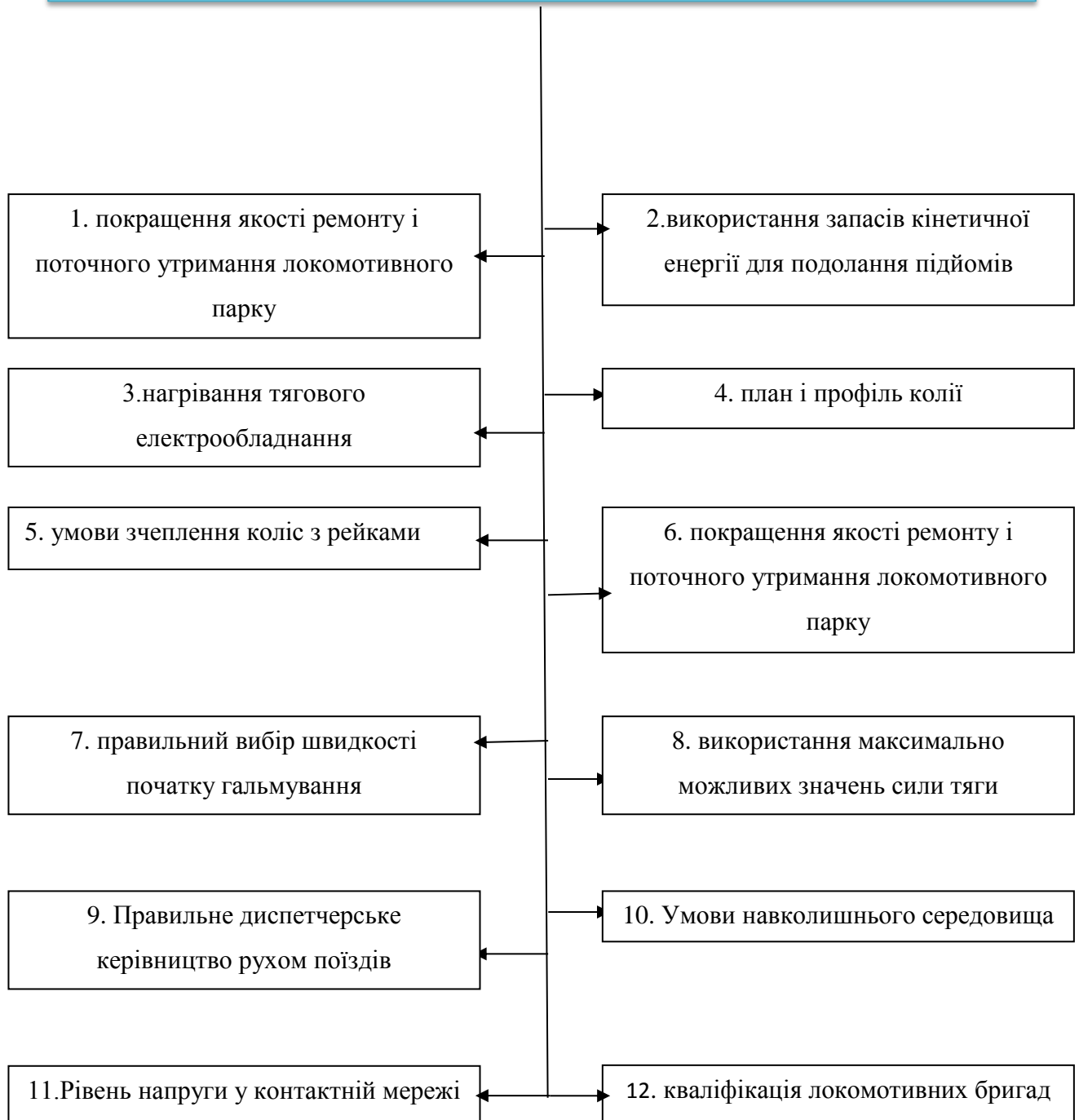


Рисунок 1.1 – Фактори, що впливають на вибір раціональних режимів ведення поїзда



Рациональний режим ведення поїзда повинен передбачати і оптимальне використання потужності локомотива за умовами нагріву тягового електрообладнання, зчеплення коліс з рейками на граничних підйомах ділянки. Зазвичай режими ведення поїзда, що є раціональними за умовами використання потужності локомотивів на граничних підйомах, не суперечать режимам, раціональним за витратою електроенергії. Великий вплив на витрату енерго-ресурсів має технічний стан електровозів, які можуть мати значні розбіжності потужності, а також тягових характеристик, внаслідок низької якості ремонту і технічного обслуговування, зміни стану в міжремонтний період [6].

Рациональний режим ведення поїзда розробляють для заданого часу ходу по перегонах. Ця дуже складна задача повинна вирішуватися на основі кривої зміни швидкості, отриманої в результаті тягових розрахунків і відповідної заданому часу ходу. Формування раціонального режиму зводиться до вдосконалення початкового режиму, тобто внесення до нього змін, спрямованих на скорочення витрат електроенергії або палива при збереженні заданого часу ходу.

Знизити витрату енергетичних ресурсів можна зменшенням витрат кінетичної енергії і витрат енергії при її перетворенні. Значне зниження можна отримати при зниженні швидкості руху і при збільшенні часу ходу по перегонах; однак, як правило, це неприйнятно, оскільки тягне за собою скорочення пропускної здатності ділянки. Зменшити втрати кінетичної енергії можна, знижуючи середню швидкість руху поїзда і швидкість входу його на ухили з «шкідливими» спусками, а також знизивши нерівномірність швидкості руху і швидкість початку застосування гальм поїзда. Зменшення нерівномірності швидкості руху дає

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

помітний ефект в економії електроенергії і палива на рівнинних ділянках шляху і на ділянках з рівномірним ухилом, а також з відносно рідкісними зупинками поїздів.

Втрати енергії в гальмах поїзда пропорційні довжині «шкідливих» спусків або квадрату швидкості початку гальмування. Для зменшення цих втрат слід в межах можливого знижувати швидкість поїзда при вході його на ухили з «шкідливими» спусками. Це досягається збільшенням часу руху локомотива на вибігу з вимкненими тяговими двигунами перед такими ухилами або гальмуванням. Пуск і розгін характеризуються значними втратами енергії в пусковому реостаті на ЕРС постійного струму. Щоб мінімізувати втрати електроенергії в пусковому реостаті, слід реалізувати максимально-можливе прискорення поїзда, для чого необхідно збільшувати середнє значення пускового струму електровоза і застосовувати ослаблення збудження тягових двигунів електровозів постійного струму. Складовими елементами раціональних режимів ведення поїздів є: використання максимально можливої сили тяги, реалізація високих значень коефіцієнта зчеплення і раціональне використання запасів кінетичної енергії для подолання підйомів, правильний вибір швидкості початку гальмування, вміле регулювання сили тяги із застосуванням ослаблення збудження тягових двигунів разом з оптимальним температурним режимом обмоток електричних машин. Режим ведення поїзда складається з наступних фаз [7]:

- пуск, що включає в себе розгін поїзда до виходу на обрану ходову характеристику локомотива;
- рух під струмом (при вимкнених тягових двигунах) на ходових позиціях контролера управління;
- вибіг – рух при вимкнених тягових двигунах;

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

– регулювальне гальмування – гальмування поїзда на крутих спусках для підтримки його швидкості в допустимих межах;

– гальмування для зниження швидкості перед попередженнями і зупинками.

Кожен з цих елементів чинить істотний вплив на результати використання потужності локомотивів і витрату електричної енергії на тягу поїздів. Розглянемо окремі фази режиму ведення поїздів.

Пуск локомотива і розгін поїзда. Пуск і розгін важливо проводити якомога плавніше, не допускаючи надто швидкого приросту сили тяги. Це необхідно для того, щоб не допустити розриву поїзда і буксування колісних пар електровоза. Зрушити вантажний поїзд з місця легше, якщо попередньо состав стиснути. Після встановлення реверсивної рукоятки в положення "Вперед", машиніст переводить головну рукоятку контролера з нульової позиції в першу, що забезпечує збирання електричного кола для протікання струму тягових двигунів, у наслідок локомотив починає рух і розтягує состав, вибираючи зазори в його ударно-тягових пристроях. Потім поступово переводить рукоятку контролера машиніста на більш високі позиції, витримуючи її на кожній з них приблизно 3...4 с, що необхідно для забезпечення спрацьовування електричних апаратів. Після того, як поїзд почне рухатися, машиніст продовжує набирати позиції, дотримуючись вимоги, щоб струм тягових двигунів згідно амперметра не перевищував значень пускового струму для тягового рухомого складу даної серії і був близький до максимального допустимого значення за умовами зчеплення. Для того щоб не відбулося розриву поїзда, подальший набір позицій контролера машиніста

						Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можна проводити після того, як весь поїзд разом з локомотивом прийде в рух. після початку руху поїзда з місця його розгін слід вести, реалізуючи велику силу тяги. Для електровозів постійного струму збільшення середнього пускового струму супроводжується зниженням втрат електроенергії в пускових реостатах, так як при цьому зменшується час роботи електровоза з введеними в ланцюзі тягових двигунів резисторами Розгін поїзда з великим пусковим струмом доцільний ще й тому, що дозволяє економити час і використовувати його запас для більш тривалого руху на вибігу без струму і зниження швидкості перед зупинками, а отже, дозволяє економити електроенергію. При пуску важливо запобігти виникненню і розвитку буксування колісних пар, тому набір позицій рукояткою контролера в момент рушання вантажного поїзда, особливо в несприятливих по зчепленню умовах, зазвичай супроводжується імпульсною подачею невеликих порцій піску під колеса локомотива [6].

На ЕРС постійного струму в процесі пуску і розгону необхідно запобігати перегріву пускових резисторів. Внаслідок цього після виходу на безреостатну позицію послідовного з'єднання тягових двигунів зазвичай використовують ступені ослаблення збудження для продовження розгону поїзда. Завдяки цьому відбувається подальше збільшення швидкості руху і зменшується нагрів пускових резисторів. Потім після зняття ослаблення збудження продовжують набір позицій контролера машиніста, переводячи тягові двигуни на послідовно-паралельне, а потім і паралельне з'єднання. При необхідності на кожному з цих з'єднань тягових двигунів також використовуються ступені ослаблення збудження.

Особливості розгону вантажного поїзда електровозом. Перед

						Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зрушенням машиніст повинен стиснути поїзд. Перед відправленням для повного відпускання гальм ручку крана машиніста слід поставити короткочасно в положення «Відпуск». Якщо состав рушає з місця легко, перший розгін виконують, не допускаючи дуже великих струмів. Якщо склад рушає з місця важко, розгін роблять під великим струмом, близьким до найбільшого допустимого за умовами зчеплення, і пускають у хід пісочницю, подаючи пісок малими порціями. Розгін поїзда на підйомі з найбільшими струмами більш економічний, ніж із середніми. Якщо состав взяти з місця не вдається, його стискають і пробують взяти з місця вдруге. При цьому, оперуючи головною рукояткою і пісочницею, намагаються не допустити тривалого буксування. Необхідно мати на увазі, що електровози постійного струму не можуть тривалий час працювати в тяговому режимі на знижених швидкостях до 10...15 км/год, а головну рукоятку контролера не слід затримувати на окремих позиціях більше 3...4 с. При тривалому проходженні струму резистори перегріваються, що викликає викривлення або перегорання їх окремих елементів. Все це необхідно враховувати при взятті поїздів з місця, особливо на підйомах, при маневровій роботі і під час прямування поїзда по місцях, де встановлена швидкість не вище 15 км/год. Необхідно також враховувати, що їзда з включеними резисторами призводить до перевитрати електричної енергії. Розгін на послідовному з'єднанні тягових двигунів закінчується на безреостатній позиції, але для того, щоб пускові резистори охолонули, застосовують ослаблення збудження. Пуск в цьому випадку виходить більш економічним, так як знижуються втрати на нагрів резисторів. Необхідно враховувати, що якщо розгін поїзда ведеться з малими струмами, а час на перегін обмежений, ослаблення збудження

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

можна не застосовувати .

Розгін поїзда на гористій ділянці краще робити, не допускаючи великого наростання струму, щоб уникнути боксування. Розганяти поїзд потрібно до необхідної швидкості і з цією швидкістю рухатися по підйому, не допускаючи втрати швидкості.

Ведення вантажного поїзда по спуску. Якщо попереду підйом або майданчик, необхідно в кінці спуску підвищити швидкість до максимальної, щоб підйом пройти з малими струмами, а майданчик по можливості з вимкненими тяговими двигунами.

Загальні вимоги до режиму ведення поїзда по перегону. Локомотивна бригада повинна добре знати профіль і план колії, розташування сигналів і станцій. Ця необхідність обґрунтовується тим, що під час руху поїзда по елементах профілю состав може переходити з розтягнутого в стиснутий стан і навпаки, при цьому у ньому виникають значні динамічні сили. Додаткові динамічні навантаження виникають як у тяговому режимі, так і під час руху на вибігу, а також, в гальмівному режимі та в процесі відпускання гальм. Сили, що виникають, можуть досягати максимального значення в різних частинах составу залежно від однорідності вагонів за типом і ступеня їх завантаження, а також від того, стиснутий состав чи розтягнутий. У вантажних поїздах ці сили можуть привести до розриву составу або видавлювання вагонів. Значення динамічних сил залежать від маси і довжини поїзда, профілю колії, швидкості руху, зазорів в автозчепних пристроях, швидкості поширення гальмівної хвилі вздовж поїзда, типу і стану гальмівних пристроїв. Локомотивна бригада повинна враховувати ці фактори під час вибору режиму ведення поїзда.

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

В процесі руху поїзда доцільно тримати состав або в стиснутому, або в розтягнутому стані. Однак це практично неможливо під час руху по реальному профілю колії. Локомотивна бригада в даному випадку повинна вміти плавно переводити состав з одного стану в інший. Виконувати це рекомендується на однорідних елементах колії – на горизонтальних ділянках або ухилах. Для того щоб перевести рухомий склад з стиснутого стану в розтягнутий, рукоятку контролера ставлять в поїзне положення. На електровозах таке переведення рукоятки можна виконувати достатньо швидко до тих пір, поки струм тягових двигунів не досягне значення 100 А. Щоб стиснути розтягнутий состав, поступово вимикають тягові двигуни, переводячи рукоятку контролера на нижчі позиції до нульової. Якщо цього недостатньо, на локомотиві застосовують допоміжні гальма [7]. Для електровозів постійного струму особливу увагу слід приділяти режимам ведення у разі зниження величини напруги на струмоприймачі. У таких випадках можливе перевищення допустимої температури обмоток тягових двигунів, оскільки знижена напруга призводить до зниження швидкості і збільшення тривалості руху під струмом. Крім того, зниження напруги призводить до зменшення частоти обертання якоря двигуна вентилятора, що тягне за собою погіршення охолодження тягових двигунів.

З практики відомі випадки, коли застосування оптимальних режимів ведення поїздів, розроблених і уточнених під час тягово-експлуатаційних випробувань, дозволили організувати стійке ведення поїздів, маса яких перевищує розрахункові значення. У ході таких випробувань встановлюють кращі режими ведення поїздів. Отримані результати, так само як і досвід роботи кращих

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

машиністів, є основою для розробки раціональних режимів ведення поїздів, використовуються для навчання та інструктажу локомотивних бригад, розробки місцевих інструкцій з технології ведення поїздів. Місцеві інструкції для локомотивних бригад щодо раціональних режимів ведення поїздів повинні містити не тільки рекомендації, розроблені для певних умов, а й знайомити локомотивні бригади з основними принципами, якими слід керуватися для забезпечення максимального використання потужності локомотивів. Робота з навчання локомотивних бригад раціональним режимам ведення поїздів повинна включати в себе не тільки теоретичне навчання, а й практичне застосування. Дуже корисний аналітичний розбір окремих поїздок із зазначенням допущених помилок. Не можна представляти рекомендований режим ведення поїзда в якості фіксованого набору правил із зазначенням, де і яку позицію контролера машиніста слід застосовувати, де і як виконувати гальмування, тощо. Навчання та інструктаж локомотивних бригад раціональним режимам ведення поїздів повинні ґрунтуватися на глибокому розумінні ними суті фізичних процесів, пов'язаних з рухом поїзда, управлінням локомотивом, регулюванням його потужності [7].

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



## 2 ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ВЕДЕННЯ ПОЇЗДА

### 2.1 Основні характеристики електровоза ВЛ11М/6

Електровоз ВЛ11М/6 (рисунок 2.1) є модифікацією електровоза ВЛ11М і призначений для експлуатації на електрифікованих ділянках залізниць з напругою в контактній мережі 3 кВ і шириною колії 1520 мм. Електровоз складається з двох секцій. Умовне позначення секцій «А» і «Б». Кожна секція має комплект обладнання, що забезпечує роботу секції в режимі тяги і електричного гальмування з керуванням з кабіни будь-якої секції.



Рисунок 2.1 – Електровоз ВЛ11М/6

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

Механічна частина, тягові двигуни і допоміжні машини, основна силова апаратура, апаратура управління, габаритні вказівники електровоза ВЛ11М/6 уніфіковані з електровозами ВЛ11 та ВЛ11М. Для покращення умов роботи локомотивних бригад на електровозі встановлені модульні кабіни виробництва ТОВ "ПКПП МДС" (м. Дніпро) (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Кабіна машиніста електровоза ВЛ11М/6

Кабіна розроблялася як окремий складений модуль з усім необхідним обладнанням з корпусом з цільного склопластику.

Особливу увагу приділено санітарії і протипожежній безпеці. Розроблено ергономічний і безпечний простір для роботи машиніста і помічника машиніста, яке включає:

- клімат контроль кабіни;
- систему опалення;
- збільшене лобове скло з електрообігріванням;

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

- керовані бічні дзеркала з підігрівом;
- панелі підлоги з обігрівом;
- систему загального та місцевого освітлення;
- ергономічні крісла машиніста і помічника.

Електровоз оснащений системами електронного контролера, пожежної безпеки та діагностики розробленими НДІ «Квант–Радіоелектроніка» [8].

Система діагностики «Магістраль–ВЛ11» виконує наступні основні функції:

- а) Діагностика технічного стану електровоза ;
- б) Вивід на дисплей наступних параметрів:
  - струм акумуляторної батареї;
  - температура нагріву букс;
  - температура тягових електродвигунів на вході і виході;
  - температура блоків пуско-гальмівних резисторів;
  - струм якоря тягових електродвигунів;
  - струм збудження тягових електродвигунів;
  - контроль кіл дискретних сигналів, що надходять з різних систем електровоза – до 54 сигналів;
- в) Комутація низьковольтних кіл у разі перевищенні струмами критичних порогів (замість високовольтних реле);
- г) Реєстрація діагностичних параметрів;
- д) Передача діагностичних даних на зовнішній носій;
- е) Надання інформації про конструкцію, технічні характеристики і технічне обслуговування системи «Магістраль–ВЛ11» та інших систем електровоза;
- ж) Самотестування (контроль працездатності складових частин системи «Магістраль–ВЛ11»).

						Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система «Магістраль–ВЛ11» встановлюється в кожній секції електровоза і забезпечує можливість, як автономної роботи, так і спільної роботи з такою ж системою, встановленою в іншій секції. У разі спільної роботи кожна система забезпечує відображення даних по обох секціях електровоза.

Система пожежної безпеки «Нитка–ВЛ11» виконує наступні основні функції:

- виявлення ознак пожежі;
- реєстрація тривожних повідомлень і несправностей із зазначенням часу, дати і місця;
- передача діагностичних даних на зовнішній носій.

Система «Нитка–ВЛ11» повинна забезпечувати спільну роботу з системою «Магістраль–ВЛ11», в частині видачі інформації для відображення на екрані дисплея, синхронізації поточного часу і дати, видачі заархівованої інформації.

Системами електронного контролера «Контролер–ВЛ11» виконує наступні основні функції:

- формування сигналів з управління вузлами електровоза;
- видача інформації, яка відповідає позиції гальмування, в перетворювач електровоза по каналу CAN 2.0 (або RS-485);
- видача інформації в систему діагностики по каналу RS-485.

На електровозі ВЛ11М/6 застосовуються статичні перетворювачі другого покоління виробництва чеської фірми Di-Elcom [8]:

- а) DCB 1.1 – статичний перетворювач для живлення обмоток збудження тягових двигунів в режимі рекуперативного гальмування;

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

б) DCC 15 – статичний перетворювач для перетворення напруги контактної мережі 3000 В постійного струму в стабілізовану напругу 400 В постійного струму (для живлення статичного перетворювача DAC 15);

в) DAC 15 – статичний перетворювач для живлення споживачів:

- 220 В змінного струму (кондиціонер, калорифер, обігрівачі кабіни);

- 110 В постійного струму (обігрів підлоги кабіни, обігрівачі лобових бічних вікон);

- 68 В постійного струму (зарядка акумуляторної батареї);

- 50 В постійного струму (бортова мережа електровоза, кола управління);

- 24 В постійного струму (холодильник, освітлення пульта, поворот и обігрів дзеркал ) ;

Основні параметри і характеристики електровозів серії ВЛ11М/6 наведено в таблиці 2.1 [9].

Електротягові характеристики тягового електродвигуна ТЛ-2К1, тягові, струмові та гальмівні (в режимі рекуперативного гальмування) характеристики електровозів серії ВЛ11М/6 наведені відповідно на рисунках 2.3, 2.4, 2.5 та 2.6 .

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

Таблиця 2.1 – Основні параметри і характеристики електровозів серії ВЛ11М/6

Параметр	Значення
1	2
Номінальна напруга, В	3000
Осьова формула	2 (2 <sub>о</sub> –2 <sub>о</sub> )
Ширина колії, мм	1520
Потужність годинного режиму на валах тягових електродвигунів, кВт	5360
Потужність тривалого режиму на валах тягових електродвигунів, кВт	4600
Сила тяги годинного режиму, кН	387
Сила тяги тривалого режиму, кН	314
Сила тяги розрахункова, кН	452
Сила тяги під час рушання, кН	614
Швидкість годинного режиму, км/год	48,7
Швидкість тривалого режиму, км/год	51,2
Швидкість розрахункова, км/год	46,7
Швидкості переходу на позиції ослаблення збудження , км/год:	
– ПЗ–ОЗ1	48,5
– ОЗ1–ОЗ2	52
– ОЗ2–ОЗ3	56
– ОЗ3–ОЗ4	59,5
Конструкційна швидкість, км/год	100
Маса з 2/3 запасу піску, т	184
Висота осі автозчіпного пристрою від головки рейки при нових бандажах, мм	1040...1080
Діаметр колеса по колу кочення при нових бандажах, мм	1250
Висота від головки рейки до робочої поверхні полоза струмоприймача в опущеному положенні, мм	5120
Висота від головки рейки до робочої поверхні полоза струмоприймача в робочому положенні, мм	5500...7000
Довжина електровоза по осях автозчіпних пристроїв, мм	32880

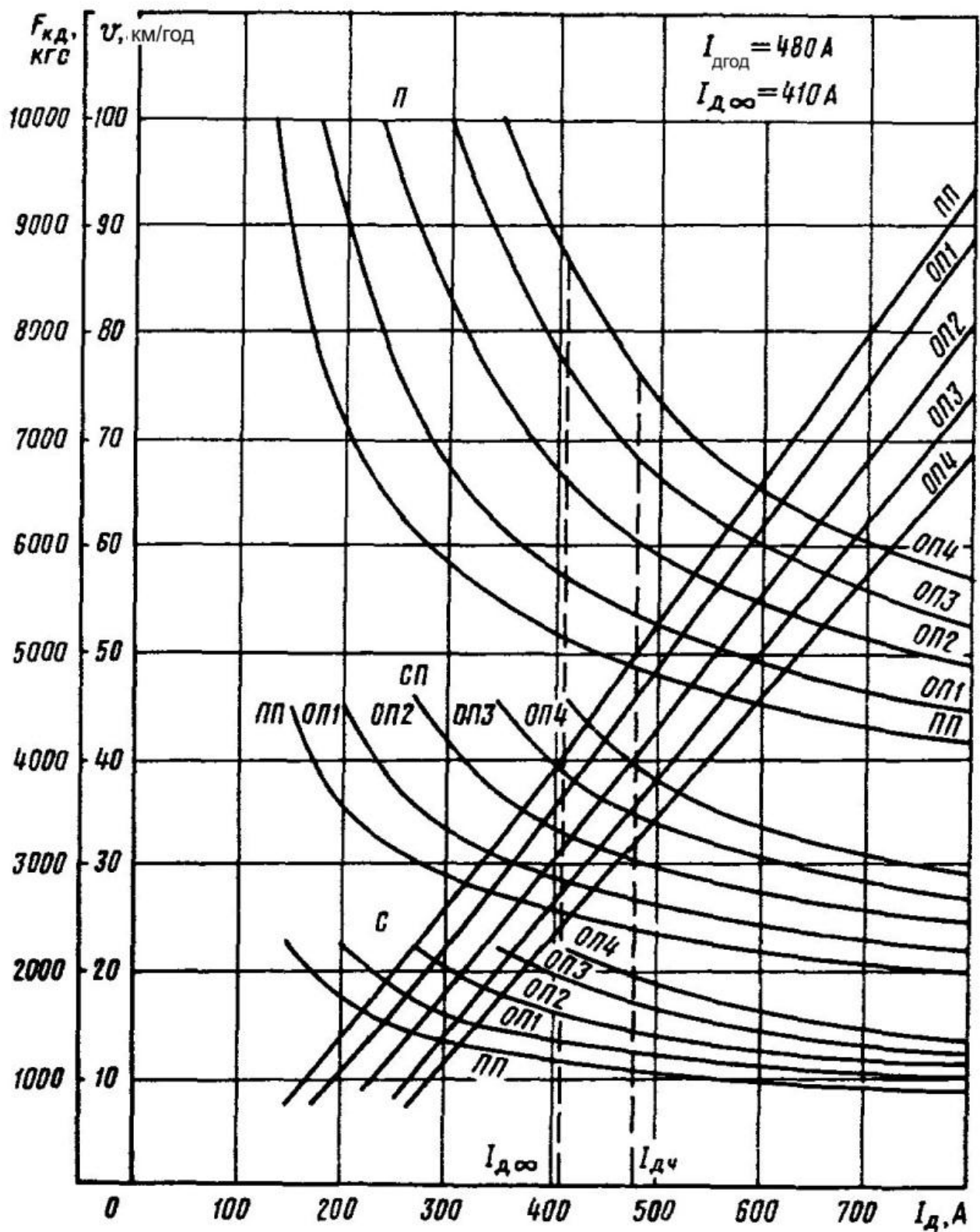


Рисунок 2.3 – Електротягові характеристики  
тягового електродвигуна ТЛ-2К1

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

22



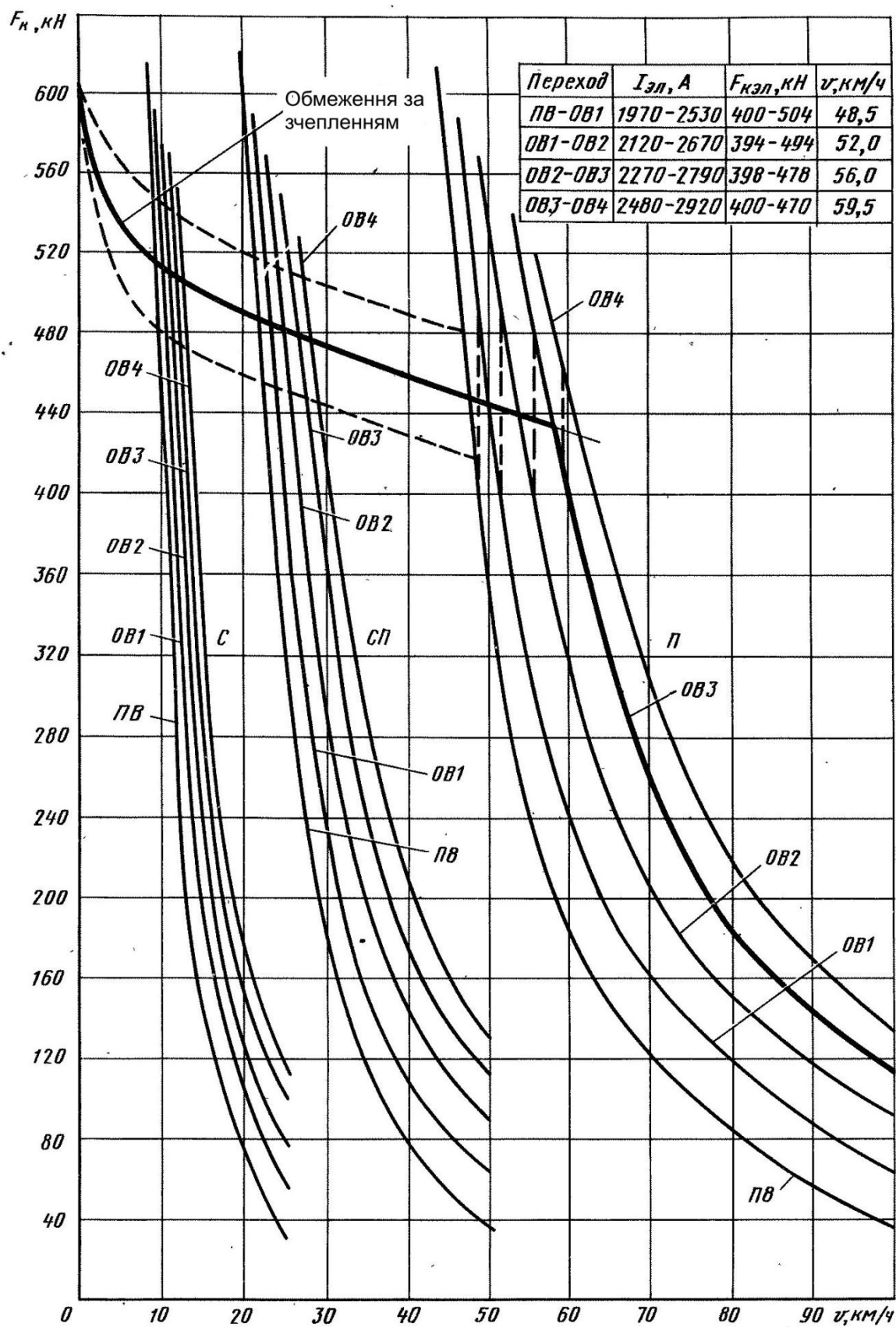


Рисунок 2.4 – Тягові характеристики електровоза ВЛ11М/6



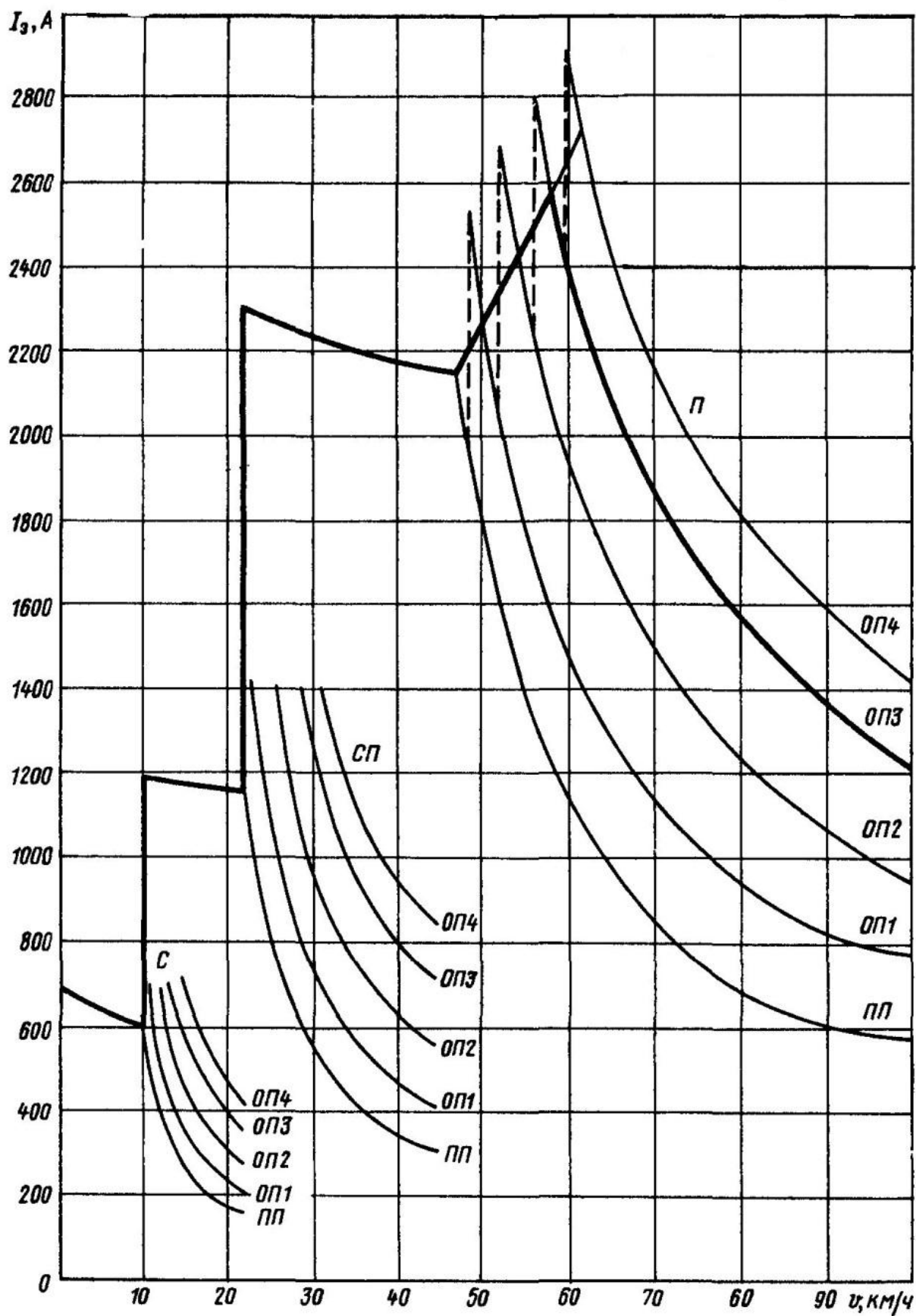


Рисунок 2.5 – Струмові характеристики електровоза ВЛ11М/6

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

24

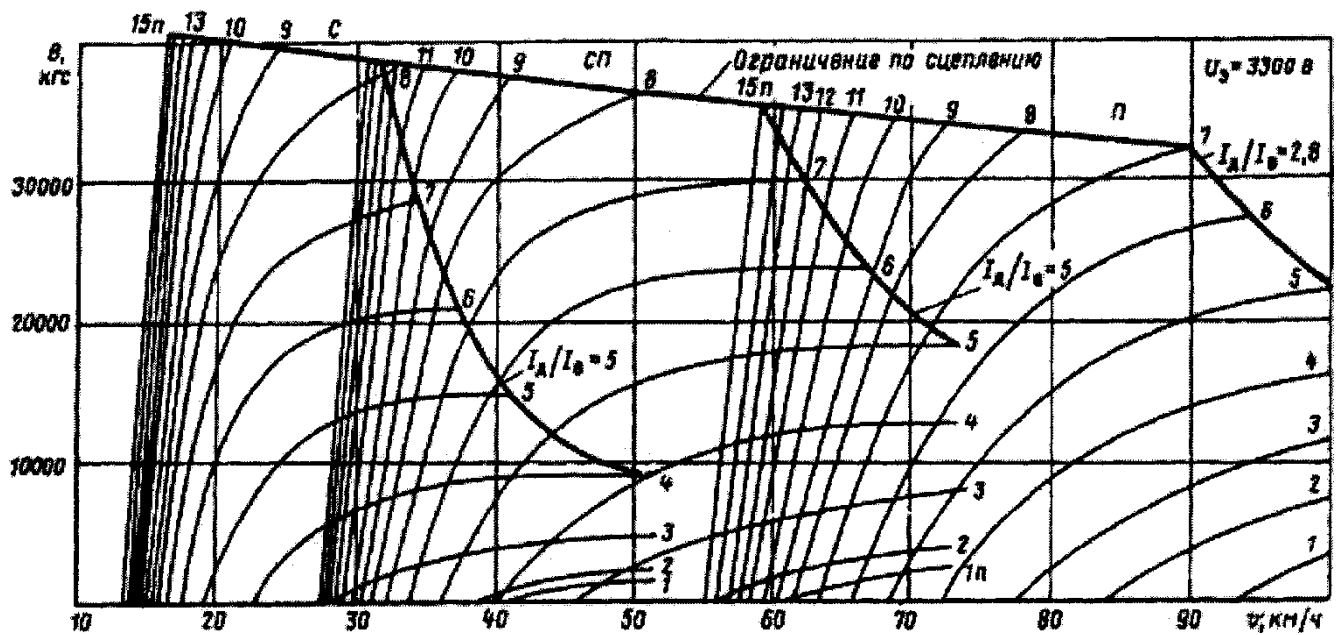


Рисунок 2.6 – Характеристики електровозів ВЛ11М/6 в режимі рекуперативного гальмування

## 2.2 Підготовка поздовжнього профілю колії

Трасою називається лінія, яка визначає положення осі залізничної колії в просторі. Проекція траси на горизонтальну площину називається планом колії, проекція розгорненої траси на вертикальну площину - подовжнім профілем залізничної колії. План і профіль визначають положення осі колії в просторі.

Залізнична колія у профілі складається з горизонтальних ділянок (площадок) і похилих ділянок (ухилів). Окремі ділянки подовжнього профілю з постійним ухилом називаються елементами профілю.

Крутизна елемента профілю визначається ухилом ( $i$ , ‰) і є відношенням різниці відміток по кінцях елемента (перевищення  $h$ , м) до горизонтальної проекції його довжини ( $L$ , км). Інакше, ухил елемента – це тангенс кута нахилу елемента профілю до горизонту.

Ухил елемента, по якому поїзд рухається на підйом, вважається додатним, на спуск – від'ємним. Елементи з ухилом, рівним нулю, називаються площадками.

У плані залізнична колія складається з трьох елементів: прямих ділянок, кругових кривих і перехідних кривих. Під час руху в кривих ділянках виникає додатковий опір руху поїзда, обернено пропорційний величині радіусу, і зменшується коефіцієнт зчеплення коліс з рейками, особливо в кривих малих радіусів.

Профіль колії за напрямком Нижньодніпровськ Вузол – П’ятихатки складається з 485 елементів і має загальну довжину 128,45 км. Значення ухилів коливаються в межах від  $-10\text{ ‰}$  до  $+11,9\text{ ‰}$ . Загальний вид профілю колії дільниці представлено на рисунку 2.7.

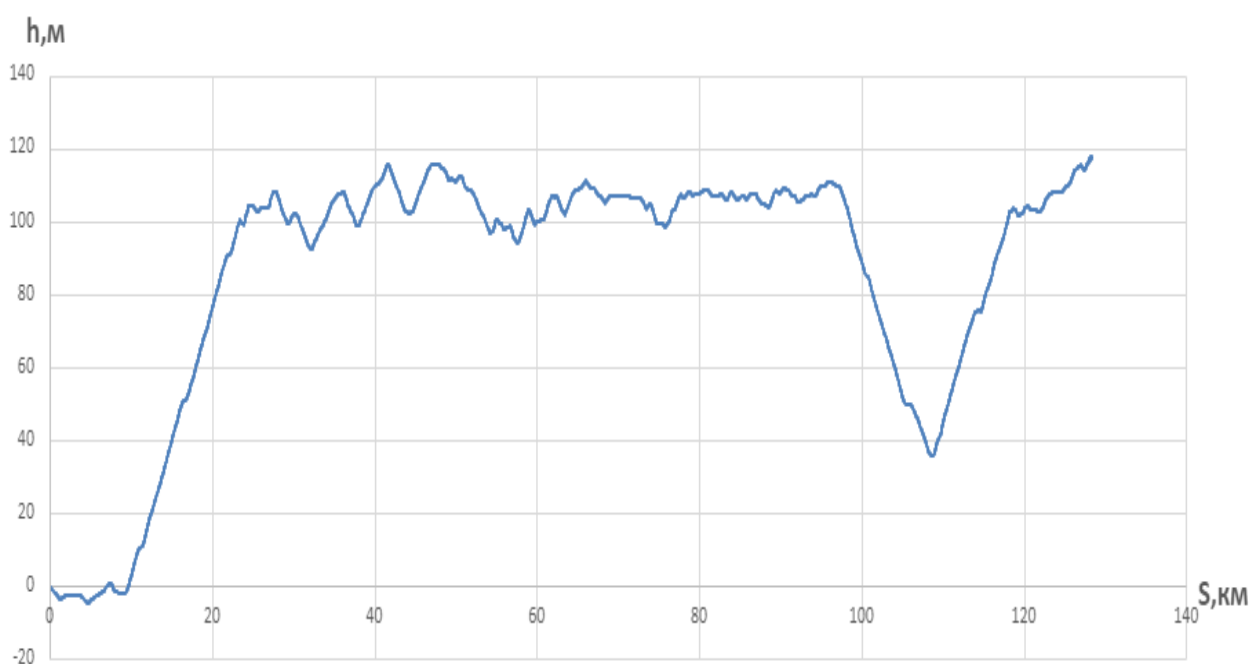


Рисунок 2.7 – Загальний вигляд профілю колії дільниці  
Нижньодніпровськ Вузол – П’ятихатки

Як видно з рисунку 2.7, профіль ділянки має два затяжні підйоми, на яких присутня значна зміна абсолютної висоти. Перша ділянка – затяжний підйом протяжністю 12 км між станціями Дніпро та Діївка зі зміною абсолютної висоти на 98 м. Друга ділянка розташована між станціями Вільногірськ та Залізнякове, де затяжний спуск протяжністю 11 км. Решта повздовжнього профілю колії

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

напрямку – це чергування коротких спусків та підйомів зі зміною абсолютної висоти до 30 м.

В таблиці 2.2 представлено розподіл ухилів за величиною на ділянці Нижньодніпровськ Вузол– П’ятихатки.

Таблиця 2.2 – Розподіл ухилів за величиною на ділянці

Величина ухилу, ‰	Довжина ухилів, м	Відносна довжина ухилів, %
1	2	3
-10...-8	3680	2,86
-8...-6,5	9485	7,38
-6,5...-5	6795	5,29
-5...-4	5335	4,15
-4...-3	10492	8,17
-3...0	27299	21,25
0...2	17160	13,36
2...4	12096	9,42
4...6	12335	9,60
6...8	13464	10,48
8...10	8702	6,77
>10	1610	1,25
Разом	128453	100

На рисунку 2.8 представлено відносний розподіл ухилів за величиною на ділянці.



Рисунок 2.8 – Відносний розподіл ухилів за величиною на дільниці

### 2.3 Розрахунок маси состава поїзда

Маса состава вантажного поїзда в залежності від характеру профілю колії залізничної лінії визначають за умов руху [11]:

- за розрахунковим підйомом зі сталою швидкістю;
- за найважчим підйомом з неусталеною швидкістю і використанням кінетичної енергії («живої сили») поїзда.

Який з підходів до розрахунку маси поїзда доцільно використовувати, визначають на підставі аналізу поздовжнього профілю ділянки. В даному випадку маса поїзда визначається першим способом.

Під час руху поїзда по розрахунковому підйому запас його кінетичної енергії вичерпується на початковій частині підйому і швидкість руху досягає сталого значення. При подальшому русі сили

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

опору руху поїзда долаються тільки за рахунок сили тяги електровоза. Таким чином, під розрахунковим підйомом треба розуміти найбільш важкий (крутий) в обраному напрямку руху підйом, довжина якого достатня для того, щоб швидкість поїзда досягла усталеного значення.

Найбільш крутий підйом приймається за розрахунковий, коли його довжина достатня для досягнення сталої швидкості. Якщо ж самий крутий підйом короткий і розташований після елементів колії з легким профілем, які дозволяють підійти до його початку з високою швидкістю, то цей підйом можна подолати за рахунок накопиченої кінетичної енергії поїзда і він не є розрахунковим. У цьому випадку за розрахунковий варто прийняти менш крутий підйом великої довжини [12].

Проаналізувавши повздовжній профіль колії дільниці Нижньодніпровськ Вузол – П’ятихатки (дивись табл. А1 додатку А), за розрахунковий підйом приймаємо підйом  $i_p = +8,6\%$  [13].

Маса состава, що відповідає реалізації на розрахунковому підйомі (або його частині) параметрів розрахункового режиму електровоза, визначається за формулою [10]

$$m_c = \frac{0,102 F_{кр} - m_{л}(w'_o + i_p)}{w''_o + i_p}, \quad (2.7)$$

де  $F_{кр}$  – розрахункова сила тяги, кН (див. рис. 2.4);

$m_{л}$  – маса електровоза, т (див. табл. 2.1);

$i_p$  – розрахунковий підйом, ‰;

$w'_o$  – питомий основний опір руху електровоза під струмом, Н/кН;

$w''_o$  – питомий основний опір руху состава, Н/кН.

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

Значення опору руху  $w'_0$  і  $w''_0$ , що входять до (2.7), визначаються при розрахунковій швидкості  $v_p = 46,7$  км/год (див. рис. 2.4).

Питомий опір руху електровоза ВЛ11М/6 під струмом [10], Н/кН визначається за формулою

$$w'_0 = 1,9 + 0,01v + 0,0003v^2 \quad (2.8)$$

$$w'_0 = 1,9 + 0,01 \cdot 46,7 + 0,0003 \cdot 46,7^2 = 3,02 \text{ Н/кН.}$$

Акціонерне товариство «Українська залізниця» (АТ «Укрзалізниця») експлуатує вантажні вагони різних типів, які також мають різну кількість осей. Оскільки найбільша доля припадає на чотиривісні вагони, для тягових розрахунків приймаємо, що состав вантажного поїзда складається з 100 % чотиривісних вагонів. Що у частках від одиниці можна виразити  $\alpha = 1,0$ .

Питомий основний опір руху состава [11], Н/кН

$$w''_0 = \alpha w''_{04}, \quad (2.9)$$

де  $w''_{04}$  – питомий основний опір руху чотирьох-вісних вагонів, Н/кН, який визначається за формулою [10]

$$w''_{04} = 0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025v^2}{m_{04}}, \quad (2.10)$$

де  $v$  – швидкість руху, км/год;

$m_{04}$  – маса, яка припадає на одну вісь чотирьох-вісного вагона, т;

Маса, яка припадає на одну вісь вагона приймемо 22,75 т.

Розрахуємо питомий основний опір руху для вагонів та состава для розрахункової швидкості.

						Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$w''_{04}=0,7+\frac{3+0,1\cdot46,7+0,0025\cdot46,7^2}{22,75}=1,05 \text{ Н/кН.}$$

Підставивши отримані дані в (2.9), отримаємо

$$w''_0=1,0\cdot1,05=1,05 \text{ Н/кН.}$$

Масу состава розрахуємо за формулою (2.7)

$$m_c=\frac{0,102\cdot452-184\cdot(3,02+8,6)}{1,05+8,6}=4557,25\text{т.}$$

Приймаємо масу состава 4550 т.

Перевірка маси поїзда на рушення з місця у пунктах зупинки здійснюється за формулою [10]

$$m_{\text{тр}}=\frac{0,102F_{\text{ктр}}}{w_{\text{тр}}-i_{\text{тр}}}-m_{\text{л}}, \quad (2.11)$$

де  $m_{\text{тр}}$  – маса составу, який може бути узятий з місця, т;

$F_{\text{ктр}}$  – сила тяги електровоза під час рушення, кН, яка визначається за обмеженням тягової характеристики електровоза за умови, що швидкість руху  $v=0$  км/год (див. рис. 2.4);

$i_{\text{тр}}$  – ухил елемента профілю, для якого виконується перевірка на зрушування, для зупинних пунктів  $i_{\text{тр}}=0$  ‰;

$w_{\text{тр}}$  – питомий опір руху поїзда при зрушуванні з місця, Н/кН.

Питомий опір руху поїзда при зрушуванні з місця визначається за формулою

$$w_{\text{тр}}=\alpha w_{\text{тр}04} \quad (2.12)$$

						Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



де  $w_{\text{тр}04}$  – питомий опір чотиривісних, вагонів обладнаних підшипниками кочення під час зрушування з місця, Н/кН, який визначається за формулою

$$w_{\text{тр}04} = \frac{28}{m_{04} + 7}. \quad (2.13)$$

Підставивши необхідні дані отримаємо

$$w_{\text{тр}04} = \frac{28}{22,75 + 7} = 0,94 \text{ Н/кН}.$$

Звідси, згідно (2.12)

$$w_{\text{тр}} = 1,0 \cdot 0,94 = 0,94 \text{ Н/кН}.$$

Розрахуємо масу поїзда на рушання з місця за (2.11)

$$m_{\text{тр}} = \frac{0,102 \cdot 614}{0,94 - 0,0} - 184 = 66358 \text{ т}.$$

Оскільки  $m_{\text{тр}} > m_{\text{с}}$  то слід вважати, що перевірку на зрушування з місця пройдено.

Перевірку маси состава по довжині приймально-відправних колій будемо проводити виходячи з того, що довжина поїзда  $l_{\text{п}}$  м, не повинна перевищувати корисної довжини приймально-відправних колій  $l_{\text{по}}$  м, (з врахуванням 10 м на установку поїзда). Довжину поїзда визначимо з виразу

$$l_{\text{п}} = l_{\text{с}} + m_{\text{л}} l_{\text{л}} + 10, \quad (2.14)$$

де  $l_{\text{л}}$  – довжина локомотива, м;

						Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$m_{\text{л}}$  – кількість локомотивів;

$l_{\text{с}} = \sum n_i l_i$  – довжина состава, м;

$l_i$  – довжина вагонів по осям авто зчіпки, м;

$n_i$  – кількість однотипних вагонів в сформованому составі, визначається за формулою

$$n_i = \frac{\alpha_i m_{\text{с}}}{m_{\text{в}i}}, \quad (2.15)$$

де  $\alpha_i$  – частка поїзда (за масою), що припадає на групи однотипних вагонів,

$m_{\text{в}i}$  – маса вагона  $i$ -го типу, т.

– кількість чотиривісних вагонів

$$n_4 = \frac{1,0 \cdot 4550}{22,75 \cdot 4} = 50, \text{ приймаємо } 50 \text{ вагонів.}$$

Довжина чотиривісних піввагонів  $l_4 = 14$  м. Довжина локомотива  $l_{\text{л}} = 32,9$  м, тоді довжина состава

$$l_{\text{с}} = 50 \cdot 14 = 700 \text{ м}$$

Довжина поїзда згідно (2.14)

$$l_{\text{п}} = 700 + 1 \cdot 32,9 + 10 = 743 \text{ м.}$$

Довжину приймально-відправних колій на станції приймаємо рівною 850 м, оскільки 743 м, отже умова виконується.

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

## 2.4 Розрахунок та побудова діаграм питомих рівнодіючих сил за умови руху поїзда на площадці

У процесі руху поїзда на нього діють різні внутрішні і зовнішні сили, які змінюються в часі. До них відносяться сили, що виникають при пружно-жорстких взаємодіях електровоза, вагонів та їх елементів, а також сили, що діють з боку рейкової колії та навколишнього повітряного середовища.

Ці змінні сили викликають не тільки основний, корисний рух поїзда по рейках, а й переміщення окремих його частин у поздовжньому, поперечному і вертикальному напрямках і повороти навколо горизонтальних і вертикальних осей.

У даній дипломній магістерській роботі поїзд розглядається як однорідне тіло – механічна система без урахування пружних зв'язків і коливань рухомого складу. Як відомо з механіки, внутрішні сили врівноважуються усередині системи і безпосередньо не впливають на її рух. На характер поступального руху всієї системи впливають тільки зовнішні сили або їх складові, спрямовані по ходу руху або в протилежний бік [11].

Такими зовнішніми силами, що діють на поїзд, є сила тяги  $F_k$ , що розвивається локомотивом; гальмівна сила  $B_r$ , що виникає у разі включення гальм; сили опору руху до яких відносять всі інші зовнішні сили, що впливають на рух поїзда.

Силу тяги і гальмівну силу називають керованими, так як їх може регулювати машиніст. На сили опору руху машиніст впливати не може, тому їх називають некерованими.

Сила тяги спрямована по напрямку руху поїзда, гальмівна сила діє в протилежному напрямку. Сили опору, як правило, також діють проти руху. Виняток становить випадок руху по спуску.

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

За законами механіки кілька сил, що діють на матеріальну точку або механічну систему, можна замінити однією рівнодіючою силою, яку в теорії тяги поїздів називають силою прискорення  $F_y$  [12]

$$F_y = F_k - W - B_r. \quad (2.16)$$

Одночасно три складові сили прискорення на поїзд не діють, оскільки, зазвичай, не має сенсу тягнути локомотивом загальмований поїзд. Залежно від того, які сили діють в даний момент на поїзд, розрізняють такі режими руху:

- режим тяги, коли діють сила тяги і сили опору руху;
- режим вибігу за відсутності сил тяги та гальмування, коли на поїзд діють тільки сили опору руху;
- режим гальмування, коли до сил опору руху додається гальмівна сила.

Для спрощення розрахунків зручніше використовувати питомі сили, рівні значенням сил в ньютонах, віднесених до ваги поїзда в кілоньютонах [13].

Діаграми питомих рівнодіючих сил  $f_d(v)$ , необхідні для побудови кривих руху, розраховують для трьох основних режимів ведення поїзда (тяги, вибіг, гальмування).

Розрахунок будемо проводити для швидкостей від нуля до конструкційної (100 км/год) з кроком 10 км/год в діапазоні швидкостей 0..46,7 км/год і 5 км/год в діапазоні швидкостей 46,7..100 км/год, враховуючи швидкості переходів на характеристики ослабленого поля на паралельному з'єднанні тягових електродвигунів.

У режимі вибігу на площадці ( $i=0\%$ ) на поїзд діє сила основного опору руху поїзда [10]

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

$$w_{0x} = \frac{m_{\text{л}} w_x + m_{\text{с}} w_0''}{m_{\text{л}} + m_{\text{с}}}, \quad (2.17)$$

де  $w_x$  – основний питомий опір руху електровоза в режимі вибігу, Н/кН, який визначається за емпіричною формулою

$$w_x = 2,4 + 0,011v + 0,00035v^2, \quad (2.18)$$

а питомий опір руху состава  $w_0''$  визначаємо за формулою (2.9).

Розрахуємо питомий опір руху електровоза та состава для швидкості  $v=10$  км/год:

$$w_x = 2,4 + 0,011 \cdot 10 + 0,00035 \cdot 10^2 = 2,55 \text{ Н/кН}$$

$$w_{04}'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot 10 + 0,0025 \cdot 10^2}{22,75} = 0,89 \text{ Н/кН};$$

$$w_0'' = 1,0 \cdot 0,89 = 0,89 \text{ Н/кН}.$$

Тоді питома сила основного опору руху поїзда у режимі вибігу на площадці буде рівна

$$w_{0x} = \frac{184 \cdot 2,55 + 4550 \cdot 0,89}{184 + 4550} = 0,95 \text{ Н/кН}.$$

Аналогічні розрахунки виконаємо для діапазону швидкостей від 0 до 100 км/год та зведемо результати у таблицю 2.3

Порядок розрахунку питомих рівнодіючих сил для режиму тяги наступний. Задаємося швидкостями  $v$  в інтервалі  $[0; 100 \text{ км/год}]$ . Питома рівнодіюча сила в режимі тяги [10]

$$f_y = f_k - w_0, \quad (2.19)$$

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

де  $f_k$  – питома сила тяги Н/кН;

$w_o$  – основний питомий опір руху, Н/кН.

Питому сили тяги розрахуємо за формулою

$$f_k = \frac{102F_k}{m_{\text{л}} + m_{\text{с}}}, \quad (2.20)$$

де  $F_k$  – сила тяги електровоза, кН.

Таблиця 2.3 – Питомий основний опір руху поїзда в режимі вибігу

$v$ , км/год	$w''_{04}$ , Н/кН	$w''_o$ , Н/кН	$w_x$ , Н/кН	$w_{ox}$ , Н/кН
1	2	3	4	5
0	0,83	0,83	2,4	0,89
10	0,89	0,89	2,55	0,95
20	0,96	0,96	2,76	1,03
30	1,06	1,06	3,05	1,14
40	1,18	1,18	3,4	1,27
50	1,33	1,33	3,83	1,42
60	1,49	1,49	4,32	1,60
70	1,68	1,68	4,89	1,80
80	1,89	1,89	5,52	2,03

Основний питомий опір руху розрахуємо за формулою

$$w_o = \frac{m_{\text{л}}w'_o + m_{\text{с}}w''_o}{m_{\text{л}} + m_{\text{с}}}, \quad (2.21)$$

де  $w'_o$  і  $w''_o$  визначаються за формулами (2.8) і (2.9).

Наведемо приклад розрахунку для швидкості руху  $v=10$  км/год. Розрахуємо питому силу тяги. Оскільки для заданої швидкості згідно рисунку 2.4  $F_k = 514,0$  кН, то

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

$$f_k = \frac{102 \cdot 514,0}{184 + 4550} = 10,87 \text{ Н/кН.}$$

Розрахуємо питомий опір руху електровоза під струмом

$$w'_0 = 1,9 + 0,01 \cdot 10 + 0,0003 \cdot 10^2 = 2,03 \text{ Н/кН.}$$

Питомий опір руху состава для вказаної швидкості було розраховано вище  $w''_0 = 0,89 \text{ Н/кН}$ . Таким чином, основний питомий опір руху буде рівний

$$w_0 = \frac{184 \cdot 2,03 + 4550 \cdot 0,89}{184 + 4550} = 0,93 \text{ Н/кН.}$$

Тоді

$$f_y = 10,87 - 0,93 = 9,94 \text{ Н/кН.}$$

Решту результатів заносимо в таблицю 2.4.

Для гальмування використовується пневматичне гальмівне колодкове обладнання локомотива і вагонів. Крім того використовується електричне рекуперативне гальмування. У разі застосування колодкового гальмування – гальмівна сила утворюється завдяки тертю між гальмівними колодками і колесами. Електричне рекуперативне гальмування використовується як додаткове на довгих спусках і у тягових розрахунках не враховується [10].

Розрахунок питомої рівнодіючої сили при механічному гальмуванні здійснюється за формулою

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

Таблиця 2.4 – Питомі рівнодіючі сили в режимі тяги

$v$ , км/Г од	$w'_o$ , Н/кН	$w''_o$ , Н/кН	$w_o$ , Н/кН	НЗ			ОЗ1			ОЗ2			ОЗ3			ОЗ4		
				Fk, кН	$f_k$ , Н/к Н	$f_k - w_o$ , Н/кН	Fk, кН	$f_k$ , Н/к Н	$f_k - w_o$ , Н/кН	Fk, кН	$f_k$ , Н/к Н	$f_k - w_o$ , Н/кН	Fk, кН	$f_k$ , Н/к Н	$f_k - w_o$ , Н/кН	Fk, кН	$f_k$ , Н/к Н	$f_k - w_o$ , Н/кН
0	1,9	0,83	0,87	614	12,96	12,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	2,03	0,89	0,93	514	10,87	9,94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	2,2	0,96	1,01	492	10,40	9,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	2,5	1,06	1,12	476	10,05	8,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	2,8	1,18	1,25	461	9,74	8,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46,7	3,0	1,28	1,34	452	9,55	8,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48,5	3,1	1,30	1,37	449	9,49	8,12	490	10,35	8,98	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	3,2	1,33	1,40	447	9,45	8,05	448	9,46	8,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51,2	3,2	1,34	1,42	446	9,42	8,00	390	8,24	6,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-
52	3,2	1,36	1,43	445	9,39	7,96	378	7,98	6,55	450	9,51	8,08	-	-	-	-	-	-
55	3,4	1,41	1,48	441	9,31	7,83	306	6,46	4,98	425	8,98	7,50	-	-	-	-	-	-
56	3,4	1,42	1,50	439	9,28	7,78	297	6,27	4,77	372	7,86	6,36	470	9,93	8,43	-	-	-
59,5	3,6	1,48	1,56	435	9,18	7,62	297	6,27	4,71	372	7,86	6,29	470	9,93	8,37	470	9,93	2,31
60	3,6	1,49	1,57	434	9,17	7,59	240	5,07	3,50	320	6,76	5,19	398	8,41	6,83	465	9,82	2,23
65	3,8	1,58	1,67	427	9,03	7,36	182	3,84	2,18	248	5,24	3,57	320	6,76	5,09	380	8,03	0,67
70	4,1	1,68	1,77	421	8,89	7,12	163	3,44	1,67	209	4,41	2,64	260	5,49	3,72	310	6,55	-0,57
75	4,3	1,78	1,88	414	8,75	6,87	145	3,06	1,18	173	3,65	1,78	221	4,67	2,79	260	5,49	-1,38
80	4,6	1,89	1,99	408	8,61	6,62	120	2,53	0,54	150	3,17	1,18	190	4,01	2,02	218	4,60	-2,01



$$-f_y = mb_k + w_{ox}, \quad (2.22)$$

де  $m$  – коефіцієнт, який враховує режим гальмування; для вантажних поїздів при зупинках на станціях  $m=0,5$ ; в режимі екстреного гальмування  $m=1$ ;

$b_k$  – питома гальмова сила, яку визначаємо за формулою

$$b_k = 1000 \nu_p \varphi_{кр}, \quad (2.23)$$

де  $\nu_p$  – розрахунковий гальмовий коефіцієнт поїзда;

$$\nu_p = 0,102 \cdot \frac{50 \cdot 4 \cdot 70}{4550} = 0,314$$

Екстрене гальмування застосовується тільки в випадках, коли виникає загроза безпеці руху поїзда.

Для передбачених розкладом руху зупинок на станціях або роздільних пунктах застосовується зупиночне гальмування, якому відповідає гальмівна сила  $0,5b_k$  [10].

Розрахунковий коефіцієнт тертя колодки об бандаж визначимо при швидкості руху  $v=10$  км/год за (2.24)

$$\varphi_{кр} = 0,27 \frac{10+100}{5 \cdot 10+100} = 0,20.$$

Тоді згідно з (2.23)

$$b_k = 1000 \cdot 0,314 \cdot 0,198 = 62,17 \text{ Н/кН}.$$

Розрахуємо питомі рівнодіючі сили за формулою (2.22) відповідно при екстреному та штатному гальмуванні

						Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$-f_y = 1 \cdot 62,17 + 0,95 = 63,12 \text{ Н/кН},$$

$$-f_y = 0,5 \cdot 62,17 + 0,95 = 32,04 \text{ Н/кН}.$$

Результати розрахунку питомих рівнодіючих сил в режимі гальмування для кожного інтервалу швидкості зводимо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Питомі рівнодіючі сили в режимі гальмування

$v$ , км/год	$w_{\text{ох}}$ , Н/кН	$\varphi_{\text{кр}}$	$b_{\text{к}}$ , Н/кН	$0,5b_{\text{к}}$ , Н/кН	$b_{\text{к}} + w_{\text{ох}}$ , Н/кН	$0,5b_{\text{к}} + w_{\text{ох}}$ , Н/кН
0	0,89	0,27	84,78	42,39	85,67	43,28
5	0,92	0,23	71,22	35,61	72,13	36,53
10	0,95	0,20	62,17	31,09	63,12	32,04
15	0,99	0,18	55,71	27,86	56,70	28,85
20	1,03	0,16	50,87	25,43	51,90	26,47
25	1,08	0,15	47,10	23,55	48,18	24,63
30	1,14	0,14	44,09	22,04	45,23	23,18
35	1,20	0,13	41,62	20,81	42,82	22,01
40	1,27	0,13	39,56	19,78	40,83	21,05
45	1,34	0,12	37,82	18,91	39,17	20,26
50	1,42	0,12	36,33	18,17	37,76	19,59
60	1,60	0,11	33,91	16,96	35,51	18,56
70	1,80	0,10	32,03	16,01	33,83	17,82
80	2,03	0,10	30,52	15,26	32,55	17,29
90	2,28	0,09	29,29	14,64	31,56	16,92
100	2,55	0,09	28,26	14,13	30,81	16,68

За даними таблиць 2.3, 2.4 та 2.5 необхідно побудувати діаграму питомих рівнодіючих сил, що діють на поїзд під час руху по горизонтальній ділянці колії для вибігу, тяги та зупиночного гальмування у масштабі, який визначимо у наступному пункті даного розділу.

Графіки залежності питомих рівнодіючих сил від швидкості представлені на рисунку 2.9.

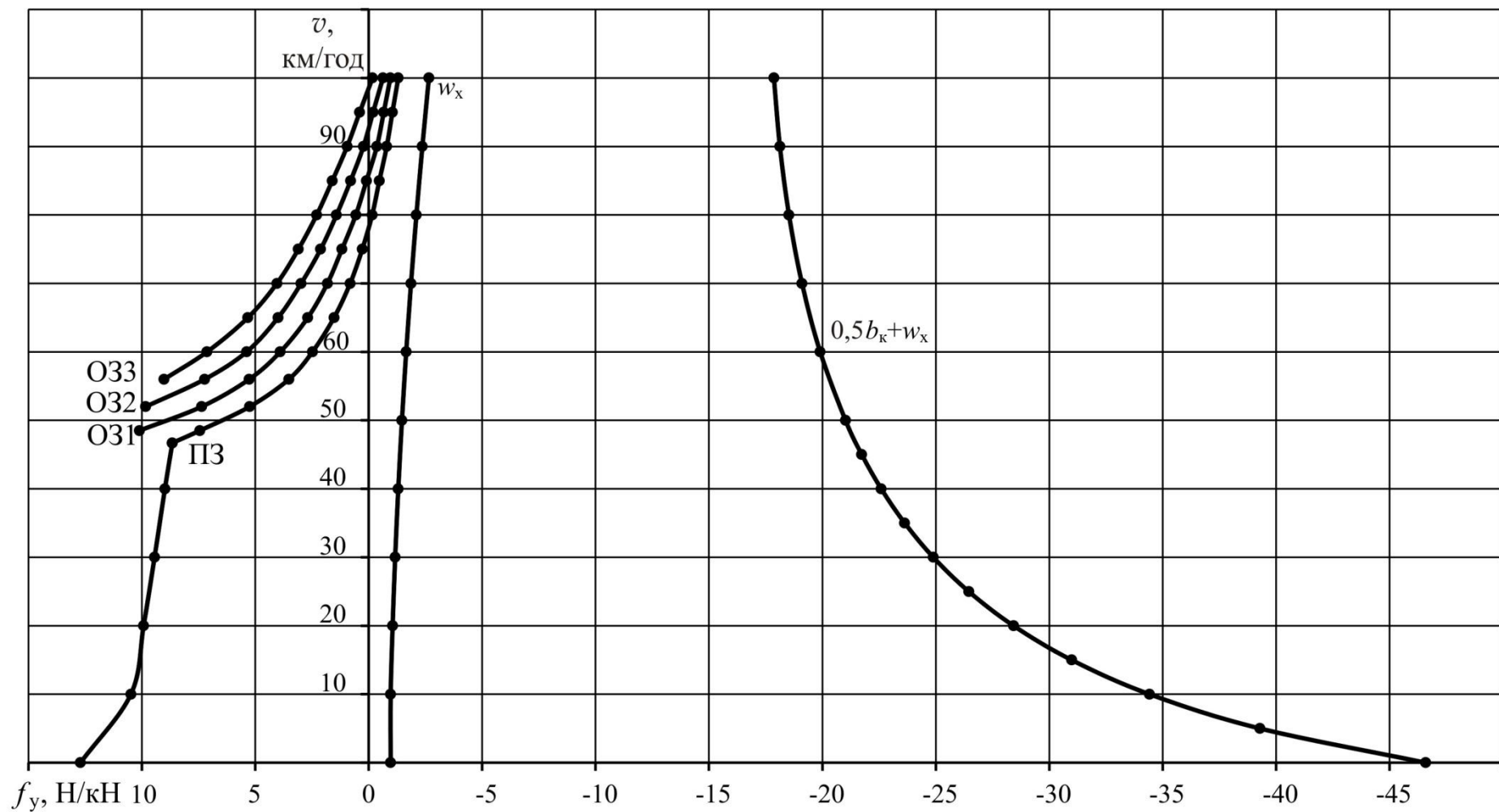


Рисунок 2.9 – Діаграма питомих рівнодіючих сил, що діють на поїзд під час руху по горизонтальній ділянці колії

## 2.5 Побудова кривих руху поїзда

Процес руху поїзда характеризується швидкістю в будь-якій точці траєкторії руху, тривалістю ходу і пройденою відстанню. Ці параметри визначають організацію руху поїздів. Щоб їх визначити, необхідно розв'язати рівняння руху поїзда.

Графічний метод розв'язку рівняння руху поїзда заснований на геометричному зв'язку між питомими силами прискорення або сповільнення в кожному інтервалі швидкості, часом ходу і пройденою відстанню.

Найбільш наочно характер руху поїзда визначає крива залежності швидкості від шляху. Розглянемо умови побудови такої залежності з використанням лінійки і кутника. Цей спосіб був розроблений А. І. Ліпцем (побудова лінії  $v(s)$ ) і Лебедевим Г. В. (побудова лінії  $t(s)$ ), потім удосконалювався і був рекомендований Міністерством шляхів сполучення СРСР для практичного використання і отримав назву «метод МПС» [11].

На рисунку 2.10 в лівій частині показана діаграма питомих сил прискорення, які побудовані в певних масштабах. Швидкість відкладена в масштабі  $m$  (мм/(км/год)) (1 км/год відповідає  $m$ , мм, на графіку), питомі сили прискорення – в масштабі  $k$  (мм/(Н/кН)). Взятий довільно інтервал швидкості  $\Delta v$  на діаграмі питомих сил прискорення буде дорівнює відрізку  $\Delta v m$ . У цьому інтервалі діє середня сила прискорення  $f_{\text{уср}}$ , яка рівна на графіку відрізку  $f_{\text{уср}} \cdot k$ .

Щоб побудувати графік зміни швидкості у функції шляху, в правій частині рисунку 2.10 потрібно підготувати осі координат. Шлях  $\Delta s$ , км, який проходить поїзд при зміні швидкості в

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

інтервалі  $\Delta v$ , поки можна визначити аналітичним методом за формулою [11]

$$\Delta s = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2\zeta \cdot f_{\text{уср}}}, \quad (2.26)$$

де  $\zeta$  – прискорення.

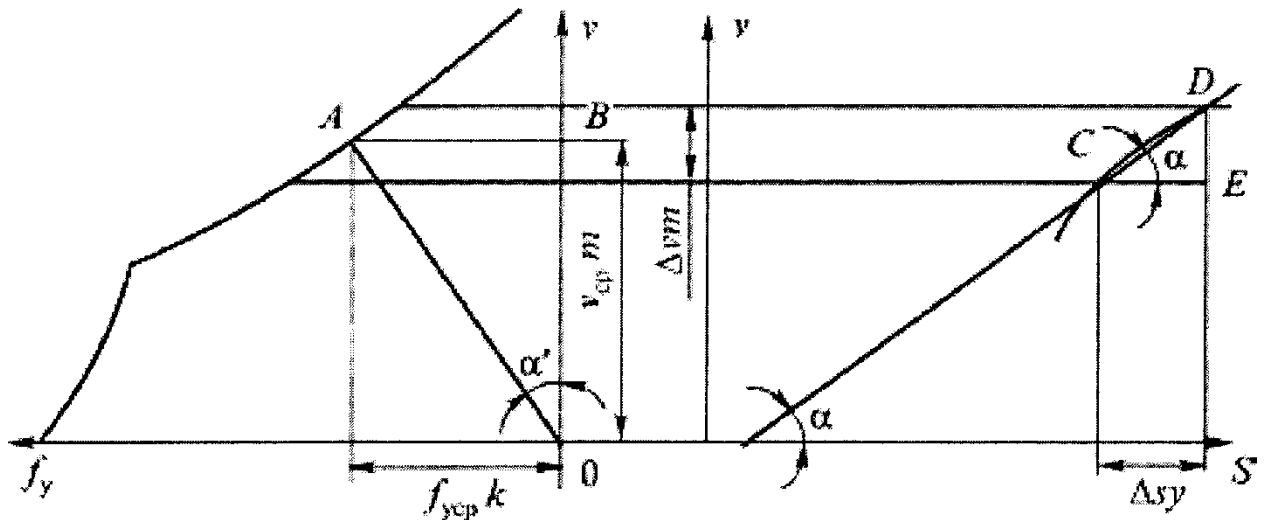


Рисунок 2.10 – Принцип побудови кривої швидкості

Відкласти визначений шлях на графіку в масштабі шляху  $u$  (мм/км) у вигляді відрізка  $CE$  ( $\Delta s_u$ ). Отже, поїзд з точки  $C$  на графіку потрапляє в точку  $D$ , яка відповідає верхньому значенню швидкості в інтервалі  $\Delta v$  і колії в межах  $\Delta s$ . Із формули (2.26) видно, що залежність швидкості  $v$  від шляху  $s$  при постійному значенні  $f_{\text{уср}}$  перебуває в квадратичній залежності, крива  $v(s)$  являє собою параболу (дуга  $CD$  на рис. 2.10). Якщо замінити її прямою  $CD$ , то вона буде нахилена до осі абсцис під кутом  $\alpha$ . Цей кут і визначає ступінь зміни швидкості у функції шляху.

Розглянемо умови, за яких пряма  $CD$  виявиться перпендикулярною до лінії  $OA$ , що з'єднує на графіку точку  $A$  за

середньої швидкості і середній питомій силі прискорення з початком координат. Для цього необхідно, щоб кут  $\alpha$  був рівний куту  $\alpha'$ , а отже, були рівні тангенси цих кутів  $\operatorname{tg}\alpha=\operatorname{tg}\alpha'$ . З прямокутного трикутника  $OBA$  слідує:  $\operatorname{tg}\alpha'=AB/OB$ , а з прямокутного трикутника  $CED$ :  $\operatorname{tg}\alpha'=DE/CE$ . Якщо сторони трикутників замінити фізичними величинами  $AB=f_{\text{уср}} \cdot k$ ;  $OB=v_{\text{ср}} \cdot m$ ;  $DE=\Delta v \cdot m$ ,  $CE=\Delta s \cdot y$  і прирівняти  $\operatorname{tg}\alpha=\operatorname{tg}\alpha'$ , отримаємо [10]

$$\frac{f_{\text{уср}} \cdot k}{v_{\text{ср}} \cdot m} = \frac{\Delta v \cdot m}{\Delta s \cdot y}. \quad (2.27)$$

Тільки у разі дотримання цієї рівності шуканий відрізок прямої  $CD$  буде перпендикулярний до лінії  $OA$ . Замінивши  $v_{\text{ср}}$  через  $\Delta s/\Delta t$  підставивши

$$f_{\text{уср}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \cdot \frac{1}{\zeta}. \quad (2.28)$$

Отримаємо вираз (2.27) у вигляді [11]

$$\frac{\frac{\Delta v}{\Delta t} \cdot \frac{1}{\zeta} \cdot k}{\frac{\Delta s}{\Delta t} \cdot m} = \frac{\Delta v \cdot m}{\Delta s \cdot y}. \quad (2.29)$$

Після скорочення  $\Delta v$ ,  $\Delta t$  та  $\Delta s$  отримаємо [11]

$$\frac{k}{\zeta \cdot m} = \frac{m}{y}. \quad (2.30)$$

						Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У вираз (2.30) входять масштаби побудов і відомий коефіцієнт  $\zeta$ . Отже, перпендикулярність ліній  $CD$  і  $OA$  можна отримати, задавшись масштабами побудов, що задовольняють рівності (2.30).

Найбільш зручні для побудов варіанти масштабів вказані в [10]. У разі відхилення хоча б одного масштабу від зазначених, побудова не матиме ніякого фізичного сенсу і отримані графіки  $v(s)$  не будуть відповідати дійсності.

Практично побудова ведуть так: до точок  $A$  і  $O$  прикладають лінійку, до якої приставляють однією стороною прямого кута трикутник, друга його сторона підводиться до точки  $C$ , і проводять перпендикулярний відрізок  $CD$  в межах швидкостей  $\Delta v$ .

Час, необхідний для руху поїзда, визначають в кожному інтервалі по середній швидкості руху і пройденому шляху. Під час графічної побудови кривої часу у функції шляху, використовують лінію  $v(s)$ . На рисунку 2.11 наведені відрізки цієї лінії  $0BCD$ . У разі зміни швидкості в межах  $\Delta v$  поїзд проходить відстань  $\Delta s$  (лінія  $CD$ ).

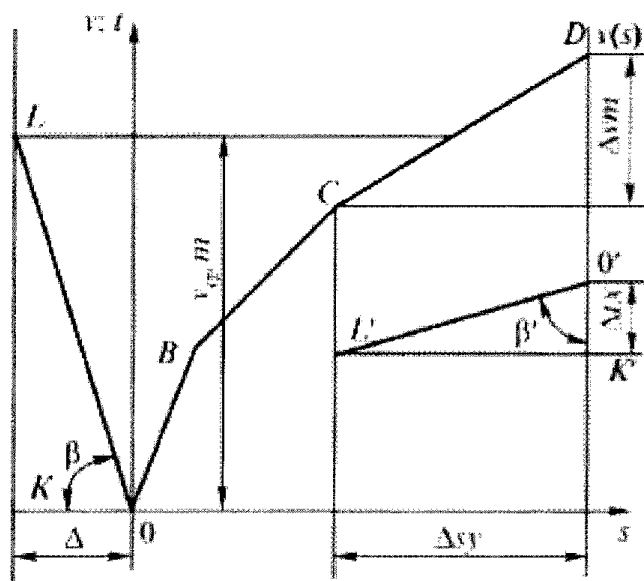


Рисунок 2.11 – Принцип побудови кривої часу

Швидкість і шлях відкладені в масштабах  $m$  і  $y$ . Щоб визначити час  $\Delta t$ , який необхідний для проходження поїздом відрізка шляху  $\Delta s$  у разі зміни швидкості в межах  $\Delta v$ , можна скористатися рівнянням [11]

$$\Delta t = \frac{\Delta v}{\zeta \cdot f_{\text{уср}}} \quad (2.31)$$

Значення  $f_{\text{уср}}$  беруть з діаграми питомих сил прискорення або сповільнення. Отриманий час  $\Delta t$  відкладають на графіку  $t(s)$  в поки довільному масштабі  $x$  (відрізок  $K'O'$ ).

Зміна часу у функції шляху на відрізку  $\Delta s$  показує відрізок прямої  $L'O'$ . Цей відрізок отриманий поки з використанням аналітичного методу розв'язання рівняння руху поїзда. Напрямок шуканої лінії  $L'O'$ , можна отримати, користуючись лінійкою і кутником. Відкладаючи від початку координат вліво поки довільний відрізок  $\Delta$ , через отриману точку  $K$  проводять вертикальну лінію, на яку потрібно переносити середні швидкості руху  $v_{\text{ср}}$ . У вибраному інтервалі  $\Delta v$  середня швидкість  $v_{\text{ср}}$ , відкладена в масштабі  $m$ , перенесена вліво до побудованої вертикальної лінії, і отримана точка  $L$ . Умова, за якої шуканий відрізок лінії зміни часу у функції шляху  $L'O'$  буде перпендикулярний лінії  $OL$ , що з'єднує точку  $L$  з початком координат, виконується за рівності кутів  $\beta$  і  $\beta'$ , а значить, і їх тангенсів. З прямокутних трикутників  $OKL$  і  $O'K'L'$

$$\text{tg}\beta = \frac{KL}{OK}; \text{tg}\beta' = \frac{K'L''}{O'K'} \quad (2.32)$$

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



Замінивши сторони трикутників їх фізичними значеннями і прирівнявши, отримаємо

$$\frac{m}{\Delta} = \frac{y}{x}. \quad (2.33)$$

Оскільки  $\Delta s / \Delta t = v_{\text{ср}}$ , отримаємо умову перпендикулярності шуканої лінії  $L'O'$  до лінії  $OL$

$$\frac{v_{\text{ср}}}{\Delta} = \frac{\Delta s \cdot y}{\Delta t \cdot x}. \quad (2.34)$$

У цю рівність входять масштаби побудов і відрізок  $\Delta$ . Оскільки масштаби  $m$  і  $y$  вже обрано під час побудови кривої швидкості у функції шляху, тут потрібно задатися, наприклад, масштабом  $x$  і з рівності (2.34) визначити відрізок  $\Delta$ .

У разі дотримання рівності (2.34) на кожному відрізку шляху потрібно взяти середню швидкість руху, знести її на вертикальну лінію, проведену на відстані  $\Delta$  вліво від початку координат, і до отриманої точки  $L$  і початку координат  $O$  прикласти лінійку. До лінійки прикладають одну сторону прямого кута кутника. Другу сторону підводять до точки  $L'$  і проводять лінію  $L'O'$ , що показує зміну часу у функції шляху на відрізку  $\Delta s$ .

У цю рівність входять масштаби побудов і відрізок  $\Delta$ . Оскільки масштаби  $m$  і  $y$  вже обрано під час побудови кривої швидкості у функції шляху, тут потрібно задатися, наприклад, масштабом  $x$  і з рівності (2.34) визначити відрізок  $\Delta$ .

У разі дотримання рівності (2.34) на кожному відрізку шляху потрібно взяти середню швидкість руху, знести її на вертикальну лінію, проведену на відстані  $\Delta$  вліво від початку координат, і до отриманої точки  $L$  і початку координат  $O$

						Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прикласти лінійку. До лінійки прикладають одну сторону прямого кута кутника. Другу сторону підводять до точки  $L'$  і проводять лінію  $L'O'$ , що показує зміну часу у функції шляху на відрізку  $\Delta s$ .

Для прийнятих масштабів швидкості  $m=1$  мм/(км/год), шляху  $y=20$  мм/км, часу  $x=600$  мм/год та  $\xi=120$  км/год<sup>2</sup>/(Н/кН) за формулами (2.30) та (2.33) масштаби питомих сил та постійної часу матимуть відповідно значення:

$$k = \frac{120 \cdot 1^2}{20} = 6 \text{ мм/( Н/кН)};$$

$$\Delta = \frac{1 \cdot 600}{20} = 30 \text{ мм.}$$

Порядок побудови кривих швидкості  $v(s)$  і часу  $t(s)$  викладений в [13].

Під час побудови кривої швидкості необхідно врахувати максимально допустимі швидкості руху на ділянці. На напрямку Нижньодніпровськ Вузол – П'ятихатки максимальна швидкість руху вантажних поїздів становить 80 км/год. Однак на ділянці присутній ряд обмежень швидкості. Основні обмеження швидкості руху на залізниці диктуються властивостями її полотна, верхньої будови колії і особливостями конструкції залізничного колеса. Обмежує швидкість руху і багато інших причин – умови руху мостами і в тунелях, на перетинах колій, на стрілках, на спусках (де особливо важливо контролювати швидкість, враховуючи можливості гальмівної системи).

## 2.6 Побудова кривих струму

Для визначення витрат електроенергії електровоза на планшеті (дивись додаток Б) з кривими  $v(s)$  та  $t(s)$  необхідно

						Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

побудувати залежність струму, що споживається від контактної мережі  $I_E(s)$ .

Вихідними даними для побудови такої характеристики буде струмова характеристика електровоза. Цю характеристику можна отримати шляхом перебудови його швидкісних характеристик  $v(I_d)$ , враховуючи при цьому, що струм електровоза дорівнює [11]

$$I_E = m \cdot I_d, \quad (2.35)$$

де  $m$  – кількість паралельних кіл тягових двигунів;

$I_d$  – струм в колі одного тягового двигуна, А.

Значення  $m$  визначається схемою електровоза. Для ВЛ11М/6 воно становить:

- послідовне (С) з'єднання тягових електродвигунів  $m=1$ ;
- послідовно-паралельне (СП) з'єднання тягових електродвигунів  $m=2$ ;
- паралельне (П) з'єднання тягових електродвигунів  $m=4$ .

Струмову характеристику електровоза ВЛ11М/6 приведено на рисунку 2.5 [10].

За графіком струмової характеристики будуюмо на планшеті (дивись додаток Б) залежність  $I_E(s)$ . При цьому кожному значенню швидкості на кривій швидкості в режимі тяги визначаємо за струмовою характеристикою – струм електровоза.

## 2.7 Розрахунок витрати електроенергії на тягу поїзда

Витрати електроенергії на тягу поїзда можна визначити за формулою [13]

						Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A_T = \frac{U_M \sum_{i=1}^n I_{ci} \Delta t_i}{60000}, \quad (2.36)$$

де  $U_M$  – напруга в контактній мережі, В;

$I_{ci}$  – середнє значення струму електровоза для  $i$ -ї ділянки кривої  $I_E(s)$ ;

$\Delta t_i$  – час роботи при споживанні середнього струму  $I_{ci}$ ;

$n$  – кількість прямолінійних ділянок кривої струму.

Визначимо витрати електроенергії на тягу поїзда масою 4550 т електровозом ВЛ11М/6 на напрямку Нижньодніпровськ Вузол – П'ятихатки. Враховуючи великий об'єм розрахунків, у роботі приведемо лише їх результати.

Наприклад для ділянки 1-2 кривої струму за формулою (2.36) отримаємо:

$$I_{c1-2} = \frac{595 + 595}{2} = 595 \text{ А};$$

$$A_{T1-2} = \frac{3000 \cdot 595 \cdot 0,3}{60000} = 8,925 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Після розрахунку витрат енергії на тягу  $A_T$  визначимо втрати енергії в колах власних потреб. Енергію, що втрачається на власні потреби визначимо за формулою [13]

$$A_{ВП} = P_{ВП} t, \quad (2.37)$$

де  $P_{ВП}$  – середнє значення потужності допоміжних машин, кВт·год/хв;

$t$  – час роботи електровоза на даному перегоні або ділянці, хв.

						Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно з [9] середнє значення потужності допоміжних машин для електровоза ВЛ11М/6  $P_{\text{вп}}=2,08$  кВт·год/хв.

Повна витрата електричної енергії визначається за формулою [13]

$$A = A_{\text{т}} + A_{\text{вп}}. \quad (2.38)$$

Питомі витрати електричної енергії будемо визначати за формулою [13]

$$a = \frac{1000A}{(m_{\text{л}} + m_{\text{с}})s}, \quad (2.39)$$

де  $s$  – довжина перегону (або всієї ділянки), для якого виконується розрахунок, км.

Підставивши результати, отримані під час виконання тягових розрахунків в (2.39), одержимо

$$a = \frac{1000 \cdot 9231,7}{(184 + 4550) \cdot 128,45} = 15,2 \frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{т} \cdot \text{км}}.$$

Виконані тягові розрахунки для електровоза ВЛ11М/6 з составом масою 4550 т на напрямку Нижньодніпровськ Вузол – П'ятихатки та аналіз їх результатів показали, що при раціональному управлінні локомотивом є можливість зменшити питомі витрати електроенергії з 15,8 до 15,2 Вт-год/(т-км), тобто на 3,8 %.

						Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 РОЗРОБКА РЕЖИМНОЇ КАРТИ

#### 3.1 Принцип побудови режимних карт

Режимна карта повинна містити всю необхідну інформацію, яка забезпечує раціональний і економічний режим ведення поїзда по заданій ділянці. Відповідно, в ній повинні бути вказівки щодо швидкості руху поїздів у прив'язці до відміток профілю колії, про раціональні позиції контролера машиніста і ступені гальмування, про час ходу по перегонах і про профіль колії.

Враховуючи, що режимна карта розробляється для ведення поїзда з уніфікованою нормою, визначальною інформацією в ній має бути вказівка про швидкість руху поїзда з прив'язкою останньої до пікетних відміток профілю колії.

Таким чином режимна карта, розроблена з урахуванням цих вимог, має містити вказівки на зв'язок швидкості з пікетними позначками колії. У такому разі вона є більш універсальною, придатною для раціонального ведення вантажних поїздів будь-якої маси.

Для зручності практичного використання режимної карти на електровозі під час руху, її форма повинна бути портативною, легко сприйматися, бути не захаращеною зайвою інформацією, простою у виготовленні і розмноженні. Практика широкого розповсюдження і використання режимних карт зумовила велике різноманіття зовнішньої форми карт, як графічних, так і цифрових [6].

У деяких депо перевагу віддають режимній карті в формі равлика, вона являє собою невеликий квадрат паперу, на якому сфотографований кресленик – схематичний малюнок ділянки у вигляді спіралі, кожне ділення якої відповідає одному кілометру, а

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

поруч вказано, з якою швидкістю повинен слідувати машиніст на ділянці, щоб домогтися економії електричної енергії.

Як показує досвід, найбільшого поширення набули режимні карти стрічкового виду, які вкладаються у вигляді гармошки в картонні обкладинки. На стрічці зображений спрямлений профіль колії з характеристикою кожного елемента, кілометрові позначки і осі станцій з найменуванням роздільних пунктів, графік швидкості руху поїзда, режими і позиції контролера машиніста, місця гальмування поїзда. Така форма режимної карти використовується найбільш часто. Пояснюється це тим, що вона в простій і наочній формі представляє машиністу всю необхідну інформацію про колію та відповідну даній ділянці швидкість руху поїзда, про режим роботи локомотиву і про використання гальм.

Разом з тим, ця форма має і певні недоліки. При стандартному масштабі шляху (1 км – 20 мм) довжина стрічки на ділянці роботи локомотивної бригади протяжністю 10 км виходить 200 мм. Читання такої стрічки пов'язано з певними труднощами і витратою часу, якого у машиніста, що веде поїзд не так вже й багато на подібні відволікання. Ця форма являє так само труднощі у перевірці виконання її вказівок машиністам шляхом зіставлення режиму карти і фактично виконаного, записаного на швидкостемірній стрічці. Пояснюється це головним чином тим, що занадто велика різниця масштабів шляху і швидкості на цих двох стрічках.

Ось тому, з бажання зблизити зображення цих двох характеристик, з'явилася і знайшла деяке поширення форма режимної карти, на якій рекомендований режим ведення поїзда по швидкості і шляху зображений у такому ж масштабі, в якому самописець швидкостеміра записує ці характеристики на

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

швидкостемірній стрічці. Така режимна карта зручна своєю портативністю, так як може бути оформлена у вигляді записника. Проте головною перевагою такої форми режимної карти є зручність контролю за її дотриманням локомотивною бригадою на шляху прямування. Разом з тим така форма карти через дрібний масштаб позбавлена необхідної наочності і ускладнює побіжне читання цифрового матеріалу карти, що особливо позначиться в умовах експлуатації.

Якщо перенести цифрове значення швидкості, яке відповідає кілометровим позначкам колії послідовно з планшетки, де прокладена крива швидкості в таблицю спеціальної форми, то така таблиця може служити інструкцією машиністу, дотримуючись якої можна точно вести поїзд згідно з графіком режимної карти. Для більшої повноти інформації така таблиця повинна містити крім колонок цифр кілометрів і відповідних швидкостей, вказівки про позиції контролера машиніста і ступені гальмування, а так само дані про обмеження швидкості по станціях і перегонах. Така таблиця відповідно і буде являти собою цифрову форму режимної карти [6].

Таблична форма режимної карти зручна своєю портативністю і простотою у розмноженні. Вона може бути оформлена у вигляді листівки, видрукувана чітким шрифтом і розмножена у великій кількості примірників. У цьому випадку кожна локомотивна бригада може постійно мати при собі таку карту – листівку і керуватися нею при водінні поїздів будь-якої ваги. До недоліків такої форми карти слід віднести відсутність наочності щодо поздовжнього профілю колії і характеру зміни швидкості руху поїзда через відсутність кривої швидкості.

						Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### 3.2 Розробка режимної карти для електровоза ВЛ11М/6 на напрямку Нижньодніпровськ Вузол – П’ятихатки

У даній дипломній магістерській роботі розроблена режимна карта ведення вантажних поїздів на напрямку Нижньодніпровськ Вузол – П’ятихатки. Режимна карта розроблялася на підставі побудованих кривих швидкості, часу і струму електровоза наведених у додатку А.

Розроблена режимна карта містить наступну інформацію:

- повздовжній профіль колії з кілометровими відмітками;
- режим руху поїзда;
- швидкість руху;
- час руху;
- струм електровоза.

Розроблена режимна карта руху для електровоза ВЛ11М/6 та составу масою 4550 т на напрямку Нижньодніпровськ Вузол – П’ятихатки представляє собою надруковані на трьох аркушах формату А4 криві руху поїзда у зменшеному масштабі (дивись додаток А). А також режимну карту представлено у вигляді таблиць (дивись додаток Б).

Дотримуючись вимог даної режимної карти машиністи зможуть реалізувати раціональні режими ведення поїздів і підвищити показники роботи локомотивного депо Нижньодніпровськ Вузол.

						Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

Основним завданням даної дипломної магістерської роботи було розробка режимної карти для вантажних електровозів серії ВЛ11М/6 для ведення вантажних поїздів на ділянці Нижньодніпровськ Вузол – П'ятихатки з метою підвищення ефективності перевезень.

У процесі розв'язання основного завдання було здійснено аналіз факторів, що впливають на вибір раціональних способів ведення поїздів.

Було прийняте рішення вибирати раціональні режими ведення вантажних поїздів електровозами серії ВЛ11М/6 на ділянці Нижньодніпровськ Вузол – П'ятихатки шляхом виконання тягових розрахунків.

Для виконання тягових розрахунків було проаналізовано профіль заданої ділянки та характеристики електровоза. Також була визначена розрахункова маса составу на розрахунковому підйомі  $i_p = +8,6 \text{ ‰}$ , вона склала 4550 т.

Виконані тягові розрахунки для електровоза ВЛ11М/6 з составом масою 4550 т на напрямку Нижньодніпровськ Вузол – П'ятихатки та аналіз їх результатів показали, що при раціональному управлінні локомотивом є можливість зменшити питомі витрати електроенергії з 15,8 до 15,2 Вт-год/(т-км), тобто на 3,8 %.

На основі виконаних тягових розрахунків розроблена режимна карта для електровоза ВЛ11М/6 та составу масою 4550 т на ділянці Нижньодніпровськ Вузол – П'ятихатки. Дотримуючись вимог даної режимної карти машиністи зможуть реалізувати

						Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

раціональні режими ведення поїздів і підвищити показники роботи локомотивного депо Нижньодніпровськ Вузол.

						Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 Програма оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012–2016 рр. / Затв. постановою Кабінету Міністрів України від 01.08.2011 р. №840. – К., 2011.

2 Лисицин А.Л. Возможности экономии энергоресурсов на тягу поездов // Железнодорожный транспорт, - 2002. – №2, – С. 18–22.

3 Кнуттон Р. Инвестиции и развитие железнодорожного транспорта // Железные дороги мира. 2001. №12.

4 Мишарин А. С. Проблемы ресурсосбережения на железнодорожном транспорте // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: Труды конференции. МИИТ 2000, – С. 1–116.

5 Русак А.Д. Об использовании и экономии энергоресурсов в локомотивном хозяйстве // Железнодорожный транспорт. – 2002, – №2, – С. 26–29.

6 Ю.П. Оптимальное управление движением транспортных средств. М: Энергия, 1969

7 Максимов В.М. Выбор рациональных режимов вождения поезда // Железнодорожный транспорт, – 1968, – № 3, – С. 55–57.

8 Электровоз ВЛ11М/6. Руководство по эксплуатации.

9 Раков В. А. Грузовые электровозы ВЛ10, ВЛ10У, ВЛ11 // Локомотивы и моторвагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза 1976–1985. – М.: Транспорт, 1990.

10 Правила тяговых расчетов для поездной работы (ПТР). – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.

11 Розенфельд В.Е. и др. Теория электрической тяги. – М.: Транспорт, 1983. – 328 с.

						Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12 Осипов С.И., Осипов С.С., Феоктистов В.П. Теория электрической тяги: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / Под ред. С.И. Осипова. – М.: Маршрут, 2006. – 436 с.

13 Гетьман Г.К. Теория электрической тяги: Монография [Текст]: в 2 т./ Г.К.Гетьман – Дн-вск: Изд-во Маковецкий, 2011. Т.2. – 364 с.

14 Айзинбуд С. Я. Эксплуатация локомотивов / С. Я. Айзинбуд, П. И. Кельперис - М.: Транспорт, 1990. - 261 с.

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