

**Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies**

Building, architecture and infrastructure

(faculty)

Transport infrastructure

(department)

Explanatory Note

to Master's Thesis

magistr

(higher education degree)

on the topic: Substantiation of the effectiveness of eliminating barrier sites when designing the reconstruction of a railway section

according to educational curriculum: Railway constructions and track management

in the Speciality: 273 «Railway transport»

Done by the student of the group: KG2426

/ Dmytro LIKARENKO/

(name, surname)

Scientific Supervisor:

/ Associate Professor Sergiy BAIDAK /

(position, name, surname)

Normative controller:

/ Associate Professor Sergiy BAIDAK/

(position, name, surname)

Supervisors:

/ Senior Lecturer Nelia KHMELEVSKA /

(position, name, surname)

Dnipro – 2025

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Будівництво, архітектура та інфраструктура

Кафедра: Транспортна інфраструктура

Рівень вищої освіти: Магістр

Освітня програма: Залізничні споруди та колійне господарство

Спеціальність: Залізничний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Олексій ПЮТЬКІН

(підпис)

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу _____ магістр
(ступінь вищої освіти)

студенту **Лікаренку Дмитру Юрійовичу**

Тема роботи: Обґрунтування ефективності усунення бар'єрних місць при проєктуванні реконструкції ділянки залізниці

Керівник роботи: Байдак Сергій Юрійович, к.т.н.

Затверджена наказом від 02.10.2025 № 1402 ст.

2. Строк подання студентом роботи – 15 січня 2025 р.

3. Вихідні дані:

Район проєктування – Львівська область	Довжина прийм.- відправних колій – 850 м	
Початковий пункт – ст. Стрий	Система СЦБ - АБ	
Кінцевий пункт – ст. Лавочне	Верхня будова колії:	
Довжина лінії, км – 74	Тип рейок – Р65	Баласт, см
Керівний ухил, ‰ – за розрах.	Тип шпал – залізобет.	Щебінь/пісок – 35/20
Кількість головних колій – 2	Маса поїзда:	
Вид тяги – електрична	вантажного 4300/2500, швидкісного – 1000 т	
Локомотиви-ВЛ10, ВЛ11	Ширина земляного полотна – 11-12 м	

4. Вантажонапруженість на 10-й рік експлуатації: 30/30 млн. ткм/км

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1 Аналітична частина

1.1 Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою. Мета роботи. Актуальність дослідження.

1.2. Техніко-експлуатаційна характеристика Львівської залізниці та дільниці Стрий – Лавочне

1.3. Верхня будова колії та штучні споруди

1.4 Параметри поздовжнього профілю

2 Основна частина

2.1 Допустимі швидкості руху поїздів для існуючого технічного стану ділянки ст. Стрий-ст. Лавочне

2.2 Тягові розрахунки			
2.3 Результати тягових розрахунках на перегонах			
3 Економічна частина			
3.1 Дослідження впливу параметрів плану на допустимі швидкості руху поїздів			
3.2 Перебудова плану лінії з використанням програми RWPlan			
3.3 Визначення величини підвищення зовнішньої рейки за максимальною допустимою швидкістю після оптимізації			
3.4 Обґрунтування ефективності підвищення швидкості руху на ділянці Стрий – Лавочне			
4. Перелік графічного матеріалу: Графіки залежності тягово-енергетичних показників від максимальної швидкості. Презентація на 12-15 слайдах			
5. Консультанти розділів роботи:			
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав:	Завдання прийняв:
		(підпис, дата)	(підпис, дата)
1-3	Байдак Сергій Юрійович, к.т.н.		
3	Хмелевська Неля Петрівна, PhD		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відсотки
1	Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою. Програма впровадження швидкісного руху поїздів на залізницях України. Мета роботи.	02.10.2025	10
2	Аналіз колійної інфраструктури, профілю і плану ділянки залізниці ст.Стрий-ст.Лавочне.	16.10.2025	15
3	Допустимі швидкості руху поїздів для існуючого технічного стану ділянки ст.Стрий-ст.Лавочне.	01.11.2025	20
4	Виконання тягових розрахунків.	20.11.2025	35
5	Аналіз можливих варіантів підвищення швидкості на перегонах і станціях. Встановлення впливу максимальної швидкості на тягово-енергетичні показники при реконструкції ділянки залізниці.	11.12.2025	10
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри.	15.01.2026	10
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії.	За розкладом ЕК	100

Студент

_____ (підпис)

Дмитро ЛІКАРЕНКО

Керівник роботи

_____ (підпис)

Сергій БАЙДАК

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

57 с., 33 рис., 7 табл., 3 додатки, 15 джерел.

Найменування роботи: «Обґрунтування ефективності усунення бар'єрних місць при проектуванні реконструкції ділянки залізниці»

Об'єкт досліджень – є ділянка залізниці, експлуатаційні параметри якої обмежені наявністю бар'єрних місць, що знижують ефективність руху поїздів..

Предмет досліджень – технічні, економічні та організаційні рішення з реконструкції ділянок залізниць з метою усунення бар'єрних місць.

Метою магістерської роботи є підвищення ефективності функціонування залізничної ділянки шляхом обґрунтування доцільності усунення бар'єрних місць під час її реконструкції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз технічного стану досліджуваної ділянки залізниці;
- виявити та класифікувати бар'єрні місця за характером обмежень швидкості руху;
- здійснити порівняльну оцінку можливих варіантів реконструкції;
- виконати моделювання руху поїздів до та після усунення бар'єрних місць;
- визначити техніко-економічну ефективність запропонованих рішень.

Ключові слова: залізнична колія, реконструкція залізничної ділянки, план лінії, максимальна швидкість, тягово-енергетичні показники, оптимізація плану колії, провізна спроможність

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою. Мета роботи. Актуальність дослідження.	9
1.2 Техніко-експлуатаційна характеристика Львівської залізниці та ділянки Стрий – Лавочне.....	11
1.3 Верхня будова колії та штучні споруди	14
1.4 Параметри поздовжнього профілю.....	14
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	17
2.1 Допустимі швидкості руху поїздів для існуючого технічного стану ділянки Стрий – Лавочне.....	17
2.2 Тягові розрахунки	18
2.3 Результати тягових розрахунків на перегонах.....	26
3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	33
3.1 Дослідження впливу параметрів плану на допустимі швидкості руху поїздів	33
3.2 Перебудова плану лінії з використанням програми RWPlan	34
3.3 Визначення величини підвищення зовнішньої рейки за максимальною допустимою швидкістю після оптимізації	43
3.4 Обґрунтування ефективності підвищення швидкості руху на ділянці Стрий – Лавочне	46
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	55
ДОДАТКИ	57

ВСТУП

Розвиток залізничного транспорту України є стратегічним напрямом державної політики у сфері забезпечення мобільності населення, економічної стабільності та інтеграції до європейського транспортного простору. У сучасних умовах воєнного стану, зростання обсягів перевезень і необхідності швидкого відновлення транспортних коридорів особливої актуальності набувають питання підвищення ефективності функціонування залізничної інфраструктури. Одним із ключових завдань є усунення бар'єрних місць – ділянок, що обмежують пропускну або провізну спроможність лінії, знижують швидкість руху та зумовлюють додаткові експлуатаційні витрати.

В умовах воєнного стану та післявоєнного відновлення економіки роль залізниці як стратегічного виду транспорту істотно зростає. Підвищення надійності, безпеки та ефективності руху поїздів має вирішальне значення для забезпечення обороноздатності держави, стабільності логістичних ланцюгів і реалізації гуманітарних перевезень. Тому актуальним завданням є техніко-економічне обґрунтування реконструкції елементів колійної інфраструктури з урахуванням вимог швидкісного руху, збільшення навантаження на вісь і мінімізації експлуатаційних витрат.

Бар'єрні місця виникають унаслідок невідповідності геометричних параметрів плану та профілю колії сучасним вимогам рухомого складу, зношеності конструкцій, застарілих систем сигналізації та централізації, а також недостатньої стійкості земляного полотна. Усунення таких місць потребує системного підходу, який поєднує інженерно-технічні, організаційні та економічні заходи. При цьому важливо забезпечити оптимальне співвідношення між вартістю реконструкції та очікуваним ефектом у вигляді підвищення пропускнуої спроможності, скорочення часу перевезень і зменшення експлуатаційних витрат.

Підвищення ефективності використання залізничних ліній можливе як за рахунок масштабних проєктів модернізації, так і шляхом поетапної

реконструкції окремих бар'єрних місць, що забезпечує раціональний розподіл інвестиційних ресурсів. Для цього необхідно розробити обґрунтовану методику оцінювання техніко-економічної ефективності реконструкційних заходів, яка враховує реальні експлуатаційні параметри, очікуване підвищення швидкості, скорочення часу руху, зменшення енергоспоживання та витрат на утримання інфраструктури.

Особливу увагу в дослідженні приділено створенню методики визначення ефективності усунення бар'єрних місць з використанням сучасних комп'ютерних технологій, зокрема систем автоматизованого проєктування (САПР) MoveRW та RWPlan, які дають змогу аналізувати параметри кривих, ухилів і динаміки руху поїздів. Застосування цих інструментів дозволяє моделювати варіанти реконструкції та визначати найбільш раціональний із техніко-економічної точки зору.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою. Мета роботи. Актуальність дослідження

Усунення «бар'єрних місць» у залізничній інфраструктурі є одним із ключових напрямів сучасної транспортної політики Європейського Союзу та АТ «Укрзалізниця». Цей напрям охоплює оптимізацію плану та профілю колії, модернізацію верхньої будови, підвищення швидкості руху, пропускної та провізної спроможності залізничних ліній, зокрема у межах міжнародних транспортних коридорів TEN-T [1]

В умовах воєнного стану, що триває в Україні з 2022 року, питання ефективності використання залізничної інфраструктури набуло особливої актуальності. Залізничний транспорт виконує критично важливі функції – евакуаційні перевезення, військово-логістичне забезпечення, постачання гуманітарних вантажів і підтримку економічних зв'язків. Руйнування окремих колійних ділянок та зростання навантаження на західні напрямки, зокрема Львівську залізницю, потребують науково обґрунтованих рішень щодо підвищення провізної спроможності без масштабного нового будівництва.

У наукових дослідженнях українських учених значна увага приділяється моделюванню руху поїздів і реконструкції колії у плані. Курган М.Б. та Курган Д.М. у працях «Оцінка варіантів дорожнього покриття на основі методу аналізу ієрархій» (Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2023, № 24) і «Оптимізація плану колії при реконструкції ділянок залізниць» (Наука та прогрес транспорту, 2022, № 2 (90)) обґрунтували системний підхід до вибору оптимальних параметрів колії з урахуванням технічних та економічних факторів.

Байдак С. Ю. у статті «Оцінка елементів стрілочного переводу на основі методу аналізу ієрархій» (Наука та прогрес транспорту, 2025, № 4 (112)) розвинув методіку застосування АНР (АНР-аналізу) для визначення найефективніших технічних рішень у колійних конструкціях.

Практичний аспект дослідження підкріплюється роботами кафедри залізничних колій УДУНТ, де розроблено програмні комплекси MoveRW і

RWPlan для моделювання руху поїздів та геометрії колії. Ці системи дають можливість проводити аналіз варіантів реконструкції з урахуванням рельєфу місцевості та параметрів профілю.

Нормативна база України, зокрема ДБН В.2.3-19:2018 «Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. Норми проектування», встановлює вимоги до геометрії колії, допустимих ухилів і швидкостей руху, що безпосередньо застосовуються під час проектування реконструкції та ліквідації бар'єрних місць [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Розвиток залізничних коридорів західного напрямку є пріоритетним у зв'язку з розширенням мережі TEN-T на Україну та реалізацією ініціативи «Solidarity Lanes» *xEU-Ukraine Solidarity Lanes* (Офіційна сторінка Європейської комісії [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. Це зумовлює потребу у реконструкції гірських ділянок Львівської залізниці, де наявні експлуатаційні обмеження через малі радіуси кривих та значні ухили.

Об'єктом дослідження є ділянка Стрий – Лавочне Львівської залізниці, що входить до Карпатського ходу та міжнародного транспортного коридору № 5 (Львів – Мукачево – Чоп – ЄС). Вона характеризується складними умовами плану та профілю, великою кількістю кривих малого радіуса й затяжних ухилів, які створюють «бар'єрні місця» для руху поїздів.

Предметом дослідження є технічні, експлуатаційні та економічні параметри, що визначають ефективність руху поїздів за наявності бар'єрних місць, а також зміни цих параметрів після реконструкції.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні технічних рішень і оцінюванні ефективності усунення бар'єрних місць на ділянці Стрий – Лавочне шляхом поєднання нормативного аналізу, імітаційного моделювання руху, порівняння варіантів реконструкції та розрахунку техніко-економічних показників.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань:

- проаналізувати наукові підходи та нормативні вимоги до виявлення й усунення вузьких місць на залізницях;
- провести техніко-експлуатаційну характеристику ділянки Стрий –

Лавочне;

- визначити бар'єрні місця та сформувати варіанти їх локальної реконструкції;
- виконати моделювання руху поїздів до і після реконструкції для оцінки зміни часу ходу, пропускної спроможності та енергоспоживання;
- провести техніко-економічне обґрунтування ефективності заходів і сформулювати рекомендації для впровадження.

Актуальність теми зумовлена тим, що ліквідація бар'єрних місць на стратегічних ділянках Львівської залізниці дозволить підвищити швидкість руху, знизити енергоспоживання, збільшити провізну спроможність без необхідності будівництва нових ліній. Це відповідає пріоритетам ЄС щодо модернізації транспортних коридорів і підвищення ефективності залізничного транспорту в умовах євроінтеграції та воєнного стану в Україні.

1.2 Техніко-експлуатаційна характеристика Львівської залізниці та ділянки Стрий – Лавочне

Львівська заліzniця – одна з найстаріших і найважливіших у транспортній системі України. Вона обслуговує сім областей Західного регіону: Львівську, Волинську, Закарпатську, Івано-Франківську, Рівненську, Тернопільську та Чернівецьку [4]. Загальна площа регіону становить 110,8 тис. км², а населення – близько 9,65 млн осіб. Завдяки своєму географічному положенню Львівська заліzniця по праву вважається «головними воротами України до Європи» [4]. Для забезпечення міжнародного сполучення з країнами Європейського Союзу, СНД і Балтії на Львівській заліzniці функціонує 20 прикордонних переходів, у тому числі: з Польщею – 7, зі Словаччиною – 2, з Румунією – 4, з Білоруссю – 2, з Молдовою – 2 [5].

Схема Львівської заліzniці та дослідної ділянки наведені на рисунку 1.1.

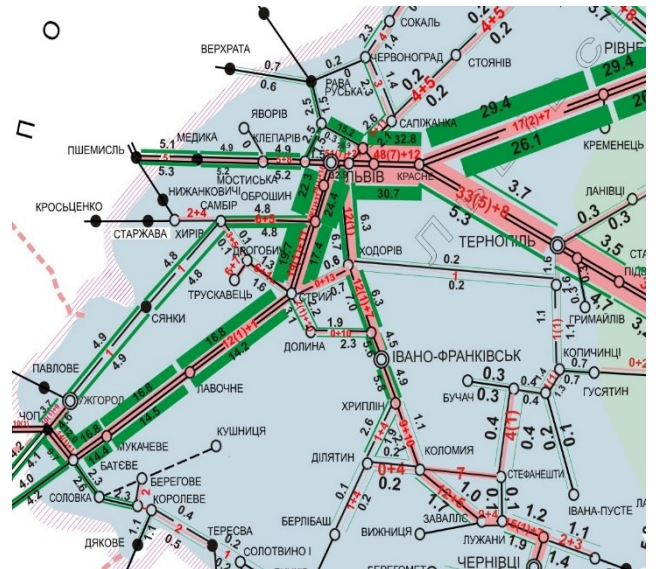


Рисунок 1.1 – Схема ділянки Стрий – Лавочне

Експлуатаційна довжина Львівської залізниці становить приблизно 4536 км, що є другим показником серед регіональних філій АТ «Укрзалізниця». На її частку припадає близько 10% вантажообігу та 11,6% пасажирообігу всієї мережі залізниць України [6].

Близько 800 км колій Львівської залізниці входять до складу міжнародних транспортних коридорів TEN-T, зокрема:– Критський коридор № 3: Мостиська – Львів – Красне – Підволочиськ;– Критський коридор № 5: Чоп – Львів – Тернопіль – Київ;– Міжнародний коридор Гданськ – Одеса: Ягодин – Ковель – Здолбунів [7]. На цих напрямках проводяться масштабні роботи з оновлення та модернізації інфраструктури. У 1998–2001 рр. було електрифіковано ділянку Здолбунів – Рівне – Ківерці – Ковель (147 км), що суттєво покращило енергетичну ефективність і пропускну спроможність регіону [8]. На станції Ягодин (українсько-польський кордон) створено пункт перестановки пасажирських вагонів на європейську колію 1435 мм, що дало змогу скоротити час і вартість міжнародних пасажирських перевезень. У цей же період споруджено новий приміський вокзал у Львові (зведений менш ніж за пів року) та вокзал у Червонограді, який став зразком сучасних малих вокзальних комплексів [4]. У вагонному депо м. Дрогобич введено в експлуатацію

промисловий комплекс з утилізації нафтошлаків, замазученого ґрунту та токсичних відходів, який є унікальним в Україні [5]. За останні роки реконструйовано вокзали у Львові, Чернівцях, Івано-Франківську, Тернополі, Коломиї, Чопі, Галичі, Рогатині та інших містах. У Ковельському вагонному депо виконуються капітально-відбудовні ремонти пасажирських вагонів і приміських поїздів [4]. Дільниця Стрий – Лавочне розташована в межах Львівської області та має довжину близько 74 км. Вона є складовою Критського транспортного коридору № 5 (напрямок Львів – Мукачево – Чоп – ЄС). На дільниці розміщено дев'ять станцій, серед яких першого класу – Стрий і Лавочне, решта – другого. Пасажирські поїзди на цьому напрямку, як правило, не мають зупинок на проміжних станціях, що дає змогу скоротити час ходу, але водночас підвищує вимоги до допустимих швидкостей проходження станційних колій і рівня безпеки руху. Дільниця є двоколійною, електрифікованою на постійному струмі (3 кВ), обладнана автоблокуванням і пристроями диспетчерської централізації. Максимальна швидкість пасажирських поїздів становить до 100 км/год, а вантажних – 60-80 км/год залежно від ухилів і кривизни траси. У пасажирському русі використовуються електровози серій ВЛ10 та ВЛ11, маса поїзда – близько 1000 т. У вантажному русі застосовуються електровози ВЛ10, уніфікована маса поїзда становить 4300 т (непарний напрям) і 2300 т (парний). Довжина приймально-відправних колій на більшості станцій становить близько 850 м. Через складні умови рельєфу – численні криві малого радіуса, затяжні ухили та обмежені габарити земляного полотна – дільниця Стрий – Лавочне характеризується підвищеною насиченістю «бар'єрних місць». З огляду на це подальший аналіз ефективності реконструкції доцільно проводити окремо для кожного перегону, зокрема: Стрий – Конюхів, Конюхів – Любинці, Любинці – Верхнє Синьовидне, Верхнє Синьовидне – Сколе, Сколе – Гребенів, Гребенів – Тухля, Тухля – Славське, Славське – Лавочне. Це дозволить точніше оцінити вплив плану та профілю на швидкісні характеристики, визначити «вузькі місця» та обґрунтувати технічно й економічно доцільні варіанти їх усунення.

1.3 Верхня будова колії та штучні споруди

На ділянці Стрий – Лавочне вантажонапруженість не перевищує 30 млн.ткм.брутто/рік, тому на головних коліях укладені безстикові плити з термічно обробленими рейками типу Р65. Шпали укладені залізобетонні, в основному з епюрою 1500 – 2000 шт/км. Баласт – щебеневий. Баластна призма утримується відповідно до типових поперечних профілів. Матеріал, товщина баластного шару та розміри баластної призми на головних коліях на перегонах, станціях встановлені за нормами. Стрілочні переводи на головних коліях станцій звичайні, типу Р65, марки 1/11.

Інформація про наявність штучних споруд на ділянці Стрий – Лавочне наведені у табличній формі, таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Кількість станцій і штучних споруд на ділянках

Ділянки	Мости		Труби	Шляхопроводи
	з/б	Металеві		
Стрий – Конюхів	-	-	3	1
Конюхів – Любенці	2	-	6	-
Любенці – В. Синьоводне	6	3	9	1
В. Синьоводне – Сколе	7	2	17	-
Сколе – Гребенів	11	2	10	1
Гребенів – Тухля	9	4	9	-
Тухля – Славсько	11	5	21	-
Славсько – Лавочне	15	-	18	1
Всього:	61	16	93	4

1.4 Параметри поздовжнього профілю

Поздовжній профіль ділянки Стрий – Лавочне є типовим для гірських районів Карпат і характеризується значною мінливістю ухилів, чергуванням підйомів і спусків різної довжини та величини. Гістограма розподілу ухилів

представлена на рисунку 1.2.

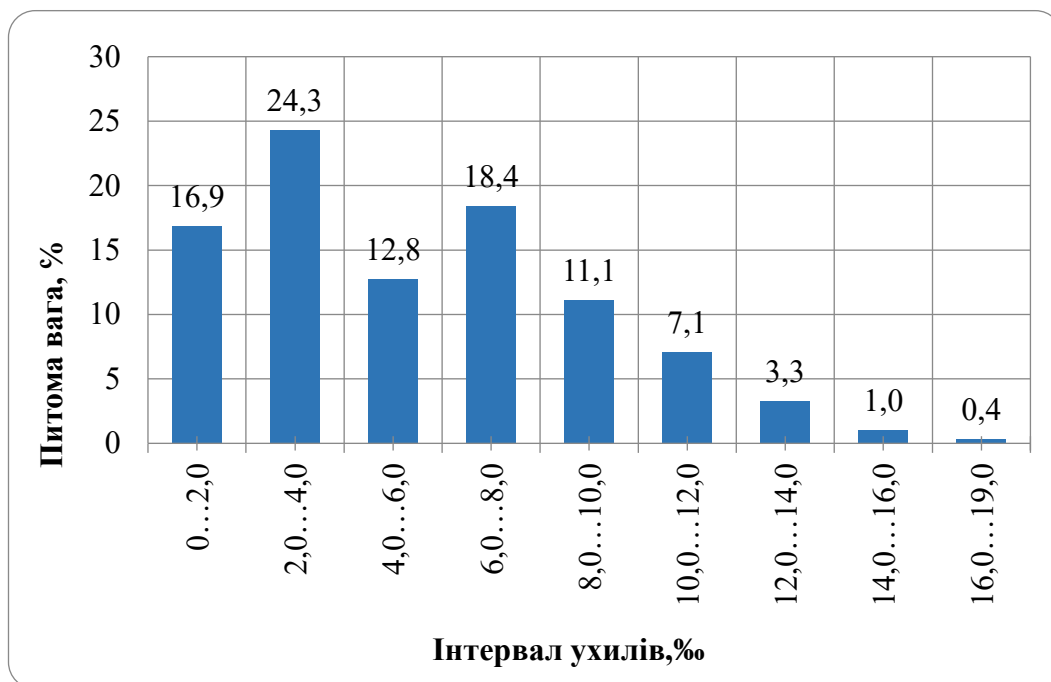


Рисунок 1.2 – Гістограма розподілу ухилів

Загальний перепад висот між станціями Стрий (294 м над рівнем моря) та Лавочне (729 м) становить приблизно 435 м. Це обумовлює складний профіль, де на більшості перегонів переважають затяжні ухили від 5,0 до 10,0‰. Середній ухил ділянки становить приблизно 5,3‰, а частка ухилів понад 6‰ сягає понад 40% (див. рис. 1.2). У зв'язку з цим ділянка відноситься до середньої категорії складності за класифікацією гірських профілів колії. Вантажні поїзди у напрямку до Лавочного (вгору) формуються з зменшеною масою (2500 т), тоді як у спускному напрямку допускається до 4300 т, зі штовхачем зі ст. Любинці та за умови встановленої швидкості не менше 40 км/год на ст. Гребенів і ст. Славське.

Аналіз плану та поздовжнього профілю ділянки Стрий – Лавочне показав, що вона належить до гірських ділянок середньої складності, де поєднуються значна кривизна колії, затяжні ухили. Такі особливості істотно впливають на швидкість руху поїздів, провізну спроможність і витрати енергії під час експлуатації. Для наочності на рисунку 1.3 показаний розподіл кривих різних радіусів відносно довжини кожної з ділянок, які досліджуються.

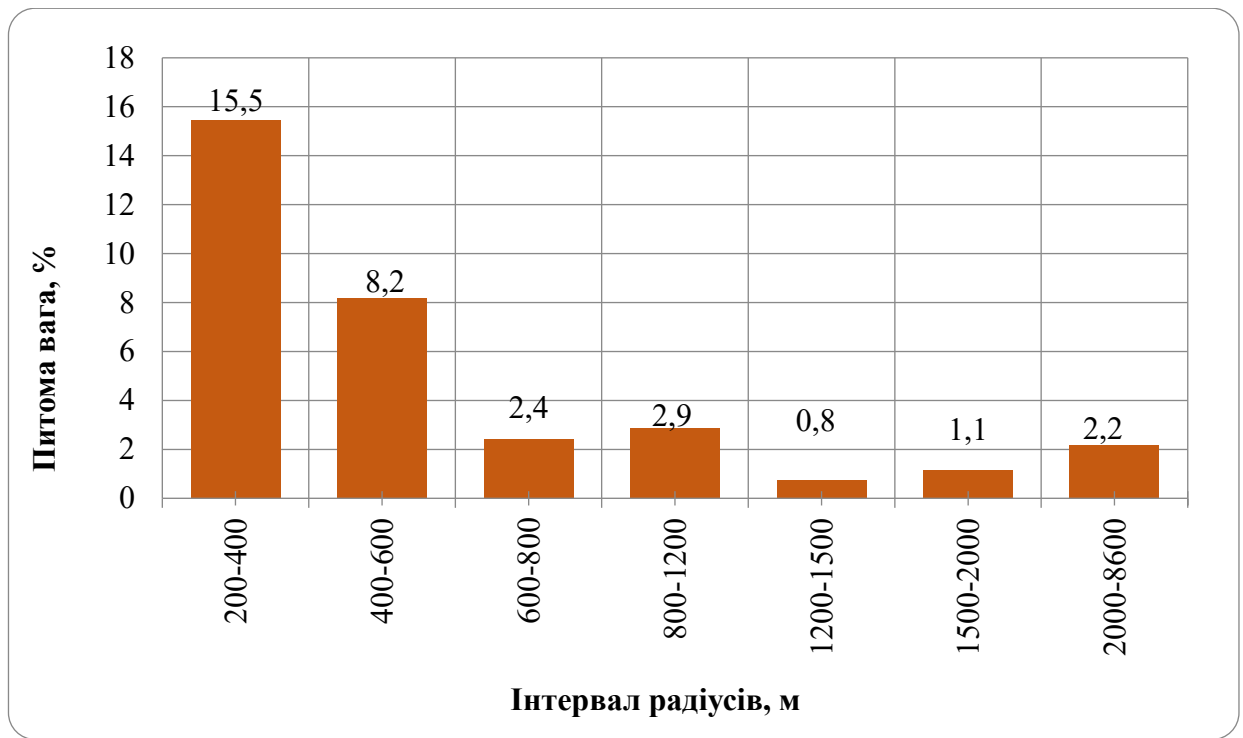


Рисунок 1.3 – Розподіл кривих на ділянці

За планом ділянка Стрий – Лавочне близько 25% довжини припадає на криві ділянки з мінімальними радіусами до 600 м. Часті зміни напрямку та короткі перехідні криві призводять до підвищення бокових сил, зносу рейкової колії та зниження комфортності руху. Найскладнішими є перегони Сколе – Тухля – Славське, де поєднання кривизни та ухилів створює умови підвищеної напруги в роботі локомотивів і обмежує допустиму швидкість до 60-70 км/год.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Допустимі швидкості руху поїздів для існуючого технічного стану ділянки Стрий – Лавочне

На підставі технічного паспорта колії та відомостей дистанції колії (ПЧ) встановлено, що на більшості перегонів діють обмеження швидкості для пасажирських поїздів 60 – 80 км/год, а для вантажних – 40 – 60 км/год. Основними причинами зниження швидкостей є:

- недосконалість плану колії, зокрема недостатні довжини перехідних кривих та наявність великої кількості кривих малого радіуса;
- незадовільний стан верхньої будови колії, який проявляється у понаднормативному зносі рейок і стрілочних переводів;
- технічний стан штучних споруд, серед яких виявлено дефекти прольотних будов і опор, використання застарілих конструкцій, надмірну товщину баластової призми та інші відхилення від нормативів;
- недоліки стану земляного полотна, зокрема недостатня ширина основної площадки, просідання, деформації укосів насипів, водорозмиви, обвали, карстові утворення тощо;
- станційні пристрої, які потребують модернізації або комплексної реконструкції для забезпечення пропуску поїздів підвищеної швидкості;
- стан контактної мережі та систем енергопостачання, зв'язку, сигналізації, централізації й блокування (СЦБ), а також інших постійних пристроїв інфраструктури, що безпосередньо впливають на безпеку та швидкість руху.

На ділянці Стрий – Лавочне встановлена швидкість руху пасажирських поїздів до 100 км/год з локомотивом ВЛ10 і вантажних поїздів до 80 км/год з локомотивом ВЛ11. Обмеження швидкості пов'язані зі станом земляного полотна, дефектними водопропускними спорудженнями, а також через малі радіуси кругових або коротких перехідних кривих, що знаходяться на даній ділянці.

У таблиці 2.1 наведено допустимі швидкості руху пасажирських і

вантажних поїздів при існуючому стані постійних пристроїв на ділянці Стрий – Лавочне Львівської залізниці, згідно з наказом начальника Львівської залізниці [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Таблиця 2.1– Встановлені швидкості руху на ділянці Стрий – Лавочне

№	Станції	Встановлена швидкість за наказом	
		Пасажирський рух	Вантажний рух
1	Стрий	60	60
	Стрий – Конюхів	100	80
2	Конюхів	60	80
	Конюхів – Любенці	100	80
3	Любенці	100	80
	Любенці – Синьоводне	100	80
4	В.Синьоводне	100	80
	Синьоводне – Сколе	100	60
5	Сколе	80	60
	Сколе – Гребенів	80	60
6	Гребенів	80	60
	Гребенів – Тухля	80	60
7	Тухля	60	60
	Тухля – Славсько	60	60
8	Славсько	50	50
	Славсько – Лавочне	60	60
9	Лавочне	60	60

Аналіз існуючих швидкостей та визначення допустимих на ділянці Стрий – Лавочне буде розглянуто в третьому розділі.

2.2 Тягові розрахунки

2.2.1 Характеристика програми MoveRW

Програма тягових розрахунків MoveRW призначена для виконання

комплексного аналізу умов руху поїздів з урахуванням реальних параметрів профілю, плану колії та характеристик рухомого складу [10]. Основна мета розрахунків полягає у визначенні максимально можливої швидкості руху поїзда на кожній ділянці шляху за умови забезпечення стійкого зчеплення та дотримання тягових характеристик локомотива.

Особливістю програми є те, що додатковий опір від ухилів і кривих розраховується не в одній точці, а по всій довжині поїзда, що дозволяє точніше відтворити реальні умови руху. Таким чином, модель забезпечує поступову зміну опору при переході поїзда з одного елемента поздовжнього профілю на інший.

У програмі реалізовано гнучку систему налаштування параметрів, яка дозволяє розв'язувати широкий спектр інженерних завдань, пов'язаних із тяговими розрахунками:

- визначення швидкісних характеристик поїздів на заданій ділянці;
- оцінка впливу ухилів і кривих на тягову роботу;
- розрахунок питомих енергетичних витрат;
- вибір раціонального типу локомотива для конкретної ділянки;
- порівняння різних варіантів реконструкції колії за критерієм ефективності руху.

Як розрахункову модель у роботі прийнято поїзд довжиною $L_{п}$ з рівномірно розподіленою масою вздовж складу. При русі поїзда додатковий опір від ухилу змінюється поступово, у міру переходу складу з одного елемента поздовжнього профілю на інший, що відповідає фізичній суті процесу та підвищує точність результатів.

Застосування програми MoveRW у дослідженні дозволяє отримати графіки швидкості руху, питомого опору та сили тяги вздовж ділянки, а також визначити енергетичну ефективність руху поїзда до та після усунення бар'єрних місць.

2.2.2 Підготування вихідних даних

При підготуванні вихідної інформації використано докладний

поздовжній профіль Стрий – Лавочне Львівської залізниці.

Дані по профілю, плану і обмеженням починаються і закінчуються на відстані від осі станції, яка повинна забезпечувати розміщення половини поїзда. Сумарні довжини елементів по цим даним мають бути рівними.

Дані по профілю можуть вводитися безпосередньо в самій програмі або їх створюють заздалегідь в текстовому редакторі у вигляді файлу з розширенням *.prf.

Десятковий роздільник в числах – «точка».

Структура цього файлу досить проста. У першому рядку записується найменування ділянки.

У другому рядку через пробіл вводяться(кількість елементів профілю) (початкова відмітка профілю, м), (пикетаж початкової точки профілю у вигляді відстані в км від нульового стовпа, допускається негативне значення, якщо вісь першого роздільного пункту знаходиться на нульовому кілометрі) (цифра 2).

В третьому рядку и далі вводиться інформація про профіль у вигляді двох чисел через пробіл (ухил елемента профілю в тисячних, спуск із знаком мінус) (довжина елемента).

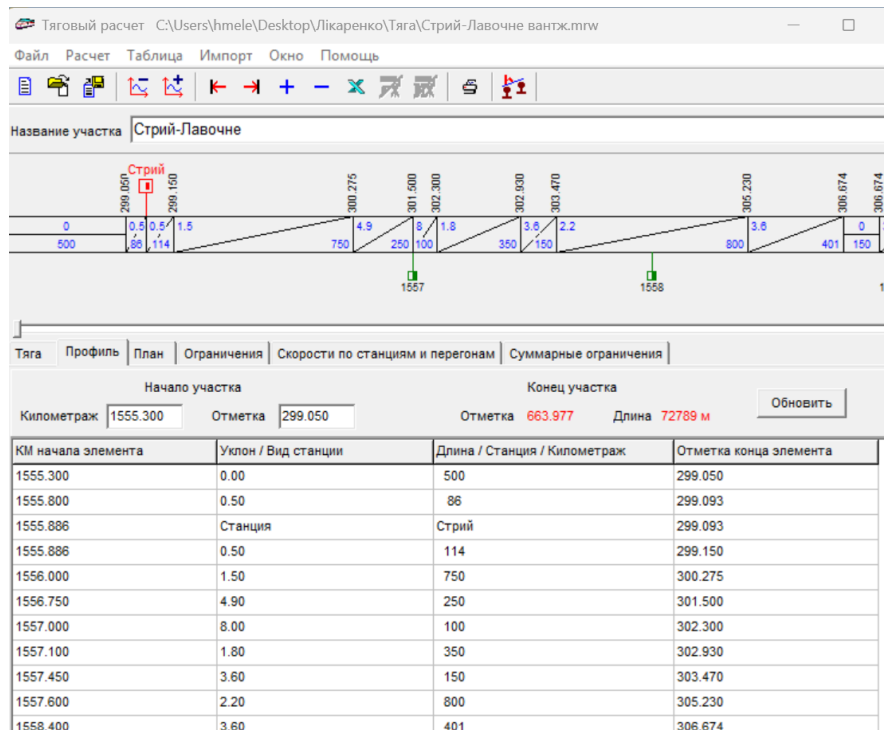


Рисунок 2.1 – Фрагмент поздовжнього профілю

Параметри плану лінії. Для введення вихідних даних в програмі використовується закладка «План».

Структура файлу наступна. У першому рядку записується слово «FormatCur», що вказує на формат файлу. У другому рядку записується назва ділянки.

У третьому рядку і далі вводиться інформація про елементи плану. Кожен рядок – один елемент.

Перше число в рядку – вид елемента: 0 – пряма, 1 – перехідна, 2 – кругова крива (поворот вправо), 3 – кругова крива (поворот вліво).

Друге число – довжина елемента в метрах.

Якщо елемент кругова крива, то третє число показує радіус кривої в метрах, а четверте – підвищення зовнішньої рейки в міліметрах.

Довжина прямих і кругових кривих вказується приведена – до «чистої» довжини додаються половини довжин прилеглих перехідних кривих.

Для всіх перерахованих елементів повинна бути введена довжина (у метрах), для кругової кривої – радіус (у метрах) і підвищення зовнішньої рейки (міліметрах) (рисунок 2.2). Під довжиною кругової кривої розуміють її «профільну» довжину – з урахуванням перехідних. Для першого елемента вводиться кілометрова позначка його початку, для наступних вона розраховується автоматично.

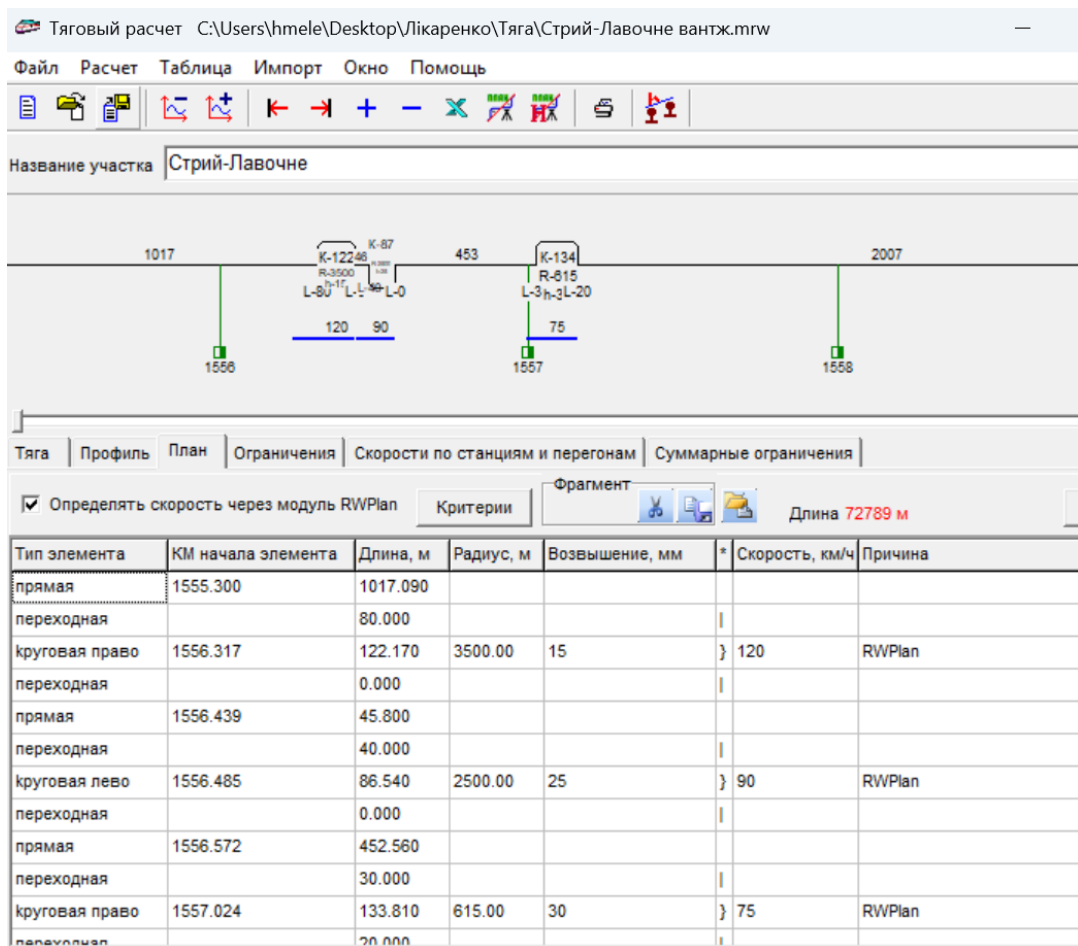


Рисунок 2.2 – Фрагмент плану лінії

Обмеження швидкості руху поїздів. Тягові розрахунки виконуються з врахуванням обмеження швидкості руху (рисунок 2.3). Необхідно задати допустиму швидкість руху окремо по кожному перегону і станції. Значення обмежень вводиться в табличній формі і являють собою ланцюжок елементів – довжина (у метрах) і максимально допустима швидкість (у км/год).

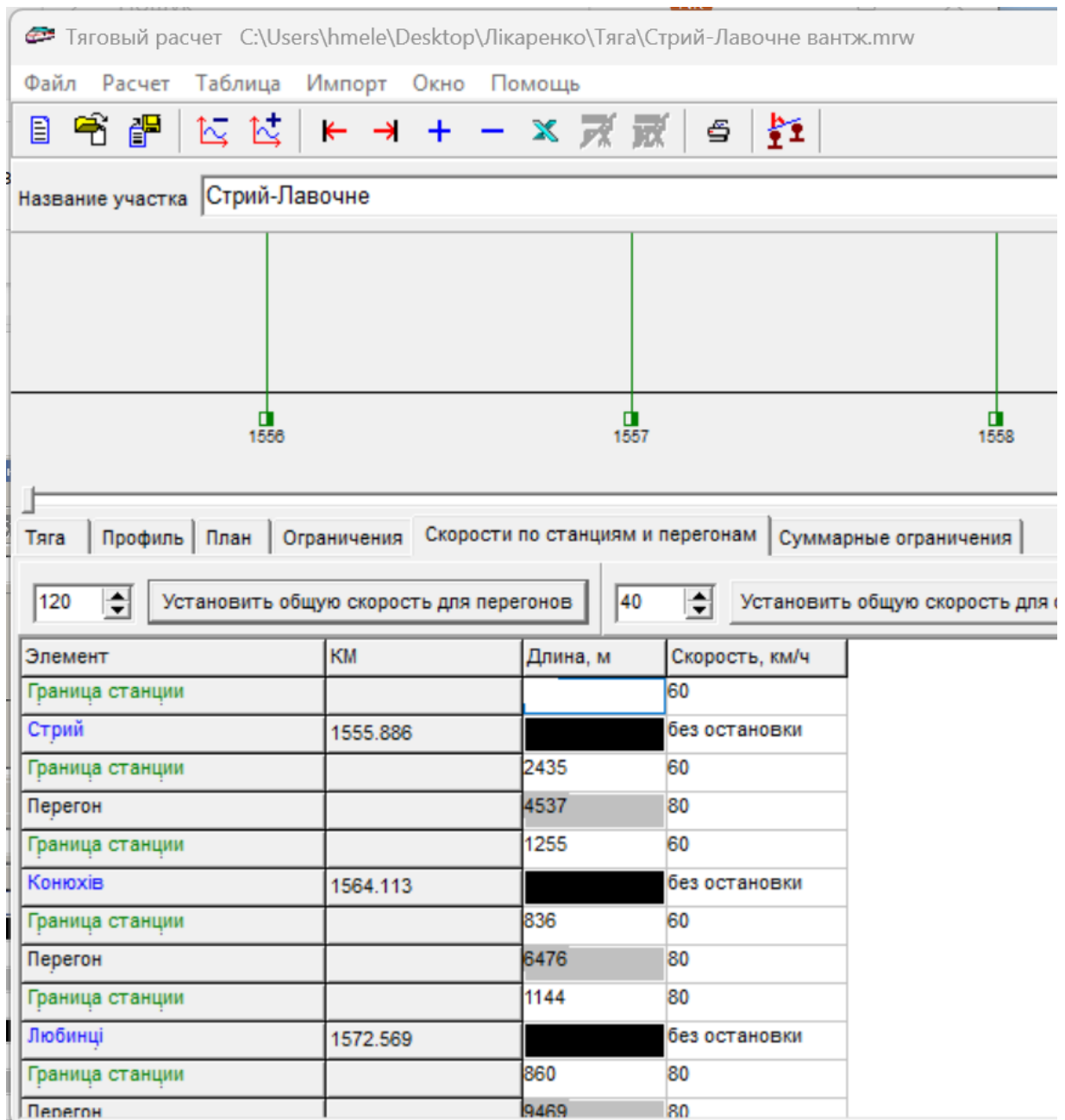


Рисунок 2.3 – Фрагмент обмеження швидкості

2.2.3 Тягові характеристики локомотива

В умовах експлуатації локомотива важливе значення має не лише величина сили тяги F_k , а й швидкість V , за якої ця сила може бути реалізована. Іншими словами, ефективність роботи локомотива визначається залежністю сили тяги від швидкості руху, що позначається як $F_k = f(V)$, і відома під назвою тягової характеристики локомотива.

Тягові характеристики дозволяють оцінити динамічні властивості

локомотива, зокрема його здатність розганяти поїзд, долати ухили, підтримувати задану швидкість руху та ефективно використовувати потужність двигуна. Найбільша сила тяги необхідна під час:

- рушання з місця (подолання статичного опору зрушенню);
- розгону поїзда до робочої швидкості;
- руху по затяжних або крутих підйомах, де зростає опір руху через силу тяжіння.

На підйомах від локомотива вимагається більша тяга, ніж на горизонтальній ділянці чи спуску. Водночас повна потужність локомотива використовується лише при досягненні максимальної швидкості V_{max} , коли зменшення сили тяги компенсується збільшенням швидкості, тобто потужність залишається сталою.

Тягові розрахунки у програмі MoveRW виконуються з використанням набору даних про рухомий склад, які зберігаються у файлах формату .lok у каталозі “Lokomotiv”. Кожен файл містить:

- нормативні технічні характеристики локомотива (максимальну швидкість, силу тяги на різних позиціях контролера, споживання електроенергії або дизельного палива);
- коефіцієнти для розрахункових формул, що описують зміну сили тяги залежно від швидкості;
- дані про гальмівні характеристики – розрахунковий гальмівний коефіцієнт і коефіцієнт використання гальмівної сили;
- ідентифікаційні параметри локомотива (тип, серія, номер позиції контролера тощо).

Таке структурування даних дозволяє програмі автоматично виконувати моделювання руху поїзда з урахуванням реальних характеристик локомотива та різних режимів експлуатації. Приклади основних параметрів локомотива наведені в таблиці 2.1, а графічне відображення його тягової характеристики – на рисунку 2.4.

Таблиця 2.1 – Відомість локомотива ВЛ 10

Показники	ВЛ-10
Рід служби	вантажний
Конструкційна швидкість, км/год	100
Розрахунково-мінімальна швидкість, км/год	45
Маса локомотива, т	184
Осьова характеристика	2o(2o-2o)

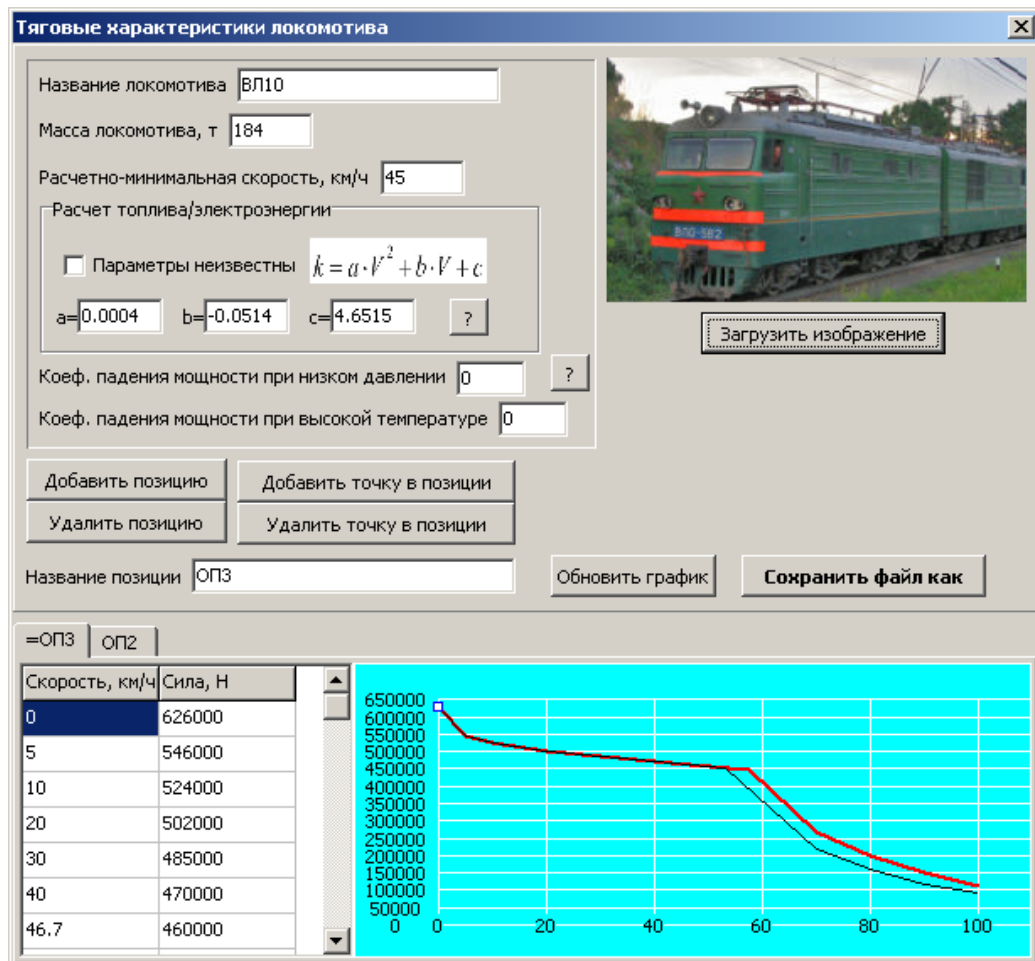


Рисунок 2.4 – Тяговая характеристика локомотива ВЛ 10

Для виконання тягових розрахунків необхідно задати параметри в залежності від типу рухомого складу.

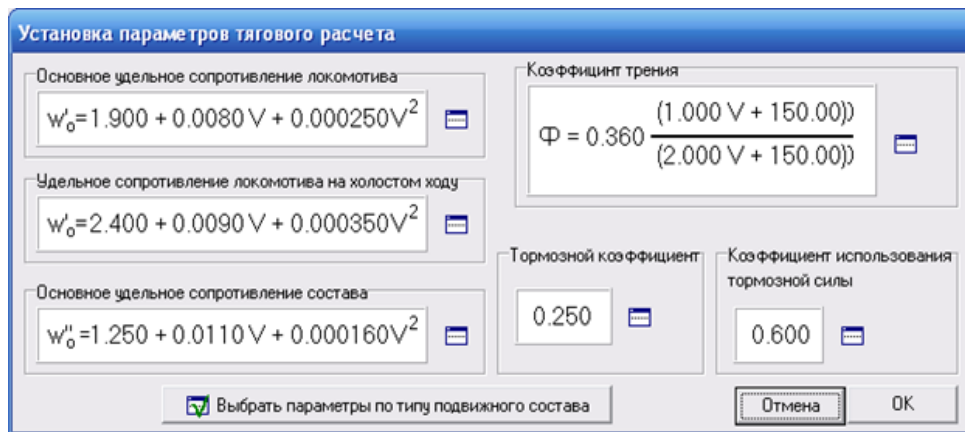


Рисунок 2.5 – Вибір параметрів тягового розрахунку

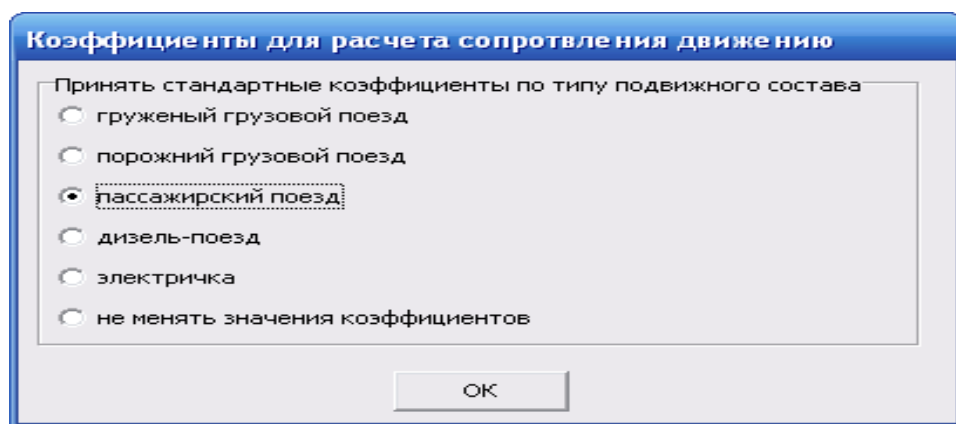


Рисунок 2.6 – Вибір типу вагонів для розрахунку

2.3 Результаты тяговых расчетов на перегонах

Для оцінки впливу технічного стану ділянки Стрий – Лавочне на умови руху поїздів проведено комплекс тягових розрахунків із використанням програмного комплексу MoveRW. Метою розрахунків було визначення зміни швидкості, сили тяги, питомого опору та енергоспоживання поїзда на всій довжині ділянки за умови існуючих параметрів плану і профілю колії.

Тягові розрахунки виконано окремо для кожного перегону ділянки. Для кожного перегону враховано реальні умови плану і профілю колії (радіуси кривих, ухили, горизонтальні вставки), а також відповідні обмеження швидкості. Розрахунки дозволили визначити максимальну можливу швидкість руху, сили тяги, питомі опори та енергетичні параметри поїзда в межах кожного перегону.

Такий підхід дозволив визначити найбільш проблемні перегони – ті, що

зумовлюють найбільше зниження швидкості та збільшення питомих опорів. Результати є для визначення переліку бар'єрних місць, що потребують реконструкції.

Результати тягових розрахунків по перегонам наведені в таблиці 2.2, 2.3.

Таблиця 2.2 – Результати тягових розрахунків по перегонах для пасажирського руху (Q=1000 т)

Перегін	Напрямок руху	Відстань, м	V _{ср} , км/год	Витрати електроенергії, кВт-год	Механічна робота, 10*кН*км	Час ходу, хв
Стрий – Коніхів	парна	8227	67	330,0	103,9	7,4
	непарна	8227	67	107,5	33,9	7,4
Коніхів – Любенці	парна	8456	91	267,8	80,8	5,6
	непарна	8456	92	58,2	17,7	5,5
Любенці – Синьоводне	парна	11490	74	418,9	133,6	9,3
	непарна	11490	75	270,2	85,1	9,2
Синьоводне – Сколе	парна	9236	75	290,9	94,9	7,4
	непарна	9236	73	31,7	10,33	7,6
Сколе – Гребенів	парна	7627	65	251,8	83,7	7,1
	непарна	7627	63	45,9	15,3	7,3
Гребенів – Тухля	парна	8041	65	248,8	82,7	7,4
	непарна	8041	63	58,0	19,3	7,6
Тухля – Славсько	парна	10006	62	296,8	98,1	9,7
	непарна	10006	60	69,5	23,0	10,0
Славсько – Лавочне	парна	10006	62	312,0	103,1	9,7
	непарна	10006	62	312,0	103,1	9,7

Таблиця 2.3 – Результати тягових розрахунків по перегонам для
вантажного руху (Q=2500 т /4300 т)

Перегін	Напрямок руху	Відстань, м	V _{ср} , км/год	Витрати електроенергії, кВт-год	Механічна робота, 10*кН*км	Час ходу, хв
Стрий – Коніхів	парна	8227	58	532,9	171,1	8,4
	непарна	8227	62	159,3	52,6	8,0
Коніхів – Любенці	парна	8456	70	445,0	146,0	7,2
	непарна	8456	70	123,9	41,0	7,2
Любенці – Синьоводне	парна	11490	59	543,8	180,2	11,7
	непарна	11490	57	126,6	41,9	12,1
Синьоводне – Сколе	парна	9236	60	528,3	175,7	9,2
	непарна	9236	57	42,1	14,01	9,7
Сколе – Гребенів	парна	7627	59	477,9	158,7	7,7
	непарна	7627	56	39,0	12,9	8,1
Гребенів – Тухля	парна	8041	51	515,4	167,6	9,5
	непарна	8041	48	74,0	24,3	10,1
Тухля – Славсько	парна	10006	58	588,1	194,3	10,4
	непарна	10006	55	107,5	35,4	10,9
Славсько – Лавочне	парна	8584	48	669,2	215,9	10,8
	непарна	8584	44	34,6	11,0	11,6

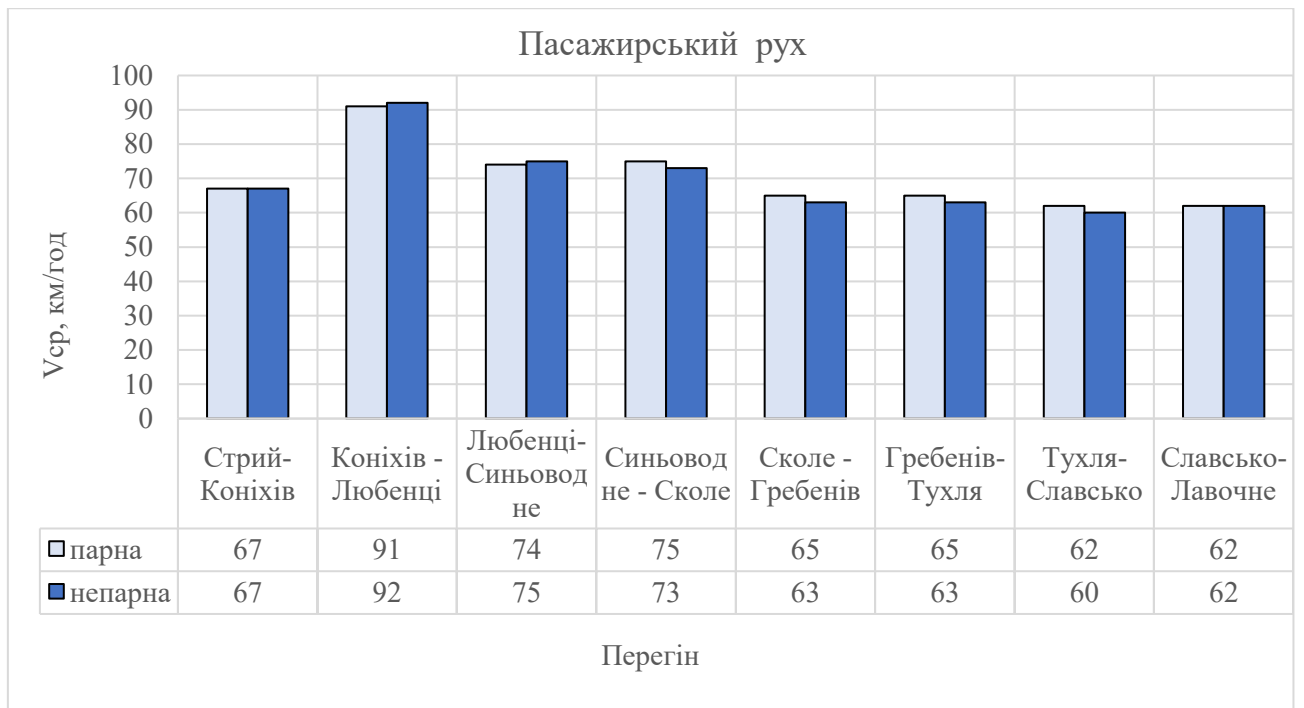


Рисунок 2.7 – Час руху по перегонам

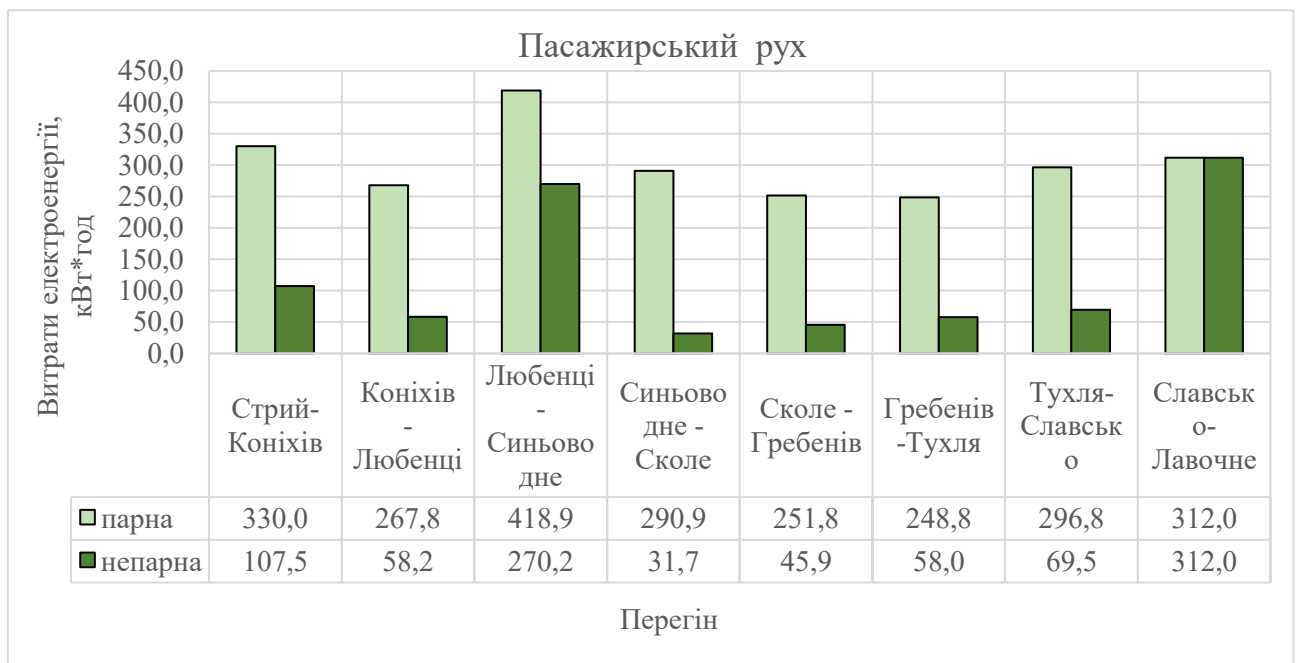


Рисунок 2.8 – Витрати електроенергії на ділянці в парному та непарному напрямках

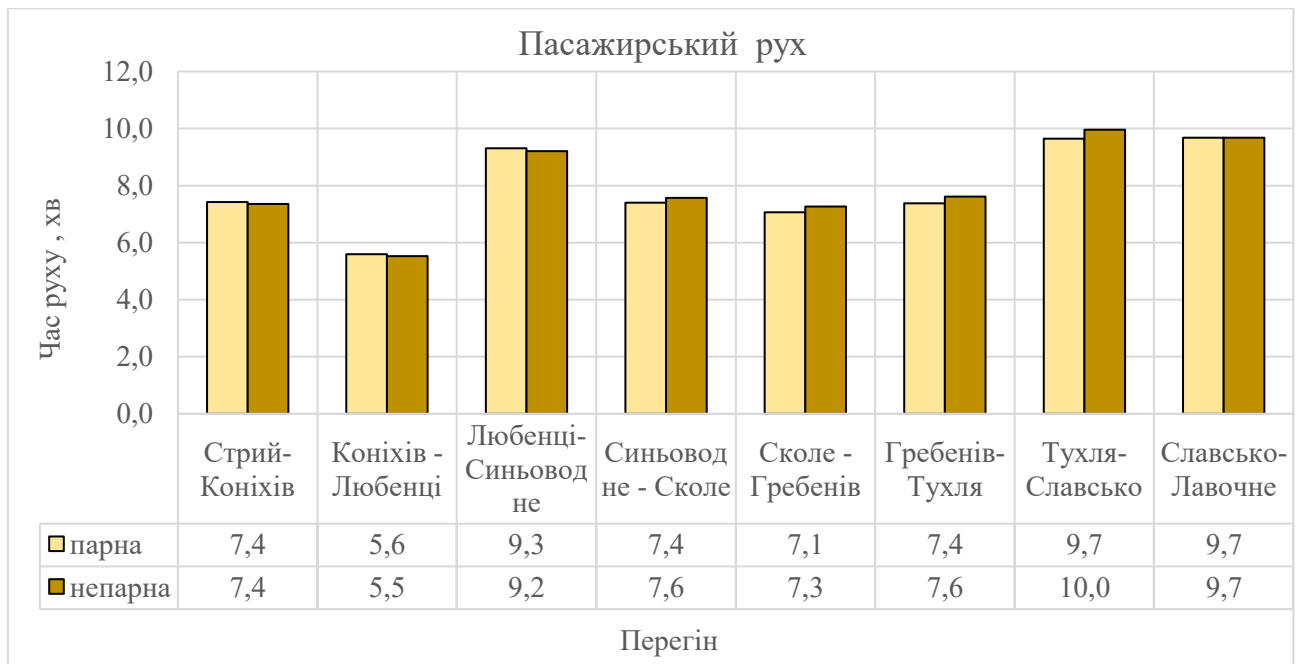


Рисунок 2.9 – Середня ходова швидкість на ділянці в парному та непарному напрямках

Аналіз тягових розрахунків показав, що ділянка Стрий – Лавочне характеризується складним гірським профілем із значними ухилами та кривими малого радіуса, що безпосередньо впливає на експлуатаційні параметри руху пасажирських поїздів. Середньоходова швидкість підтримується на рівні 60 – 75 км/год, однак на окремих перегонах спостерігається її зниження до мінімальних значень через підвищений опір руху. У парному напрямку витрати електроенергії та механічної роботи значно вищі, ніж у непарному, що зумовлено тривалими рухами на підйом. Найбільш проблемними є перегони Любенці – Синьоводне, Синьоводне – Сколе, Тухля – Славсько та Славсько – Лавочне, які слід розглядати як пріоритетні бар’єрні місця для реконструкції. Отримані результати підтверджують необхідність удосконалення плану і профілю колії з метою підвищення швидкості та енергоефективності руху поїздів.

Для вантажного рухомого складу тягові розрахунки по перегонам наведені в таблиці 2.2 та рисунках 2.10– 2.12.

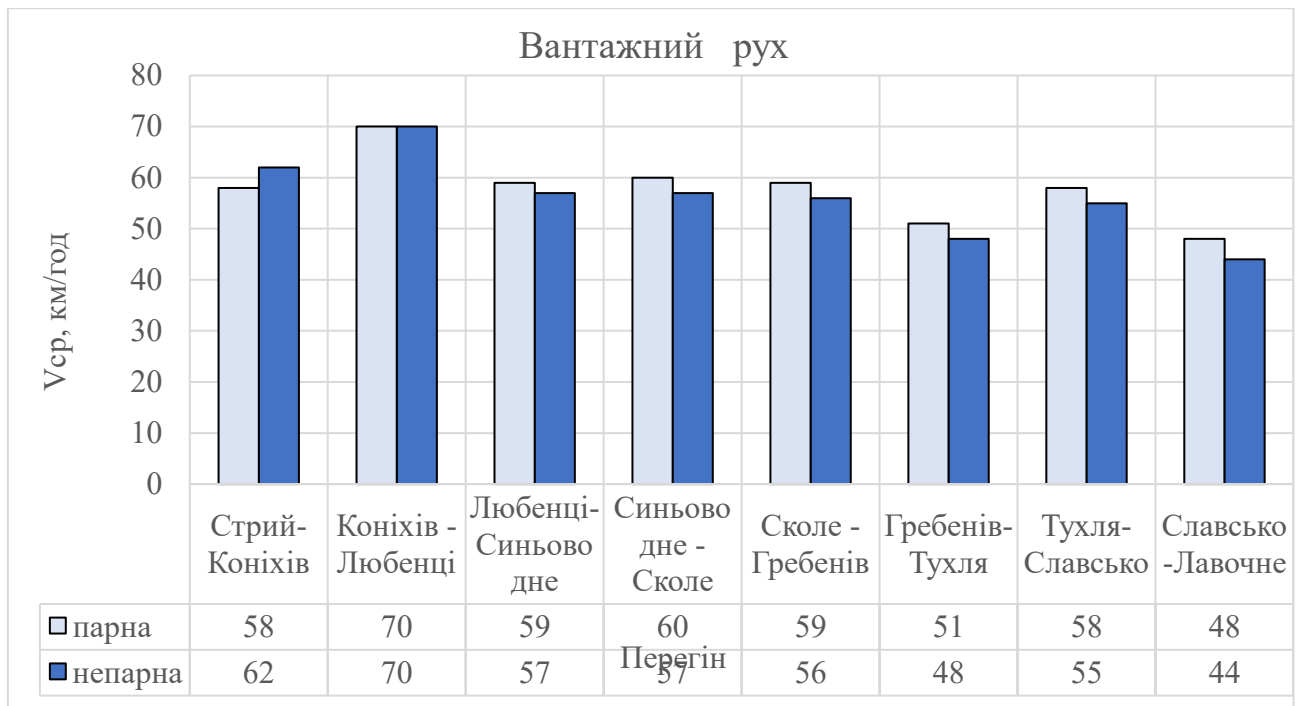


Рисунок 2.10 – Час руху по перегонам

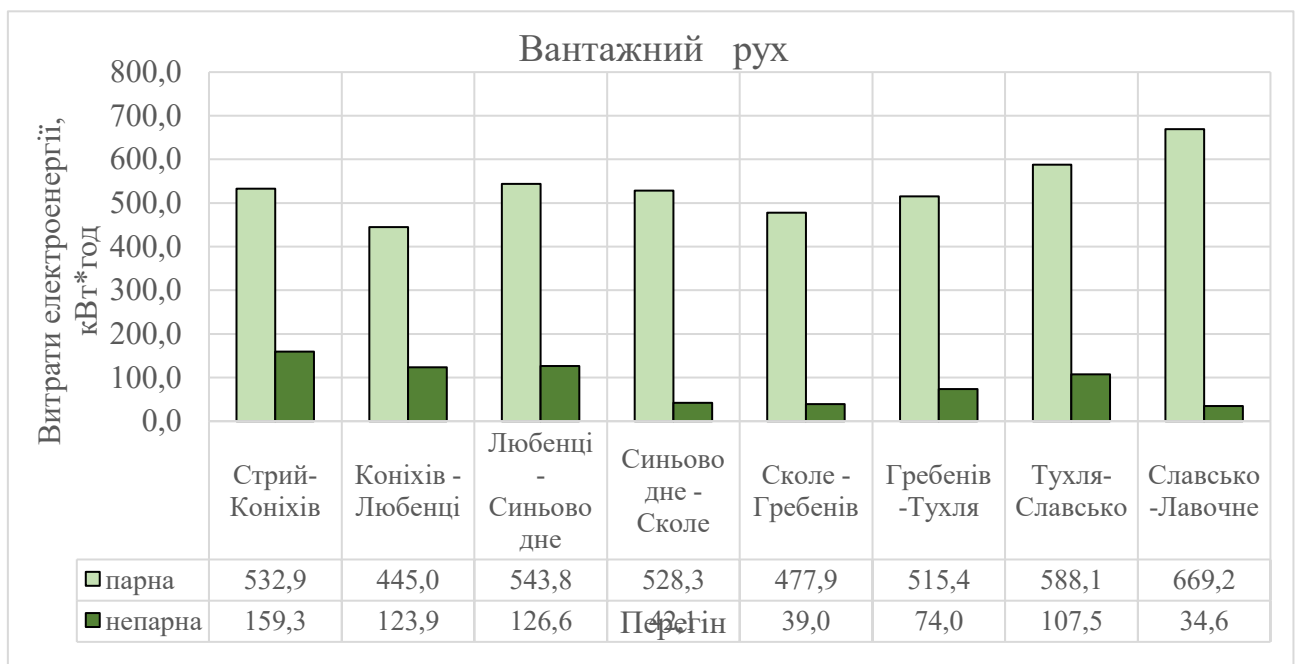


Рисунок 2.11 – Витрати електроенергії

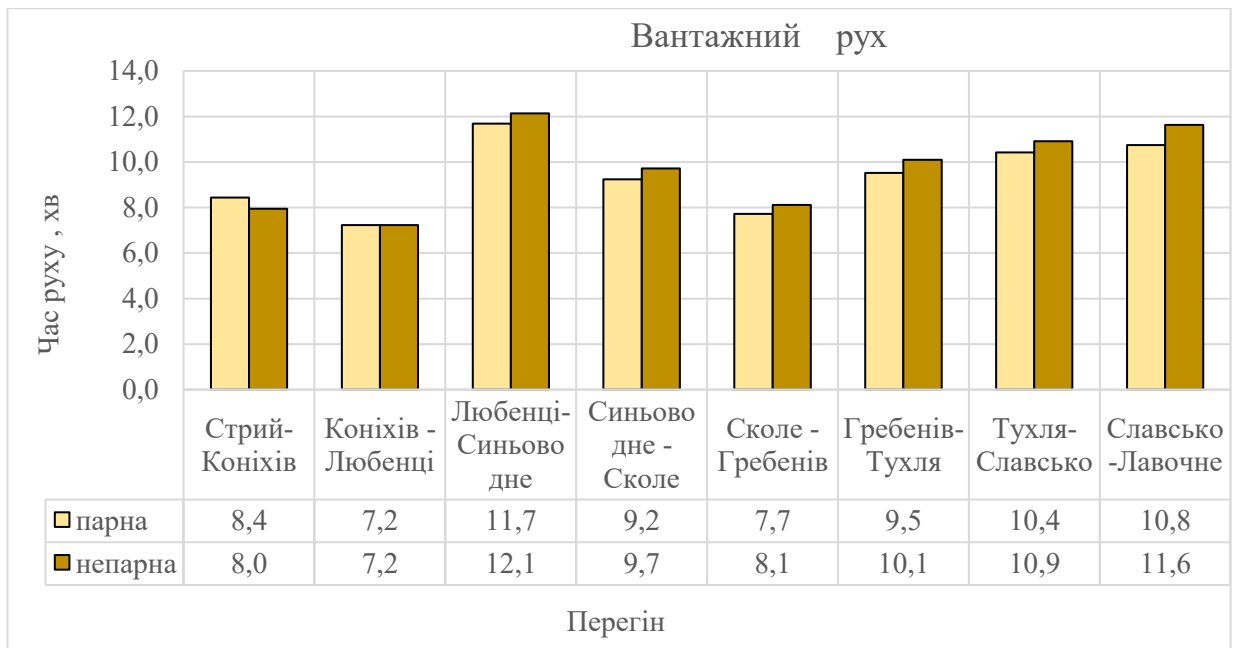


Рисунок 2.12 – Середня ходова швидкість

Аналіз результатів тягових розрахунків для вантажного руху на ділянці Стрий – Лавочне підтверджує, що складний гірський профіль із затяжними підйомами та численними кривими малого радіуса істотно впливає на експлуатаційні параметри поїздів великої маси. Середньоходова швидкість у вантажному русі є нижчою, ніж у пасажирському, і коливається в межах 48–70 км/год, що зумовлено підвищеними опорами руху та потребою забезпечення стійкого зчеплення. У парному напрямку спостерігається значне зростання витрат електроенергії – до 500–660 кВт·год на окремих перегонах, що в 4–6 разів перевищує непарний напрямок, де переважають спуски. Найвищі значення механічної роботи та часу ходу фіксуються на перегонах Любенці – Синьоводне, Тухля – Славсько та Славсько – Лавочне, що вказує на їхню роль як ключових бар’єрних місць для вантажних поїздів. Загалом результати розрахунків демонструють, що профіль ділянки суттєво обмежує пропускну та провізну спроможність, а її модернізація (збільшення радіусів кривих, оптимізація ухилів) має високу техніко-економічну доцільність як для пасажирського, так і для вантажного руху.

Результати тягових розрахунків для пасажирського та вантажного наведені у додатку А і Б.

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Дослідження впливу параметрів плану на допустимі швидкості руху поїздів

Параметри плану залізничної колії є основою забезпечення безпечного та ефективного руху поїздів. Геометричні елементи – радіуси кругових кривих, довжини перехідних кривих, величини кутів повороту та співвідношення між прямими і кривими ділянками – визначають динаміку взаємодії рухомого складу з колією, рівень навантаження на елементи верхньої будови та допустимі швидкості руху. Як зазначено у працях Кургана М. Б., Байдака С. Ю. та співавторів, саме геометрична нерівномірність траси (малі радіуси, короткі перехідні криві, різкі профільні переломи) формує підвищені поперечні сили, збільшує непогашене прискорення та знижує динамічну стійкість рухомого складу на кривих [11].

Зокрема, у роботі [12] показано, що оптимізація параметрів кривих на плані за допомогою комп'ютерного моделювання (зокрема систем RWPlan та MoveRW) дозволяє суттєво зменшити динамічні навантаження на колію, мінімізувати бокові сили та підвищити рівень безпеки руху поїздів. Автори підкреслюють, що збільшення радіусів кривих навіть на 20–40% забезпечує зниження непогашеного прискорення та дає можливість підвищити допустиму швидкість на 10–15 км/год без додаткового посилення конструкції верхньої будови колії. У статті також доведено, що оптимізація плану є одним із найбільш ефективних методів усунення бар'єрних місць на гірських ділянках, де геометрія траси є головним стримувальним фактором для швидкості та енергоефективності руху.

Таким чином, результати сучасних наукових досліджень підтверджують, що раціоналізація параметрів плану колії, зокрема збільшення радіусів і подовження перехідних кривих, є ключовим напрямом удосконалення інфраструктури для забезпечення безпечного, стабільного та високошвидкісного руху поїздів на складних гірських ділянках.

3.2 Перебудова плану лінії з використанням програми RWPlan

Програма RWPlan широко застосовується в практиці залізничного проєктування, оскільки забезпечує високу точність розрахунків, оперативність отримання результатів і можливість комплексної оцінки геометричних елементів траси [13].

Розрахунок параметрів плану протяжних залізничних ділянок є ключовим етапом проєктування та реконструкції колії, особливо в умовах складного рельєфу та наявності бар'єрних місць. Для таких задач необхідні точні обчислення геометрії кривих, оцінювання плавності трасування, визначення допустимих швидкостей руху [14] та формування варіантів оптимізації плану. Програма RWPlan забезпечує комплексну підтримку цих процесів, виконуючи автоматичні розрахунки геометричних параметрів, перевірку нормативної відповідності та моделювання змін плану. Застосування RWPlan дозволяє скоротити час проєктування, підвищити точність трасування та обґрунтувати оптимальні інженерні рішення під час реконструкції довгих ділянок залізничної лінії.

На рисунку 3.1 наведена алгоритм послідовності виконання розрахунків.

Розрахунки з обґрунтування ефективності усунення бар'єрних місць при проєктуванні реконструкції ділянки залізниці виконуються за такою послідовністю.

1. Формування вихідних даних плану колії

На першому етапі задаються вихідні геометричні параметри плану колії, які включають: пікетаж характерних точок (ПК); радіуси кругових кривих R ; довжини перехідних кривих L ; кути повороту траси Δ .

Ці дані формують основу для побудови координатної та евольвентної моделей у програмі RWPlan.

2. Визначення допустимих швидкостей для існуючого стану.

На основі вихідних параметрів плану виконується розрахунок максимально допустимих швидкостей руху поїздів для існуючого стану колії з урахуванням нормативних обмежень.

3. Виявлення бар'єрних місць.

За результатами аналізу допустимих швидкостей визначаються бар'єрні місця, до яких належать: криві малого радіуса; недостатні довжини перехідних кривих; ділянки з обмеженнями швидкості руху. Ці елементи є основними об'єктами для подальшої оптимізації.

4. Формування варіантів оптимізації.

На основі виявлених бар'єрних місць формуються варіанти оптимізації плану, які передбачають зміну геометричних параметрів кривих з метою підвищення допустимих швидкостей та покращення експлуатаційних показників.

5. Розбиття ділянки на частини.

Для підвищення ефективності розрахунків довгі ділянки з великою кількістю кривих розбиваються на окремі частини, які оптимізуються незалежно одна від одної.

6. Задання критеріїв оптимізації

Оптимізація кожної частини виконується за такими основними критеріями: мінімізація сумарних зсувів осі колії $\sum \Delta y_i \rightarrow \min$; мінімізація обсягів баласту та земляних робіт $\sum B \rightarrow \min$.

7. Оптимізація окремих частин ділянки

Для кожної частини ділянки окремо виконується оптимізація параметрів плану з підбором: радіусів кривих R; довжин перехідних кривих L; допустимих швидкостей V_{\max} .

8. Оптимізація всієї ділянки

Після оптимізації окремих фрагментів здійснюється їх об'єднання в єдину модель плану, що дозволяє отримати узгоджений варіант реконструйованої ділянки.

9. Порівняння варіантів «до» і «після» оптимізації

На цьому етапі виконується порівняльний аналіз показників для існуючого та оптимізованого планів, зокрема: допустимих швидкостей руху; величин зсувів осі колії.

10. Експорт даних до програми MoveRW.

Оптимізовані параметри плану експортуються до програмного комплексу MoveRW для виконання тягових і енергетичних розрахунків.

11. Порівняння тягово-енергетичних показників.

На завершальному етапі здійснюється порівняння: витрат електроенергії; часу руху поїздів; середньоходових швидкостей для різних варіантів плану та зон швидкостей, що дозволяє оцінити техніко-економічну ефективність запропонованих рішень.

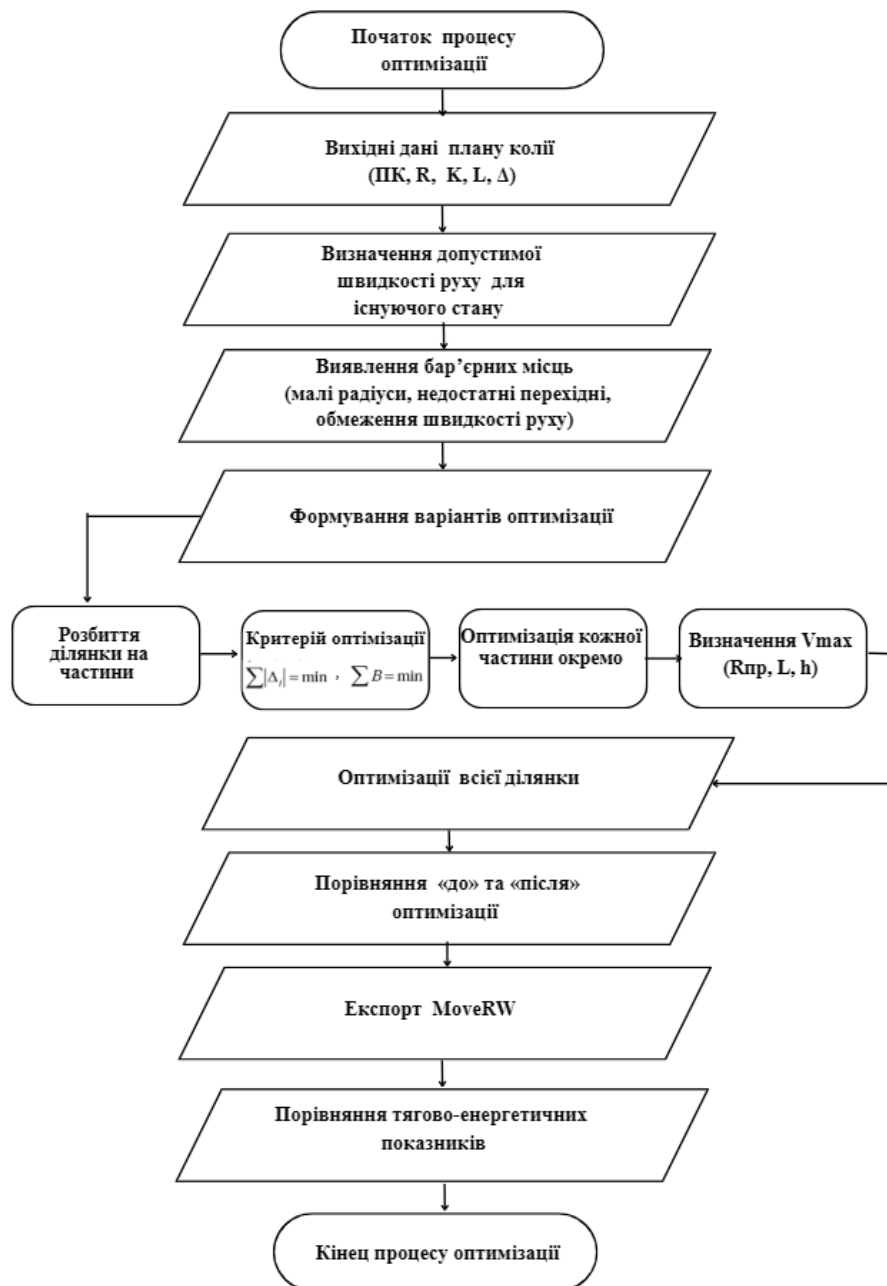


Рисунок 3.1 – Послідовність виконання оптимізації ділянки

Після вибору пункту меню «Редагування/Розбити ділянку на частини» пропонується зробити вибір типу розбиття – по точках зйомки або по прямих проектного рішення в координатній моделі.

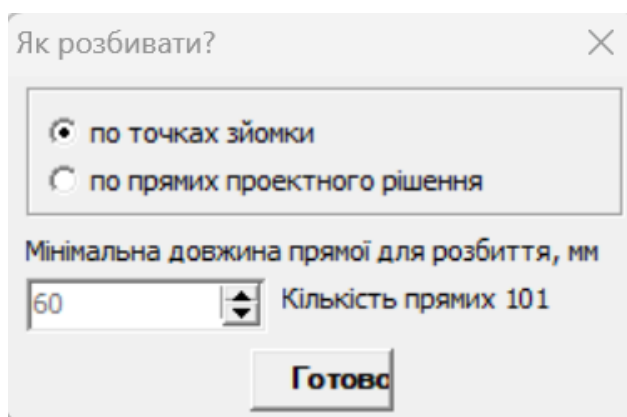


Рисунок 3.2 – Метод розбиття ділянки

При виборі розбиття по точках зйомки з'являється вікно, яке пропонує вказати, яка кривизна на прямій допустима для автоматичного розбиття на частини (рисунок 3.3).

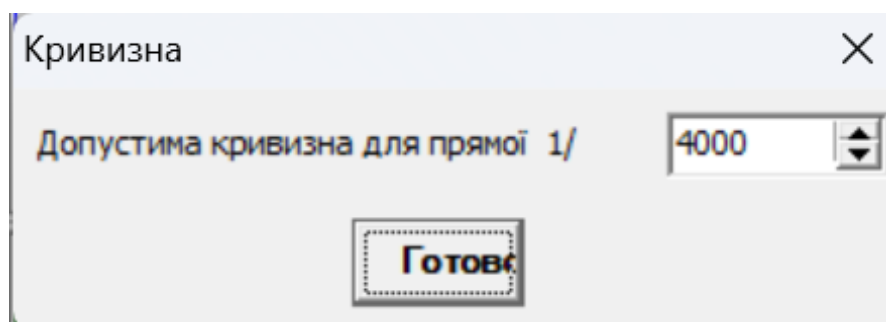


Рисунок 3.3 – Допустима кривизна для прямої

Допустимий діапазон залежить від кривизни, при якій можна сполучати пряму з круговою кривою без перехідної кривої, і від максимального радіусу зламу. Чим менший знаменник буде вказаний в цьому вікні, тим більше частин буде отримано в результаті розбиття.

Після цього з'являється вікно введення точок розбиття, кутограма і кривизна ділянки (рисунки 3.4, 3.5).

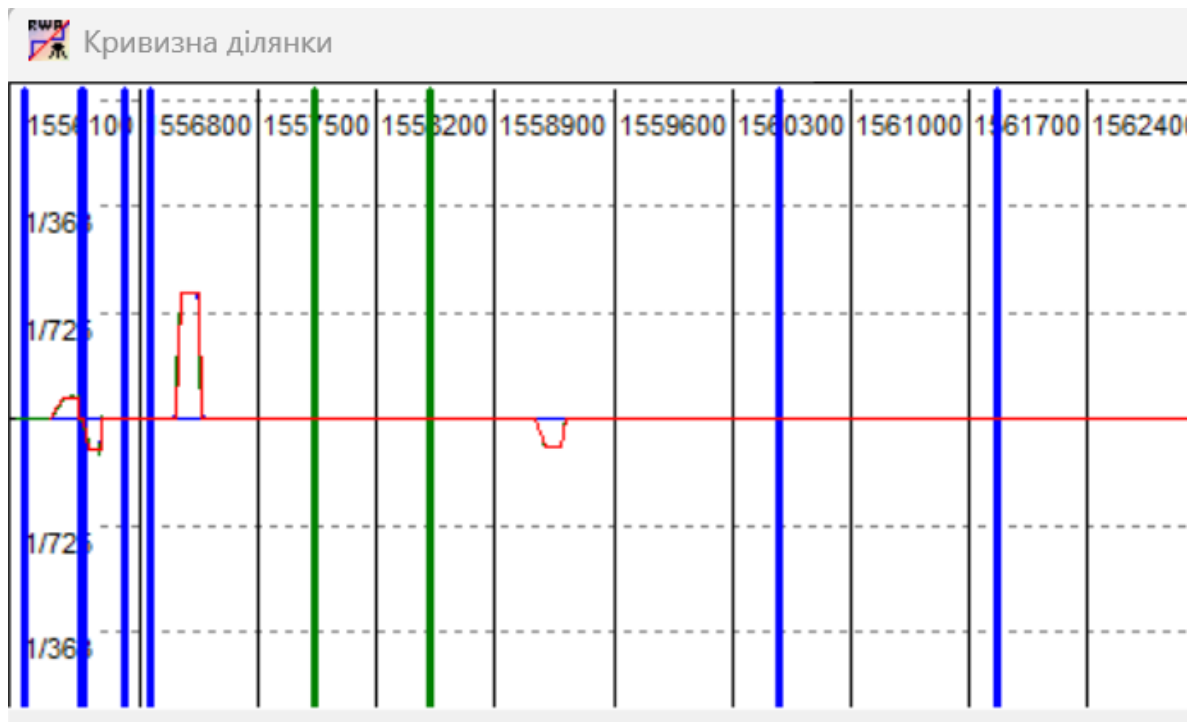


Рисунок 3.4 – Кривизна ділянки

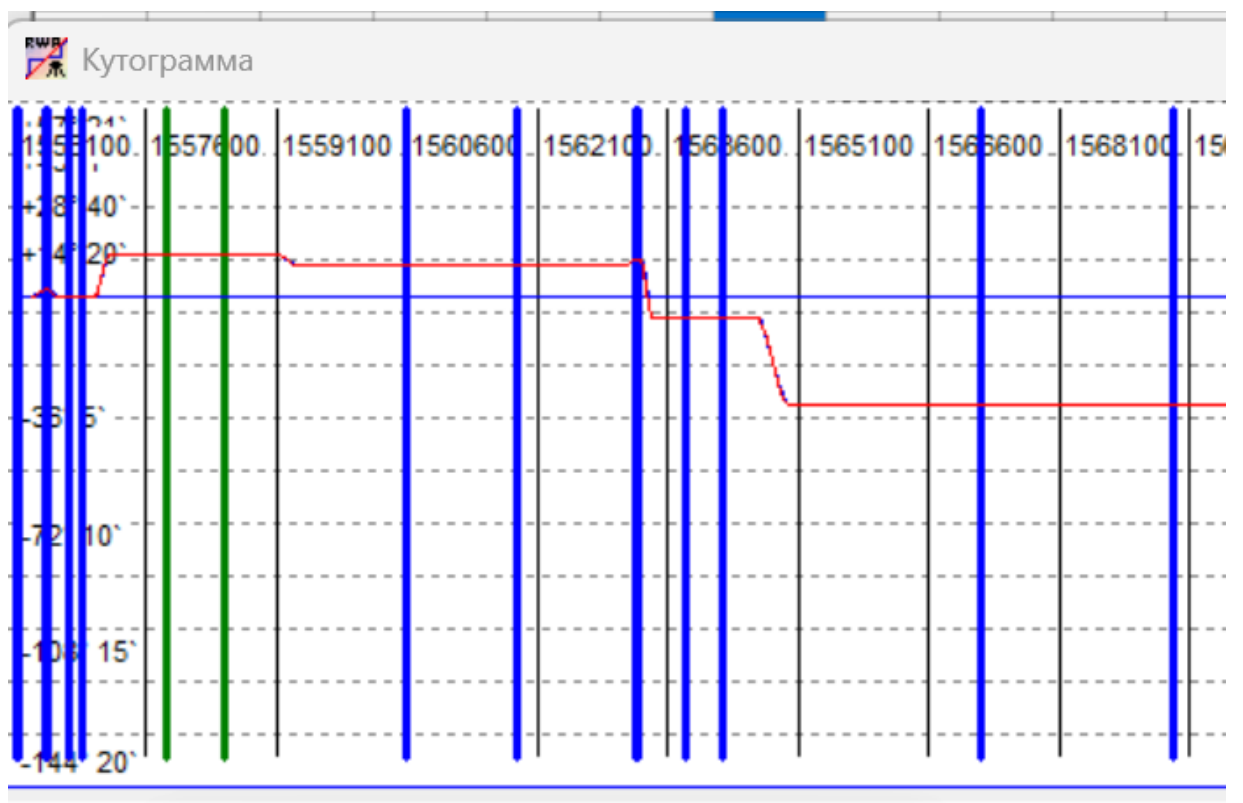


Рисунок 3.5 – Кутограма ділянки

Набір пар точок можна зберегти в текстовому файлі і в подальшому читати цей файл для повторення або коректування розбиття (рисунок 3.6).

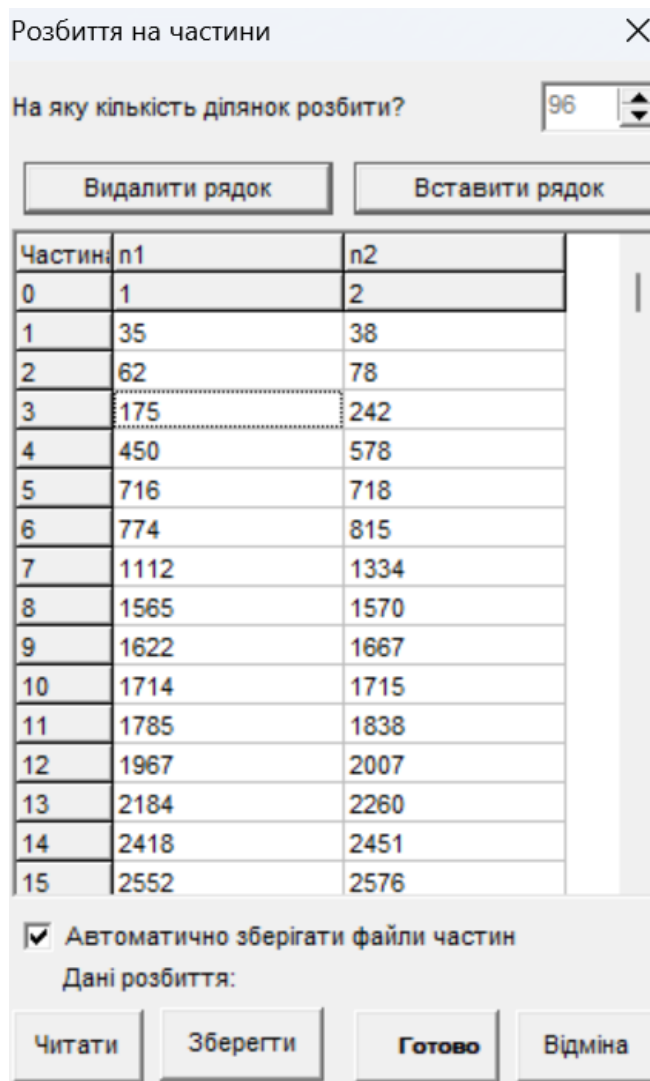


Рисунок 3.6 – Вікно границь частин, на які розбитий план

Значним показником у програмі є кількість ділянок постійної кривизни. До таких ділянок відносяться прямі та чисті перехідні криві одного чи різних напрямків. Вони як правило з'єднуються перехідними кривими які можуть мати і нульову довжину. Важливо вірно задати кількість ділянок постійної кривизни і сторонність першої кривої.

Для прикладу візьмемо ділянку під номером 2. На рисунку 3.7 наведена крива, її параметри та максимально допустима швидкість руху до оптимізації.

n	L	R	K	h	i	\bar{V}	V_a	V_e	V_{a2}	V_{a1}	\bar{V}_2	V_{a1}	\bar{V}_S	V_{aS}	V_{a2}	max	$V_{a\bar{a}}$
	30				1		86	120									
1		-615	134	30		84										77	
	20				1,5		77	90									

Рисунок 3.7 – Параметри кривої та допустима швидкість руху до оптимізації

На першому етапі оптимізації необхідно задати кількість ділянок постійної кривизни і сторонність кривої (рисунок 3.8).

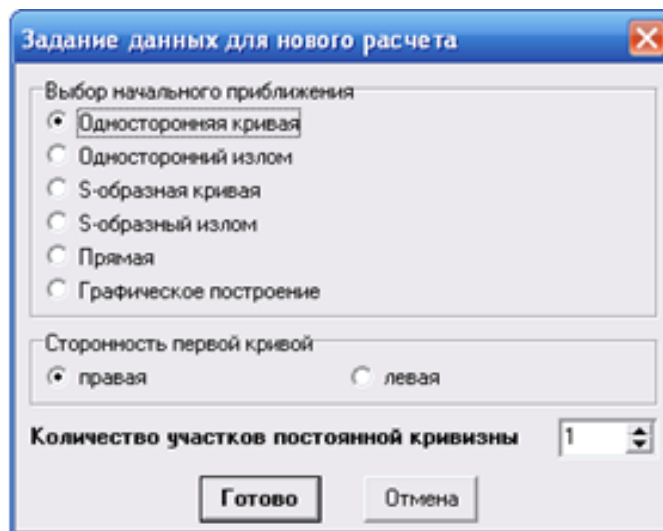


Рисунок 3.8 – Вибір початкового наближення

Перед початком оптимізації перевіряємо розрахункові значення. Задаємо швидкість на ділянці та максимальну величину зсувів. Якщо ці норми не виконуються поступово зменшується швидкість. Після оптимізації отримуємо евольвентну модель, яка задовольняє всім вимогам по швидкості та зсувам. Після цього створюємо координатну модель та оптимізуємо її. При даній оптимізації виконується згладжування складових частин моделі (рисунок 3.9).

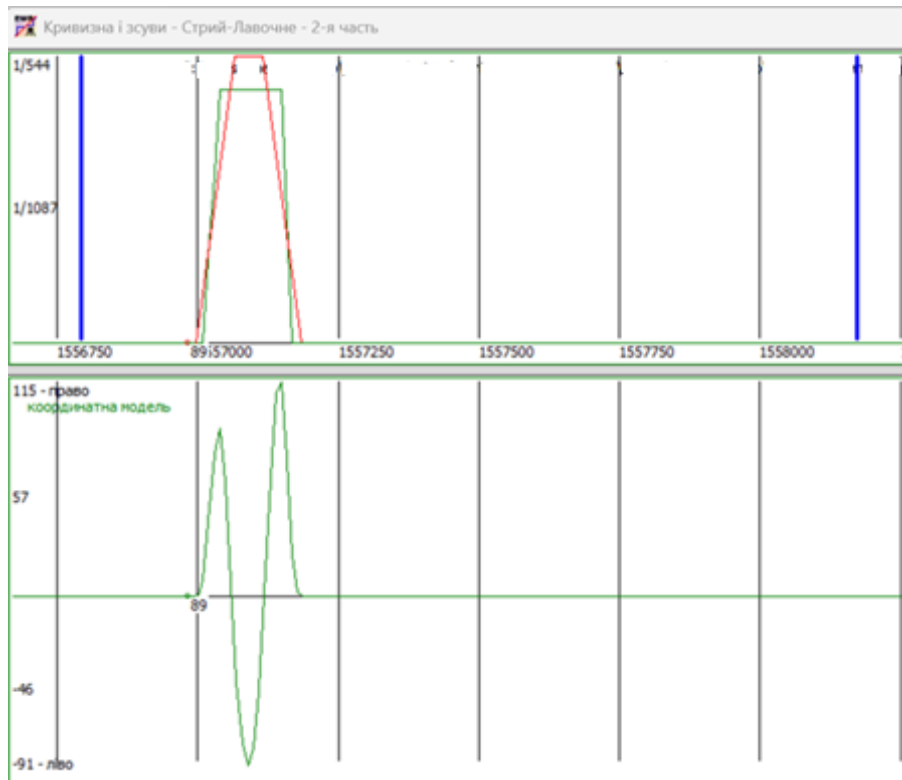


Рисунок 3.9 – Графік кривизни та зсуви після оптимізації

Після оптимізації визначаємо допустимі швидкості руху для пасажирського та вантажного руху поїздів.

Розрахунок підвищень та допустимих швидкостей

Середньозважена швидкість ($V_{ср}$) на ділянці, км/год: Графік підвищень

Допустиме непогашене прискорення, м/с²: Допустима швидкість зростання прискорення, м/с³: Допустима швидкість опускання колеса, мм/с:

Враховувати обмеження V по ухилу відводу, а не по V_k

Враховувати обмеження на значення підвищень

h - підвищення зовнішньої рейки, мм, i - ухил відводу підвищення у тисячних

Позначення причин обмеження швидкостей: НП - непогашене прискорення; V_a - швидкість зростання прискорень; V_k - швидкість опускання колеса; Далі для складених кривих: V_{aL2} - зростання прискорень на сусідніх перехідних; V_{aL1} - зростання прискорень на одній з перехідних; НП2 - непогашене прискорення на сусідніх кривих; $V_{aП}$ - зростання прискорень на прямій вставці; НПС - непогашене прискорення на S-кривій; V_{aS} - зростання прискорень на S-кривій; V_{a2} - зростання прискорень на односторонніх кривих; $max\ 1, 2$ - максимально-допустимі на даній кривій; $V_{вт}$ - min-max швидкість для вантажних поїздів.

$V_{max}=90\ V_{\dot{a}}=27-72$

n	L	R	K	h	i	НП	V_a	V_k	V_{aL2}	V_{aL1}	НП2	$V_{aП}$	НПС	V_{aS}	V_{a2}	max1	max2	V	вт	$V_{ср}$
	60				1.1		109	93												
1		574	65	65		90									90	90	27	72		50
	60				1.1		109	93												

Рисунок 3.10 – Параметри кривої та допустима швидкість руху до

оптимізації

Параметри кривої до оптимізації та після наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри 3-ї кривої до та після оптимізації

Параметри кривої до і після оптимізації				
L, м	R, м	K, м	Підвищення h, м	Швидкість V, км/год
до оптимізації				
30	615	158,81	30	77
20				
після оптимізації				
60	575	161,01	50	90
50				

За викладеною методикою виконуються окремо для кожної частини ділянки, на які попередньо було розбито. Після завершення оптимізації всіх частин здійснюється їх об'єднання в єдину модель плану ділянки. Для поєднаних ділянок координатної зйомки, а також у випадку використання зйомки всієї ділянки, у програмі RWPlan передбачена можливість відкривати та редагувати параметри моделі по частинах, що суттєво спрощує аналіз та коригування геометрії.

На початковому етапі необхідно обрати тип моделі для кожної частини ділянки – координатну або евольвентну. Координатна модель використовується для відтворення фактичного положення осі колії за результатами зйомки, тоді як евольвентна модель застосовується для проектування та оптимізації параметрів кривих. При виборі евольвентної моделі допускається відкриття окремих фрагментів координатної моделі за умови відключення опції автоматичного зчитування файлів, що дозволяє уникнути конфліктів між різними типами даних.

Після вибору типу моделі виконується збереження файлу координатної зйомки, а також окремо параметрів координатної моделі та параметрів евольвентної моделі. Такий підхід забезпечує можливість подальшого аналізу як існуючого положення колії, так і проектного варіанта плану.

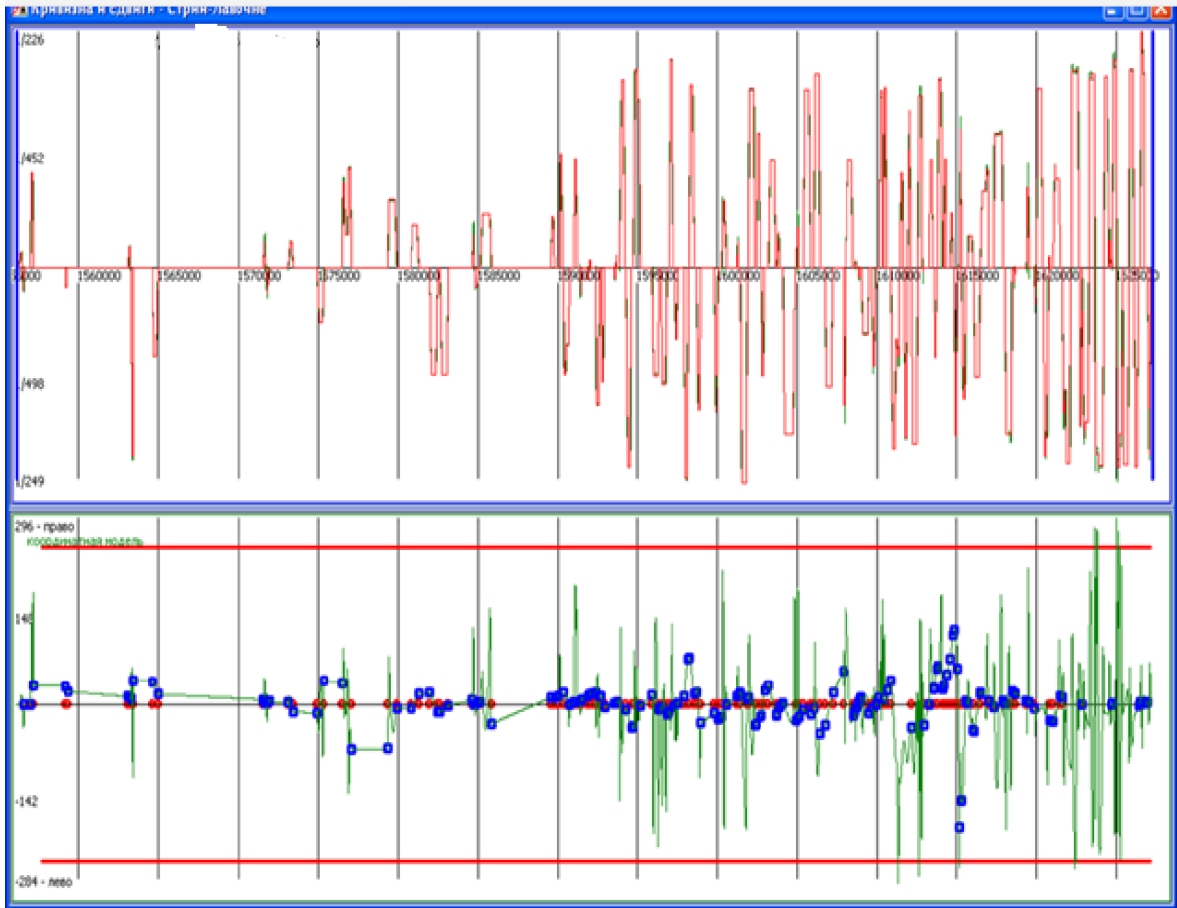


Рисунок 3.11 – Графік кривизни і зсувів для всієї ділянки

У результаті виконаних операцій формується зведений графік зсувів осі колії по всій довжині ділянки, який відображає величини та характер поперечних зміщень осі колії відносно існуючого положення. Отриманий графік дозволяє оцінити узгодженість окремих оптимізованих фрагментів між собою, виявити локальні зони максимальних зсувів та визначити ділянки, де реконструкція може бути ускладнена наявністю штучних споруд або обмежень місцевості (рисунок 3.11).

Результати параметрів кривих після оптимізації та визначення допустимих швидкостей для пасажирських і вантажних поїздів наведені у додатку В.

3.3 Визначення величини підвищення зовнішньої рейки за максимальною допустимою швидкістю після оптимізації

Для визначення можливих швидкостей руху поїздів на ділянці Стрий – Лавочне використовується програмний комплекс RWPlan, який забезпечує

розрахунок максимально допустимих швидкостей з урахуванням фактичних параметрів плану залізничної колії. Розрахунок допустимих швидкостей для існуючої лінії виконується за допомогою інструментів меню «Сервіс», що дозволяють здійснювати автоматизований аналіз геометричних параметрів кривих на відповідність чинним нормативним вимогам.

Розрахунок допустимих швидкостей для існуючих кривих потребує задання фактичних або проєктних значень підвищення зовнішньої рейки, оскільки саме цей параметр визначає рівень компенсації відцентрових сил при русі поїздів у кривих ділянках [15]. У зв'язку з цим на першому етапі задається середньозважена швидкість руху, яка найбільш повно характеризує реальні умови експлуатації досліджуваної ділянки.

На другому етапі виконується підбір величини підвищення зовнішньої рейки відповідно до максимально допустимої швидкості руху, що дозволяє забезпечити дотримання нормативних обмежень щодо величини непогашеного поперечного прискорення, а також вимог безпеки та комфортності руху поїздів. Підбір підвищення здійснюється з урахуванням допустимих меж, установлених чинними нормативними документами, і специфіки експлуатації колії.

У результаті розрахунків визначаються максимально допустимі швидкості руху поїздів у кожній кривій, що дає змогу виявити ділянки з обмеженою швидкістю та віднести їх до потенційних бар'єрних місць на досліджуваній ділянці залізниці.

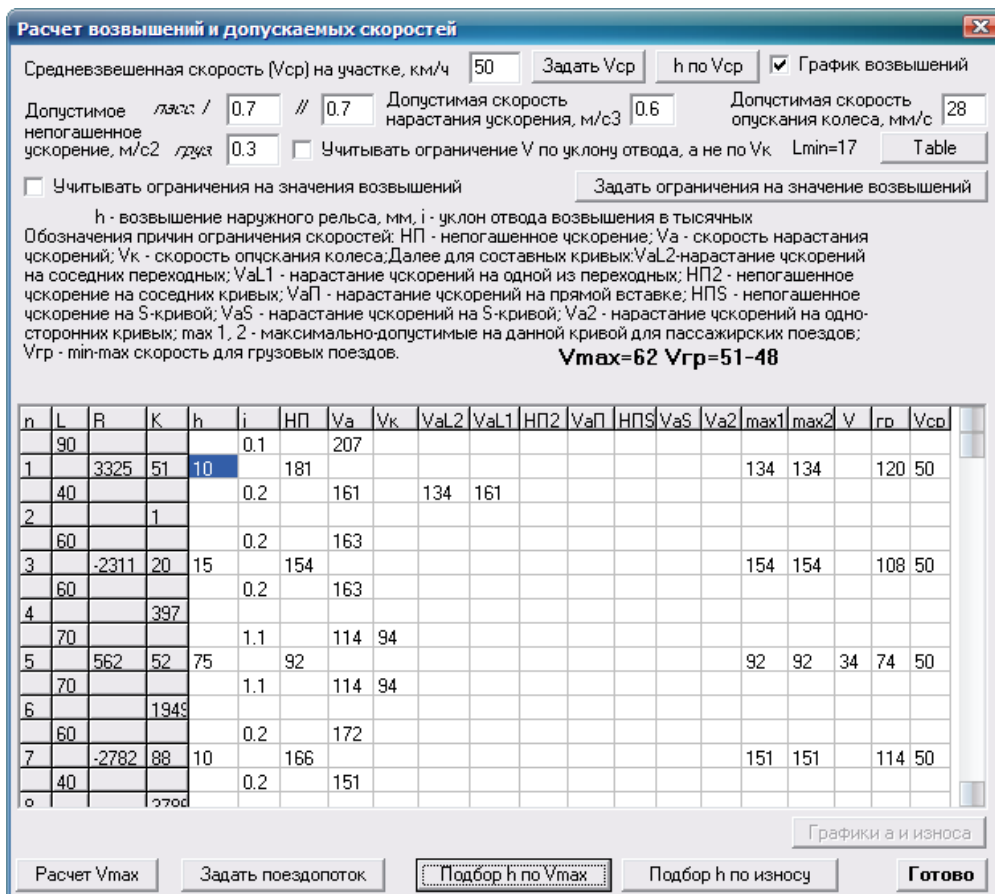


Рисунок 3.12 – Розрахунок підвищень і швидкості

В результаті підрахунку створюється текстовий файл з розширенням *.spp і будується графік допустимих швидкостей.

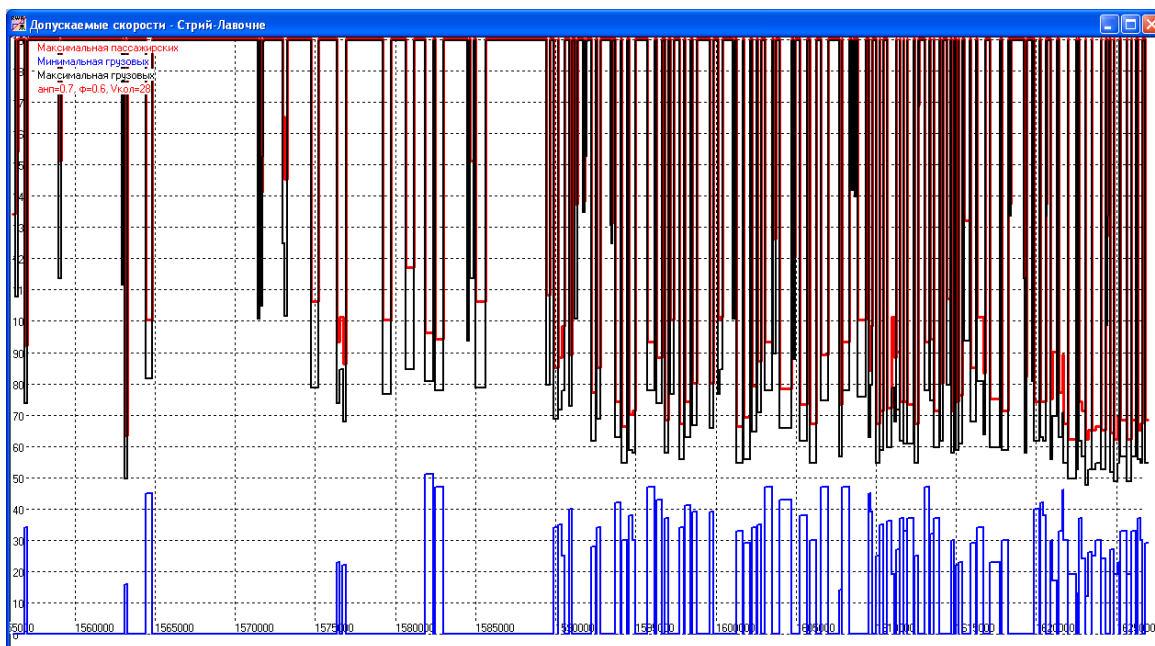


Рисунок 3.13 – Графік допустимих швидкостей

На графіку показано максимальна швидкість руху пасажирських поїздів, мінімальна та максимальна швидкість вантажних поїздів.

Таким чином викладена методика перевлаштування плану ділянок з великою кількістю кривих дає можливість виконати тягові розрахунки і порівняти з існуючим планом.

3.4 Обґрунтування ефективності підвищення швидкості руху на ділянці Стрий – Лавочне

Оскільки результати початкових розрахунків наочно відображають характер зміни швидкісних режимів на окремих перегонах, це створює передумови для більш детального аналізу та формування обґрунтованих висновків щодо можливостей підвищення швидкостей руху на ділянці Стрий – Лавочне. З метою поглибленого дослідження впливу різних швидкісних умов на експлуатаційні показники та подальшого виконання тягових розрахунків доцільно розглянути кілька варіантів зон швидкостей, за якими здійснюватиметься моделювання руху поїздів.

Для пасажирського руху прийнято такі варіанти:

- перший варіант – існуючий план лінії з чинними обмеженнями швидкості;
- другий варіант – проектний план лінії при збереженні існуючих обмежень швидкості;
- третій, четвертий, п'ятий та наступні варіанти – поетапна зміна швидкостей руху на станціях і перегонах з урахуванням можливостей удосконалення геометрії плану, технічного стану інфраструктури та умов експлуатації.

Запропонований підхід дозволяє порівняти різні сценарії організації руху пасажирських поїздів, оцінити потенційний ефект від реконструкції плану колії та сформувані обґрунтовані рекомендації щодо доцільності підвищення швидкостей на досліджуваній ділянці.

Результати розрахунків пасажирського руху наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків пасажирського руху

Варіанти		Напрямок	$V_{\text{ср}}$, км/год	Витрати електроенергії, кВт-год	Час руху, хв
1	Існуючий план	парна	65	2541,1	66,2
		непарна	64	707,8	62,5
2	Проектний план з існуючими обмеженнями	парна	68	2429	62,9
		непарна	67	502	64,3
3	Станція – 80 км/год; Перегін – 100 км/год	парна	74	1772	57,7
		непарна	73	474	58,7
4	Станція – 80 км/год; Перегін – 120 км/год	парна	75	1839	57,2
		непарна	75	577	58,0
5	Станція – 80 км/год; Перегін – 130 км/год	парна	75	1853	57,1
		непарна	74	606	57,8

Результати розрахунків пасажирського руху наведені на рисунках 3.14 - 3.15.

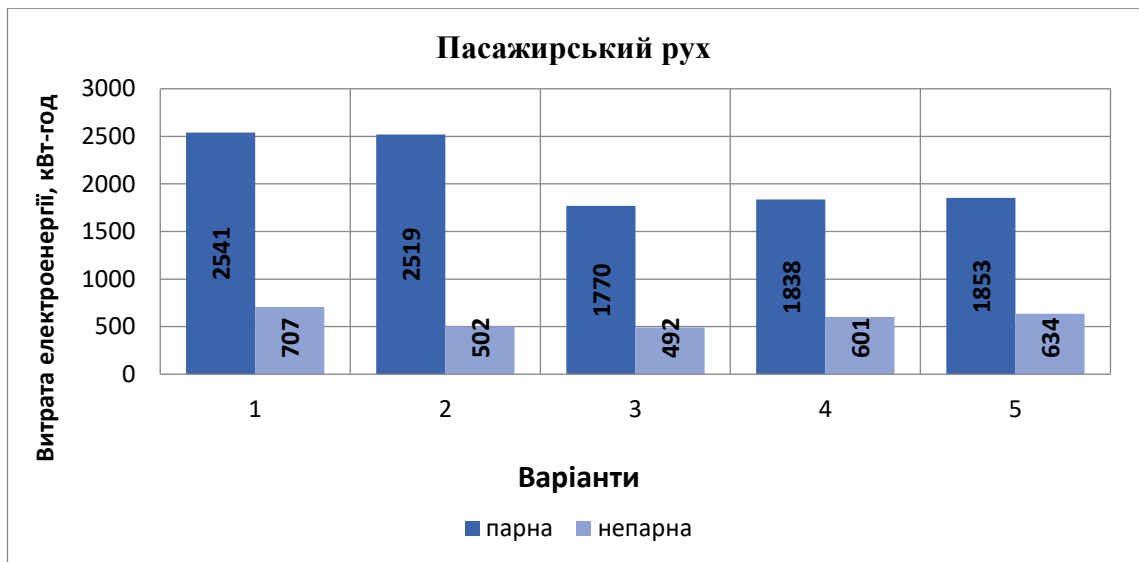


Рисунок 3.14 – Витрати електроенергії пасажирського рухомого складу

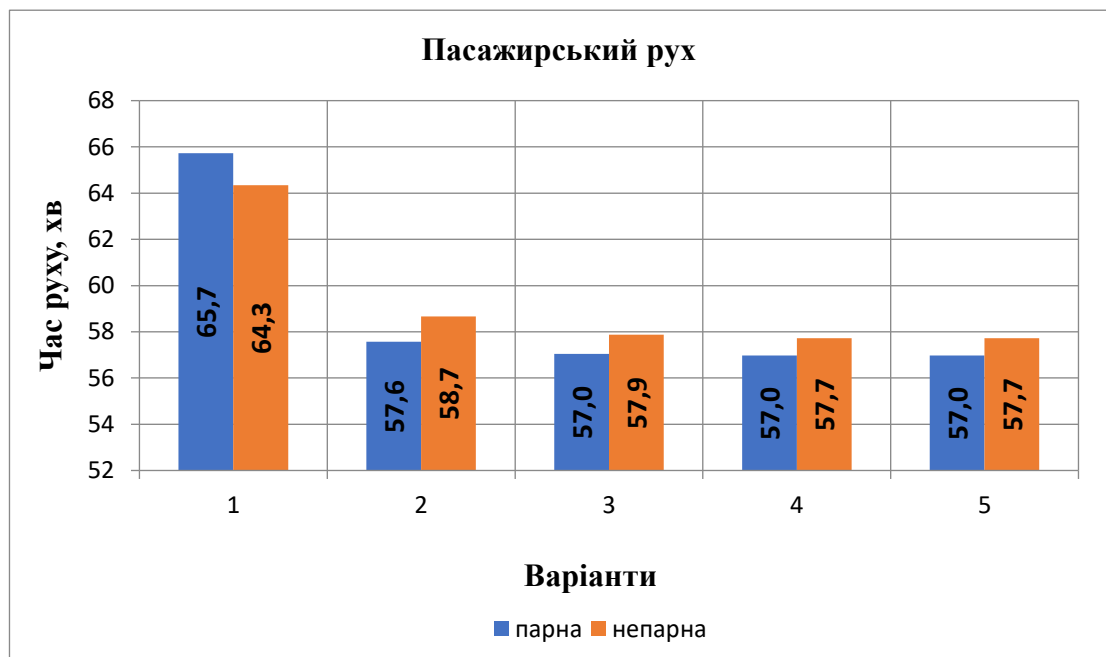


Рисунок 3.15 – Часу руху пасажирського рухомого складу

Для вантажного руху були розглянуті наступні варіанти: перший – існуючий, другий – проектний з встановленими існуючими швидкостями, далі варіанти зміни швидкості по станціям та перегонам.

Аналіз результатів тягових розрахунків для різних варіантів зон швидкостей показує чітку залежність між рівнем допустимих швидкостей, часом руху поїздів та витратами електроенергії, а також істотний вплив напрямку руху (парний / непарний).

Варіант 1 – існуючий план

Для існуючого плану лінії середньохорова швидкість становить 64 - 65 км/год, при цьому фіксується найбільший час руху (66,2 хв у парному напрямку) та максимальні витрати електроенергії, особливо у парному напрямку (2541,1 кВт·год). Це свідчить про значні швидкісні обмеження та низьку енергоефективність чинного плану колії.

Варіант 2 – проєктний план з існуючими обмеженнями

Перехід до проєктного плану без зміни швидкісних обмежень дозволяє дещо підвищити середню швидкість (до 67–68 км/год) і зменшити витрати електроенергії (приблизно на 4–5% у парному напрямку). Водночас скорочення часу руху є незначним, що вказує на обмежений ефект реконструкції без зміни швидкісних режимів.

Варіант 3 – станція 80 км/год, перегін 100 км/год

Підвищення швидкості на перегонах до 100 км/год забезпечує суттєве зростання середньохорової швидкості (до 73–74 км/год) та скорочення часу руху на 8–9 хв порівняно з існуючим варіантом. Одночасно спостерігається значне зменшення витрат електроенергії у парному напрямку (до 1772 кВт·год), що свідчить про оптимальне співвідношення швидкості та енерговитрат.

Варіанти 4 і 5 – подальше підвищення швидкості на перегонах

Подальше збільшення допустимої швидкості на перегонах до 120–130 км/год не приводить до істотного зростання середньохорової швидкості (вона стабілізується на рівні 74–75 км/год), тоді як витрати електроенергії знову починають зростати, особливо у парному напрямку. Скорочення часу руху при цьому є мінімальним (менше 1 хв), що свідчить про зниження ефективності таких рішень.

Проведений аналіз показує, що найбільш раціональним для пасажирського руху на ділянці Стрий – Лавочне є варіант 3 (станції – 80 км/год, перегони – 100 км/год), який забезпечує оптимальне поєднання підвищення середньохорової швидкості, скорочення часу руху та зменшення витрат електроенергії. Подальше підвищення швидкостей на перегонах до

120–130 км/год не дає пропорційного ефекту за часом руху, але призводить до зростання енергоспоживання, що знижує загальну техніко-економічну ефективність.

Результати розрахунків для вантажного руху наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків для вантажного руху

Варіанти		Напрямок	$V_{\text{ср}}$, км/год	Витрати електроенергії, кВт-год	Час руху, хв
1	Існуючий план	парна	57	5898	75,1
		непарна	57	375	75,4
2	Проектний план з існуючими обмеженнями	парна	57	5910	74,8
		непарна	57	388	75,4
3	Станція - 70 км/год; Перегін - 80 км/год	парна	59	6138	73,4
		непарна	58	422	74,7
4	Станція - 70 км/год; Перегін - 90 км/год	парна	59	6138	73,4
		непарна	58	564	74,2
5	Станція - 70 км/год; Перегін - 100 км/год	парна	59	6138	73,4
		непарна	58	665	73,9

Результати розрахунків для вантажного руху наведені на рисунках 3.16 - 3.17.

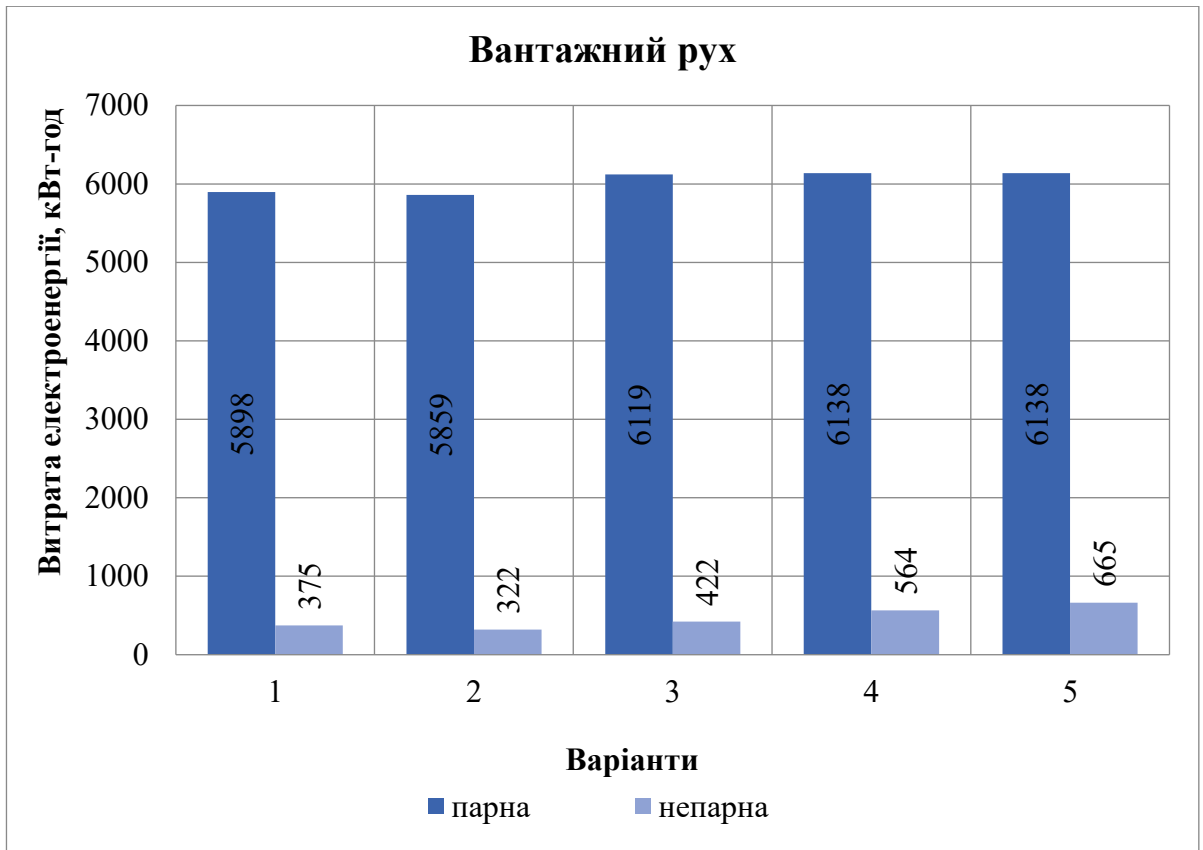


Рисунок 3.16 – Витрати електроенергії

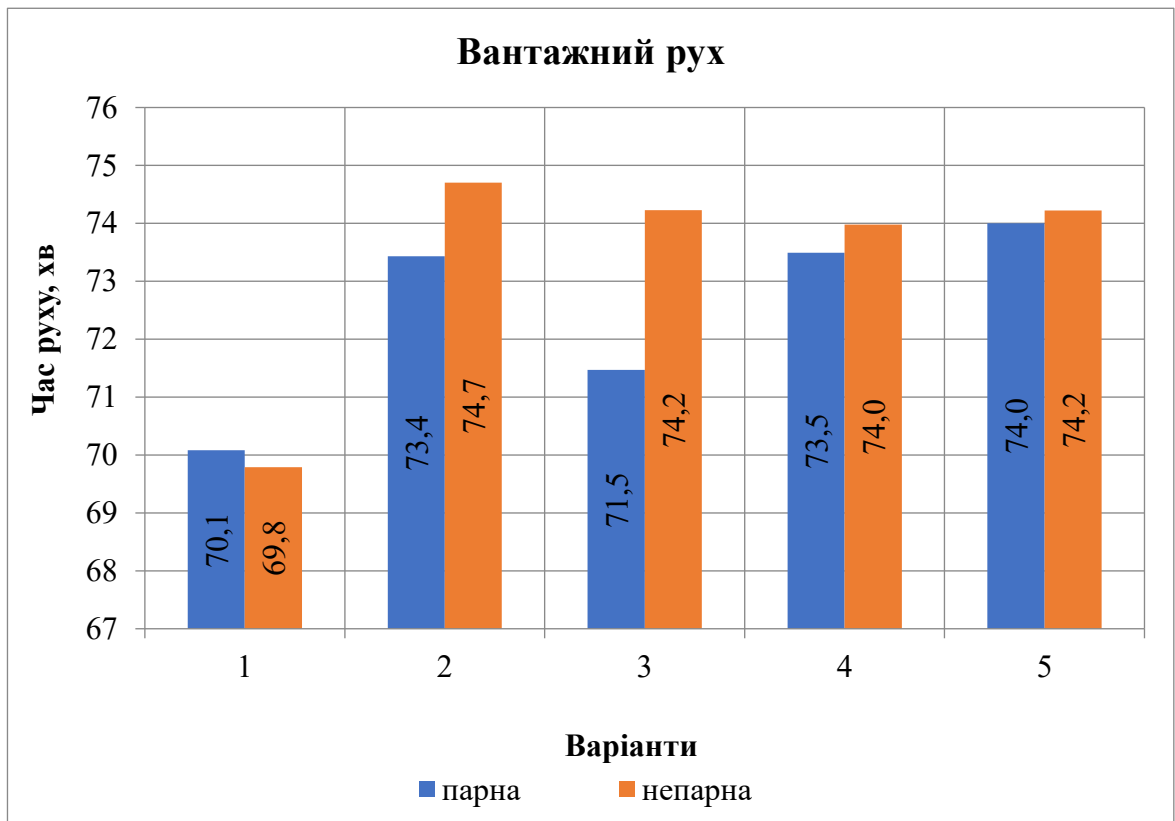


Рисунок 3.17 – Графік часу ходу вантажного рухомого складу

Результати розрахунків свідчать, що для вантажного руху середньохорова швидкість змінюється незначно – з 57 до 59 км/год, навіть за умови підвищення швидкостей на перегонах до 80–100 км/год, що пояснюється впливом маси поїздів, тягових можливостей локомотивів та складного профілю ділянки. При цьому скорочення часу руху є обмеженим (приблизно на 1,5–2 хв), тоді як витрати електроенергії у парному напрямку зростають при підвищенні швидкості, що знижує енергоефективність експлуатації. У непарному напрямку спостерігається поступове зростання енергоспоживання зі збільшенням швидкостей, що також підтверджує обмежену доцільність значного підвищення швидкісних режимів для вантажних поїздів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Результати тягових розрахунків для пасажирських та вантажних поїздів на ділянці Стрий – Лавочне підтвердили, що профіль колії має виражений гірський характер з великими поздовжніми ухілами, затяжними підйомами та значною кількістю кривих малого радіуса. Саме ці фактори визначають основні експлуатаційні обмеження та формують бар'єрні місця, що знижують швидкість і підвищують енергетичні витрати.

Аналіз витрат електроенергії показав чітку асиметрію між парним і непарним напрямками. У парному напрямку, де рух здійснюється переважно на підйомах, спостерігається у 3–6 разів більше енергоспоживання, а механічна робота локомотива сягає максимальних значень. Натомість у непарному напрямку, де розташовані довгі спуски, витрати суттєво нижчі. Це особливо виражено у вантажному русі.

Виділено групу перегонів із найгіршими експлуатаційними характеристиками – Любенці – Синьоводне, Синьоводне – Сколе, Сколе – Гребенів, Тухля – Славсько, Славсько – Лавочне. Саме вони формують основні бар'єрні місця як для пасажирських, так і для вантажних поїздів і потребують першочергового інженерного опрацювання.

У магістерській роботі застосовано методику оптимізації плану залізничної колії, що базується на поєднанні комп'ютерного моделювання в програмному комплексі RWPlan та виконанні тягово-енергетичних розрахунків у програмі MoveRW. Запропонована методика передбачає поетапне виявлення бар'єрних місць, формування варіантів оптимізації геометричних параметрів кривих, мінімізацію зсувів осі колії та подальшу оцінку ефективності проектних рішень за показниками швидкості, часу руху та енергоспоживання.

Аналіз варіантів зон швидкостей показав, що для пасажирського руху найбільш ефективним є варіант із підвищенням швидкості на перегонах до 100 км/год, який забезпечує оптимальне поєднання зростання середньоходової швидкості, скорочення часу руху та зниження витрат електроенергії. Подальше підвищення швидкостей не дає пропорційного ефекту за часом руху та

супроводжується зростанням енергоспоживання.

Для вантажного руху встановлено, що підвищення швидкостей на перегонах понад 80 км/год не забезпечує суттєвого збільшення середньоходової швидкості та скорочення часу ходу, але призводить до зростання витрат електроенергії, що робить такі заходи технічно та енергетично малоефективними.

Загалом результати роботи підтверджують, що підвищення ефективності функціонування ділянки Стрий – Лавочне можливе лише за умови цілеспрямованої реконструкції бар'єрних місць, насамперед шляхом оптимізації радіусів кривих, удосконалення параметрів поздовжнього профілю та верхньої будови колії. Запропонована методика може бути використана як практичний інструмент для обґрунтування проєктних рішень при реконструкції складних гірських ділянок залізниць та сприятиме підвищенню швидкості, енергоефективності й провізної спроможності залізничної інфраструктури.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. European Commission. TEN-T Core Network Corridors in Ukraine. – Brussels, 2022. URL: <https://transport.ec.europ>.
2. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. Норми проектування. ДБН В.2.3-019:2025. – К.: Мінрегіонбуд, 2025. - 126 с.
3. EU-Ukraine Solidarity Lanes [Електронний ресурс] // European Commission. Directorate-General for Mobility and Transport. – Режим доступу: https://transport.ec.europa.eu/ukraine/eu-ukraine-solidarity-lanes_en (дата звернення: 12.01.2026).
4. АТ «Укрзалізниця». Львівська залізниця. Офіційна сторінка: <https://www.uz.gov.ua/railway/lvovskaya/>
5. Річний звіт АТ «Укрзалізниця» за 2023 рік. – К.: Укрзалізниця, 2024.
6. Державна служба статистики України. Статистичний щорічник залізничного транспорту. – К.: Держстат України, 2024
7. European Commission. TEN-T Core Network Corridors in Ukraine. – Brussels, 2022. URL: <https://transport.ec.europa.eu/>
8. Електрифікація залізниць України (1936-2023) / Під ред. М. Б. Кургана. – Дніпро: УДУНТ, 2023.
9. Наказ «Про встановлення максимально допустимих швидкостей руху поїздів на дільницях колії «Львівської залізниця» від 02.09.2022 № 188/Н:
10. 10
11. Курган, М.Б., Курган, Д.М., Байдак, С.Ю., Хмелевська, Н.П. та Новік, Р.Б. (2021). Зменшення інтенсивності залізничних порушень завдяки покращенню параметрів плану ліній під час паспортизації кривих. *Наука та транспортний прогрес*, (6(96), 53–64. <https://doi.org/10.15802/stp2021/257933>
12. Хмелевська, Н.П., Курган, М.Б. та Курган, Д.М. (2024). Оптимізація кривих на плані за допомогою комп'ютерного моделювання для підвищення безпеки руху поїздів. *Наука та транспортний прогрес*, (4(108), 46–54. <https://doi.org/10.15802/stp2024/318057>

13. Корженевич І. П. Нові можливості проектування перебудови плану та виправлення кривих при використанні програми RWPlan 1.2. Залізничний транспорт України. 2007. № 5. С. 79-82

14. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії: ЦП-0236: затв. наказом Укрзалізниці від 14.12.2010 №778-Ц. – Київ, 2010. 52 с

15. Курган М. Б., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П. Методика визначення допустимих швидкостей руху поїздів на ділянках складного плану залізниці. Вісник Дніпропетр. нац-го ун-ту залізн. тр-ту ім.акад. В. Лазаряна «Наука та прогрес транспорту». 2014. № 2 (50). С. 83–94.

ДОДАТКИ