

**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: Evaluation 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 «Rail transport»

Done by the student of the group: KG2426

/ Arthur NECKLACE /

(name, surname)

Scientific Supervisor:

/ Senior Lecturer Nelia KHMELEVSKA /

(position, name, surname)

Normative controller:

/ Associate Professor Sergiy BAIDAK/

(position, name, surname)

Dnipro – 2026

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 **Неклесі Артуру Андрійовичу**

Тема роботи: Оцінка ефективності усунення бар'єрних місць під час проектування реконструкції ділянки залізниці

Керівник роботи: Хмелевська Неля Петрівна, PhD.

Затверджена наказом від 02.10.2025 №1402 ст.

2. Строк подання студентом роботи – 15 січня 2026 р.

3. Вихідні дані:

Район проектування – Дніпропетровська область	Система СЦБ - АБ		
Початковий пункт – ст. Верхівцеве	Довжина прийм.- відправних колій – 850 м		
Кінцевий пункт – ст. Дніпро	Верхня будова колії:		
Довжина лінії, км – 72,791	Тип рейок – Р65	Баласт, см	
Керівний уклон, ‰ – 9‰	Тип шпал – залізобет.	щебінь – 35	
Кількість головних колій – 2	залізобетонні	пісок – 20	
Вид тяги – електрична	Маса поїздів: вант – 4600/4000 т, пасажир.-1000 т , швидкіс. - 400 т		
Локомотив – ВЛ-8, ЧС-4, Hyundai	Ширина земляного полотна – 11 м		

4. Існуючі розміри перевезень

Напрямок	Вантажонапруженість нетто, млн. ткм/км	Кількість пасаж. поїздів	Кількість приміських поїздів	
Верхівцеве-Дніпро	19,8	18,5	26	7

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Огляд наукових досліджень за темою	4. Дослідження ефективності усунення обмеження швидкості на ділянці хворого земляного полотна
2. Характеристика технічного стану і параметрів ділянки Дніпро-Верхівцеве	Висновки та рекомендації
3. Розробка заходів з підвищення швидкості руху поїздів	

5. Консультанти:			
Найменування розділів магістерської роботи	Консультанти	Завдання	
		видав (дата, підпис)	прийняв до виконання (дата, підпис)
1-4	Хмелевська Н.П., ст. викл		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва розділу магістерської роботи	Термін виконання розділу	Відсотки
1	Мета роботи. Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою	02.10.2025	10
2	Характеристика технічного стану і параметрів ділянки. Визначення пропускнуої спроможності	16.10.2025	20
3	Розробка заходів з підвищення швидкості руху поїздів	01.11.2025	25
4	Дослідження ефективності усунення обмеження швидкості на ділянці хворого земляного полотна	20.11.2025	35
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри.	15.01.2026	10
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії.	За розкладом ЕК	100

Студент

Керівник роботи

(підпис)

(підпис)

Артур НЕКЛЕСА

Неля ХМЕЛЕВСЬКА

Дніпро

2026

РЕФЕРАТ

Про дипломний проект: томів 1, сторінок 69, рисунків 40, таблиць 11.

Найменування роботи: «Оцінка ефективності усунення бар'єрних місць під час проектування реконструкції ділянки залізниці»

Об'єкт досліджень – двоколійна електрифікована ділянка залізниці **Верхівцеве – Дніпро**.

Предмет досліджень – тягово-енергетичні показники руху поїздів при різних рівнях максимальної швидкості на ділянці Верхівцеве – Дніпро в умовах наявності бар'єрних місць.

Мета роботи – розробка рекомендацій щодо економічно доцільної ліквідації бар'єрних місць, які перешкоджають реалізації підвищених швидкостей руху поїздів на ділянці Верхівцеве – Дніпро, а також оцінювання ефективності усунення обмежень швидкості на ділянках із хворим земляним полотном і обґрунтування інженерних заходів щодо його відновлення під час реконструкції залізничної лінії.

Методи дослідження. Методика дослідження базується на застосуванні розробленої математичної моделі, яка дозволяє оцінювати вплив рівня максимальної швидкості руху на тягово-енергетичні показники поїздів при реконструкції залізничної ділянки. Розрахунки виконано з використанням програмних засобів RWPlan, що забезпечують моделювання режимів руху, визначення витрат енергії, часу ходу та середньоходових швидкостей.

Одержані результати. На основі аналізу вітчизняного та європейського досвіду досліджено умови, за яких є доцільним підвищення максимальної швидкості руху поїздів при усуненні обмежень на ділянках із хворим земляним полотном під час реконструкції напрямку. За результатами досліджень сформульовано рекомендації щодо підвищення швидкості руху поїздів з урахуванням існуючої інфраструктури, техніко-економічних, топографічних та геополітичних умов, що створює передумови для підвищення пропускної та провізної спроможності залізничної ділянки.

Ключові слова: залізнична колія, реконструкція залізничних напрямків, план лінії, максимальна швидкість, тягово-енергетичні показники, земляне полотно, бар'єрні місця, пропускна спроможність.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ОГЛЯД НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА ТЕМОЮ ПРОЕКТУ	8
1.1 Поняття «бар’єрних місць» та їхній вплив на пропускну та провізну спроможність	8
1.2 Дослідження впливу параметрів плану колії на швидкість руху	9
1.3 Бар’єрні місця як фактор обмеження пропускну та провізної спроможності	10
2 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ І ПАРАМЕТРІВ ДІЛЯНКИ ВЕРХІВЦЕВЕ – ДНІПРО	13
2.1 Географічне положення ділянки.....	13
2.2 Загальна характеристика ділянки	14
2.3 Параметри плану лінії.....	16
2.4 Параметри поздовжнього профілю	19
2.5 Земляне полотно, верхня будова колії, штучні споруди.....	21
2.6 Пасажирські платформи	23
3 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ ПОЇЗДІВ	25
3.1 Введення та підготовка вихідних даних для тягових розрахунків	25
3.2 Порядок виконання та результати тягових розрахунків	28
3.3 Побудова координатної моделі плану для початкового стану	35
3.4 Оптимізація параметрів плану лінії на окремих ділянках	37
3.5 Тягові розрахунки після перебудви плану лінії.....	43
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УСУНЕННЯ ОБМЕЖЕННЯ ШВИДКОСТІ НА ДІЛЯНЦІ ХВОРОГО ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА	45
4.1 Загальні положення.....	45
4.2 Сутність економічної оцінки.....	48
4.3 Визначення економічного ефекту від зняття попередження швидкості руху	51
4.4 Капітальні витрати на роботи, що пов’язані з усуненням обмеження швидкості	52
4.5 Результати розрахунків.....	54
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	66
ДОДАТКИ	68

ВСТУП

Залізничний транспорт є однією з базових галузей транспортної системи України, що відіграє ключову роль у забезпеченні сталого економічного розвитку, мобільності населення та функціонування промислових і логістичних зв'язків. В умовах зростання обсягів перевезень, необхідності підвищення конкурентоспроможності залізниці та інтеграції у європейський транспортний простір особливої актуальності набувають питання підвищення швидкості руху поїздів і ефективності використання існуючої залізничної інфраструктури.

Більшість залізничних напрямків України була запроєктована та побудована за нормативами, які не передбачали сучасних вимог до швидкості руху та навантажень. Унаслідок цього на багатьох ділянках сформувалися так звані бар'єрні місця — елементи інфраструктури, що обмежують допустимі швидкості руху, знижують пропускну та провізну спроможність і призводять до зростання експлуатаційних витрат. До таких місць належать ділянки з кривими малого радіуса, несприятливим поздовжнім профілем, застарілою верхньою будовою колії, а також ділянки з дефектним або хворим земляним полотном.

Особливої уваги потребують ділянки з хворим земляним полотном, де деформації основи колії призводять до введення тривалих обмежень швидкості та істотного погіршення тягово-енергетичних показників руху поїздів. Усунення таких обмежень потребує не лише інженерних рішень щодо відновлення несучої здатності земляного полотна, але й техніко-економічного обґрунтування доцільності підвищення швидкостей руху після реконструкції.

У сучасних умовах реалізація масштабних проєктів будівництва нових швидкісних ліній є обмеженою з економічних та інфраструктурних причин, тому пріоритетним напрямом розвитку залізничного транспорту є реконструкція існуючих напрямків із поетапним усуненням бар'єрних місць. Такий підхід дозволяє раціонально використовувати інвестиційні ресурси та досягати істотного ефекту за рахунок підвищення швидкості руху, скорочення часу перевезень і зниження енергетичних витрат.

У зв'язку з цим актуальним є завдання оцінювання впливу рівня максимальної швидкості руху на тягово-енергетичні показники поїздів та визначення економічно доцільних параметрів реконструкції залізничних ділянок. Особливого значення набуває застосування сучасних методів комп'ютерного моделювання, які дозволяють досліджувати різні варіанти швидкісних режимів і технічних рішень без втручання в реальний процес експлуатації.

Кваліфікаційна магістерська робота присвячена оцінці ефективності усунення бар'єрних місць під час проєктування реконструкції ділянки залізниці Верхівцеве – Дніпро з урахуванням впливу максимальної швидкості руху на тягово-енергетичні показники поїздів. Отримані результати можуть бути використані при обґрунтуванні проєктних рішень з реконструкції залізничних напрямків і сприятимуть підвищенню ефективності функціонування залізничної інфраструктури.

1 ОГЛЯД НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА ТЕМОЮ ПРОЕКТУ

1.1 Поняття «бар'єрних місць» та їхній вплив на пропускну та провізну спроможність

Відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року [1] одним із пріоритетів розвитку залізничного транспорту є підвищення швидкості руху поїздів і пропускну спроможності інфраструктури шляхом модернізації та реконструкції існуючих напрямків. У Стратегії наголошується на необхідності поетапного усунення локальних інфраструктурних обмежень, що стримують ефективність перевезень. Таким чином, тематика оцінки ефективності усунення бар'єрних місць повністю відповідає стратегічним завданням державної транспортної політики України.

В умовах зростання інтенсивності залізничних перевезень та підвищення вимог до надійності інфраструктури однією з ключових експлуатаційних проблем залишається наявність бар'єрних місць. До них належать локальні ділянки залізниці, на яких унаслідок невідповідності технічного стану колії, параметрів плану й поздовжнього профілю або характеристик постійних пристроїв виникають стійкі обмеження швидкості та зростають експлуатаційні витрати. У транспортно-економічному аспекті такі ділянки визначають граничні можливості лінії, оскільки пропускну та провізну спроможність формуються за найменш сприятливими елементами інфраструктури. Наукові дослідження свідчать, що цілеспрямоване усунення бар'єрних місць є одним із найбільш ефективних шляхів підвищення пропускну спроможності без необхідності суцільної реконструкції за умови належного техніко-економічного обґрунтування [2].

Практично бар'єрні місця проявляються у вигляді:

- обмежень швидкості в кривих (малі радіуси, недостатні перехідні криві, «злами» геометрії);
- профільних обмежень (затяжні підйоми/спуски, що критично впливають на вантажний рух);

- дефектів земляного полотна (нерівності, просадки, зсуви, зволоження, карстові явища тощо);
- недостатнього стану верхньої будови (баласт, рейки, скріплення, стрілочні переводи);
- обмежень за станом штучних споруд (міст, труба, тунель, підпірні стінки) та/або пристроїв СЦБ і енергопостачання.

Таким чином, наукова задача «оцінки ефективності усунення бар'єрних місць» логічно поєднує інженерну ідентифікацію причин обмежень і кількісне вимірювання ефекту (швидкість/час/енерговитрати/безпека/пропускна спроможність).

1.2 Дослідження впливу параметрів плану колії на швидкість руху

Найбільш поширеною першопричиною бар'єрних місць є геометрична невідповідність плану колії сучасним вимогам руху. У роботах українських науковців показано, що малі радіуси кривих, короткі перехідні криві та нерівномірність траси зумовлюють зростання поперечних сил, непогашеного прискорення та динамічних навантажень, що прямо призводить до обмежень швидкості та прискореного зносу елементів колії.

Зокрема, у статті Кургана М. Б., Кургана Д. М., Байдака С. Ю., Хмелевської Н. П. обґрунтовано, що паспортизація та коригування параметрів кривих (радіуси, перехідні, узгодження елементів) знижують інтенсивність порушень, а отже – сприяють стабілізації швидкісного режиму й підвищенню надійності колії [3].

Подальший розвиток цієї тематики наведено у роботі [4], де показано ефективність комп'ютерного моделювання оптимізації плану для зменшення динамічних навантажень і підвищення безпеки руху поїздів; підхід базується на послідовному аналізі кривих та виборі раціональних варіантів коригування їх параметрів.

Окремо варто відзначити, що в сучасних публікаціях з експлуатаційної надійності кривих підкреслюється зв'язок між проєктними параметрами кривих і

показниками надійності/витрат на утримання, що важливо при обґрунтуванні інвестицій у «точкову» реконструкцію проблемних місць [4].

Значна кількість досліджень присвячена аналізу впливу геометричних параметрів плану і профілю колії на допустимі швидкості руху та динамічну взаємодію рухомого складу з колією. У роботах вітчизняних науковців доведено, що малі радіуси кривих, короткі перехідні криві та різкі переломи поздовжнього профілю призводять до зростання бокових сил, збільшення непогашеного поперечного прискорення та погіршення умов безпеки і комфортності руху.

Дослідження у дисертації [5] показують, що оптимізація параметрів кривих на плані дозволяє суттєво знизити інтенсивність залізничних порушень, зменшити динамічні навантаження на колію та створити передумови для підвищення допустимих швидкостей без істотного посилення верхньої будови колії. Особливо наголошується на важливості паспортизації кривих і приведення їх геометрії у відповідність до сучасних вимог .

1.3 Бар'єрні місця як фактор обмеження пропускної та провізної спроможності

Поняття бар'єрних місць у науковій літературі використовується для позначення ділянок інфраструктури, які істотно обмежують швидкість руху, пропускну та провізну спроможність лінії. До таких місць належать криві малого радіуса, ділянки з несприятливим поздовжнім профілем, дефектні штучні споруди, а також ділянки з хворим або нестійким земляним полотном.

Вітчизняні дослідження доводять, що ліквідація бар'єрних місць дає значно більший ефект, ніж рівномірна модернізація всієї лінії. Поетапне усунення найбільш проблемних ділянок дозволяє підвищити середньоходові швидкості, зменшити час обороту рухомого складу та знизити експлуатаційні витрати.

У роботах зарубіжних авторів підкреслюється, що бар'єрні місця мають комплексний характер: обмеження швидкості часто є наслідком одночасного впливу геометричних, конструктивних і ґрунтових факторів. Тому ефективна

реконструкція потребує системного підходу, який поєднує зміну геометрії колії, посилення конструкцій та поліпшення основи колії.

Окремий напрям досліджень присвячений впливу стану земляного полотна на допустимі швидкості руху поїздів. У наукових працях зазначається, що нерівномірні осідання, зниження несучої здатності основи, надмірне зволоження ґрунтів та засміченість баластного шару є основними причинами появи так званого хворого земляного полотна.

Вітчизняні дослідження показують, що на ділянках з хворим земляним полотном підвищення швидкості руху без попереднього «лікування» основи колії є технічно необґрунтованим і призводить до прискореної деградації геометрії колії. Саме тому у практиці експлуатації такі ділянки супроводжуються тривалими обмеженнями швидкості, які істотно знижують ефективність роботи напрямку.

Зарубіжні автори [6] підкреслюють, що підвищення швидкості руху збільшує динамічний вплив на ґрунтову основу, що особливо небезпечно за несприятливих гідрогеологічних умов. У зв'язку з цим реконструкція ділянок із хворим земляним полотном повинна передбачати комплекс інженерних заходів – дренаж, заміну або укріплення ґрунтів, використання геосинтетичних матеріалів.

Останніми роками у наукових дослідженнях дедалі більше уваги приділяється тягово-енергетичним показникам як інтегральному критерію ефективності реконструкції залізничних ліній. Час руху, витрати електроенергії, середньохорова швидкість і механічна робота локомотивів дозволяють кількісно оцінити наслідки підвищення швидкості та усунення бар'єрних місць.

У вітчизняних роботах показано, що підвищення максимальної швидкості не завжди призводить до зменшення енергоспоживання, особливо для вантажного руху на ділянках зі складним профілем. Тому необхідним є техніко-економічне обґрунтування швидкісних рішень з урахуванням реальних умов експлуатації.

Зарубіжні дослідження також підтверджують доцільність використання тягово-енергетичних розрахунків при виборі параметрів реконструкції, оскільки вони дозволяють оцінити не лише технічну, але й економічну ефективність запропонованих заходів [7].

Аналіз наявних вітчизняних та зарубіжних досліджень показав, що проблема усунення бар'єрних місць під час реконструкції залізничних ділянок є багатокomпонентною та потребує комплексного підходу. Існуючі наукові праці підтверджують важливу роль геометрії плану і профілю колії, стану земляного полотна та тягово-енергетичних показників у формуванні швидкісних обмежень.

Водночас у більшості досліджень ці аспекти розглядаються окремо, без їх інтеграції в єдину методику оцінювання ефективності реконструкції. У зв'язку з цим актуальним є розроблення підходу, який поєднує оптимізацію параметрів колії з кількісною оцінкою її впливу на тягово-енергетичні показники руху поїздів, що і визначає наукову та практичну спрямованість даної магістерської роботи.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ І ПАРАМЕТРІВ ДІЛЯНКИ ВЕРХІВЦЕВЕ – ДНІПРО

2.1 Географічне положення ділянки

Ділянка Верхівцеве – Дніпро Регіональної філії «Придніпровська залізниця» розташована в межах Дніпропетровської області, яка належить до центральних індустріально розвинених регіонів України та має важливе транспортно-логістичне значення.

Дніпропетровська область загалом характеризується рівнинним рельєфом, проте простежуються помітні відмінності між правобережною та лівобережною частинами Дніпра, зумовлені особливостями геологічної будови. Правобережжя займає Придніпровська височина із середніми абсолютними висотами 100-150 м над рівнем моря та максимальною відміткою області 192 м у Солонянському районі [8].

Клімат Дніпропетровської області є помірно континентальним, із чітко вираженими сезонними коливаннями температури. Характерною особливістю клімату є значна кількість переходів температури поверхні ґрунту через 0 °С – до 10–15 разів на рік, що суттєво впливає на стан земляного полотна та верхньої будови колії .

Ґрунтовий покрив області має чітко виражений зональний характер. Північні райони представлені чорноземами звичайними глибокими середньо- та малогумусними, переважно пілуват-середньосуглинковими й важкосуглинковими. У південному напрямку вони змінюються чорноземами звичайними малогумусними на лесах, з окремими ділянками середньогумусних чорноземів. Крайній південний захід області зайнятий чорноземами звичайними неглибокими малогумусними та чорноземами південними слабкогумусованими. Такі ґрунтові умови, у поєднанні з кліматичними факторами, значною мірою впливають на несучу здатність земляного полотна та його експлуатаційну стійкість [8].

Дніпропетровська область належить до найбагатших регіонів України за мінерально-сировинним потенціалом. Її геологічна будова, пов'язана з розташуванням на Українському щиті, зумовила домінування родовищ рудної та нерудної сировини. На території області розташований найбільший в Україні Криворізький залізорудний басейн, який включає близько 30 родовищ, серед яких найбільше промислове значення мають Першотравневе та Інгулецьке рудні поля. Наявність потужної гірничо-металургійної бази визначає високі обсяги вантажних перевезень залізничним транспортом.

Завдяки розташуванню в центральній частині України, Дніпропетровська область відіграє важливу роль у системі міжрегіональних транспортних зв'язків. Через її територію проходять ключові залізничні напрями «Схід – Захід» та «Північ – Південь», що забезпечує значні транзитні потоки пасажирів і вантажів та підвищує вимоги до пропускної спроможності й технічного стану залізничної інфраструктури, зокрема ділянки Верхівцеве – Дніпро.

2.2 Загальна характеристика ділянки

Дистанція колії є основним структурним підрозділом колійного господарства залізниці, який здійснює поточне утримання колії, земляного полотна, штучних споруд та пристроїв, що забезпечують безпечне й безперебійне функціонування залізничної інфраструктури [9]. Організація робіт з утримання колії, споруд і технічних пристроїв покладається на керівний та інженерно-технічний персонал дистанції колії, зокрема начальника дистанції, його заступників, старших шляхових майстрів, начальників дільниць, шляхових і мостових (тунельних) майстрів, бригадирів колії та монтерів колії.

Контроль за технічним станом колії, земляного полотна, штучних споруд і пристроїв також здійснюють працівники рейкової дефектоскопії, колієобстежувальних і мостовипробувальних станцій, колієвимірювальних вагонів, а також чергові по залізничних переїздах. Сукупність цих заходів забезпечує своєчасне виявлення дефектів та підтримання елементів колійного господарства у справному стані.

Верхівцевська дистанція колії є структурним підрозділом Регіональної філії «Придніпровська залізниця», що перебуває у загальнодержавній власності. Дистанція входить до складу колійної служби Придніпровської залізниці та виконує функції з утримання й експлуатаційного забезпечення залізничних ділянок у межах своєї відповідальності. Основним завданням дистанції є забезпечення безпечного та безперебійного руху поїздів з установленими швидкостями на обслуговуваних ділянках.

Предметом діяльності дистанції є утримання колії, земляного полотна, штучних споруд та інших об'єктів колійного господарства у стані, що гарантує безпеку руху поїздів, а також утримання виробничо-побутових і житлових будівель. Для виконання покладених функцій дистанція наділяється необхідними основними засобами та обіговими коштами, а все її майно є складовою частиною майна залізниці та закріплюється за дистанцією на правах господарського відання. Дистанція веде самостійний баланс і звітність відповідно до чинного законодавства України.

До основних завдань дистанції колії належать:

- утримання всіх елементів залізничної колії у стані міцності та стійкості, що забезпечує безпечний і плавний рух поїздів;
- своєчасне виконання попереджувальних робіт та усунення причин виникнення несправностей колії, земляного полотна й штучних споруд;
- упровадження заходів з оздоровлення та зміцнення колійного господарства, а також прийняття в експлуатацію об'єктів після ремонту;
- забезпечення безпеки руху поїздів і автотранспорту на залізничних переїздах;
- виконання робіт зі снігоборотьби;
- установлення та утримання колійних і сигнальних знаків;
- упровадження сучасних досягнень науки і техніки, підвищення рівня механізації колійних робіт;
- раціональне використання матеріальних, паливно-енергетичних

У плані лінії присутні: прямі ділянки різної довжини; кругові криві з різними радіусами; перехідні криві, параметри яких у ряді випадків відповідають нормативам, чинним на момент проєктування, але є недостатніми для реалізації підвищених швидкостей руху.

Радіуси кривих на ділянці Верхівцеве – Дніпро змінюються в широкому діапазоні. Частина кривих має радіуси, що допускають рух поїздів з підвищеними швидкостями, однак наявні також криві обмежувального характеру, радіуси яких є недостатніми для реалізації максимальної швидкості без зниження рівня комфорту та безпеки руху. Саме такі криві визначають локальні обмеження швидкості та зумовлюють зниження середньоходової швидкості на окремих перегонах.

Довжини перехідних кривих на ділянці є нерівномірними. У ряді випадків вони не забезпечують плавного наростання поперечного прискорення при русі з підвищеними швидкостями, що призводить до збільшення динамічних навантажень на рухомий склад і елементи верхньої будови колії. Це є одним із факторів, які обмежують можливість підвищення швидкості руху без реконструкції плану лінії.

Особливістю плану лінії є чергування кривих різного напрямку з короткими прямими вставками, що ускладнює формування раціональних швидкісних режимів і негативно впливає на енергоефективність руху, особливо для вантажних поїздів великої маси. За таких умов локомотиви змушені працювати у змінних режимах тяги та гальмування, що збільшує витрати електроенергії та механічну роботу.

Наявність кривих малого радіуса в поєднанні з інтенсивним рухом вантажних поїздів призводить до підвищеного зносу рейок і коліс рухомого складу, а також до збільшення навантажень на земляне полотно, що є особливо критичним на ділянках із зниженими несучими властивостями основи. У таких місцях геометрія плану безпосередньо взаємодіє з проблемами стану земляного полотна, формуючи комплексні бар'єрні місця.

З огляду на це, параметри плану лінії Верхівцеве – Дніпро не повною мірою відповідають вимогам до реалізації підвищених швидкостей руху. Подальше підвищення швидкостей на даній ділянці можливе лише за умов цілеспрямованої оптимізації плану, зокрема шляхом збільшення радіусів окремих кривих, подовження перехідних кривих та усунення різких змін напрямку траси.

Таким чином, параметри плану лінії є одним із визначальних чинників, що формують швидкісні обмеження на ділянці Верхівцеве – Дніпро, і повинні розглядатися як пріоритетний об’єкт аналізу при обґрунтуванні заходів з усунення бар’єрних місць у процесі реконструкції.

В таблиці 2.1 наведені розрахункові показники плану лінії ділянки Верхівцеве – Дніпро.

Таблиця 2.1 – Основні показники плану лінії

Ділянка	Відстань, м	Питома вага кривих,%		Мінімальний радіус, м
		Всього	R до 1500 м	
Верхівцеве – Дніпро	72761	37,4	33,7	370

В таблиці 2.2 наведено відомість розподілу кривих ділянки Верхівцеве-Дніпро.

Таблиця 2.2 – Відомість розподілу кривих

Діапазон радіусів, м	Протяжність, м	Питома вага,%
300 – 600	2200	3,1
600 – 800	14274	20,1
800– 1200	6579	9,2
1200 – 1500	958	1,3
1500 – 2000	535	0,7
2000 – 4000	2144	3,0
4000-7000	659	0,9

Для наочності на рисунку 2.2 наведена гістограма розподілу кривих різних радіусів відносно довжини кожної з ділянок, які досліджуються.

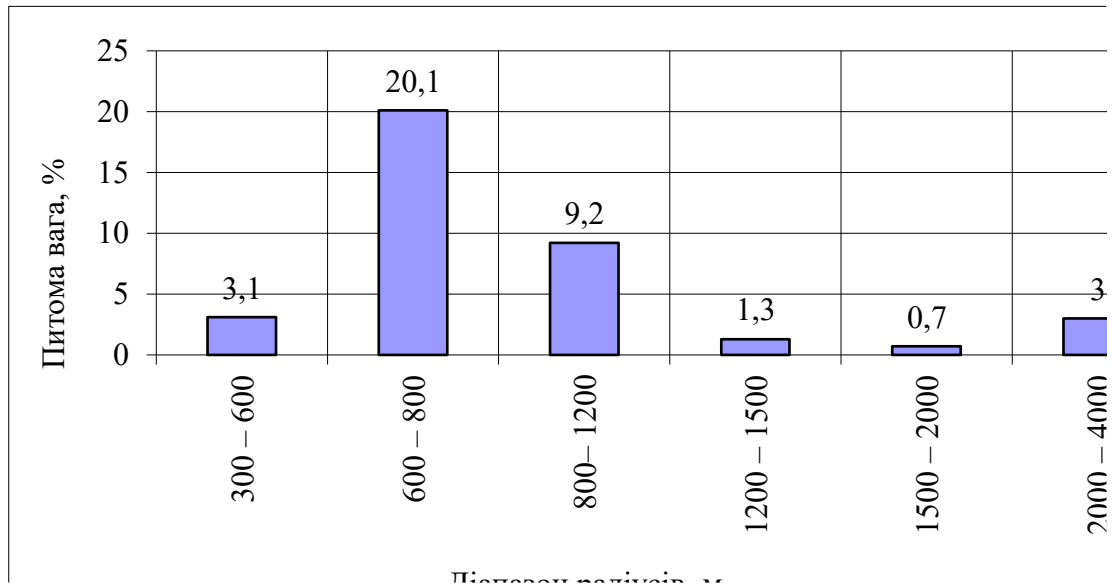


Рисунок 2.2 – Гістограма розподілу радіусів кривих

Аналіз розподілу кривих за радіусами свідчить, що на ділянці переважають криві середніх радіусів, зокрема 600–800 м, які формують основні обмеження швидкості руху. Криві малого радіуса 300–600 м, хоча й займають незначну частку, є найбільш критичними з точки зору безпеки та енергоефективності руху і створюють бар’єрні місця. Частка кривих великих радіусів є незначною, що обмежує можливість реалізації підвищених швидкостей. Отримані результати підтверджують доцільність оптимізації плану лінії шляхом збільшення радіусів кривих.

2.4 Параметри поздовжнього профілю

Поздовжній профіль залізничної ділянки Верхівцеве – Дніпро характеризується змінними поздовжніми ухилами, представленими підйомами та спусками різної крутості, що істотно впливає на умови руху поїздів та їх тягово-енергетичні показники. У межах ділянки наявні затяжні підйоми довжиною до 6-8 км, які є найбільш несприятливими елементами профілю, особливо для вантажних поїздів великої маси.

Максимальні ухили на окремих перегонах досягають 8–10 ‰, що призводить до зростання опору руху, зниження середньоходової швидкості та підвищення витрат електроенергії. У вантажному русі такі ухили часто

визначають граничні режими тяги локомотивів і потребують обмеження швидкості або зменшення маси поїздів. Для пасажирського руху ці елементи також формують локальні обмеження швидкості та збільшують час ходу.

На ділянці також є зтяжні спуски, які дозволяють зменшити тягові витрати, однак у вантажному русі вони супроводжуються підвищеною роботою гальмівних сил, що негативно впливає на енергоефективність та знос гальмівного обладнання. Особливо несприятливими є місця, де круті ухили поєднуються з кривими малого або середнього радіуса, утворюючи комплексні бар'єрні місця.

Таким чином, параметри поздовжнього профілю ділянки Верхівцеве – Дніпро є одним із визначальних чинників формування експлуатаційних обмежень. Підвищення ефективності руху поїздів можливе за умови локальної оптимізації профілю, зокрема зменшення крутості зтяжних підйомів і узгодження параметрів профілю з планом лінії при реконструкції.

Протяжність ухилів поздовжнього профілю приведена в таблиці 2.3. Гістограма розподілу ухилів (спуски показані зі знаком мінус) представлена на рисунку 2.3.

Таблиця 2.3 – Питома вага розподілу ухилів на ділянки Верхівцеве-Дніпро

Діапазон ухилів,‰	Протяжність, м	Питома вага, %
-11,0 – - 8,0	6336	8,8
-8,0 – - 6,0	11577	16,0
-6,0 – - 4,0	7543	10,4
-4,0 – -2,0	6880	9,4
-2,0 – 0,0	9303	12,9
0,0 – 2,0	12072	17,1
2,0 – 4,0	5748	7,9
4,0 – 6,0	5014	6,9
6,0 – 8,0	7120	9,8
8,0 – 11,0	568	0,8

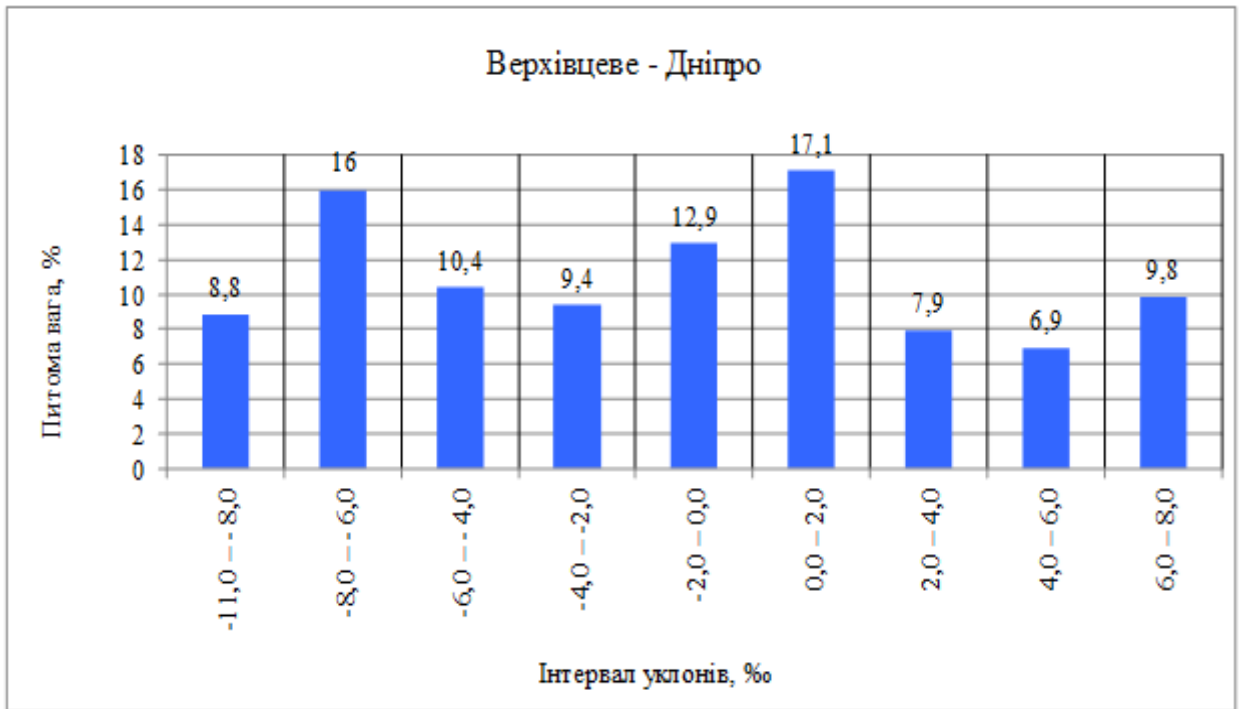


Рисунок 2.3 – Розподіл ухилів на ділянці

Розподіл ухилів на ділянці Верхівцеве – Дніпро свідчить про переважання помірних ухилів, однак наявність затяжних підйомів і спусків з ухилами понад 6–8 ‰ істотно впливає на швидкість руху та енергетичні витрати поїздів. Саме ці ділянки формують основні бар’єрні місця і потребують урахування при обґрунтуванні заходів з оптимізації руху

2.5 Земляне полотно, верхня будова колії, штучні споруди

Земляне полотно на ділянці Верхівцеве – Дніпро загалом відповідає вимогам експлуатації двоколійної електрифікованої лінії, однак на окремих перегонах зафіксовано ділянки зі зниженими несучими властивостями, що проявляється у деформаціях баластного шару та нерівномірних осіданнях. Такі ділянки, особливо в поєднанні з кривими малого радіуса та підвищеними поздовжніми ухилами, формують бар’єрні місця, які обмежують допустимі швидкості руху та потребують посиленого утримання. Наявність «хворого» земляного полотна негативно впливає на стабільність геометричних параметрів

колії та підвищує витрати на її експлуатацію.

Верхня будова колії на ділянці представлена рейками важкого типу на залізобетонних шпалах із щебеним баластом, що забезпечує можливість пропуску поїздів значної маси та інтенсивного руху. Водночас на окремих ділянках спостерігається підвищений знос рейок і засміченість баласту, що знижує пружні властивості колійної конструкції та призводить до локальних обмежень швидкості. У поєднанні з несприятливими параметрами плану і профілю це негативно впливає на динаміку руху поїздів і збільшує тягово-енергетичні витрати.

Штучні споруди (мости, водопропускні труби, шляхопроводи), розташовані в межах ділянки Верхівцеве – Дніпро, загалом забезпечують пропуск руху з установленими навантаженнями, проте окремі з них мають обмеження за швидкістю або потребують підсилення в межах реконструкції. Такі споруди часто виступають локальними бар'єрними місцями, оскільки вимагають зниження швидкості руху та підвищують нерівномірність швидкісного режиму по ділянці. Їх технічний стан має враховуватися комплексно разом із параметрами плану, профілю та станом колії при обґрунтуванні заходів з підвищення ефективності руху.

Перелік штучних споруд приведений у відомості штучних споруд таблиця 2.4.

Мости повинні мати вантажопідйомність не нижче III категорії згідно зіставлень по пропуску рухомого складу по залізничних мостах.

На мостах переважно укладається безстикова колія з термозміцненими рейками типу Р65 на щебеному баласті із залізобетонними шпалами. Безстикова колія на мостах влаштовується згідно вимог «Технічних вказівок по устрою, укладанню й утриманню безстикової колії».

Усі мости класифікуються за вантажопідйомністю на основі діючих розрахункових норм та відповідних інструкцій Державної адміністрації залізничного транспорту України.

Таблиця 2.4 – Відомість штучних споруд

№ з/п	Положення штучної споруди	Тип штучної споруди
1	2	3
1.	120 ПК7+13,97	з.б міст отв. 4,20 м
2.	122 ПК2+90,15	з.б міст отв. 4,20 м
3.	123 ПК4+46,90	з.б міст отв. 4,17 м
4.	125 ПК5+94,50	з.б міст отв. 2,08 м
5.	126 ПК8+32,60	з.б міст отв. 1,20 м
6.	127 ПК9+04,50	з.б міст отв. 4,20 м
7.	128 ПК6+50,60	з.б міст отв. 2,10 м
8.	130 ПК3+45,00	з.б міст отв. 2,08 м
9.	133 ПК1+62,40	з.б міст отв. 50,70 м
10.	134 ПК7+73,90	з.б міст отв. 4,08 м
11.	136 ПК9+33,50	з.б міст отв. 4,20 м
12.	137 ПК3+06,50	з.б міст отв. 4,15 м
13.	141 ПК0+82,30	з.б труба отв. 1,20 м
14.	142 ПК6+13,90	з.б міст отв. 4,20 м
15.	152 ПК0+99,20	з.б труба отв. 1,05 м
16.	158 ПК3+81,20	з.б міст отв. 12,80 м
17.	162 ПК0+32,90	з.б труба отв. 2,50 м
18.	173 ПК0+34,30	з.б труба отв. 1,60 м
19.	175 ПК0+14,80	з.б міст отв. 2,14 м
20.	177 ПК 7+89,00	з.б міст отв. 4,23 м
21.	178 ПК7+22,00	з.б міст отв. 4,50 м
22.	179 ПК8+73,00	з.б труба отв. 2,0x1,05 м
23.	181 ПК0+38,70	з.б міст отв. 3,15 м
24.	182 ПК0+01,80	з.б міст отв. 4,22 м
25.	183 ПК4+29,10	з.б міст отв. 17,40 м
26.	184 ПК3+24,00	з.б труба отв. 4,43 м
27.	186 ПК6+03,80	з.б міст отв. 4,50 м
28.	187 ПК3+42,20	з.б міст отв. 4,27 м

2.6 Пасажирські платформи

Пасажирські платформи призначені для короткочасного очікування поїздів, посадки та висадки пасажирів, а також виконання поштово-багажних операцій. Для обслуговування пасажирів на вокзалах і станціях улаштовують високі (близько 1,1 м над рівнем головки рейки) та низькі (приблизно 0,2 м)

платформи. Високі платформи застосовують переважно на великих вокзалах і станціях обороту моторвагонного рухомого складу, оскільки вони забезпечують більш зручні умови для пасажирів. Низькі платформи є економічнішими у спорудженні, проте менш зручними, зокрема для пасажирів електропоїздів.

Розглянувши ділянку колії Верхівцеве – Дніпро, можна надати коротку характеристику пасажирських платформ, розташованих у межах цієї ділянки (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Характеристика пасажирських платформ на ділянці колії
Верхівцеве-Дніпро

№з/п	Місце розташування пасажирської платформи	Назва станції
1	117 ПК2+25,40	ст. Верхівцеве
2	118 ПК8+03,25	платформа 120 км
3	124 ПК4+92,40	платформа 125 км
4	127 ПК4+21,95	платформа 128 км
5	132 ПК2+12,10	ст. Верхньодніпровськ
6	138 ПК5+14,90	платформа 139 км
7	140 ПК4+38,60	ст. Воскобійня
8	148 ПК7+12,50	платформа 149 км
9	153 ПК0+11,70	ст. Камінське
10	156 ПК8+67,00	ст.Баглій
11	159 ПК3+16,55	платформа 160 км
12	163 ПК2+81,90	платформа 164 км
13	164 ПК6+77,40	платформа 165 км
14	168 ПК7+77,90	платформа 169 км
15	170 ПК6+17,50	ст. Сухачівка
16	174 ПК3+14,40	платформа 175 км
17	177 ПК7+57,70	платформа 178 км
18	180 ПК2+14,50	ст. Діївка
19	183 ПК9+78,80	платформа 184 км
20	185 ПК8+61,60	ст. Горяїнове
21	188 ПК3+35,60	ст. Дніпро

Довжина пасажирських платформ повинна відповідати кількості вагонів у складах, що обертаються на лінії: орієнтовно 400–500 м для поїздів дальнього сполучення та 240–300 м для приміських. З урахуванням можливого подовження пасажирських поїздів посадочні платформи мають забезпечувати приймання складів до 25 вагонів, що відповідає довжині приблизно 625 м.

3 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ ПОЇЗДІВ

3.1 Уведення та підготовка вихідних даних для тягових розрахунків

Метою виконання тягових розрахунків для вихідного технічного стану є визначення базових тягово-енергетичних та експлуатаційних показників руху поїздів на ділянці Верхівцеве – Дніпро за наявних параметрів плану і поздовжнього профілю колії, чинних обмежень швидкості, а також фактичних умов експлуатації. Отримані результати використовуються як вихідний (базовий) рівень для подальшого порівняння з варіантами реконструкції та оцінювання ефективності усунення бар’єрних місць.

Для виконання розрахунків використано поздовжній профіль та план лінії ділянки Верхівцеве – Дніпро, а також характеристики рухомого складу та режимів руху. Ділянка є двоколійною, електрифікованою та обладнаною автоблокуванням, рух здійснюється у пасажирському та вантажному сполученні.

Ввід вихідних даних поздовжнього профілю ділянки Верхівцеве – Дніпро для виконання тягових розрахунків здійснювався в програмному комплексі MoveRW [10] на основі фактичного профілю лінії. На рисунку 3.1 наведено фрагмент інтерфейсу програми, що відображає послідовність елементів поздовжнього профілю з прив’язкою до кілометражу, ухилів та довжин окремих ділянок.

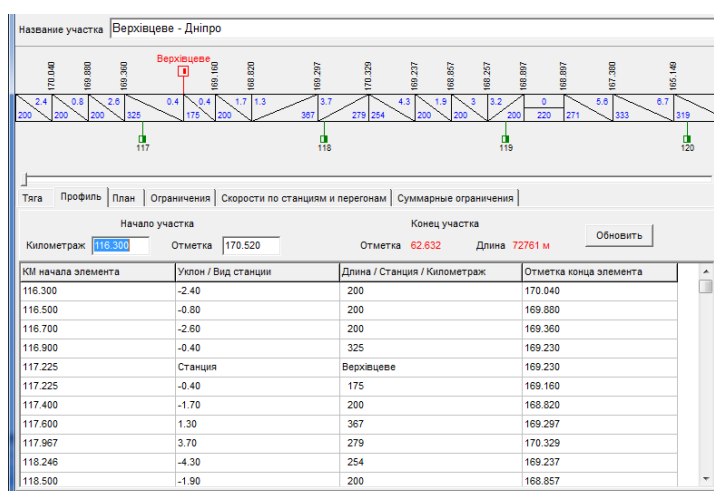


Рисунок 3.1 – Фрагмент даних по профілю

Поздовжній профіль задається у вигляді послідовності елементів з

постійними ухилами, кожен з яких характеризується:

- кілометражем початку елемента;
- величиною позовжнього ухилу, ‰;
- довжиною елемента, м;
- відміткою кінця елемента, м;
- наявністю станцій або зупинних пунктів.

На рисунку 3.2 наведено фрагмент інтерфейсу програми, що відображає просторову структуру плану колії з прив'язкою до кілометражу та параметрів геометричних елементів.

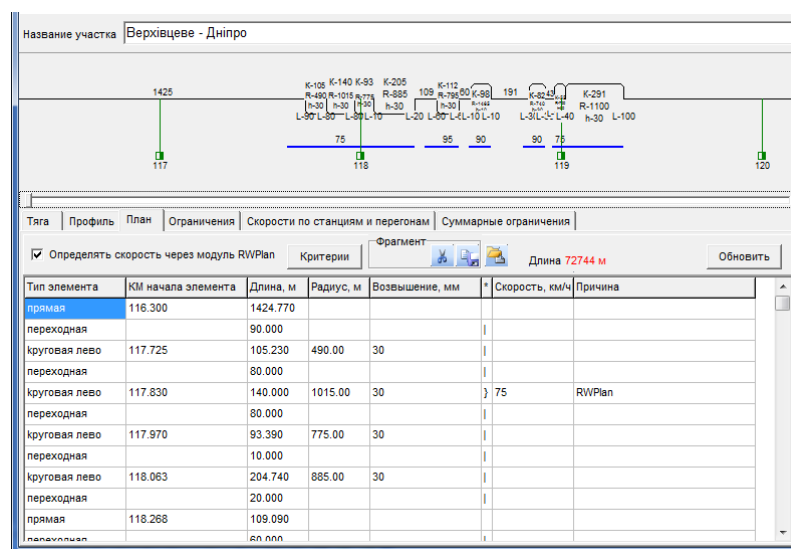


Рисунок 3.2 – Фрагмент даних плану

План лінії задається у вигляді послідовності прямих, перехідних та кругових кривих, кожен з яких характеризується:

- типом елемента (пряма, перехідна, кругова крива);
- кілометражем початку елемента;
- довжиною елемента;
- радіусом кругової кривої;
- величиною підвищення зовнішньої рейки;

Задання плану лінії в такому вигляді дозволяє коректно врахувати вплив геометрії траси на динаміку руху поїздів, зокрема вплив кривих малого радіуса

на допустимі швидкості [11] та додатковий опір руху. Сформований масив вихідних даних плану є основою для визначення швидкісних обмежень та подальших тягових розрахунків для вихідного технічного стану ділянки.

Для коректного виконання тягових розрахунків на ділянці додатково задаються обмеження швидкості руху поїздів з урахуванням станційних зон та окремих перегонів. Приклад задання та розрахунку обмежень швидкості наведено на рисунку 3.3.

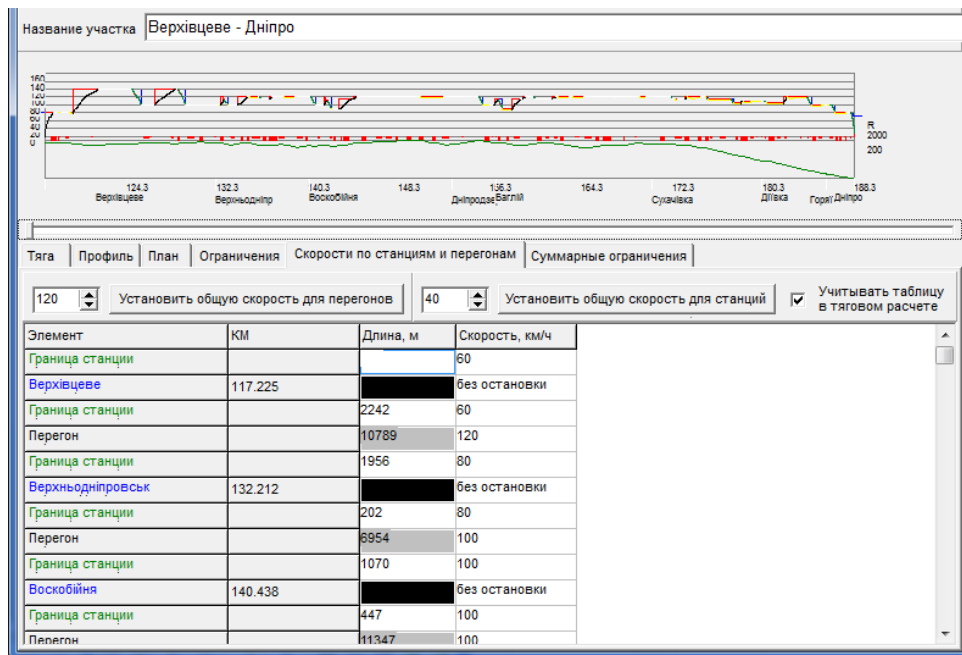


Рисунок 3.3 – Приклад розрахунку обмежень

Обмеження швидкості вводяться окремо для кожного перегону та станції шляхом задання допустимих значень швидкості у відповідних кілометрових межах. Для станцій, як правило, встановлюються знижені швидкості руху, що пов'язано з вимогами безпеки, наявністю стрілочних переводів та пасажирських платформ. Для перегонів задаються швидкості, які відповідають технічному стану колії, параметрам плану та поздовжнього профілю [12].

Задання обмежень швидкості є обов'язковим етапом моделювання, оскільки саме вони визначають реальні експлуатаційні умови руху та суттєво впливають на результати тягово-енергетичних розрахунків, зокрема на час ходу, витрати електроенергії та характер розгону і гальмування поїздів.

У пасажирсько-приміському русі на ділянці Верховцеве – Дніпро, електрифікованій постійним струмом 3 кВ, використовуються електровози постійного струму (типу ЧС2 або ВЛ8п) з масою рухомого складу близько 1000 т, у вантажному русі – електровози ВЛ-8 з масою поїздів 4000 т та 4600 т залежно від напрямку руху (рис 3.4). Зазначені параметри безпосередньо впливають на тягово-енергетичні показники та обґрунтовують доцільність детального аналізу ефективності усунення бар’єрних місць на даній ділянці.

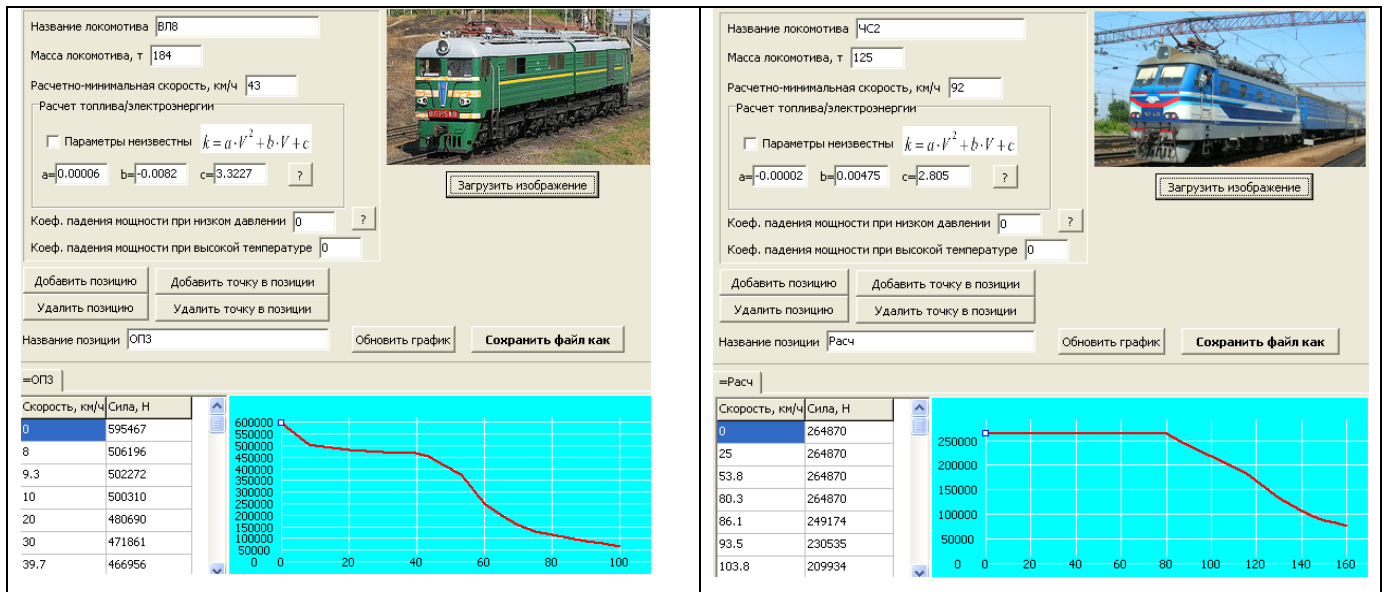


Рисунок 3.4 – Тягові характеристики локомотива ВЛ8, ЧС2

3.2 Порядок виконання та результати тягових розрахунків

Тягові розрахунки виконано із застосуванням програмного комплексу MoveRW (та/або електронних таблиць Microsoft Excel для обробки результатів), що забезпечує моделювання руху поїзда по перегонах з урахуванням: опору руху поїзда; додаткового опору від ухилів і кривих; режимів руху; обмежень швидкості на ділянці; параметрів тягової характеристики локомотива.

Послідовність розрахунків включає:

- формування розрахункової моделі поїзда (тип локомотива, маса, характеристики);
- введення профілю ділянки та розподілу швидкісних обмежень;
- виконання розрахунку руху по перегонах для парного та непарного

напрямоків;

- отримання вихідних показників і їх узагальнення по перегонах та по ділянці в цілому.

За результатами моделювання для вихідного технічного стану визначаються основні показники:

- час руху по кожному перегону і по ділянці в цілому;
- середньоходова швидкість по перегонах;
- витрати електроенергії (або енергоспоживання) по перегонах та сумарно;
- механічна робота локомотива;
- робота гальмівних сил (за необхідності — для аналізу режимів на спусках);
- ділянки з максимальними значеннями часу/енергії, що ідентифікуються як бар'єрні місця.

Отримані для вихідного технічного стану значення відображають фактичний вплив параметрів плану, поздовжнього профілю та обмежень швидкості на рух поїздів. Ділянки, на яких фіксуються:

- найменші швидкості,
 - найбільший час руху,
- максимальні витрати електроенергії/механічної роботи, розглядаються як пріоритетні бар'єрні місця, що потребують першочергового інженерного опрацювання у подальших варіантах реконструкції.

Результати часу руху, витрат електроенергії, механічна робота та робота гальмівних сил наведені для пасажирського та вантажного руху наведені у додатках А та Б відповідно. Тягові розрахунки по перегонах для існуючого стану наведені в таблицях 3.1, 3.2.

Таблиця 3.1 – Результати тягових розрахунків для вантажного руху

Назва перегону	Напрямок	Довжина, км	Час руху, хв	Витрата електроенергії, кВт-ч	Середня ходова швидкість, км/год
ВЛ-8, Q = 4000/4600 т					
Верхівцеве – Верхньодніпровськ	парний	14,987	13,7	745,3	65
	непарний		12,8	473,6	70
Верхньодніпровськ –Воскобійня	парний	8,226	6,6	210,6	75
	непарний		6,9	381,2	71
Воскобійня – Камінське	парний	12,573	10,7	525,2	71
	непарний		10,5	438,7	71
Камінське – Баглій	парний	3,856	3,2	149,9	72
	непарний		3,3	179,6	69
Баглій – Сухачівка	парний	13,744	11,3	442,8	72
	непарний		11,5	576,4	71
Сухачівка – Діївка	парний	9,612	10,2	206,0	56
	непарний		11,0	1067,3	52
Діївка – Горяїнове	парний	5,648	6,1	102,8	55
	непарний		7,2	744,4	47
Горяїнове – Дніпро	парний	2,486	3,2	60,6	45
	непарний		4,5	354,4	33

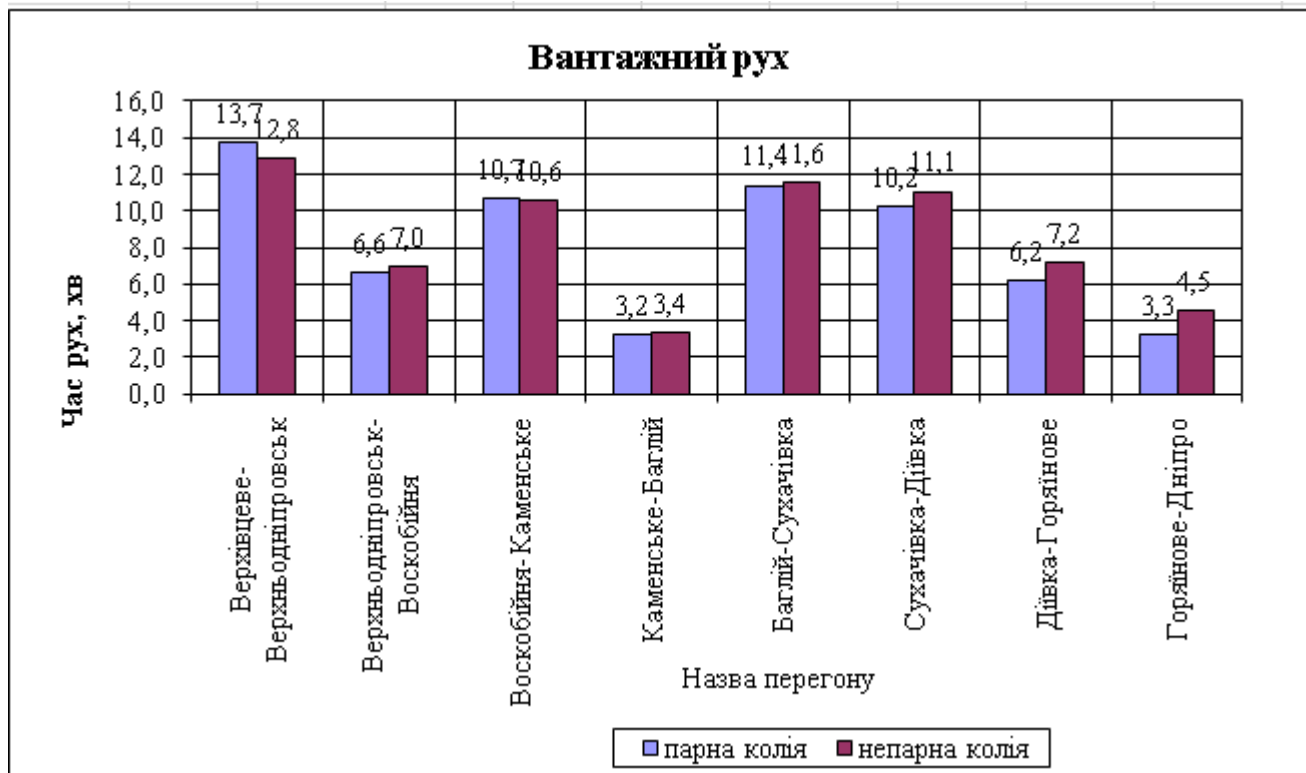


Рисунок 3.5 – Час руху по перегонам

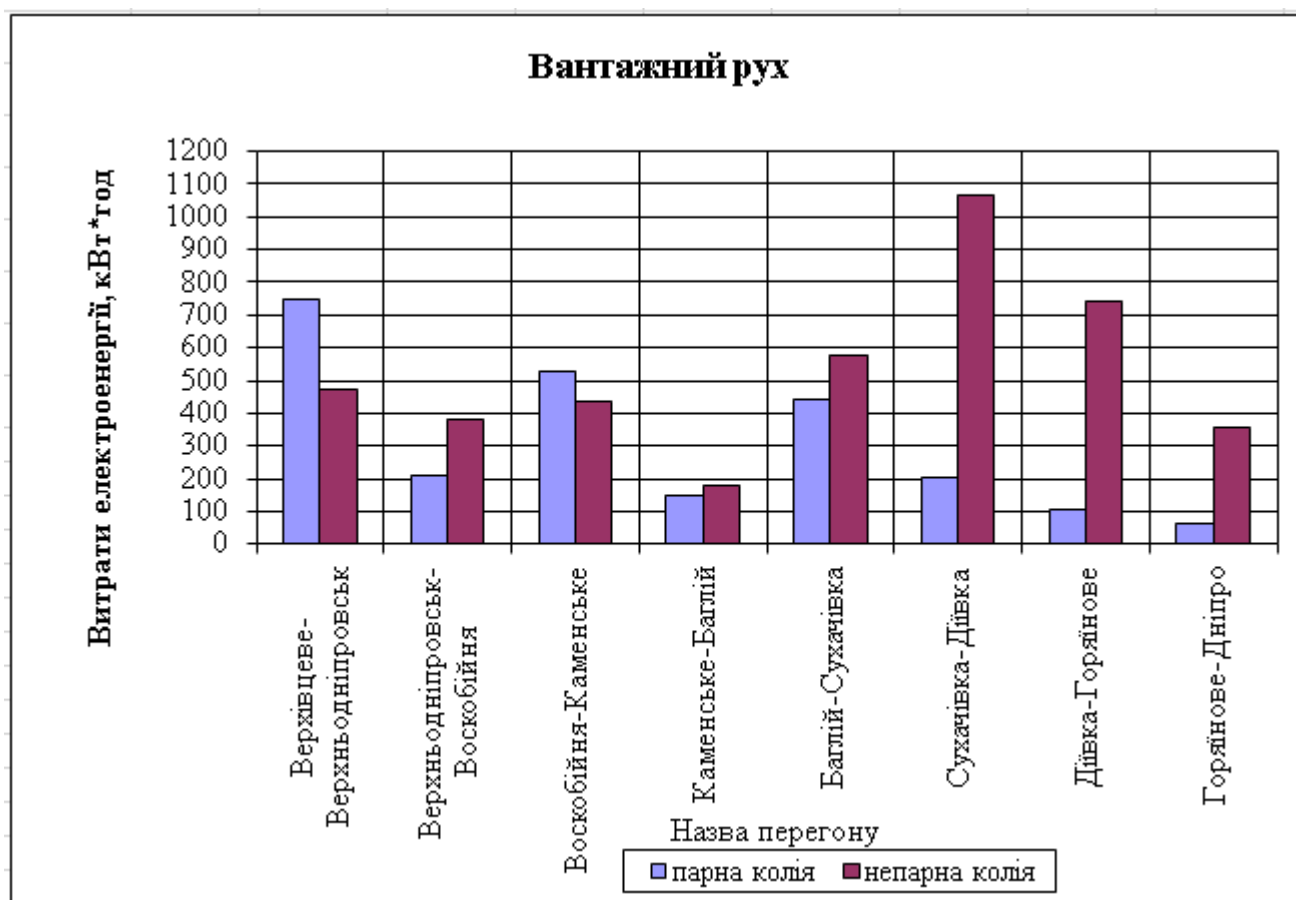


Рисунок 3.6 – Витрати електроенергії по перегонам

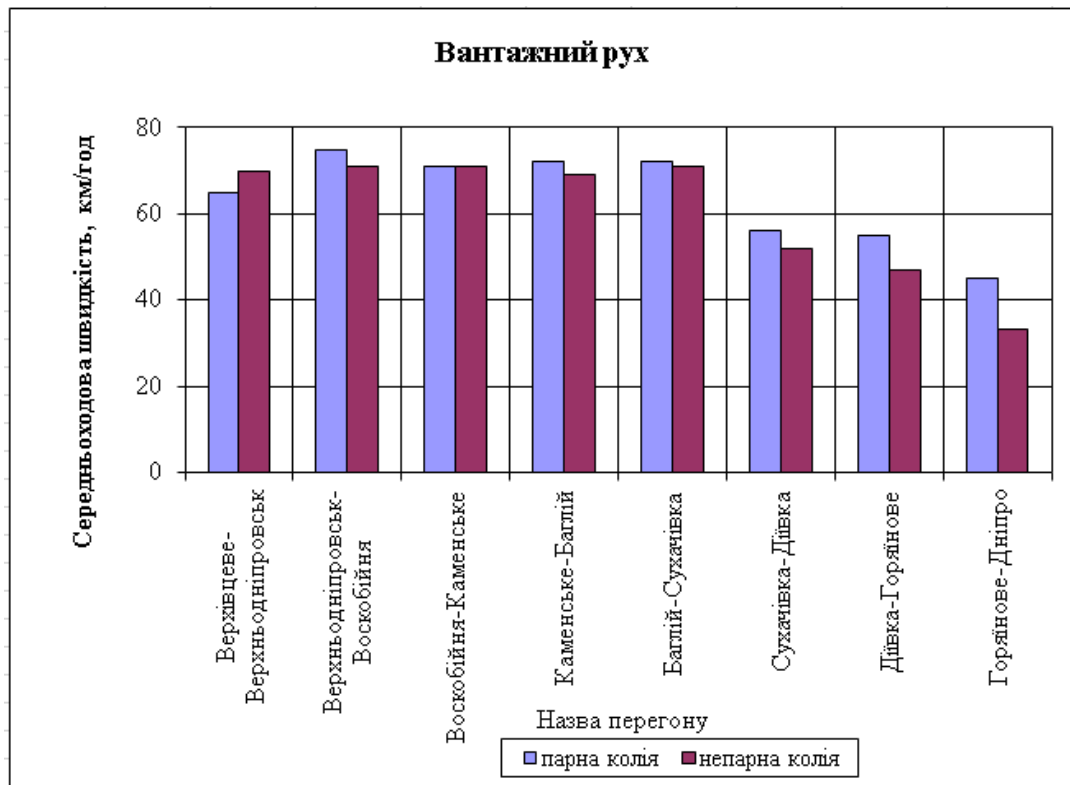


Рисунок 3.7 – Середньохорова швидкість по перегонам

Таблиця 3.2 – Результати тягових розрахунків для пасажирського руху

Назва перегону	Напрямок	Довжина, км	Час руху, хв	Витрата електроенергії, кВт-ч	Середня хорова швидкість, км/год
Верхівцеве – Верхньодніпровськ	парний	14,987	11,0	497,67	82
	непарний		10,5	387,87	85
Верхньодніпровськ – Воскобійня	парний	8,226	5,3	202,43	92
	непарний		5,3	207,45	92
Воскобійня – Камінське	парний	12,573	8,1	288,77	93
	непарний		8,1	237,65	93
Камінське – Баглій	парний	3,856	2,5	94,18	92
	непарний		2,5	90,74	90
Баглій – Сухачівка	парний	13,744	8,7	297,41	94
	непарний		8,7	276,80	94
Сухачівка – Діївка	парний	9,612	6,2	42,04	92
	непарний		6,1	338,43	94
Діївка – Горяїнове	парний	5,648	4,0	45,41	85
	непарний		3,9	273,85	86
Горяїнове – Дніпро	парний	2,486	2,6	1,33	56
	непарний		3,0	151,84	49

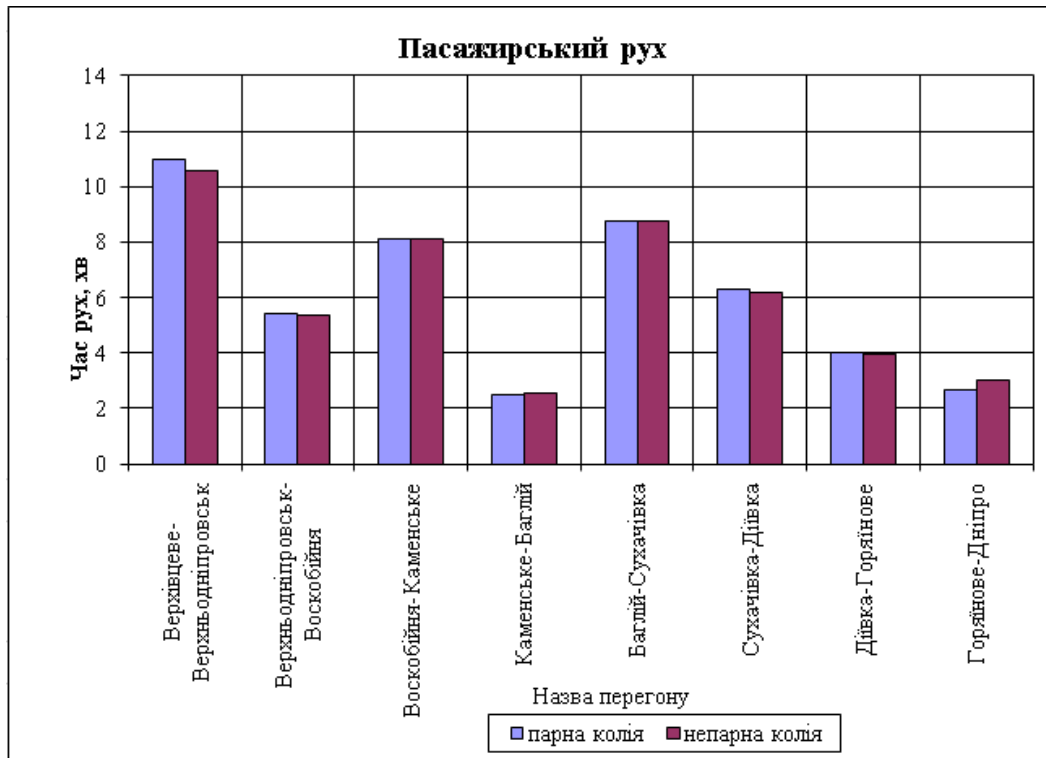


Рисунок 3.8 – Час руху по перегонам

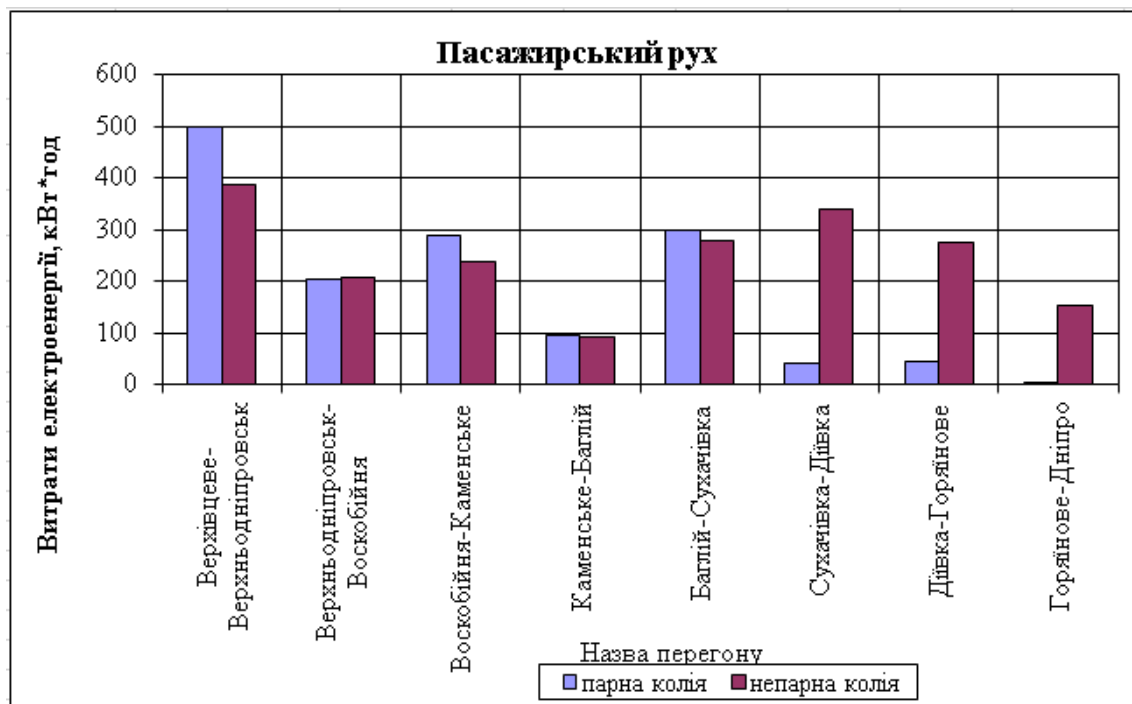


Рисунок 3.9 – Витрати електроенергії по перегонам

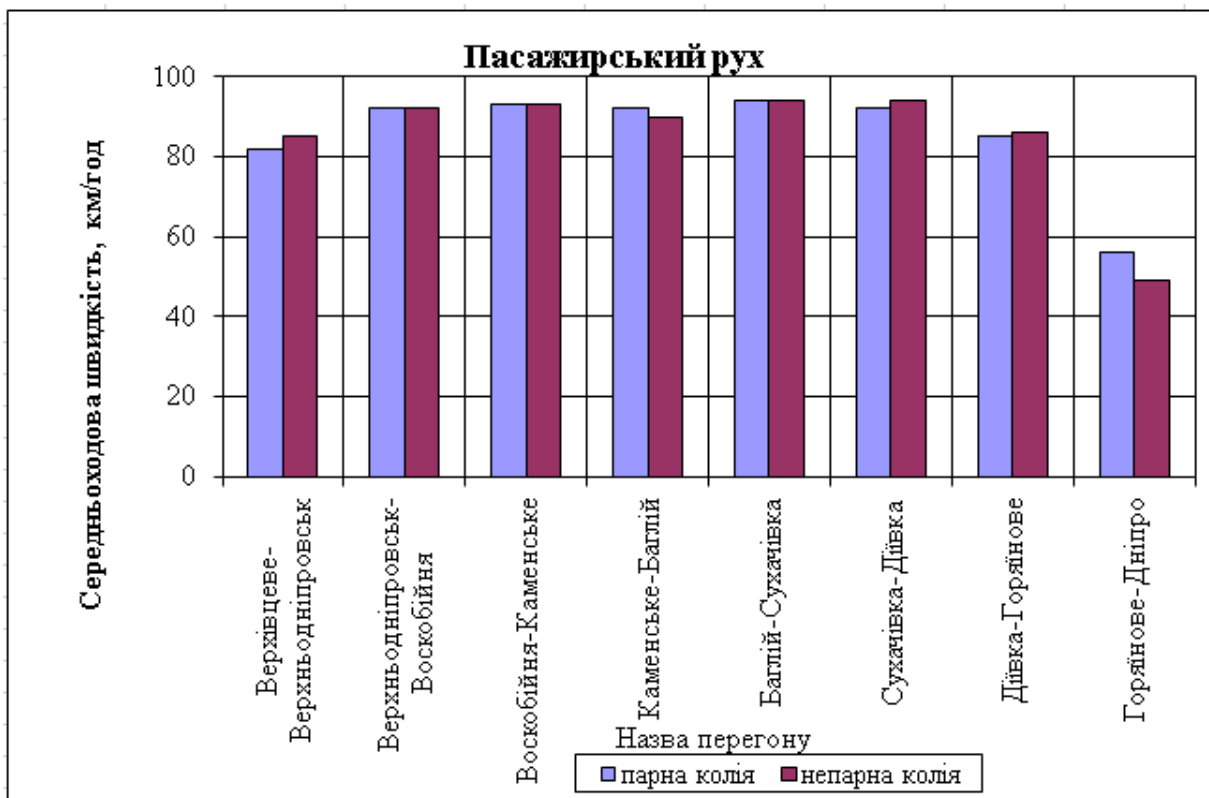


Рисунок 3.10 – Середньоходова швидкість по перегонам

Аналіз результатів тягових розрахунків для пасажирського та вантажного руху на ділянці Верхівцеве – Дніпро показав суттєву залежність експлуатаційних показників від напрямку руху, довжини перегонів і параметрів профілю колії.

Результати тягових розрахунків для пасажирського руху на ділянці Верхівцеве – Дніпро свідчать, що середня ходова швидкість по перегонів змінюється в широких межах – від 56 до 94 км/год, що зумовлено відмінностями довжин перегонів, параметрів плану та поздовжнього профілю колії. Найвищі швидкості досягаються на протяжних перегонах із сприятливими ухилами (Верхньодніпровськ – Воскобійня, Воскобійня – Каміньське, Баглій – Сухачівка), тоді як на коротких та профільно складних ділянках (Горіанове – Дніпро, Діївка – Горіанове) спостерігається істотне зниження швидкості та зростання часу руху. Витрати електроенергії мають виражену залежність від напрямку руху та поздовжніх ухилів, що підтверджує наявність локальних бар'єрних місць, які доцільно розглядати як першочергові об'єкти для оптимізації при реконструкції ділянки.

Середня ходова швидкість для вантажного руху змінюється в межах 33–75 км/год, при цьому мінімальні значення фіксуються на коротких та профільно складних перегонах, зокрема Горяїнове – Дніпро та Діївка – Горяїнове, які формують виражені бар’єрні місця для вантажного руху. Витрати електроенергії мають значну асиметрію між парним і непарним напрямками, що зумовлено різним розташуванням підйомів і спусків та підтверджує підвищену чутливість вантажних поїздів до ухилів. Отримані результати свідчать, що підвищення ефективності вантажного руху на даній ділянці можливе насамперед за рахунок оптимізації поздовжнього профілю та усунення локальних бар’єрних місць.

3.3 Побудова координатної моделі плану для початкового стану

Побудова координатної моделі плану колії є необхідним етапом підготовки вихідних даних для подальших тягових розрахунків та оптимізації параметрів плану лінії. Координатна модель дозволяє відтворити просторове положення осі колії з урахуванням фактичних геометричних параметрів кривих і прямих ділянок [13].

Для ділянки Верхівцеве – Дніпро координатна модель плану була сформована в програмному комплексі RWPlan на основі матеріалів поздовжнього профілю. Отже будування координатної моделі дозволяє вводити на існуючій кривій додаткові точки і формувати зйомку з постійним шагом, більш точно визначати напрямки вектора нормалі до точок існуючої колії. Та для більшої точності рекомендується робити розрахунок спочатку за допомогою евольвентної моделі зберігаючи її параметри, а потім виконувати перехід до координатної моделі. Координатна модель дозволяє виконувати подальшу оптимізацію плану як для окремих фрагментів, так і для всієї ділянки в цілому [13].

На етапі формування моделі для кожного елемента плану задавалися основні геометричні параметри: початковий кілометраж, довжина елемента, радіус кругової кривої, довжини перехідних кривих та величини підвищення зовнішньої рейки. Побудована координатна модель відображає фактичний стан

плану колії, включаючи наявні криві малого та середнього радіуса, які формують локальні обмеження швидкості руху.

Для підвищення ефективності розрахунків довгі ділянки з великою кількістю різнонапрямлених кривих у ряді випадків розбивалися на окремі фрагменти, кожен з яких оптимізувався окремо з подальшим об'єднанням у єдину координатну модель. Такий підхід дозволив зменшити тривалість обчислень і підвищити стабільність процесу моделювання.

Сформована координатна модель плану початкового технічного стану є базовою для визначення максимально допустимих швидкостей руху, виявлення бар'єрних місць та виконання порівняльного аналізу з проєктними варіантами реконструкції, що розглядаються в наступних підрозділах роботи.

На рисунок 3.11 наведене вікно перетворення параметрів плану в координатну модель.

Відкрити параметри координатної моделі Відкрити параметри евольвентної моделі Увести параметри плану "вручну"

Кількість ділянок постійної кривизни: 226 Пікет початку проєктування, м: 117679.77

Максимальна відстань між точками з координатами у файлі зйомки, м: 10 Номер 1-ї точки: 1

Назва ділянки: Верхівцеве - Дніпро

Напрямок пікетажу за ходом точок:
 прямий зворотний

Параметри плану ділянки, м

n	Lp	Min	Max	DL	R	Rmin	Rmax	K	KMin
	90	90	90	10					
1	80	80	80	10	-490	490	490	20.23	20
2	80	80	80	10	-1015	1015	1015	60	20
3	10	10	10	10	-775	775	775	48.39	20
4	20	20	20	10	-885	885	885	189.74	20
5	60	60	60	10	0	0	0	69.09	20
6	60	60	60	10	-795	795	795	52.39	20
7					n	n	n	25.17	20

Готово

Рисунок 3.11 – Перетворення параметрів плану в координатну зйомку

На графіку плану (рисунок 3.12) при евольвентній моделі будується

масштабний план ділянки для знятих точок. При координатній побудова плану проводиться в геодезичних координатах(вісь X верх, а вісь Y – вправо)

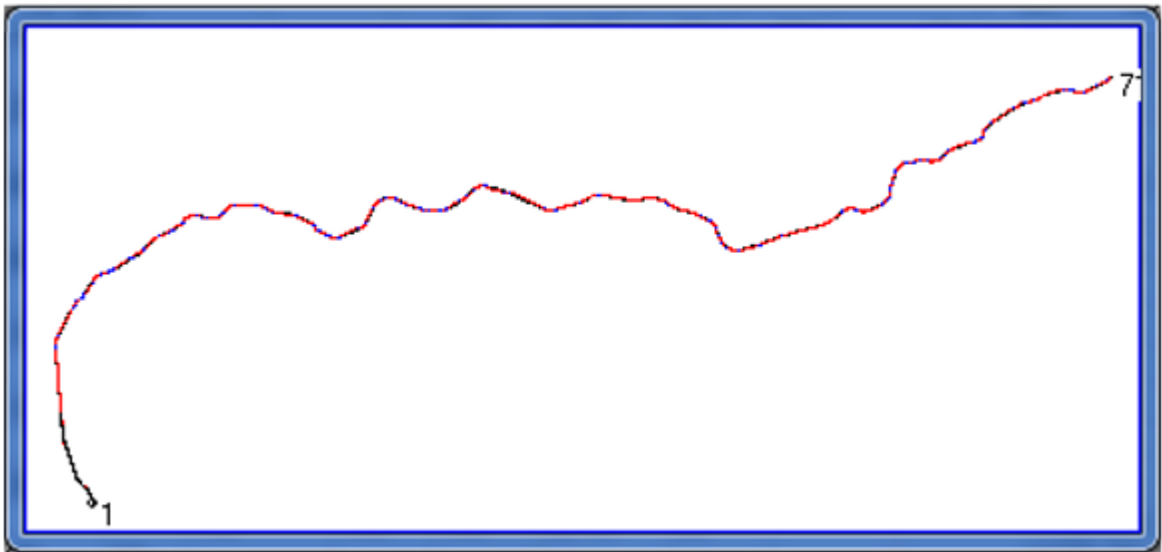


Рисунок 3.12 – План ділянки

Файл координатної зйомки дає можливість вирішувати ряд задач з перебудови плану (зміни радіусів, довжин прямих вставок, довжин перехідних кривих та інше), а також визначати допустимі максимально допустиму швидкості руху в кривих [13].

3.4 Оптимізація параметрів плану лінії на окремих ділянках

При розрахунку довгих ділянок, що містять криві різних напрямків і проміжні прямі вставки, у ряді випадків процес оптимізації є досить тривалим. У таких умовах більш ефективним є попереднє розбиття ділянки на окремі частини з подальшою оптимізацією кожної з них окремо, після чого параметри оптимізованих частин завантажуються для всієї ділянки в цілому та виконується загальна оптимізація.

Розбиття ділянки на частини можливе лише для координатної зйомки, тому у випадку використання іншого типу зйомки доцільно попередньо зберегти її у вигляді координатної моделі [13]. Це забезпечує коректну обробку геометричних параметрів плану під час подальшої оптимізації.

Після вибору пункту меню «Редагування / Розбити ділянку на частини»

користувачеві пропонується обрати тип розбиття: за точками зйомки або за прямими проектного рішення в координатній моделі. Вибір конкретного варіанта залежить від структури плану та характеру геометричних елементів ділянки.

Допустимий діапазон розбиття визначається умовами кривизни, за яких можливе сполучення прямої з круговою кривою без використання перехідної кривої, а також величиною максимально допустимого радіуса зламу. Чим менше значення знаменника задається у відповідному вікні параметрів, тим більша кількість частин утворюється в результаті розбиття ділянки.

За допомогою графіка кривизни (рисунок 3.13) виконується перевірка правильності вибору точок розбиття та, за необхідності, вносяться коригування. Це дозволяє в подальшому отримати більш стабільні та точні результати оптимізації. Після коригування точок розбиття досліджувана ділянка була розбита на 71 частину.

Після уведення всіх пар точок формуються файли окремих частин із відповідною зйомкою. Імена файлів генеруються автоматично програмою, однак за потреби користувач може задати їх вручну.

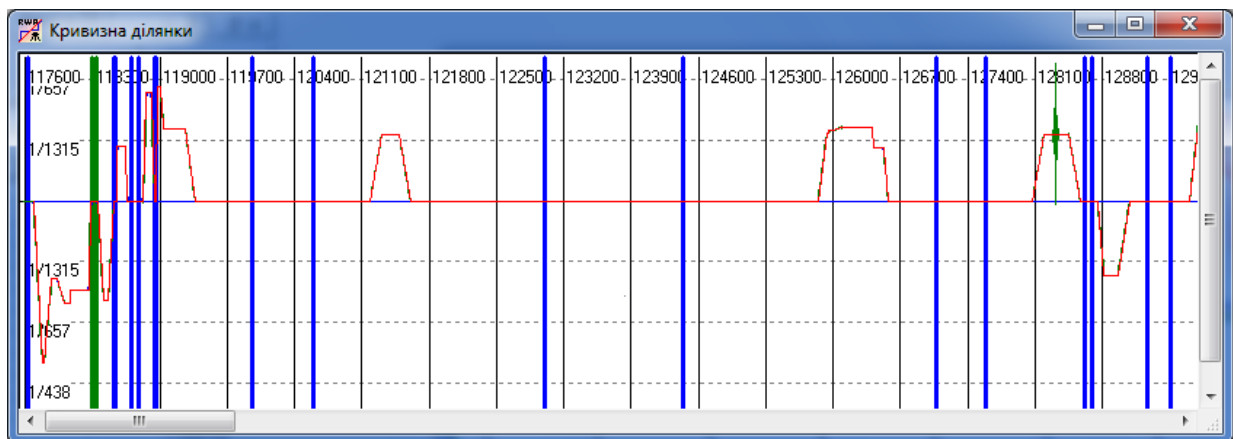


Рисунок 3.13 – Кривизна ділянки

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 окремих частин в таблиці 3.3 наведена послідовність виконання розрахунків.

Таблиця 3.3 – Послідовність виконання розрахунків

№ з/п	Команди
1	Файл/відкрити файл/координатної зйомки *.crd
2	Розрахункові значення (при необхідності відкоригувати)
3	Нові параметри (вибір початкового наближення)
4	Врахувати обмеження (максимальні граничні зсуви)
5	Поновити/Оптимізація
6	Округлити радіус/Зафіксувати довжини перехідних кривих
7	Зберегти параметри евольвентної моделі з розширенням *.ras
8	Створити координатної моделі
9	Оптимізація
10	Зберегти параметри координатної моделі з розширенням *.par
11	Сервіс/Допустимі V, h для проектного стану
12	Підбір h по Vmax

Наведена в таблиці 3.4 послідовність алгоритму побудови та оптимізації плану лінії в програмному комплексі RWPlan.

Пункти 1–3 формують етап підготовки вихідних даних: завантаження координатної зйомки (*.crd), перевірка та коригування розрахункових параметрів, а також задання початкового наближення для процесу оптимізації. Цей етап є критичним для забезпечення збіжності розрахунків і коректності геометричної моделі.

Пункт 4 передбачає введення граничних обмежень, зокрема максимальних допустимих зсувів осі колії, що забезпечує дотримання інженерних, експлуатаційних та землевідвідних вимог під час оптимізації.

Пункти 5–6 відповідають основному етапу оптимізації: виконується ітераційний перерахунок параметрів плану з подальшим округленням радіусів і

фіксацією довжин перехідних кривих, що необхідно для приведення результатів до нормативно допустимих значень.

Пункти 7–10 забезпечують збереження результатів у вигляді евольвентної (.gas) та координатної (.par) моделей, що дає змогу виконувати подальші перевірки, порівняння варіантів і використовувати отримані дані для суміжних розрахунків.

Пункти 11–12 завершують методику та спрямовані на визначення експлуатаційних характеристик проектного стану: розрахунок допустимих швидкостей руху та підбір підвищення зовнішньої рейки за максимальною швидкістю, що дозволяє оцінити ефект оптимізації з точки зору швидкісних і динамічних показників.

Для прикладу візьмемо ділянку під номером 32 параметри та розрахунок допустимої швидкості існуючої кривої наведені на рисунку 3.14.

h - возвышение наружного рельса, мм, i - уклон отвода возвышения в тысячных
 Обозначения причин ограничения скоростей: НП - непогашенное цскорение; Va - скорость нарастания цскорений; Vк - скорость опускания колеса; Далее для составных кривых: VaL2 - нарастание цскорений на соседних переходных; VaL1 - нарастание цскорений на одной из переходных; НП2 - непогашенное цскорение на соседних кривых; VaП - нарастание цскорений на прямой вставке; НПS - непогашенное цскорение на S-кривой; VaS - нарастание цскорений на S-кривой; Va2 - нарастание цскорений на одно-сторонних кривых; max - максимально-допустимая на данной кривой; Vгр - минимальная скорость для грузовых поездов.

n	L	R	K	h	i	НП	Va	Vк	VaL2	VaL1	НП2	VaП	НПС	VaS	Va2	max	Vгр
	100				0,3		185	160									
1		-1950	183	30		149										149	
	30								168								
2		-1450	61	30		129										120	
	40				0,8		127	120									

Рисунок 3.14 – Параметри та допустима швидкість

Після вводу нових параметрів отримуємо початкове наближення кривої. Після чого виконуємо оптимізацію евольвентної моделі (рисунок 3.15).

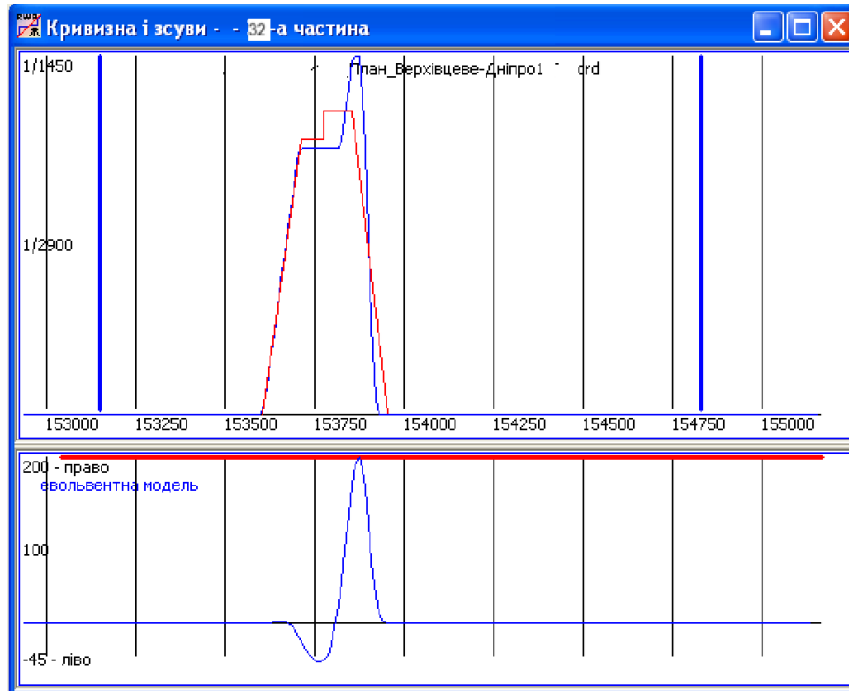


Рисунок 3.15 – Графік кривизни та зсувів евольвентної моделі

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 3.16).

Результати оптимізації показали при максимальних зсувах 200 мм максимальна швидкість пасажирських поїздів становить 135 км/год (рисунок 3.16).

V_{max}=135 V_{вт}=0-97

n	L	R	K	h	i	HP	V _a	V _k	V _{aL2}	V _{aL1}	HP2	V _{aП}	HP3	V _{aS}	V _{a2}	max1	max2	V	вт	V _{ср}
	110				0.1		184													
1		1888	60	15	**	139									218	139	139	98	50	
2		1713	79	20		135										135	135	97	50	
	100				0.2		174													

Рисунок 3.16 – Розрахунок максимальної швидкості

Аналогічно виконуються розрахунки для всіх частин ділянки. Після чого вони об'єднуються. Для поєднаних ділянок зйомки або для зйомки усієї ділянки можна відкривати параметри моделі частинами.

Спочатку слід обрати тип моделі для частин – координатну або евольвентну. При виборі евольвентної моделі можуть відкриватися і фрагменти координатної моделі, але при відключенні опції автоматичного читання файлів.

Зберігаємо файл координатної зйомки, параметри координатної моделі та параметри евольвентної моделі. Після цього ми отримуємо графік зсувів в цілому по ділянці (рисунок 3.17).

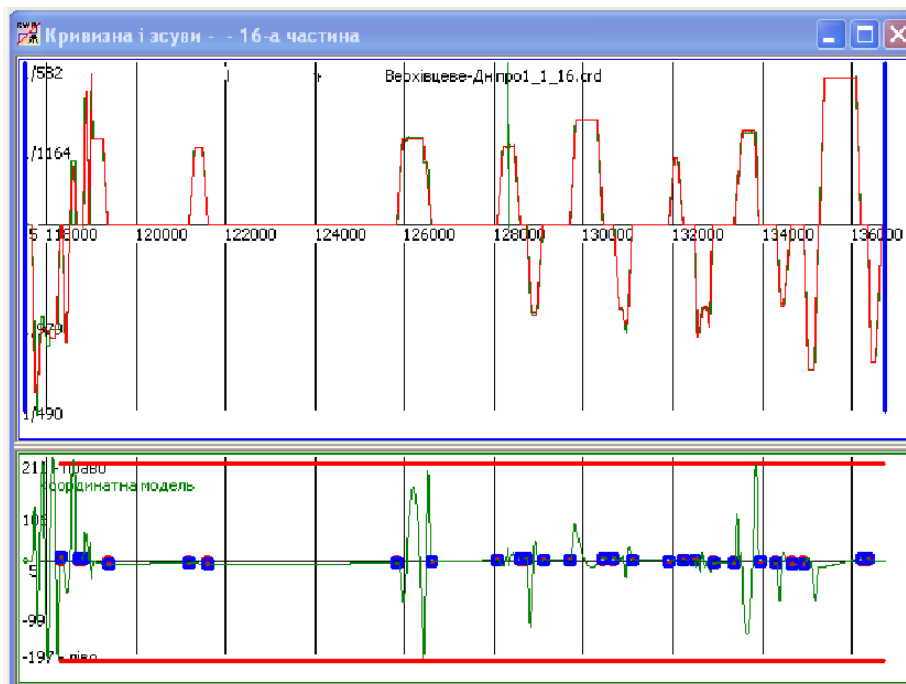


Рисунок 3.17 – Графік кривизни і зсувів для всієї ділянки

Таким чином, представлена послідовність виконання розрахунків забезпечує системний перехід від вихідної геометрії плану до оптимізованої проектної моделі, що є основою для подальших тягово-енергетичних розрахунків і обґрунтування ефективності усунення бар'єрних місць на ділянці залізниці.

Результати параметрів кривих до та після оптимізації наведені у додатку В.

3.5 Тягові розрахунки після перебудови плану лінії

Для кількісної оцінки ефективності виконаної перебудови плану лінії та визначення її впливу на експлуатаційні показники руху поїздів виникає необхідність виконання повторних тягових розрахунків з використанням оновлених параметрів плану. Саме ці розрахунки дозволяють порівняти показники «до» і «після» оптимізації та обґрунтувати доцільність усунення бар'єрних місць.

Розрахунки допустимої швидкості для існуючих кривих потребують існуючих значень підвищень зовнішньої рейки. Задаємо спочатку середньозважену швидкість, потім виконуємо підбір підвищення по максимальній швидкості (рисунок 3.18).

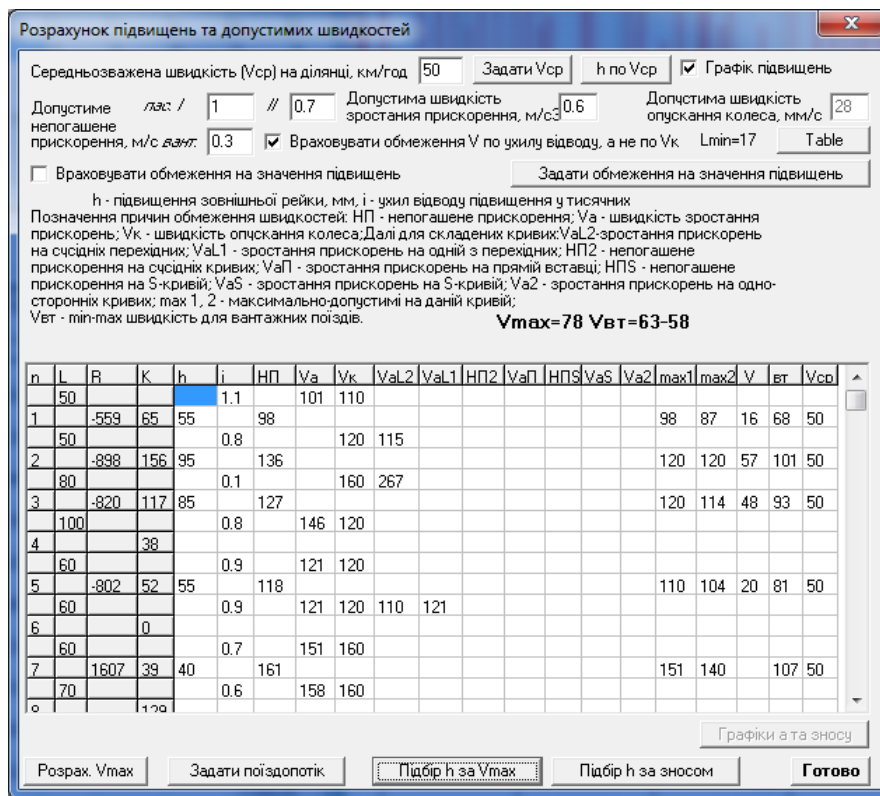


Рисунок 3.18 – Розрахунок підвищень і швидкості

В результаті підрахунку створюється текстовий файл з розширенням *.spp і будується графік допустимих швидкостей (рисунок 3.22).

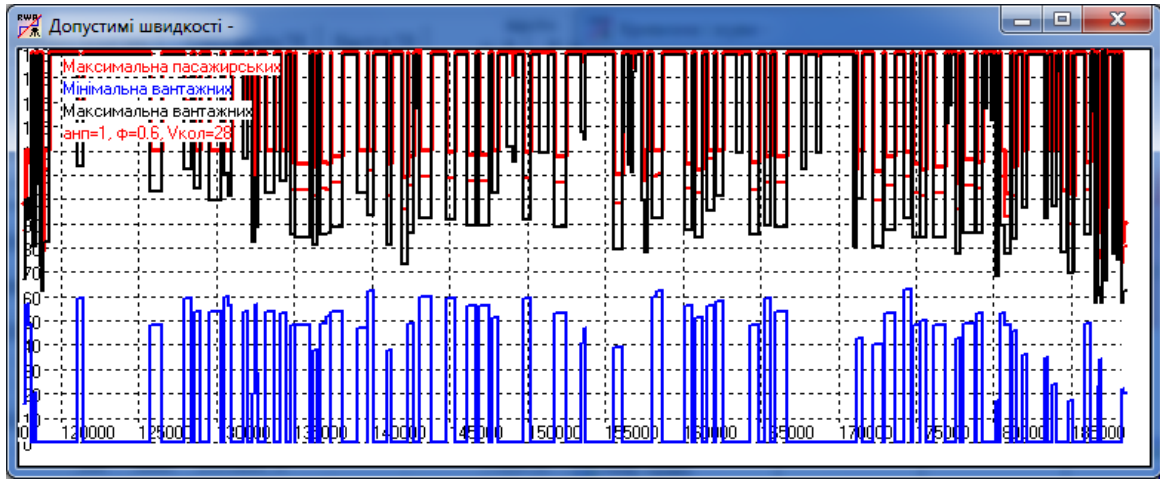


Рисунок 3.19 – Графік допустимих швидкостей

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

Виконуємо тягові розрахунки для пасажирського руху після перебудови кривих. Результати розрахунків наведені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати тягових розрахунків

Середньоходова швидкість км/год	Витрати електроенергії кВт*год	Мех. Робота 10кН*км	Робота гальмівних сил 10кН*км	Час рух, хв.
Існуючий стан				
88/89	2025.8/2735.2	467.18/628.04	288,77/212.58	48,3/48.1
Після оптимізації				
100/101	681.5/941	586.99/763.63	347.53/275.61	42.5/42.3

Результати тягових розрахунків показали, що після оптимізації плану лінії середньоходова швидкість у пасажирському русі становить близько 100 км/год, а час руху – 42,5 хв у парному та 42,3 хв у непарному напрямках. Водночас аналіз розрахунків засвідчив, що перебудова кривих у межах існуючого земляного полотна не забезпечує суттєвого підвищення швидкості руху. У зв'язку з цим подальше зростання швидкостей можливе лише за умови перебудови плану лінії за межами земляного полотна, що, однак, потребує значних капітальних витрат і має бути обґрунтоване з техніко-економічної точки зору.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УСУНЕННЯ ОБМЕЖЕННЯ ШВИДКОСТІ НА ДІЛЯНЦІ ХВОРОГО ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

4.1 Загальні положення

Для оцінювання економічних втрат, пов'язаних з наявністю бар'єрних місць на залізничних лініях, у магістерській роботі використано методичний підхід, який ґрунтується на визначенні додаткових експлуатаційних витрат та втрат доходів, що виникають унаслідок зниження швидкості руху поїздів, збільшення часу ходу та обмеження провізної спроможності ділянки.

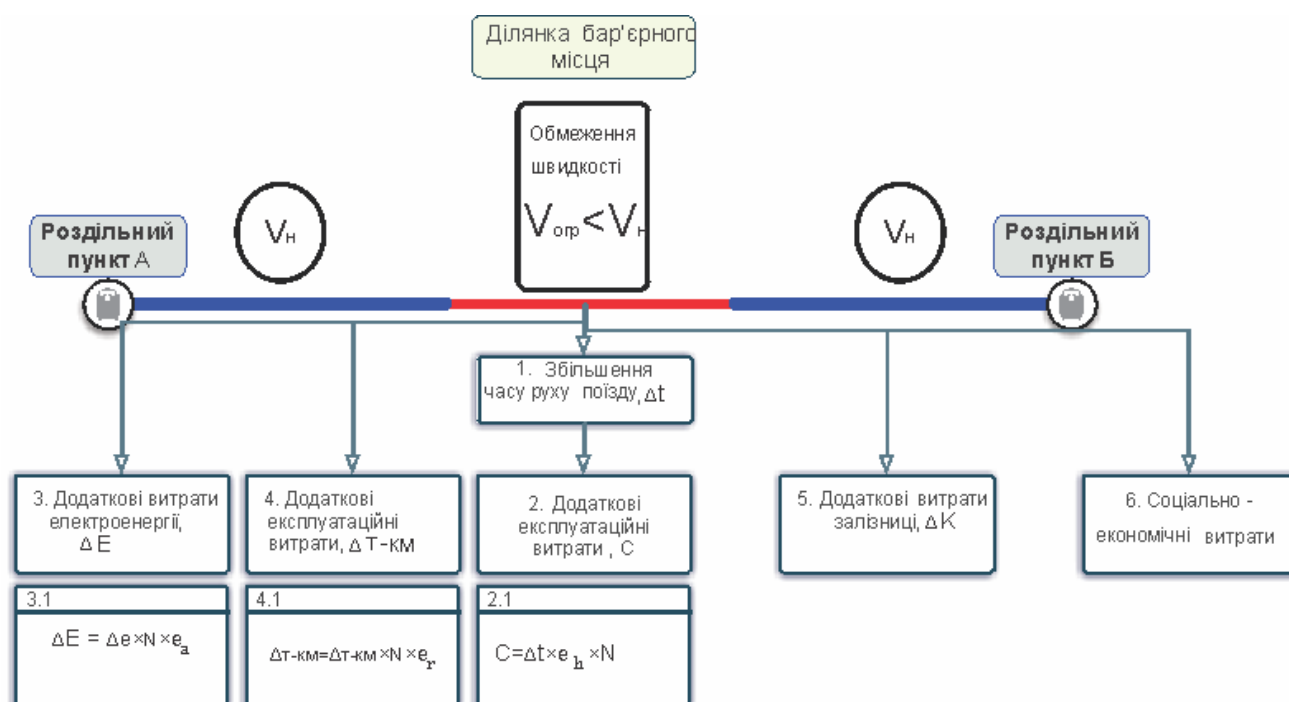


Рисунок 4.1 – Ділянка бар'єрного місця

Сутність даної методики (рис. 4.1) [5] полягає у порівнянні показників роботи залізничної ділянки для вихідного та проектного станів з подальшим визначенням різниці у витратах. Подібний підхід широко застосовується у вітчизняних наукових дослідженнях з оцінювання ефективності реконструкції залізничних ліній у роботах [14 - 17]

Відомі існуючі методи оцінки економічної ефективності заходів з усунення обмежень швидкості руху поїздів не враховують в повній мірі параметри плану й профілю ділянок, місце розташування ділянок, обрис профілю

тощо, що призводить до великих похибок.

Дана методика [5] полягає в тому, що середні річні втрати залізниці (тис. грн.) можна розрахувати за виразом

$$\Delta C = C_A + C_T + C_Q, \quad (4.1)$$

де C_A – втрати пов'язані з додатковим споживанням паливно-енергетичних ресурсів;

C_T – втрати пов'язані зі зростанням часу руху при наявності обмеження швидкості;

C_Q – втрати, що пов'язані з додатковими заходами для пропуску вантажних поїздів уніфікованої норми маси.

Втрати залізниці, що зумовлені підвищенням споживанням паливно-енергетичних ресурсів, розраховуються за формулою

$$C_A = \sum_{i=1}^{i=k} (\Delta A_i \cdot n_i \cdot T_o \cdot E_e), \quad (4.2)$$

де ΔA_i – додаткові витрат електроенергії (палива) від наявності обмеження швидкості для кожної категорії поїздів; $i=1...k$

n_i – кількість пар поїздів i категорії за добу;

T_o – тривалість дії обмеження швидкості, діб;

E_e – вартість 1 кВт-год електроенергії (1 кг палива), грн.

Втрати залізниці, які зумовлені зростанням часу руху визначаються як

$$C_T = \sum_{i=1}^{i=k} \left(\frac{\Delta t_i}{60} \cdot n_i \cdot T_o \cdot E_{i\Gamma} \right), \quad (4.3)$$

де Δt_i – зростання часу руху на ділянці обмеження швидкості руху поїздів i -ї категорії, год.;

n_i – кількість пар поїздів i категорії за добу;

T_o – тривалість дії обмеження швидкості, діб;

$E_{иг}$ – укрупнена витратна ставка 1 поїздо-год, грн

У випадку встановлення обмеження швидкості на крутих затяжних підйомах може виникнути потреба в призначенні локомотивів-штовхачів, що призводить до додаткових витрат залізниці, які можна розрахувати за формулою

$$C_Q = m \cdot n_{\text{вант}} \cdot (B_A + B_{\text{л}} + B_{\text{бр}} + B_{\text{зуп}}) \quad (4.4)$$

де $n_{\text{вант}}$ – кількість вантажних поїздів, що проходять по ділянці залізниці за добу;

B_A – додаткові витрати на паливо-енергетичні ресурси, тис. грн.;

$B_{\text{л}}$ – додаткові витрати на локомотиви-штовхачі, що надаються, тис. грн.;

$B_{\text{бр}}$ – додаткові витрати на локомотивні бригади, що обслуговують локомотиви-штовхачі, тис. грн.;

$B_{\text{зуп}}$ – додаткові витрати, що зумовлені вимушеною зупинкою на станціях для надання штовхачів та їх відчеплення, тис. грн.

Визначення перелічених складових наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Визначення додаткових витрат, що пов'язані з масою вантажного поїзда

Величина	Розрахункова формула	Позначення
B_A	$B_A = A_{\text{дод}} \cdot e_e$	$A_{\text{дод}}$ – додаткові витрати електроенергії (кВт год.) або дизельного палива (т); e_e – вартість паливно-енергетичних ресурсів, тис. грн.; t – час, на який потрібно надати локомотив-штовхач, год.; $e_{\text{л}}$ – вартість 1 поїздо-години, тис. грн.; $e_{\text{бр}}$ – вартість 1 бригадо-години, тис. грн.; $e_{\text{зуп}}$ – вартість однієї зупинки поїзда, тис. грн.; K_e – витрати електроенергії на 1 ткм механічної роботи, кВт·год. (а при тепловозній тязі – витрати палива на 1 ткм механічної роботи, т); $\Delta R_{\text{мех}}$ – зміна механічної роботи сили тяги локомотива при наданні локомотива-штовхача, ткм.
$B_{\text{л}}$	$B_{\text{л}} = t \cdot e_{\text{л}}$	
$B_{\text{бр}}$	$B_{\text{бр}} = t \cdot e_{\text{бр}}$	
$B_{\text{зуп}}$	$B_{\text{зуп}} = 2 \cdot e_{\text{зуп}}$	
$A_{\text{дод}}$	$A_{\text{дод}} = K_e \cdot \Delta R_{\text{мех}}$	

Запропонована методика дозволяє комплексно оцінити негативний вплив бар'єрних місць на ефективність роботи залізничної ділянки та використовується у подальших підрозділах для обґрунтування доцільності їх усунення.

4.2 Сутність економічної оцінки

При визначенні економічного ефекту від усунення бар'єрних місць на залізничній ділянці враховуються насамперед економія енергоресурсів та скорочення часу руху поїздів. У техніко-економічних розрахунках використано метод витратних ставок, який є загальноприйнятим у практиці економічних оцінок на залізничному транспорті.

Слід зазначити, що укрупнені витратні ставки на залізницях України (наприклад, на 1 поїздо-км, 1 поїздо-год тощо) відрізняються залежно від регіональної філії та умов експлуатації. Тому при проведенні експрес-оцінки доцільності реконструктивних заходів необхідно враховувати ці відмінності або використовувати усереднені нормативні значення.

На основі попередньо отриманих залежностей з економії електроенергії, механічної роботи сили тяги локомотива, часу руху поїзда були враховані місце розташування бар'єрного місця й крутизна ухилу, тип і маса рухомого складу, рівень швидкості обмеження тощо. Використання відповідних таблиць або графіків дає можливість в службах чи дистанціях колії надавати попередню оцінку доцільності виконання робіт з усунення встановленого на ділянці обмеження швидкості не виконуючи докладні тягові розрахунки (рис. 4.2).

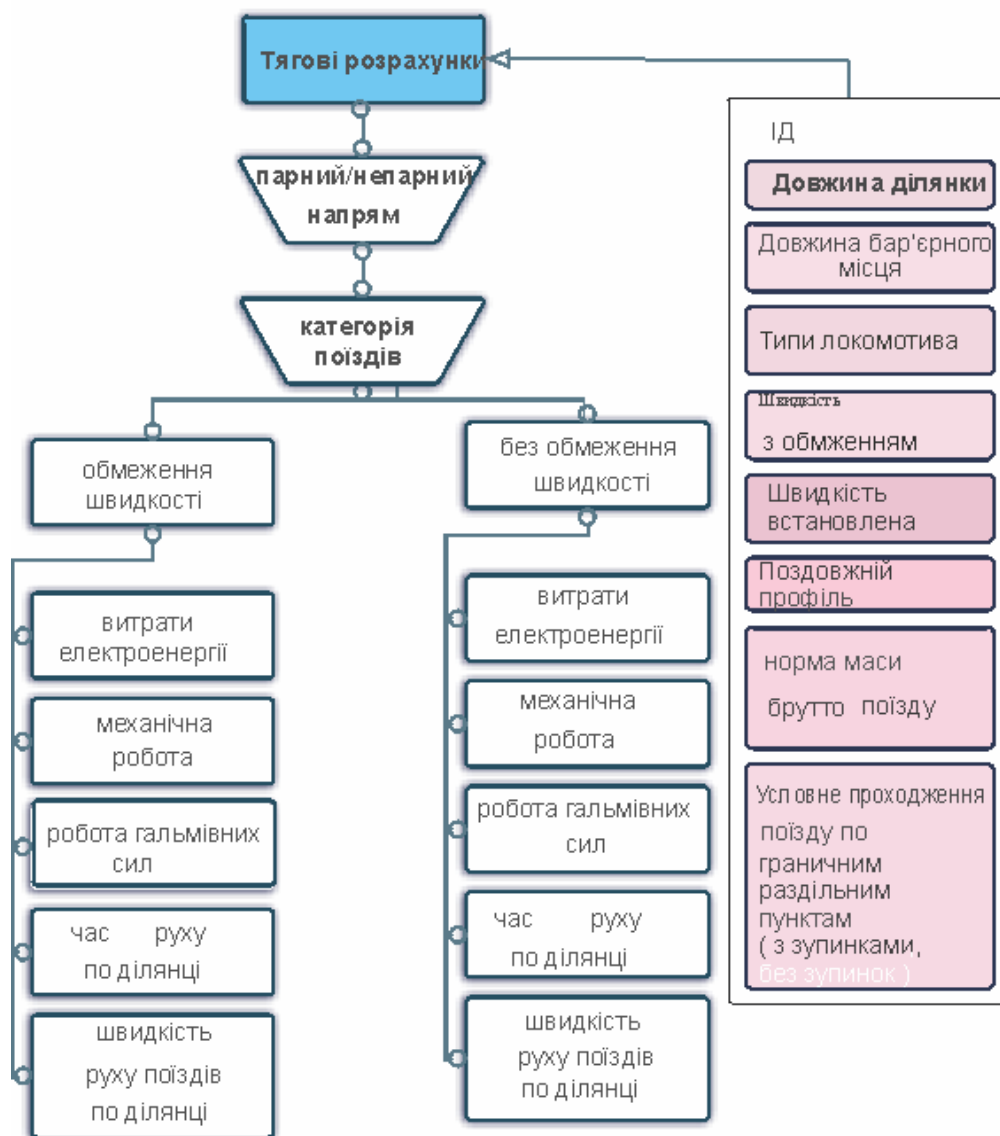


Рисунок 4.2 – Схема тягових розрахунків

При визначенні економічної ефективності варіанти оцінюють по показнику потрібних капітальних вкладень (інвестицій) і показнику експлуатаційних витрат.

Інтегральний ефект (чистий дисконтний прибуток) $E_{\text{інт}}$ визначається як різниця результатів за розрахунковий період T_p та інвестиційних витрат K_o , що приведена до початкового року

$$E_{\text{інт}} = \sum_{t=1}^{T_p} \Delta C_t \eta_t - K_o, \quad (4.4)$$

де η_t - коефіцієнт дисконтування різночасових витрат та результатів.

У якості одноразових інвестиційних витрат K_o можна приймати капітальні вкладення на виконання робіт з усунення обмеження швидкості, які приурочують до проведення ремонтних робіт. Скорочення експлуатаційних витрат ΔC_t визначається як різниця

$$\Delta C_t = C_o(t) - C_{np}(t), \quad (4.5)$$

де $C_o(t)$, $C_{np}(t)$ – експлуатаційні витрати за рік t , відповідно, у тому випадку, якщо усунення обмеження швидкості не проводиться, і у випадку виконання відповідних заходів.

На напрямках з переважаючим вантажним рухом при наявності декількох бар'єрних місць черговість їх усунення може визначатись за таким показником як відношення вартості робіт до економії механічної роботи сили тяги локомотива, тобто

$$q_1 = \frac{K_1}{\Delta R_1}, \quad q_2 = \frac{K_2}{\Delta R_2}, \quad \dots \quad q_n = \frac{K_n}{\Delta R_n}; \quad (4.6)$$

причому $q_1 < q_2 < \dots < q_n$

На пасажирських ходах, де переважають пасажирські перевезеннями, аналогічно вище викладеному, може розглядатись відношення вартості робіт до скорочення часу руху

$$p_1 = \frac{K_1}{\Delta t_1}, \quad p_2 = \frac{K_2}{\Delta t_2}, \quad \dots \quad p_n = \frac{K_n}{\Delta t_n}; \quad (4.7)$$

причому $p_1 < p_2 < \dots < p_n$

Запропонований підхід дозволяє обґрунтовано визначати пріоритетність інвестицій у реконструкцію залізничної інфраструктури та забезпечує вибір найбільш економічно доцільних заходів з усунення бар'єрних місць.

4.3 Визначення економічного ефекту від зняття попередження швидкості руху

Для визначення економічної ефективності за експрес-методикою на етапі попередньої оцінки економічної ефективності можна використовувати таблиці або графіки, які були побудовані для різних умов експлуатації і вихідних даних.

Наведена методика доведена до інженерного розрахунку, може бути використана на рівні технічного відділу дороги або дистанції колії при використанні вихідних даних конкретної ділянки.

Послідовність виконання розрахунків наступна:

1. Для ділянки залізниці з обмеженням швидкості руху поїздів встановлюються такі вихідні дані як вантажонапруженість, швидкість руху до і після усунення бар'єрного місця, що викликає обмеження швидкості, та тривалість дії обмеження .

2. Визначається економія електроенергії (кВт-год) чи дизельного палива (кг) – ΔA за рахунок усунення бар'єрного місця, окремо для парного й непарного напрямків.

3. Визначається скорочення часу знаходження поїздів (кожної категорії окремо) на ділянці при знятті обмеження швидкості – Δt (хв.) окремо для парного й непарного напрямків.

4. Задаються середньодобові розміру руху поїздів, окремо для вантажних, пасажирських, приміських.

5. Визначаються тип локомотива і маса рухомого складу.

6. Відповідно до розташування ділянки обмеження швидкості приймаються укрупнені витратні ставки (рис. 4.2):

Для попередньої оцінки можна використати укрупнені витратні ставки:

E_{nc} – укрупнена витратна ставка 1 поїздо-год. (грн.),

E_e – вартість 1 кВт-год електроенергії (1 кг палива), грн.

C_{op} – вартість 1000 тонно-кілометрів брутто (грн).

7. Розраховується загальний ефект від скорочення витрат на паливо-

енергетичні ресурси для потоку поїздів окремо для непарного й парного напрямків C_A (формула 4.2)

8. Розраховується економія витрат від скорочення часу знаходження поїздів на дільниці окремо для непарного й парного напрямків C_T (формула 4.3)

9. Розраховується економія завдяки відсутності додаткових заходів для пропуску вантажних поїздів уніфікованої норми маси (формула 4.4, табл. 4.1).

10. Визначається загальний ефект від усунення обмеження швидкості руху, який складається із економії витрат на паливно-енергетичні ресурси (C_A), економії витрат від скорочення часу знаходження поїздів на дільницях (C_T), та в зв'язку з цим скорочення витрат на утримання локомотивів та вагонів (C_Q)

4.4 Капітальні витрати на роботи, що пов'язані з усуненням обмеження швидкості

Для усунення причин обмеження швидкостей руху поїздів (бар'єрних місць) та отримання відповідного економічного ефекту за рахунок підвищення швидкості руху і ліквідації ділянок інтенсивного гальмування та розгону необхідне виконання ремонтно-відновлювальних робіт, що потребує певних капітальних вкладень. Економічний ефект у цьому випадку визначається різницею між одноразовими витратами на усунення бар'єрного місця та зменшенням подальших експлуатаційних витрат при пропуску поїздів на даній ділянці. При цьому слід ураховувати, що капітальні вкладення мають разовий характер, тоді як економія експлуатаційних витрат формується протягом тривалого періоду експлуатації. У зв'язку з цим у ряді випадків доцільніше оцінювати не миттєву ефективність, а строк окупності вкладених коштів.

Визначення величини капітальних витрат на ліквідацію конкретного бар'єрного місця можливе лише шляхом розроблення детальної кошторисної документації за проектом виконання робіт на відповідній ділянці залізниці з урахуванням переліку технологічних операцій, обсягів і вартості матеріалів, потреби в робочій силі, машинах і механізмах. Разом із тим більшість бар'єрних

місць мають характер довготривалих обмежень швидкості, усунення яких є доцільним у процесі виконання планових ремонтних робіт. Тому для попередньої економічної оцінки витрати на ліквідацію бар'єрного місця можуть прийматися рівними вартості відповідного виду ремонту, приведеної до довжини ділянки, що обмежує швидкість руху.

Зокрема, під час виконання комплексно-оздоровчого ремонту можливе усунення бар'єрних місць, пов'язаних із виправленням і рихтуванням колії машинними комплексами, ліквідацією місць виплесків, заміною дефектних рейок і непридатних шпал, очищенням та відновленням роботи водовідвідних споруд тощо.

У межах середнього ремонту можуть бути ліквідовані бар'єрні місця, що потребують очищення забрудненого баласту, заміни непридатних шпал, брусів і скріплень, виправлення кривих у плані, ремонту переїздів, водовідвідних та укріплювальних споруд.

Під час модернізації або капітального ремонту колії створюються умови для усунення найбільш складних обмежень швидкості, пов'язаних з очищенням щебеневого баластного шару та формуванням баластної призми, виправленням колії з постановкою у проєктне положення в поздовжньому профілі, відновленням або збільшенням радіусів кривих у плані, перевлаштуванням земляного полотна та штучних споруд, приведенням геометричних параметрів земляного полотна у відповідність до нормативних вимог, ремонтом водовідвідних і укріплювальних споруд, реконструкцією горловин станцій, а також ремонтом або перевлаштуванням залізничних переїздів.

На рис. 4.3 показано вартості усунення бар'єрного місця для різної довжини ділянки в залежності від виду ремонту, за рахунок якого будуть виконуватися роботи.

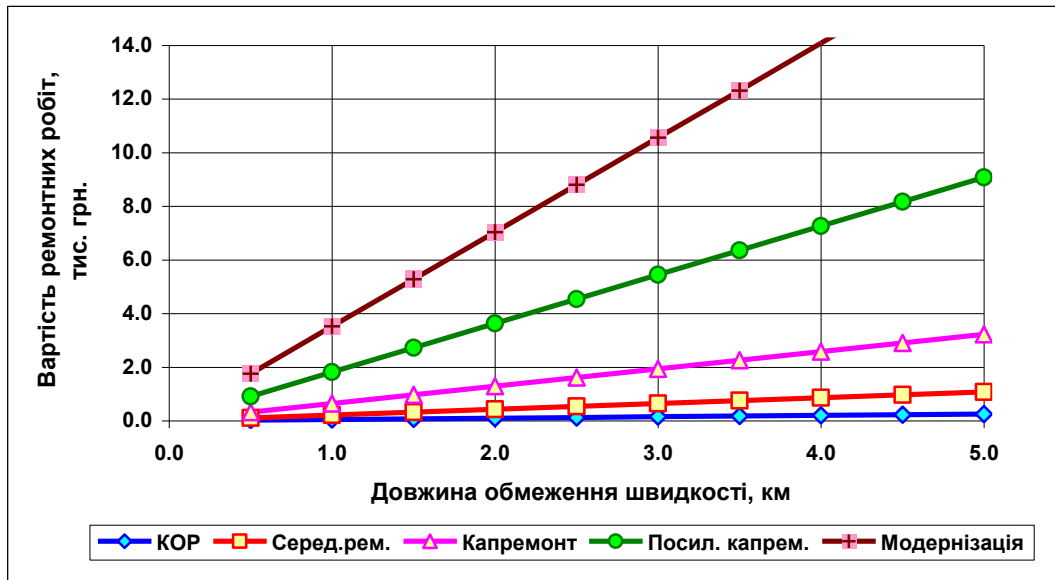


Рисунок 4.3 – Вартість ремонтних робіт

4.5 Результати розрахунків

Розглянуто ділянку довжиною 10 км із хворим земляним полотном протяжністю 1,0 км, де встановлено обмеження швидкості 60 км/год. Ділянка з електричною тягою на постійному струмі. Вантажні поїзди: локомотив ВЛ8, маса складу 3000 т; пасажирські: ЧС7, маса поїзда 1100; приміські ЕР2, маса поїзда 600 т.

Профіль представляє собою суцільний підйом з ухилами до 6-8 ‰.

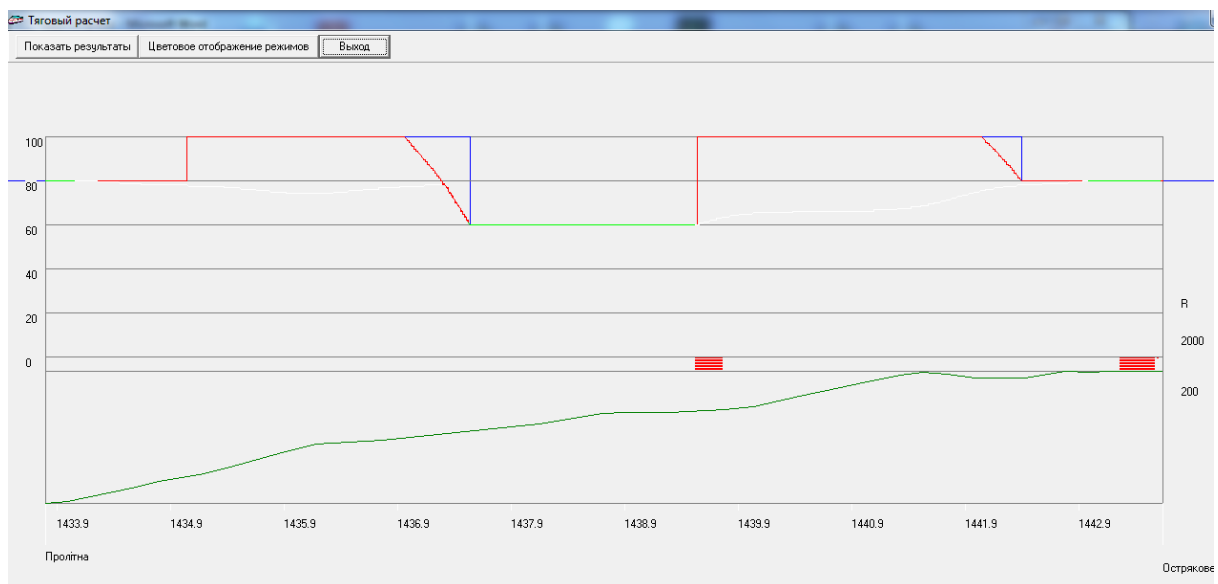


Рисунок 4.4 – Кривая швидкості при обмеженні, непарний напрям ВЛ8

З аналізу кривої швидкості (рис. 4.4) випливає, що вантажний поїзд масою 3000 тонн (електровоз ВЛ8) проходить бар'єрне місце з обмеженням швидкості до встановленої 60 км/год.

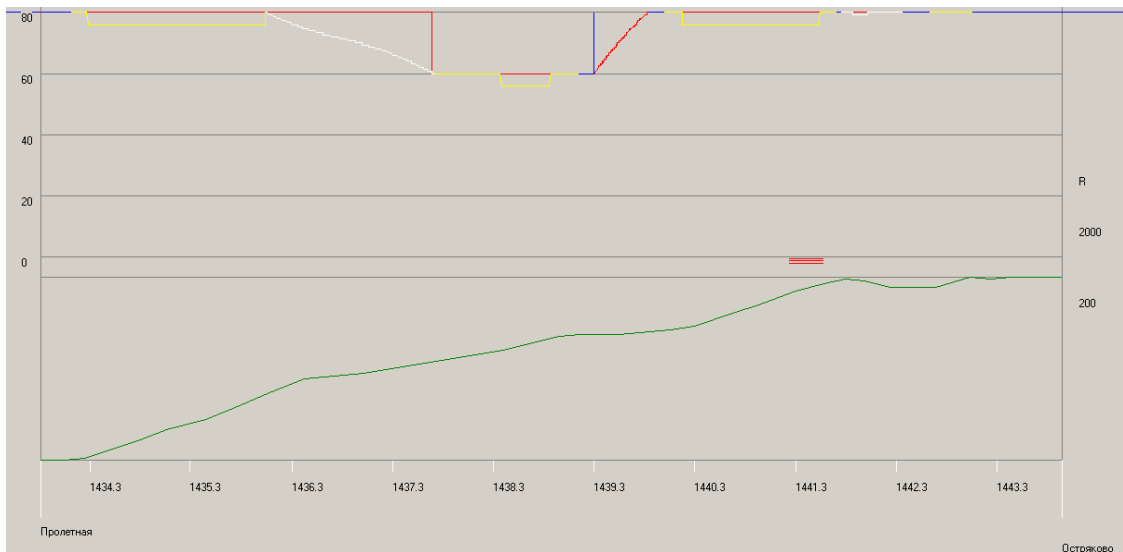


Рисунок 4.5 – Крива швидкості при обмеженні, парний напрям ВЛ8

У парному напрямку (рис. 4.5) вантажний поїзд масою 3000 тонн проходить бар'єрне місце з використанням регульовального гальмування (лінія жовтого кольору на кривій швидкості) що пояснюється необхідністю підтримки допустимої швидкості на крутому спуску (обмеження по гальмах).

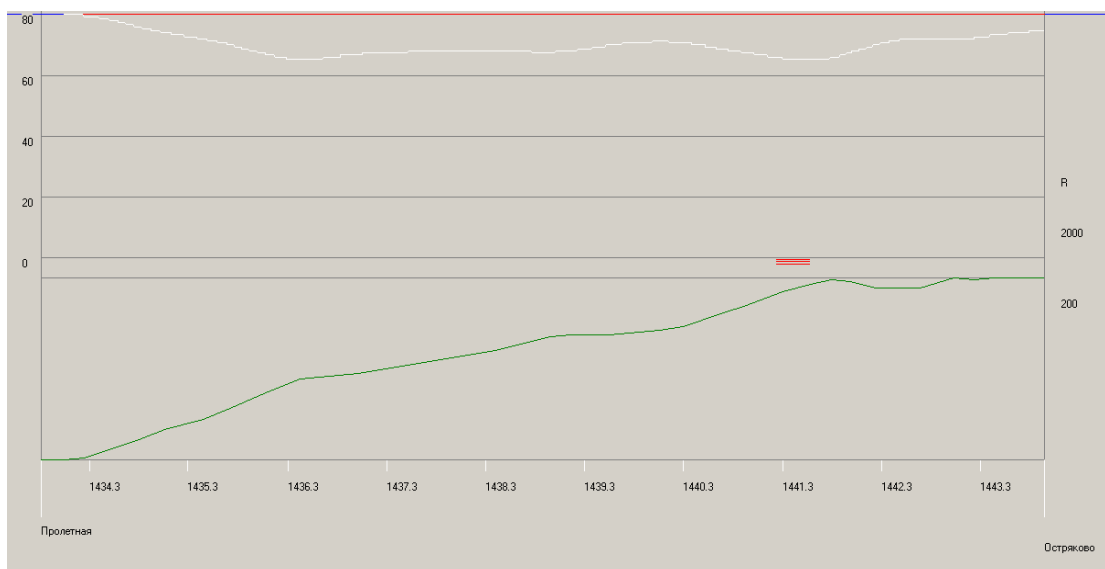


Рисунок 4.6 – Крива швидкість при усуненні обмеження, непарний напрямок ВЛ8

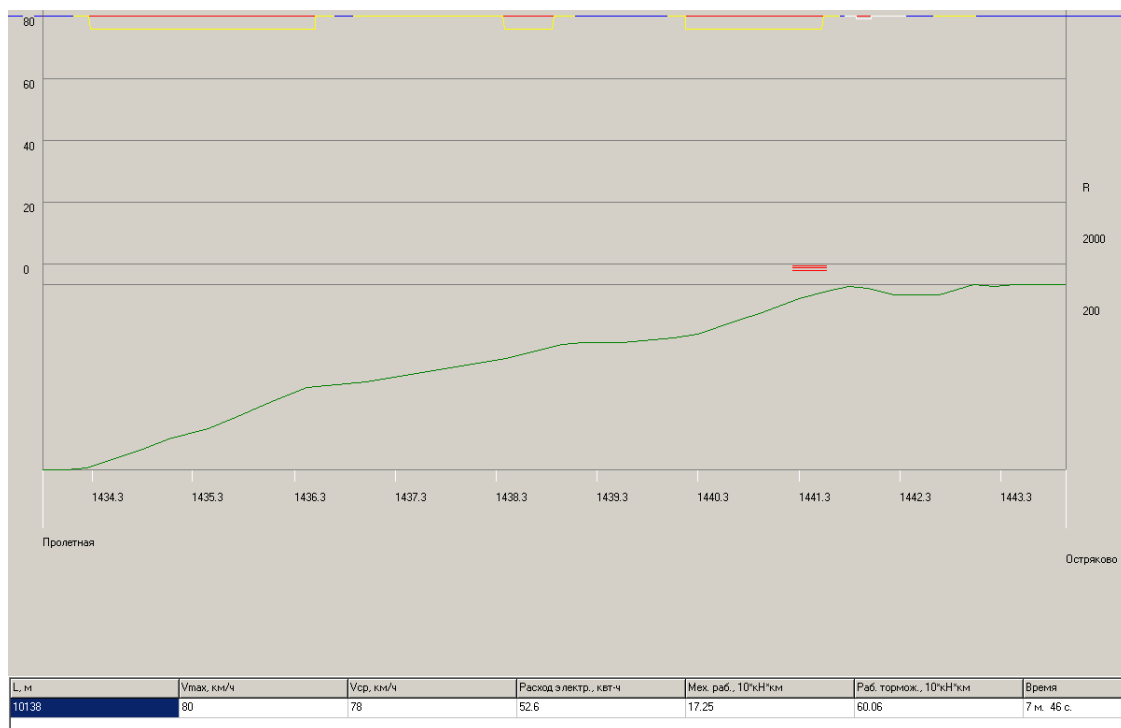


Рисунок 4.7 – Крива швидкість при усуненні обмеження, парний напрям

Результати тягових розрахунків для різних категорій поїздів наведені в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Результати тягових розрахунків поїздів для різних категорій

Характеристика руху	Напрямок руху	Vсер, км/год	Витрати електроен, кВт·год	Мех. робота, ткм	Робота гальм. сил, ткм	Час руху, хв.
ВЛ8, Q = 3000 т						
обмеження 60 км/год	непарна	67	631.1	169.49	10.8	9.18
	парна	73	257.1	41.78	88.53	7.51
без обмеження	непарна	70	622.8	162.75	0	9.11
	парна	78	183.5	17.25	60.06	6.29
ЧС2, Q = 1100 т						
обмеження 60 км/год	непарна	93	432.0	140.65	47.35	6.52
	парна	95	219.8	71.54	62.91	6.42
без обмеження	непарна	120	335.6	108.73	4.87	5.09
	парна	119	91.4	29.59	11.96	5.12

ЧС7, Q =1100 т						
обмеження 60 км/год	непарна	93	201.7	145.7	48.4	6.52
	парна	95	101.4	74.41	65.12	6.42
без обмеження	непарна	120	101.2	112.71	5.02	5.09
	парна	119	27.8	30.97	12.29	5.12
ЭР2, Q =600 т						
обмеження 60 км/год	непарна	82	141.9	46.33	9.65	7.43
	парна	87	60.7	19.82	18.45	7.01
без обмеження	непарна	93	124.3	40.7	0	6.52
	парна	99	28.2	9.19	5.46	6.14

Для наочності представлено результати тягово-енергетичних розрахунків: час руху (рис. 4.7, 4.8), витрати електроенергії (рис. 4.9, 4.10).

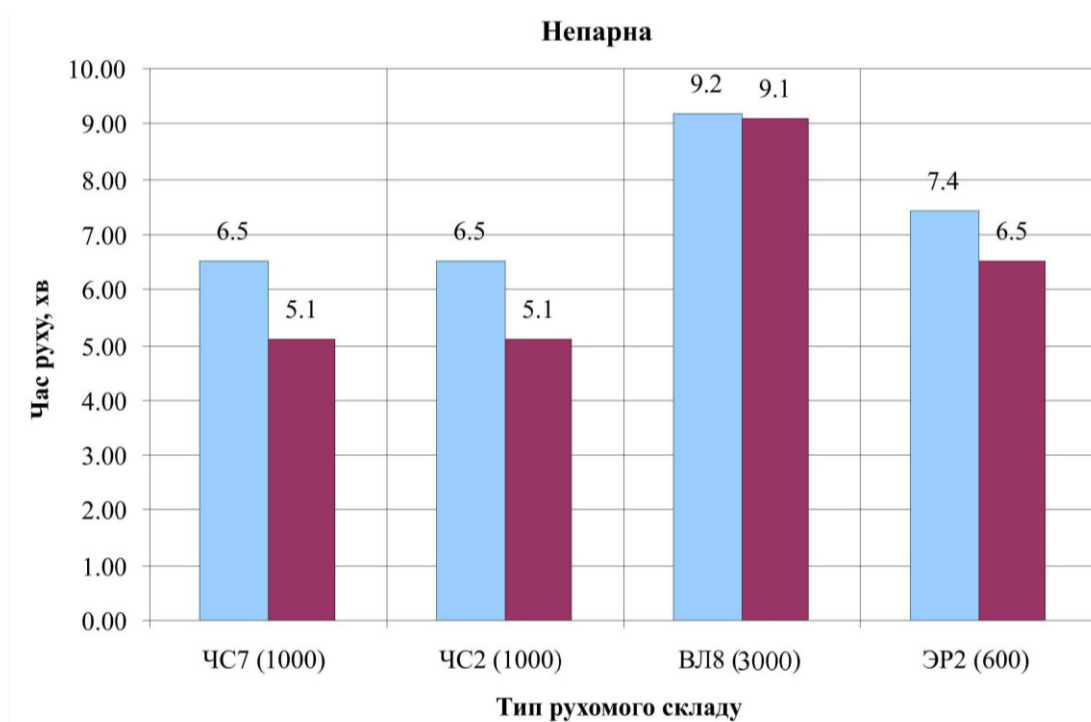


Рисунок 4.7 – Час руху поїздів у непарному напрямку

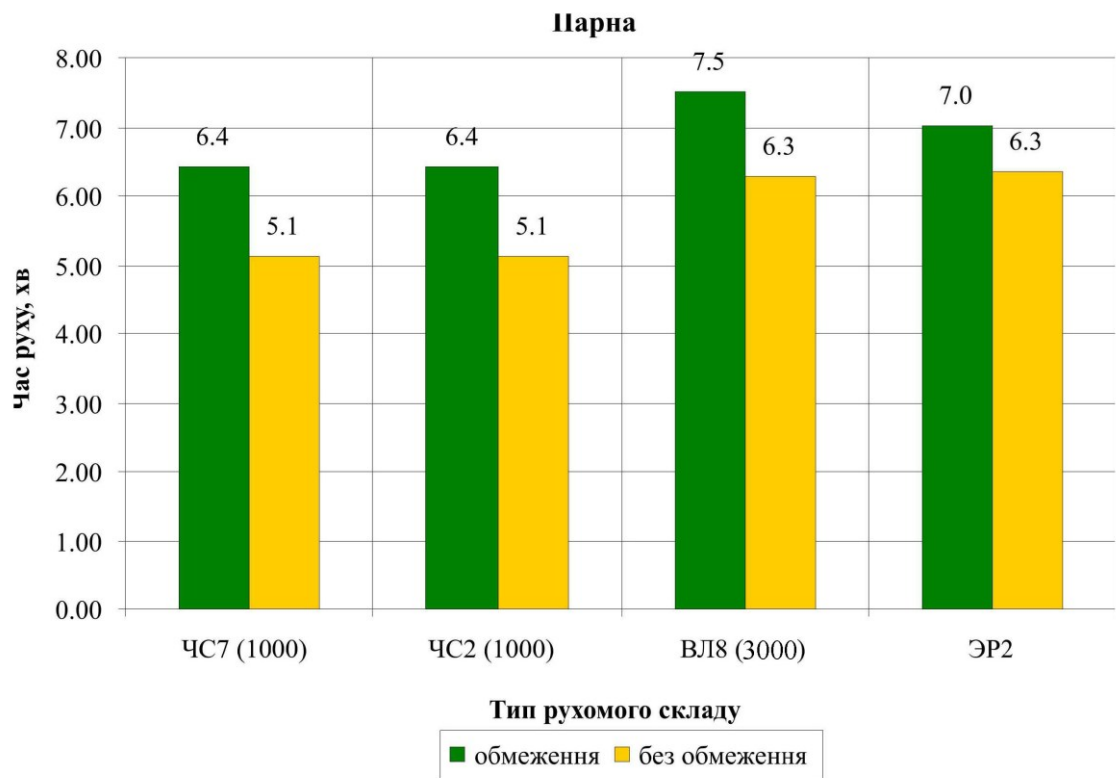


Рисунок 4.8 – Час руху поїздів у парному напрямку

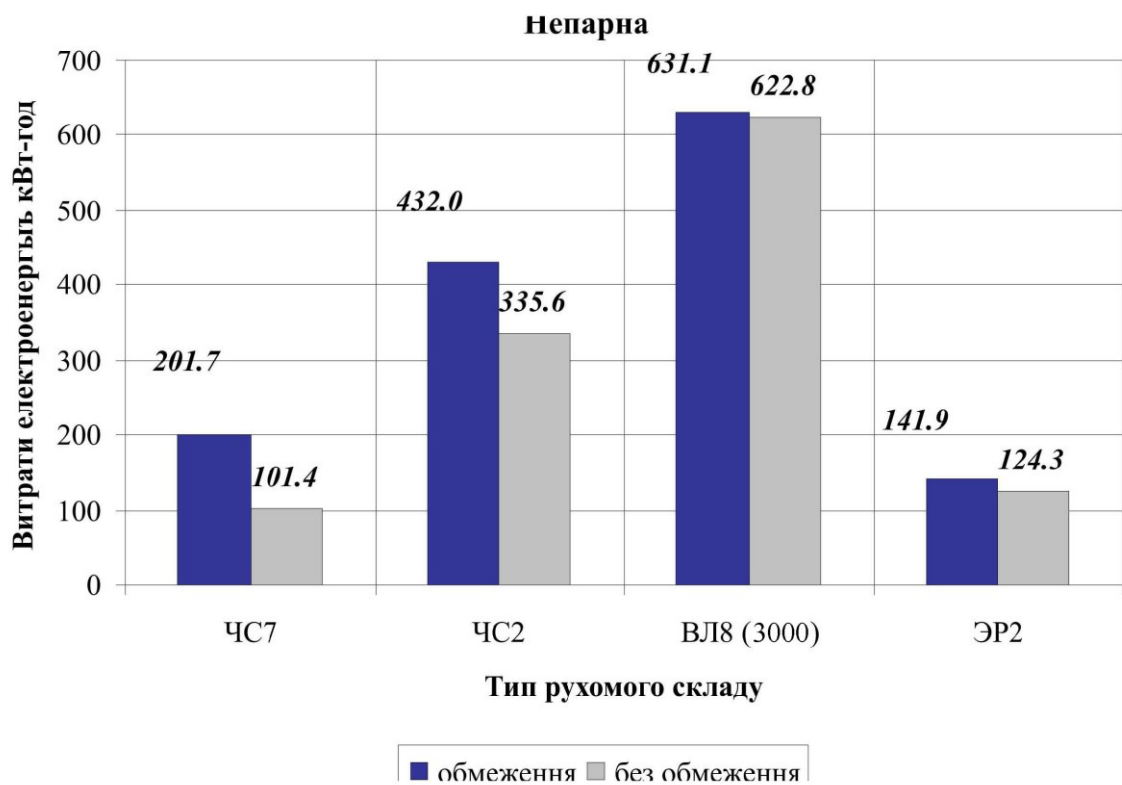


Рисунок 4.9 – Витрати електроенергії у непарному напрямку

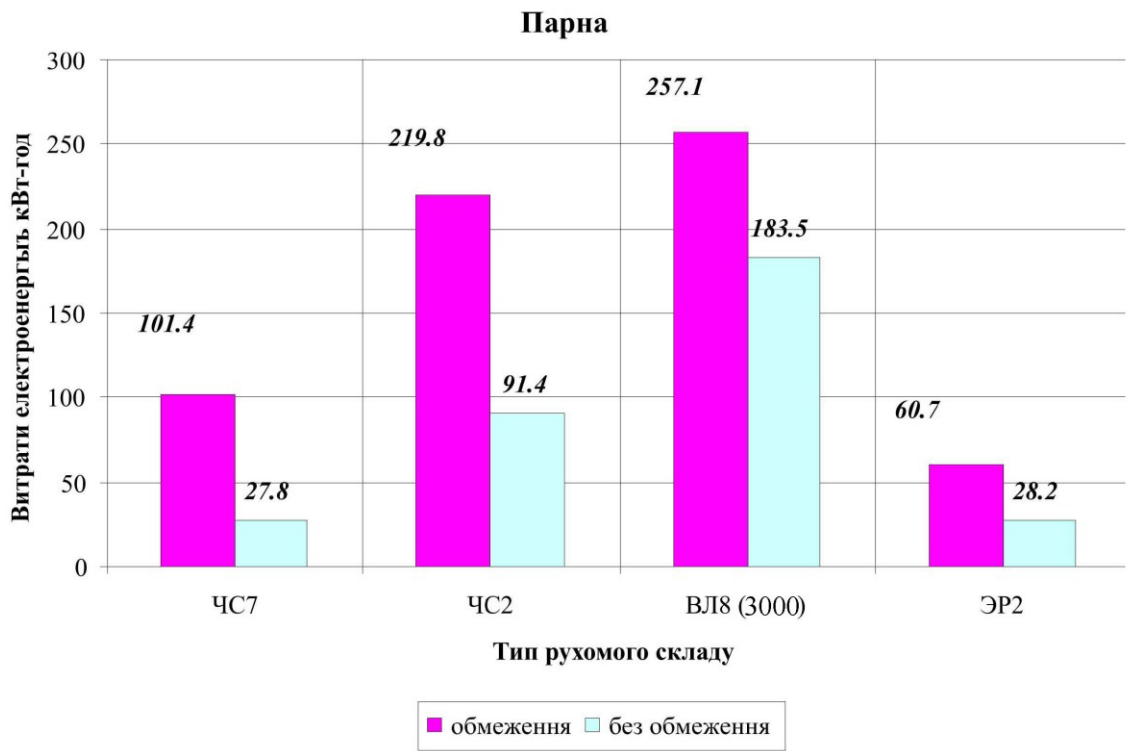


Рисунок 4.10 – Витрати електроенергії у парному напрямку

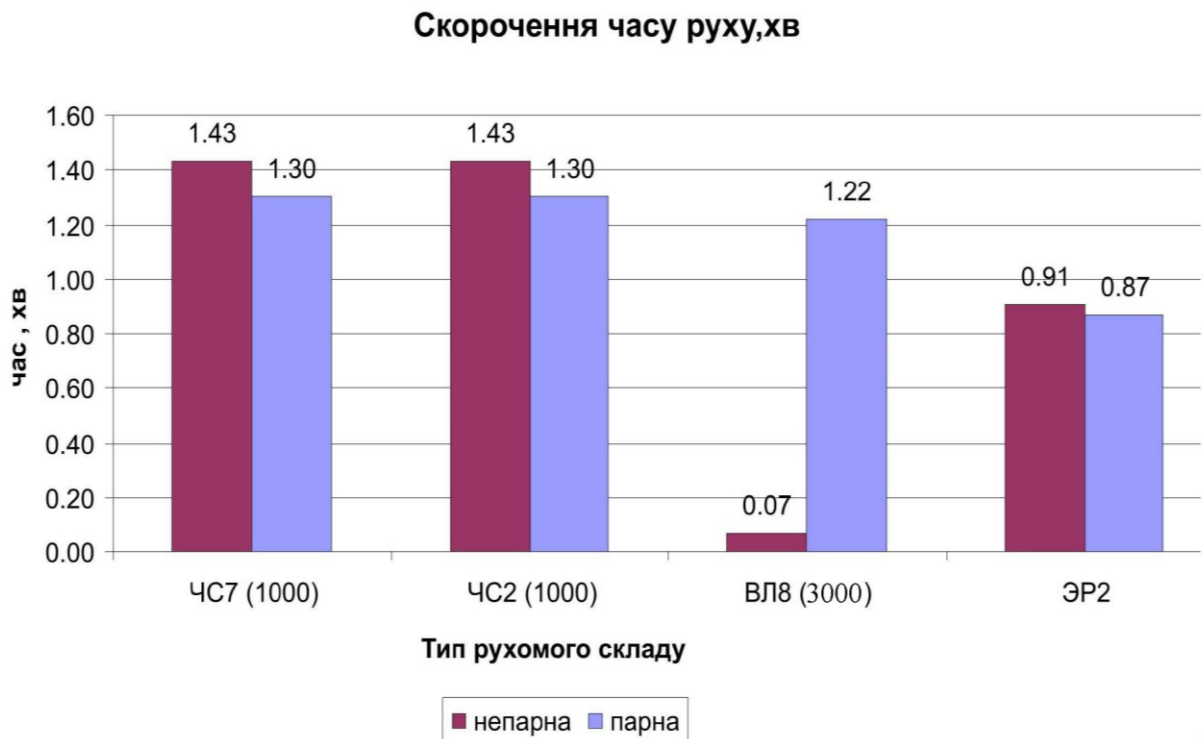


Рисунок 4.11 – Скорочення часу руху

Отримані результати тягових розрахунків свідчать, що наявність обмеження швидкості 60 км/год на ділянці з хворим земляним полотном суттєво погіршує експлуатаційні та енергетичні показники руху поїздів усіх категорій. Для вантажного руху (ВЛ8, $Q = 3000$ т) обмеження призводить до зниження середньої ходової швидкості на 3–5 км/год, збільшення витрат електроенергії та появи значної роботи гальмівних сил, особливо у непарному напрямку.

Для пасажирських поїздів (ЧС2, ЧС7, ЕР2) усунення обмеження забезпечує істотне підвищення середньої швидкості — до 119–120 км/год, скорочення часу руху на 1,3–1,5 хв, а також зменшення витрат електроенергії та майже повну ліквідацію роботи гальмівних сил.

Загалом результати підтверджують, що ліквідація локального бар'єрного місця у вигляді обмеження швидкості на ділянці хворого земляного полотна є технічно доцільною та енергетично ефективною, особливо для пасажирського руху, і може розглядатися як обґрунтований захід при реконструкції залізничної лінії.

Із аналізу кривої швидкості випливає, що вантажний поїзд (електровоз ВЛ8) проходить бар'єрне місце в тяговому режимі (непарний напрямок) з середньою ходовою швидкістю 73 км/год. Після усунення обмеження швидкість 78 км/год.

За методикою запропонованою к.т.н. Байдаком С.Ю. [5] визначалася економія електроенергії (кВт-год) ΔA за рахунок усунення бар'єрного місця, окремо для парного й непарного напрямків (для вантажного поїзда тільки в непарному напрямку), рис. 4.12, 4.13.

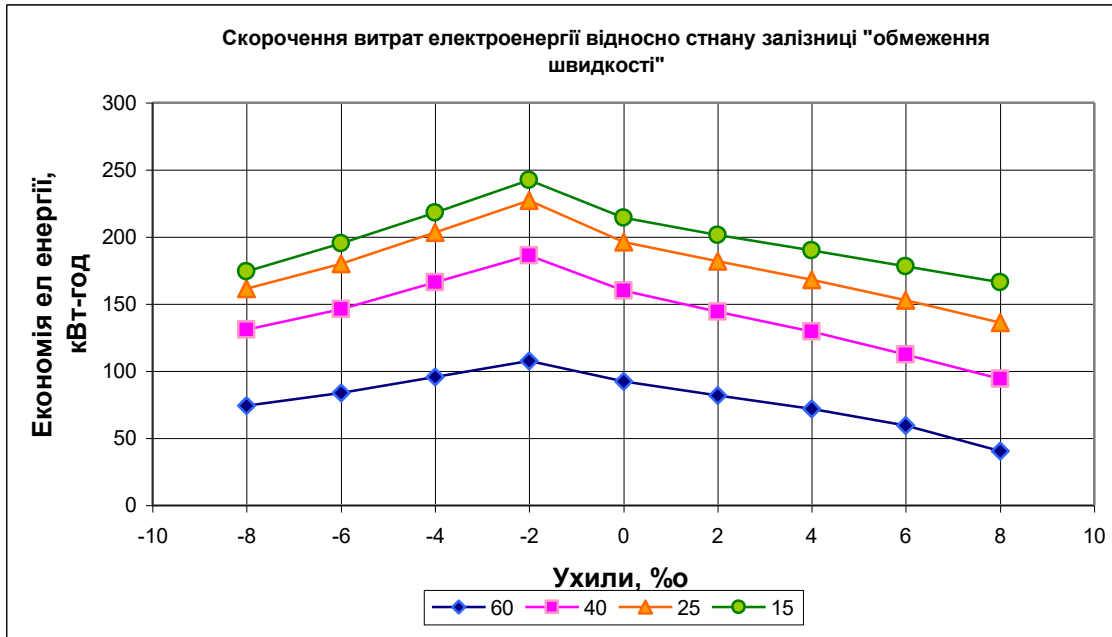


Рисунок 4.12 – Скорочення витрат електроенергії (ДЕ1, ВЛ8)

Для швидкості 60 км/год (лінія синього кольору) при середньому спуску близько 8‰ $\Delta A = 74$ кВт-год. Для інших значень ухилів можна значення ΔA знайти інтерполяцією, або ж представити лінійною залежністю. Для нашого випадку $\Delta A = -5,61 \cdot i + 118$.

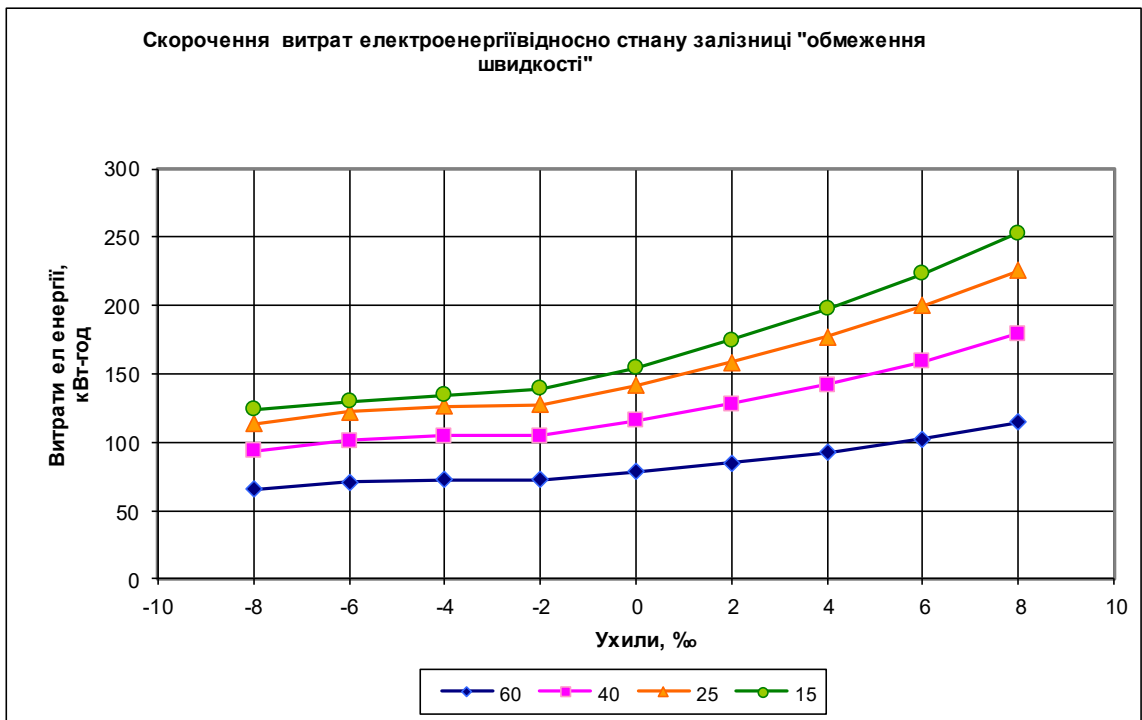


Рисунок 4.13 – Скорочення витрат електроенергії (ЧС7)

Для швидкості 60 км/год (лінія синього кольору) при середньому спуску близько 8‰ $\Delta A = 65$ кВт-год, а на підйом - $\Delta A = 114$ кВт-год.

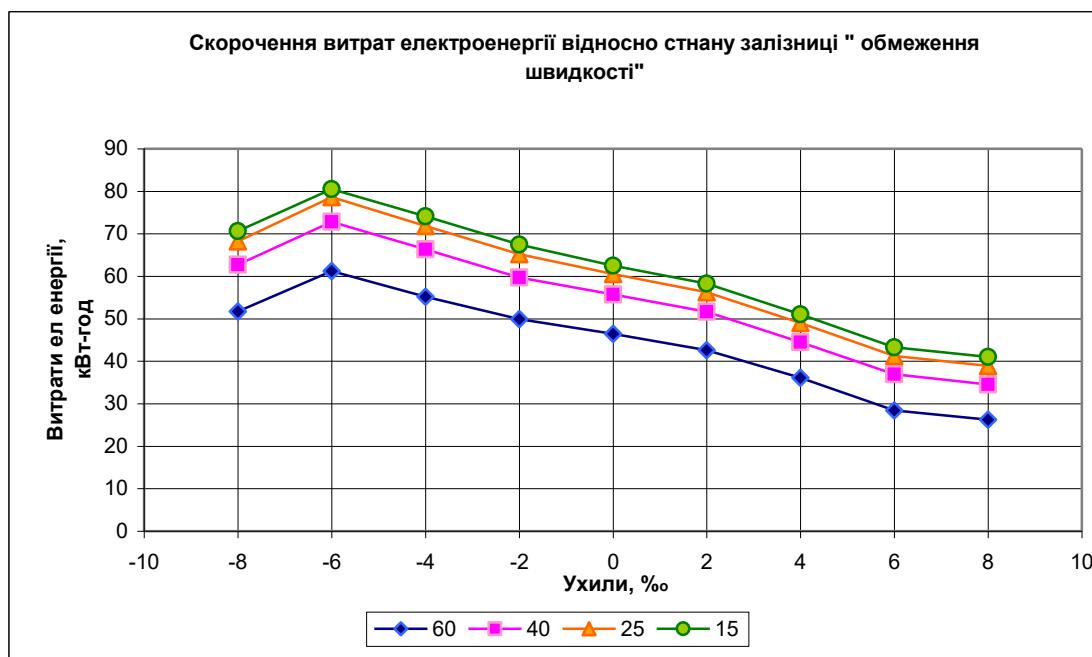


Рисунок 4.14– Скорочення витрат електроенергії (EP2)

Для швидкості 60 км/год (лінія синього кольору) при середньому спуску близько 8‰ $\Delta A = 52$ кВт-год, а на підйом - $\Delta A = 26$ кВт-год.

Далі визначається скорочення часу знаходження поїздів (кожної категорії окремо) на ділянці при знятті обмеження швидкості Δt (хв.) окремо для парного й непарного напрямків (рис. 4.15 -4.17).

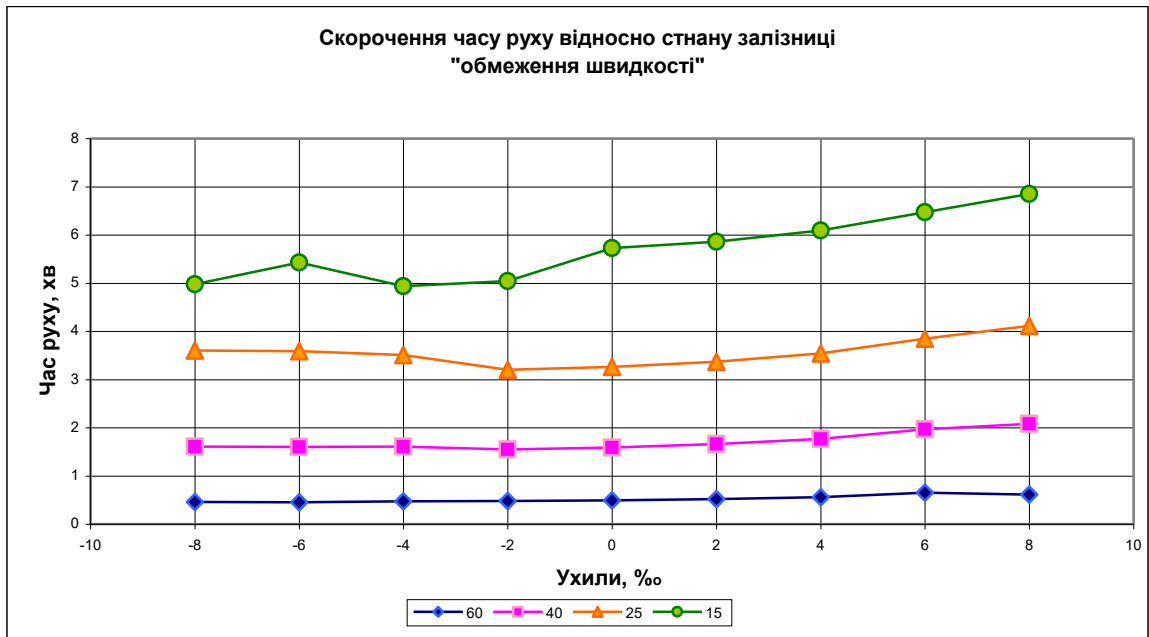


Рисунок 4.15 – Скорочення часу руху (ДЕ1, ВЛ8)

Для швидкості 60 км/год (лінія синього кольору) при середньому спуску близько 8‰ $\Delta T = 0,5$ хв.

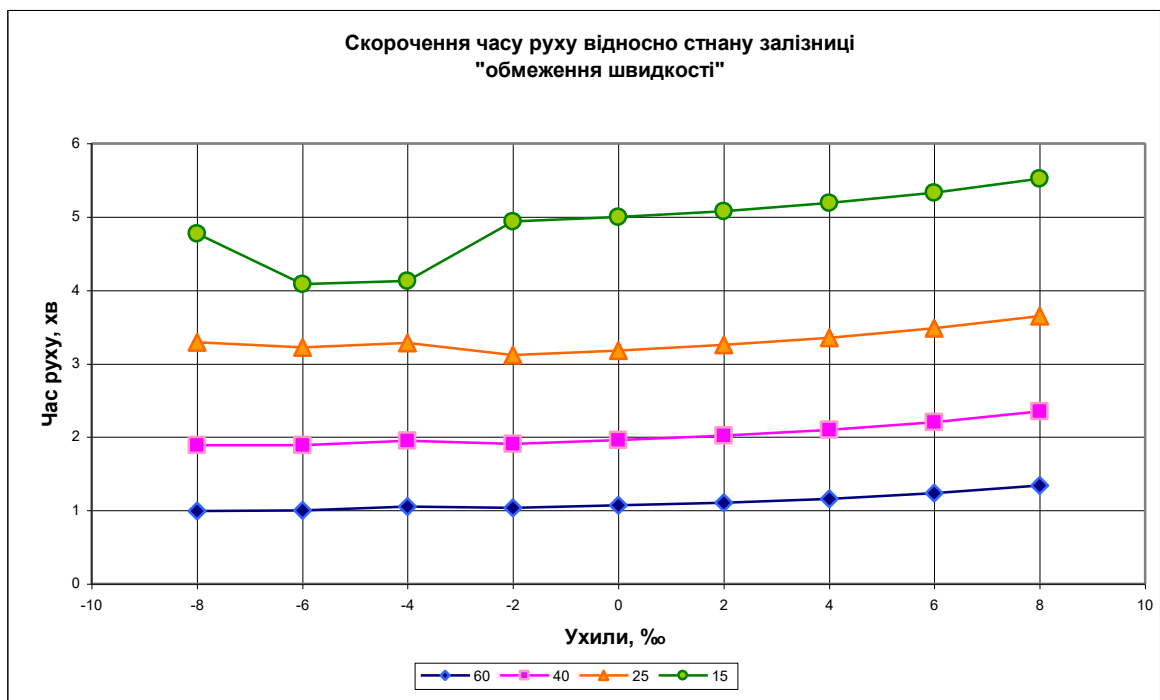


Рисунок 4.16 – Скорочення часу руху (ЧС7)

Для швидкості 60 км/год (лінія синього кольору) при середньому спуску близько 8‰ $\Delta T = 1,0$ хв. на спуск і $\Delta T = 1,3$ хв. на підйом.

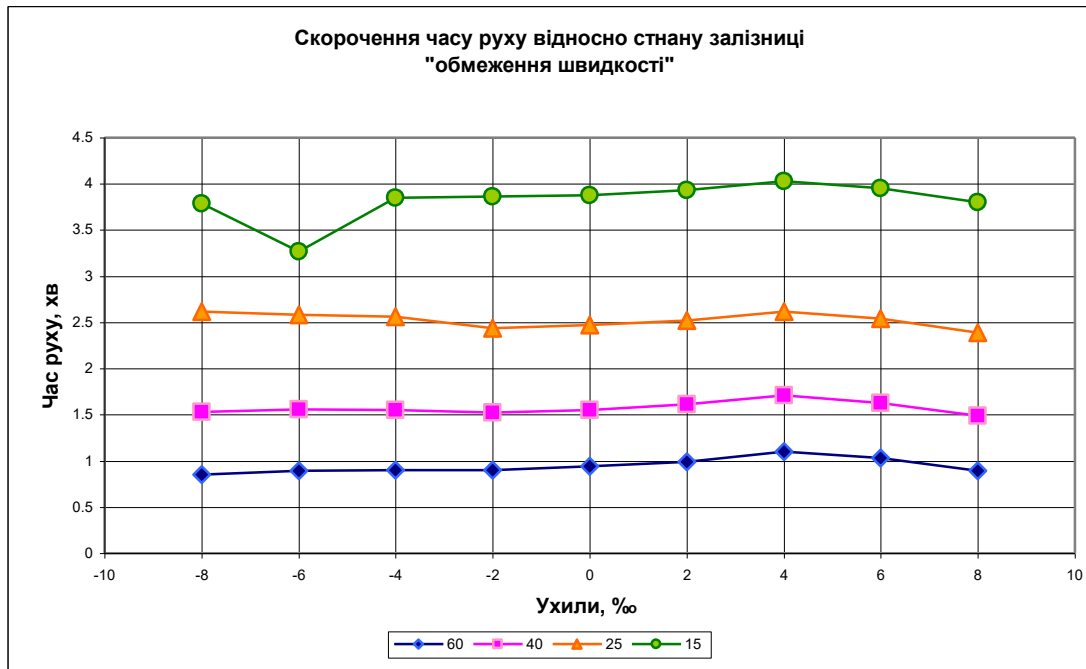


Рисунок 4.17 – Скорочення часу руху (EP2)

Для швидкості 60 км/год (лінія синього кольору) при середньому спуску близько 8‰ $\Delta t = 0,9$ хв. на спуск і $\Delta t = 0,9$ хв. на підйом.

Висновок

1. Аналіз отриманих даних показав, що основними чинниками, які впливають на економічний ефект від усунення бар'єрного місця є рівень обмеження швидкості, довжина ділянки, величина ухилу і місце розташування.

2. Ефективність від усунення обмеження швидкості є місце для вантажних поїздів, що рухаються в непарному напрямку (на спуск), а також для пасажирських і приміських поїздів, тобто, коли рівень максимальної швидкості більший від рівня швидкості, що встановлена, як обмежуюча.

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

У магістерській роботі виконано комплексне дослідження ефективності усунення бар'єрних місць під час проєктування реконструкції ділянки залізниці з урахуванням параметрів плану і поздовжнього профілю колії, технічного стану земляного полотна та умов експлуатації. Показано, що локальні обмеження швидкості істотно впливають на експлуатаційні показники руху поїздів, знижують пропускну і провізну спроможність та зумовлюють підвищені витрати енергії й часу.

Використання програмних комплексів RWPlan (перебудова кривих) та MoveRW (тягові розрахунки) дозволило кількісно оцінити вплив бар'єрних місць на тягово-енергетичні показники пасажирського та вантажного руху. Результати моделювання підтвердили, що ліквідація бар'єрних місць забезпечує зростання середньої ходової швидкості, скорочення часу руху, зменшення витрат електроенергії та зниження обсягів гальмування і повторного розгону, особливо на ділянках із хворим земляним полотном.

Економічна оцінка показала, що капітальні вкладення на усунення бар'єрних місць мають одноразовий характер, тоді як економія експлуатаційних витрат формується протягом тривалого періоду експлуатації. У зв'язку з цим ефективність таких заходів доцільно оцінювати за показниками інтегрального економічного ефекту та строку окупності, а не лише за миттєвим приростом швидкості руху.

Проведені дослідження підтвердили, що перебудова кривих у межах існуючого земляного полотна не завжди забезпечує суттєве підвищення швидкості, а подальше зростання швидкісних показників можливе лише за умови більш радикальних інфраструктурних рішень, які потребують значних інвестицій. Це зумовлює необхідність ретельного техніко-економічного порівняння альтернативних варіантів реконструкції.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року [Текст]/Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р.
2. Appraising the benefits of bottleneck removal in rail transport: a simplified CBA approach. – 15 p. https://mpra.ub.uni-muenchen.de/46889/2/MPRA_paper_46889.pdf?utm_source=chatgpt.com
3. Kurhan M., Kurhan D., Baidak S., Khmelevska N., Novik R. (2021). *Зменшення інтенсивності залізничних порушень завдяки покращенню параметрів плану ліній під час паспортизації кривих*. Наука та транспортний прогрес, (6(96)), 53–64. DOI: 10.15802/stp2021/257933
4. Курган М.Б., Курган Д.М., Хмелевська Н.П. *Optimization of Curve Correction in the Plan Using Computer Modeling for Improving Railway Traffic Safety*. Science and Transport Progress, (4(108)), 46–54. DOI: 10.15802/stp2024/318057.
5. Байдак, С. Ю. (2020). *Раціональні параметри кривих для впровадження швидкісного руху поїздів (дисертація)* (Doctoral dissertation, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро).
6. https://www.esveld.com/Documents/MRT_Selection.pdf
7. https://www.trackomedia.com/media/e3/40/15/1742414199/978-3-96245-089-2_Railway-Timetabling_Leseprobe.pdf
8. <https://uk.wikipedia.org/>
9. <https://dp.uz.gov.ua/ukr/news/?id=4249>
10. Корженевич І. П. Знайомство з роботою у програмі MoveRW [Електронний ресурс] / І. П. Корженевич. – 2011. – 12 с. – Режим доступу: http://www.brailsys.com/MoveRW_0.htm
11. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих / М.Б. Курган, А.М. Орловський, О.М.

Патласов, В.В. Циганенко, Д.М. Курган (ЦП/0236) – Дніпропетровськ: Арт-Прес, 2011. – 52 с.

12. Наказ «Про встановлення максимально допустимих швидкостей руху поїздів на ділянках колії Придніпровської залізниці» від №188/Н від 16.05.2022 /затв. начальник залізниці / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – О., 2022. – 112 с.

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

14.Курган М. Б. Перебудова кривих для впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів / М. Б. Курган, М. А. Гусак, Н. П. Хмелевська // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2012. № 40. С. 90-97

15. Курган М. Б. Визначення об'ємів робіт для зняття обмежень швидкості, пов'язаних з планом лінії / М. Б. Курган І. П. Корженевич, Н. П. Хмелевська // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, – 2012 – № 41.

16. Курган М.Б. Визначення раціональних параметрів залізничних кривих для заданого рівня максимальної швидкості / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту «Транспортні системи і технології» 2012 Випуск 21 с. 57-63.

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

ДОДАТКИ