

ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БАЙДАК СЕРГІЙ ЮРІЙОВИЧ

УДК 625.113:625.1.031 (043.5)


ДИСЕРТАЦІЯ

РАЦІОНАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ КРИВИХ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ
ШВИДКІСНОГО РУХУ ПОЇЗДІВ

Спеціальність 05.22.06 – залізнична колія
Галузь знань 27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело


С. Ю. Байдак

Науковий керівник:

Курган Микола Борисович
доктор технічних наук,
професор

Дніпро – 2020

АНОТАЦІЯ

Байдак С. Ю. Раціональні параметри кривих для впровадження швидкісного руху поїздів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.06 – залізнична колія (27 – транспорт). – Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2020.

Дисертація присвячена розробці теоретичних основ визначення раціональних параметрів кривих і практичній реалізації результатів досліджень на напрямках впровадження швидкісного руху поїздів. У роботі проаналізовано технічний стан колійної інфраструктури та наявність наукового забезпечення для впровадження швидкісного руху поїздів. Забезпечення високих значень швидкості руху поїздів повинно ґрунтуватися на наявності відповідних методико-розрахункових та нормативних документів.

Критично аналізуючи існуючі наукові методики, показана відсутність системного підходу до розв'язання задачі впровадження швидкісного руху, що було перешкодою в реалізації відповідних практичних програм.

На підставі проведеного аналізу конструктивних характеристик колії, показників її технічного стану і експлуатаційних факторів сформульовано проблемні завдання, що виникають через відсутність теоретичної моделі, яка враховувала б наявний стан колійної інфраструктури, тип і характеристики існуючого і перспективного рухомого складу, обмежене інвестування проектів і життєвий цикл роботи залізничної колії, що є визначальним фактором в забезпеченні надійного й безпечного функціонування залізничної колії на напрямках швидкісних залізниць.

В дисертації набули подальшого розвитку наукові підходи до оцінки параметрів і стану кривих в плані. Доповнена система критеріїв оцінки стану кривих, що впливають на накопичення розладів колії в плані. Розроблено

рекомендації щодо диференційованого використання різних способів зйомки плану лінії для отримання достовірної інформації про параметри й стан кривих для визначення максимально допустимої швидкості. Запропоновано перед проведенням реконструкції залізничних напрямків для впровадження швидкісного руху проводити натурне обстеження плану лінії з виконанням повного циклу розрахунків для паспортизації кривих.

Отримано розв'язки супутніх задач при реалізації математичної моделі, таких як визначення допустимої швидкості в кривих, що дозволяє виконувати розрахунки в автоматизованому режимі й визначати варіанти підвищення швидкості. Запропонована й апробована на реальних ділянках залізниць методика визначення допустимої швидкості в кривих надає можливість використовувати результати розрахунків на етапі планування реконструкції залізниці чи проведенні капітального ремонту колії.

За результатами проведених розрахунків надано рекомендації щодо надання особливої уваги суміжним кривим, які відносяться до категорії залежних, тобто таких, коли параметри однієї кривої впливають на умови руху поїзда по іншій. Такий висновок підтверджується тим, що проблема швидкості в двох третинах випадків пов'язана не з радіусом, а з довжиною перехідних кривих і прямих вставок між суміжними кривими.

В роботі показано, що найбільш впливовими факторами при встановленні раціональних параметрів кривих є швидкості руху поїздів різних категорій, структура перевезень, типи і стан кривих, умови експлуатації і інвестиції, що виділяються на реконструкцію залізниці. На основі запропонованої моделі стало можливим оцінювати знос колійної інфраструктури від потоку поїздів за тривалий час експлуатації залізниці.

Проведено теоретичні й експериментальні дослідження силової дії рухомого складу на колію, комфортабельність і плавності руху поїздів при різних параметрах кривих. Проведений експеримент підтвердив теоретично встановлені вимоги до утримання кривих на ділянках швидкісного руху.

При високому рівні непогашеного прискорення, що іноді може бути

доцільним, значення коефіцієнта стійкості проти вкочування гребеня колеса на головку рейки в окремих випадках наближається до гранично допустимого значення. На основі аналізу отриманих з використанням моделі і експериментальних даних установлені радіуси кривих, при яких значення коефіцієнта стійкості рейко-шпальної решітки в колії не перевищують допустимого значення, а також забезпечується стійкість коліс проти вкочення на головку рейки за умови не перевищення коефіцієнту горизонтальної динаміки колії, який можна вважати критерієм безпеки.

Вперше розроблено і впроваджено оптимальну стратегію перебудови кривих ділянок колії під їх раціональні параметри, яка базується на математичній моделі, що враховує обмежене інвестування проектів і життєвий цикл роботи залізничної колії. Математична модель оптимізації базується на використанні неадитивної функції скорочення часу руху від набору об'єктів, що підлягають реконструкції. Ефект у процедурі оптимізації досягається завдяки введенню в розгляд напівадитивних функцій. Запропонований метод дозволяє як вирішувати задачі з вибору оптимальної стратегії реконструкції об'єктів при заданих рівнях максимальної швидкості, так і знаходити раціональну швидкість при оптимізації на кожній ділянці за критерієм.

Із застосуванням запропонованого методу вирішуються задачі підвищення безпеки, плавності руху й комфортабельності їзди за умови мінімізації дії динамічних сил і розладу колії в кривих ділянках колії за рахунок перебудови плану лінії під раціональні параметри.

Метод визначення раціональних параметрів кривих відрізняється від попередніх тим, що враховує наявний стан колійної інфраструктури, тип і характеристики існуючого й перспективного рухомого складу, обмежене інвестування проектів і життєвий цикл роботи залізничної колії. Застосування розробленого метода дає можливість збільшити швидкість на перегонах і станціях на 18...25 % та скоротити питомі витрати електроенергії на тягу поїздів на 10-15 кВт·год/км, що сприяє виконанню державного завдання з економії енергоресурсів.

Розроблено метод оцінки впливу швидкісного пасажирського руху в сучасних умовах на життєвий цикл експлуатації ділянки. Такий підхід, на відміну від існуючих, дає змогу визначати строки експлуатації залізничної колії не тільки за пропущеним тоннажем, а й враховуючи структуру поїздопотоків, у тому числі вплив швидкісного пасажирського руху.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблена система розрахунків раціональних параметрів кривих залізничної колії дозволяє вирішувати задачі проектування та утримання ділянок відповідно до нормативів швидкісного руху поїздів.

Основні результати дослідження були використані в п'яти науково-дослідних роботах, в т.ч. в бюджетній фундаментальній НДР «Розробка наукових основ і техніко-економічне обґрунтування етапів впровадження швидкісного й високошвидкісного руху поїздів в Україні» (№ ДР 0114U002549).

Результати дисертаційної роботи реалізовано при встановленні першочергових перегонів для усунення бар'єрних місць з метою підвищення швидкості руху пасажирських поїздів на ділянках Красноград – Лозова регіональної філії «Південна залізниця», на ділянках П'ятихатки – Дніпро й Красноград – Новомосковськ регіональної філії «Придніпровська залізниця», що підтверджено відповідними актами.

Більшість теоретичних положень, викладених у дисертації, впроваджено в навчальний процес Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна під час викладання дисциплін «Проектування реконструкції залізниць», «Сучасні методи зйомки та розрахунки плану колії», «Сучасні інформаційні технології в будівництві та колійному господарстві» (ОС «Бакалавр», ОС «Магістр»).

Ключові слова: верхня будова колії, швидкісний рух, кругова крива, підвищення зовнішньої рейки, перехідна крива, математична модель взаємодії колії і рухомого складу, максимальна швидкість руху поїздів, безпека і плавність руху.

ABSTRACT

Baydak S.Y. Rational curves parameters for the introduction of high-speed train traffic. – Qualifying scientific work by the right of the manuscript.

The dissertation for the degree of candidate of technical science in the speciality 05.22.06 – railway (27 – transport) – Dnipro National University of Railway transport named after academician V. Lazaryan, Dnipro, 2020

The dissertation concentrated on develops theoretical foundation of science curve parameters definition and practical implementation of researching results at directions for the introduction of high-speed train traffic. There is analyzed technical condition of railway infrastructure availability of scientific support for the implementation of high-speed train traffic. Ensuring high values of train speed should be based on the availability of appropriate methodological and calculation and regulatory documents.

Critically analyzing existing scientific methods, the absence of a systematic approach to solving the problem of introducing high-speed traffic is shown, which was an obstacle to the implementation of relevant practical programs.

Based on the analysis of the structural characteristics of the railway, indicators of its technical condition and exploitation factors, problems are formulated that arise due to the lack of a theoretical model that would take into existing condition of the railway infrastructure, the type and characteristics of the existing and future rolling stock, limited investment of projects and the life cycle of the railway is a determining factor in ensuring the reliable and safe functioning of the railway on the directions of high-speed railways.

The dissertation has received future development scientific approaches to estimating the parameters and condition of curves in the plan. An augmented system of criteria for assessing the state of curves that affect the accumulation of path violations in the plan. Recommendations on the differentiated use of various methods for capturing the line plan to obtain reliable information about the parameters and state of the curves for determining the maximum allowable speed are developed. Before reconstruction of railway lines for the introduction of high-

speed traffic, it is necessary to conduct a field survey of the line plan with a full calculation cycle to confirm the curves. The solution of the accompanying problems at realization of mathematical model, such as definition of admissible speed in curves allows to carry out calculations in the automated mode and to define variants of increase of speed is received. The technique of determination of admissible speed in curves is offered and tested on real sites of railways allows to use results of calculations at a stage of planning of reconstruction of the railway or carrying out capital repairs of a track.

Based on the calculation results recommendations are given on how to pay special attention to adjacent curves belonging to the category of dependent curves that means when the parameters of one curve affect the conditions of train movement along another. This conclusion is confirmed by the fact that the problem of speed in two thirds of cases is not related to the radius but to the length of the transition curves and direct insertions between adjacent curves.

The dissertation shows that the most influential factors in establishing rational parameters of the curves are the speeds of trains of various categories, the transport structure, types and condition of curves, operating conditions and investments allocated for the reconstruction of the railway. On the assumption of the proposed model, it became possible to assess the wear of the track infrastructure from the flow of trains for a long time.

Theoretical and experimental studies of the force effect of rolling stock on the track, comfort and smoothness of train movement for various parameters of the curves are carried out. The experiment confirmed the theoretically established requirements for the content of the curves in the areas of high-speed movement.

At a high level of outstanding acceleration sometimes it may be appropriate, the value of the coefficient of stability against rolling the wheel flange onto the rail head in some cases approaches the maximum permissible value. Based on the analysis of the model and experimental data obtained using the model, the radiuses of the curves are established at which the value of the stability coefficient of the four-way grating in the path does not exceed the allowable value,

and the stability of the wheels against being rolled up onto the rail head is ensured provided that the horizontal dynamics of the path does not exceed the coefficient which can be considered a criterion security.

For the first time an optimal strategy for the reconstruction of curved sections of the track to their rational parameters was developed and implemented, based on a mathematical model that takes into account the limited investment of projects and the life cycle of the railway. The model of mathematical optimization is based on the use of the non-additive function of reducing the time of movement from a set of objects to be reconstructed. The effect in the optimization procedure is achieved through the introduction of semi-additive functions. The proposed method allows both to solve the problem of choosing the optimal strategy for reconstruction of objects at given levels of maximum speed and to find a rational speed during optimization in each section according to the established measure.

Using the proposed method the problems of improving safety, smoothness of movement are minimized at minimizing the impact of dynamic forces and path disturbance in the curved sections of the track due to the restructuring of the line plan for rational parameters.

The method for determining the rational parameters of the curves differs from the previous ones in that it takes into account the current state of the track infrastructure, type and characteristics of the existing and future rolling stock, limited investment in projects and the railway life cycle. Applying the developed method allows to increase the speed on stages and stations at 18 ... 25% and reduce the unit cost of electric power for traction 10-15 kW h / km, which contributes to the state assignments for energy savings.

The method has been developed to assess the impact of high-speed passenger traffic in modern conditions on the life cycle of the site. Such approach unlike the existing ones, allows determining the operating time of the railway track not only by the passed tonnage, but also taking into account the structure of the flow, including the influence of high-speed passenger traffic.

The practical significance of the results lies in the fact that a system of

calculating the rational parameters of the curves of the railway track has been developed that allows us to solve the problems of designing and maintaining sections in accordance with the standards for high-speed train traffic.

The main results of the research were used in five research papers, incl. in the budget fundamental research NDR “Development of scientific foundations and a feasibility study for the implementation stages of high-speed and high-speed train traffic in Ukraine” (No. DR 0114U002549).

The results of the work were realized when priority spans were established to eliminate barrier places in order to increase the speed of passenger trains in the sections of Krasnograd - Lozovaya of the regional branch of the “Southern Railway”, in the sections of Pyatikhatky – Dnepr and Krasnograd – Novomoskovsk, regional branch of the “Pridneprovska Railway” which is confirmed by the relevant acts.

Most of the theoretical provisions presented in the dissertation are introduced into the educational process of the Dnieper National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan during the teaching of disciplines «Design of railway reconstruction», «Modern survey methods and track plan calculations», «Modern information technologies in construction economy» (OQR «bachelor», OQR «master»).

Keywords: permanent way, speed, circular curve, increase of outer rail, transition curve, mathematical model of interaction of track and rolling stock, maximum speed of trains, safety and smoothness of movement.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

у виданнях, що індексовані у Index Copernicus і є фаховими:

1. Оцінка економічної ефективності усунення обмежень швидкості руху поїздів, пов'язаних із станом залізничної колії / А. А. Босов, М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. – 2012. – Випуск 41. – С. 106-115.

2. Методика визначення допустимих швидкостей руху поїздів на складних ділянках плану залізниці / М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. – 2014. – Випуск 2 (50). – С. 83-94.

3. Дослідження параметрів залізничної колії у плані за різними методами зйомки / М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. – 2018. – Випуск 2 (74). – С. 77-86.

у фахових виданнях:

4. Курган М. Б. Визначення раціональних параметрів залізничних кривих для заданого рівня максимальної швидкості / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // *Транспортні системи і технології: зб. наук. пр. Держ. екон.-технол. ун-ту трансп.* – 2012. – Вип. 21. – С. 57-63.

5. Курган М. Б. Передумови впровадження прискореного руху поїздів на напрямку Куми – Дніпропетровськ / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // *Українські залізниці: Міжнародний техніко-економічний журнал*. – 2014. – Випуск 10. – С. 56-64.

6. Курган Н. Б. Определение объемов работ для снятия ограничений скорости, связанных с планом линии / Н. Б. Курган, Н. П. Хмелевская, С. Ю. Байдак, // *Сб. науч. тр. Дальневосточного гос. ун-та путей сообщения.* – Хабаровск, 2014. – Выпуск 2. – С. 52-62.

7. Курган М. Б. Умови підвищення безпеки руху поїздів в кривих ділянках залізничної колії / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, О. Ф. Лужицький // *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті.* – 2014. – Випуск 8. – С. 41-49.

8. Дослідження впливу стану залізничної колії в плані на плавність і безпеку руху поїздів / М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті.* – 2017. – Випуск 14. – С. 94-101.

Додаткові праці:

1. Курган М. Б. Ефективність впровадження нових типів електровозів / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // *Електрифікація транспорту* – 2014 – №8. – С. 93-98

2. Курган М. Б. Дослідження ефективності електрифікації одноколійних залізниць для підвищення пропускної спроможності / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // *Електрифікація транспорту* – 2015 – №9. – С. 44-49.

3. Ефективність електрифікації ділянки Куми –Новомосковськ Придніпровської залізниці / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, О. Ф. Лужицький, Н. П. Хмелевська // *Електрифікація транспорту.* – 2015. – № 10. – С. 21-28.

4. Енергозберігаючі рішення при проектуванні залізниць / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська, Я. С. Хмелевська // *Електрифікація транспорту* – 2017. – № 13. – С. 108-116.

5. Курган М. Б. Дослідження ефективності електрифікації напрямку Запоріжжя – Комиш Зоря – Волноваха / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // *Електрифікація транспорту* – 2018. – № 15. – С. 43-53.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	13
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	16
ВСТУП	17
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ В КРИВИХ НА НАПРЯМКАХ ВАНТАЖНОГО Й ПАСАЖИРСЬКОГО РУХУ	27
1.1 Передумови впровадження швидкісного руху поїздів в Україні	27
1.2 Організаційно-технологічні й реконструктивні заходи забезпечення залізничних пасажирських перевезень	32
1.3 Розвиток національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні для підвищення швидкості руху поїздів.....	36
1.4 Огляд наукових досліджень з питань реконструкції залізниць для впровадженні швидкісного руху поїздів	45
1.5 Висновки до розділу 1	50
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ З ПЕРЕБУДОВИ ПЛАНУ ЗАЛІЗНИЦЬ	52
2.1 Програма впровадження швидкісного руху поїздів в Україні.....	52
2.2 Практичні заходи з перебудови плану лінії на окремих ділянках залізниць.....	57
2.3 Корегування параметрів кривих на напрямку Полтава – Красноград – Лозова.....	67
2.4 Аналіз пропозицій щодо перебудови плану лінії при впровадженні швидкісного руху поїздів.....	70
2.5 Визначення проектних параметрів плану на прикладі ділянки залізниці Львів – Зборів.....	74
2.6 Рекомендації й висновки до розділу 2	80
РОЗДІЛ 3 ВИЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМИХ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ ПОЇЗДІВ НА СКЛАДНИХ ДІЛЯНКАХ ПЛАНУ ЛІНІЇ.....	83
3.1 Способи отримання інформації про стан кривих	83

3.2	Аналіз похибок при встановленні максимально допустимої швидкості в кривих.....	91
3.3	Достовірність інформації про стан кривих за технічним паспортом дистанції колії.....	101
3.4	Вплив допусків в утриманні кривих на величину допустимої швидкості.....	105
3.5	Вплив різних способів зйомки плану лінії на параметри кривих....	108
3.6	Методика визначення допустимих швидкостей руху поїздів на складних ділянках плану залізниці.....	111
3.7	Висновки до розділу 3.....	123
РОЗДІЛ 4 ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ		
КОМФОРТАБЕЛЬНОСТІ ТА ПЛАВНОСТІ РУХУ ПОЇЗДІВ В КРИВИХ .		
4.1	Визначення зміни динамічних показників в кривих різних радіусів.....	125
4.2	Аналіз роботи колії за результатами моделювання руху екіпажу.....	132
4.3	Експериментальні дослідження комфортабельності та плавності руху поїздів в кривій.....	140
4.4	Висновки до розділу 4.....	158
РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДЖЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЛАНУ ЛІНІЇ		
.....		
5.1	Економічне поняття раціональних параметрів кривих.....	161
5.2	Передумови до розв'язання задачі визначення раціональних параметрів кривих.....	163
5.3	Методика оцінки економічної ефективності.....	167
5.4	Капітальні витрати на роботи, що пов'язані з усуненням обмеження швидкості.....	173
5.5	Обґрунтування отриманих результатів.....	175

5.6 Визначення заходів для підвищення швидкостей руху поїздів на ділянці Красноград – Лозова та встановлення орієнтованої вартості на їх реалізацію.....	178
5.7 Перебудова плану лінії як задача векторної оптимізації.....	186
5.8 Висновки до розділу 5	194
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	198
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	200
ДОДАТКИ.....	214

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

МТК – міжнародний транспортний коридор

ЄС – Європейський Союз (Євросоюз)

СНД – Співдружність Незалежних Держав

ДБН – Державні будівельні норми

АТ – акціонерне товариство

ОСЗ – Організації співробітництва залізниць

СЦБ – сигналізація, централізація і блокування

КВЛ – колієвимірювальна машина (вагон-колієвимірювач)

ВСТУП

Одним з перспективних напрямів у роботі залізничного транспорту є впровадження швидкісного руху поїздів перш за все на напрямках міжнародних транспортних коридорів (МТК). Ця проблема є актуальною для залізниць України, вона багатогранна і її вирішення потребує комплексного підходу. Однак на сьогоднішній день міжнародні транспортні коридори в межах України не забезпечують необхідний рівень швидкості, комфортності пасажирів, термінів доставки. Вигідне, з погляду транспортних перевезень, геополітичне розташування України не використовується повною мірою.

Умови для значного транзитного пасажиропотоку створюються завдяки векторам сучасних зв'язків України з країнами ЄС, Білоруссю, країнами Балтії, країнами Центральної Азії та Закавказзя.

Потенційні можливості України у справі залучення додаткових міжнародних транспортних потоків досить великі і радикальним заходом, що може забезпечити як внутрішні, так і міжнародні пасажирські перевезення є створення швидкісної мережі залізничних магістралей з виходом на європейську мережу.

Якщо організація швидкісного руху (161-200 км/год) для України найближча перспектива, то впровадження прискореного руху (140-160 км/год) – це уже минуле. Першим кроком щодо підвищення якості транспортних послуг стало введення прискореного руху поїздів: з 15 травня 2012 року на ділянках Київ – Львів, Київ – Харків, Київ – Донецьк; з 11 листопада 2012 року введено прискорений рух на ділянці Київ – Дніпропетровськ, а з травня 2013 року цей маршрут подовжено до Запоріжжя; у 2014 році відкрито напрямки прискореного руху Київ – Одеса, Київ – Тернопіль, Дарниця – Трускавець. Найближчим часом з використанням швидкісних денних поїздів столиця буде зв'язана з всіма основними регіонами України.

Одне з основних вимог до МТК є таке, що вони повинні бути модернізованими відповідно до вимог Угоди про міжнародні магістральні

залізниці і відповідати міжнародним технічним параметрам.

На напрямках МТК, що проходять територією України, найбільша маршрутна швидкість в 1,3-1,5 рази нижче ніж у сусідніх країнах. Досягти більшої маршрутної швидкості тільки за рахунок перерозподілу поїздопотоків на мережі, вдосконалення графіка руху поїздів, раціонального використання наявних технічних засобів неможливо, а тому необхідно впроваджувати більш дорогі заходи з реконструкції залізниць, що включають заміну колійної інфраструктури, виправлення кривих в плані з відновленням проектних радіусів, збільшення радіусів кривих до передбачених проектом з відповідним перевлаштуванням земляного полотна та штучних споруд. Але незважаючи на достатньо широке вивчення цього питання та різні експерименти на українських залізницях, поки що відсутні дослідження, які б давали комплексне науково-технічне обґрунтування раціональних параметрів кривих на напрямках залізниць відповідно до їх спеціалізації.

Актуальність теми. Впровадження швидкісного залізничного сполучення має на меті вихід транспортної системи України на світовий рівень за технічними параметрами та якістю послуг.

Європейський досвід підказує, що наявність вантажних поїздів на швидкісних ділянках є головною перешкодою як в плані організації руху, так і в плані утримання колії в технічно справному стані.

В той же час більшість нормативних документів в Україні, спираючись на діючі Правила технічної експлуатації і Державні будівельні норми (ДБН В.2.3-19:2018), не достатньо враховують особливості й специфіку, що мають місце при розмежуванні вантажних і пасажирських перевезень і впровадженні швидкісного руху на діючих залізницях.

Залізничні напрямки відрізняються умовами експлуатації, структурою поїздопотоків, мають різні можливості щодо реалізації максимальної швидкості руху, яка залежить від багатьох факторів, в тому числі від параметрів кривих в плані. Тому актуальним завданням є розробка теоретико-методологічних підходів і практичних рекомендацій щодо визна-

чення раціональних параметрів кривих як основного фактору, що впливає на рівень максимальної швидкості руху, створення швидкісних магістралей в Україні

Параметри кривих повинні відповідати рівню встановленої максимальної швидкості руху, забезпечувати безпеку, плавність і комфортабельність їзди, а витрати на перебудову існуючих кривих під раціональні параметри повинні окупатись за встановлений (нормативний) термін. Вирішенню окремих завдань окресленої проблеми й присвячена наукова робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до головних напрямків розвитку залізничного транспорту, які сформульовані в Транспортній стратегії України на період до 2030 року (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 № 430-р та Програми оновлення рухомого складу АТ «Укрзалізниця» на період до 2021 року.

Обраний напрямок досліджень пов'язаний також з виконанням науково-дослідних робіт у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна (здобувач був виконавцем і автором окремих розділів у звітах): «Проведення досліджень та оцінка економічної ефективності усунення обмеження швидкості за параметрами і станом залізничної колії» (Договір №78/2011-ЦТех-142/2011-ЦЮ від 12.09.2011, № ДР 0111U008909), «Розробка рекомендацій з встановлення швидкостей руху поїздів в кривих на напрямках пасажирського, суміщеного й вантажного руху» (Договір № 56/2012-ЦТех-160/12-ЦЮ від 15.08.2012, № ДР 0113U002080), «Розробка наукових основ і техніко-економічне обґрунтування етапів впровадження швидкісного й високошвидкісного руху поїздів в Україні» (Бюджетна робота 2014-2016 рр., № ДР 0114U002549), «Визначення основних напрямків реконструкції й розвитку мережі залізниць України для її інтеграції у європейську транспортну систему» (№ 100.17.54/19, номер держреєстрації 0117U006811),

«Науково-технічне забезпечення сталого розвитку залізничних перевезень в міжнародному сполученні «Україна-Євросоюз» (№ 14.03.17.18/54, Бюджетна робота 2017-2018 рр., номер держреєстрації 0117U004391).

Тема дисертації відповідає галузевій програмі реконструкції колійного господарства та організації швидкісного руху поїздів на основних напрямках міжнародних транспортних коридорів.

Мета і задачі досліджень. Метою дослідження є розробка теоретичних основ визначення раціональних параметрів кривих для впровадження швидкісного руху поїздів, що передбачає розв'язання таких задач:

1. Встановити вплив різних методів зйомки плану лінії на параметри кривих (радіус, підвищення зовнішньої рейки, довжину перехідних кривих) та рівень максимально допустимої швидкості руху поїзда.

2. Дослідити передумови щодо підвищення швидкостей руху поїздів і визначити експериментальні ділянки транспортних коридорів як елементів системи з урахуванням взаємозв'язків між ними.

3. Проаналізувати та надати оцінку щодо умов застосування різних способів реконструкції кривих ділянок колії для їх приведення до раціональних параметрів.

4. Провести теоретичні і експериментальні дослідження силової дії рухомого складу на колію, комфортабельності та плавності руху поїздів при різних параметрах кривих.

5. Розробити метод визначення раціональних параметрів кривих в залежності від рівня максимальної швидкості руху поїздів, структури поїздопотоків і технічного стану залізничної колії.

Об'єктом дослідження є процес вибору раціональних параметрів кривих для організації швидкісного руху поїздів.

Предметом дослідження є параметри кривих, що підлягають перебудові з метою підвищення швидкостей руху поїздів.

Методи досліджень. В роботі використано комплексний метод

досліджень, який містить експериментальну та теоретичну частину. Для аналітичних розрахунків застосовувалась теорія розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість, теорія динаміки та тягових розрахунків рухомого складу, розрахунково-теоретичний метод визначення вертикальних і поперечних горизонтальних сил, метод векторного аналізу. Експериментальні методи містять вимірювання стріл вигину в кривих, статистичний аналіз і натурні спостереження для визначення відступів в плані й поздовжньому профілі на ділянках підходів і у межах самих кривих від поїзного навантаження.

Обробка даних виконувалась із застосуванням програм Microsoft Excel, Statistica, Maple. Розрахунки виконувались за участю автора за програмами MoveRW і RWPlan, розробленими на кафедрі проектування і будівництва доріг ДНУЗТ.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

1. Вперше розроблено і впроваджено метод перебудови кривих ділянок колії під їх раціональні параметри для умов швидкісного руху, який базується на математичній моделі, що враховує обмежене інвестування проектів і життєвий цикл роботи залізничної колії. Ефект у процедурі оптимізації досягається завдяки введенню в розгляд напівадитивних функцій скорочення часу руху від набору об'єктів, що підлягають реконструкції.

2. Розширено критерії щодо обґрунтування доцільності перебудови існуючих кривих для швидкісного руху. При виборі раціональних параметрів кривих, враховано стійкість коліс проти вкочення на головку рейки за умови неперевикнення коефіцієнту горизонтальної динаміки, як критерію безпеки руху поїздів.

3. Отримали подальший розвиток методи оцінки стану кривих в плані і визначення їх параметрів. Існуючі положення доповнені розробленими рекомендаціями щодо диференційованого використання різних способів зйомки плану лінії для отримання інформації про параметри й стан кривих для визначення максимально допустимої швидкості.

4. Отримав подальший розвиток метод визначення допустимих швидкостей руху поїздів в кривих за вихідними даними, отриманими з різних джерел. Розроблений метод надає можливість використовувати результати розрахунків на етапі планування реконструкції ділянки чи проведенні ремонту колії. Існуючі підходи не враховували особливості й специфіку, що мають місце на напрямках вантажних і пасажирських перевезень..

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

– отримані в роботі результати дозволяють за рахунок перебудови плану лінії під раціональні параметри вирішувати задачі підвищення безпеки, плавності руху й комфортабельності їзди за умови мінімізації дії динамічних сил і розладу колії в кривих ділянках колії;

– запропоновані автором підходи і розроблені моделі дозволяють встановлювати раціональні параметри кривих на перегонах і станціях, визначати першочергові ділянки для перебудови кривих при обмеженому інвестуванні, що дає можливість на 15-25 км/год збільшити маршрутну швидкість пасажирських поїздів та скоротити питомі витрати електроенергії на тягу поїздів на 10-15 кВт·год/км, що сприяє виконанню державного завдання з економії енергоресурсів;

– результати роботи реалізовано при встановленні першочергових перегонів для усунення бар'єрних місць з метою підвищення швидкості руху пасажирських поїздів на ділянках Красноград – Лозова регіональної філії «Південна залізниця», на ділянках П'ятихатки – Дніпро й Красноград – Новомосковськ регіональної філії «Придніпровська залізниця», що підтверджується актами про впровадження результатів дисертації.

– наукові результати використовуються під час проведення планових занять з підвищення кваліфікації службовців українських залізниць і в навчальному процесі Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при підготовці бакалаврів та магістрів спеціальності 273 «Залізничний транспорт» за освітньою програмою «Залізничні споруди та колійне господарство», що

підтверджується актом про впровадження результатів дисертації.

Обґрунтованість і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій. Сформульовані в дисертації положення, висновки і рекомендації в достатній мірі обґрунтовані, що обумовлено коректністю постановки й розв'язання поставлених задач. Результати досліджень, висновки й рекомендації були схвалені на міжнародних науково-практичних конференції, в яких брав участь автор дисертації.

Достовірність наукових результатів обумовлена: використанням реальних даних щодо обсягів перевезень, технічного оснащення і параметрів міжнародних транспортних коридорів, що проходять по території України; математичним моделюванням на ґрунті вивіренних на практиці методів та допущень, які відповідають фізиці процесів, що досліджуються; статистичним аналізом і натурними спостереженнями для визначення параметрів плану; застосуванням методів векторного аналізу для оптимального розподілу інвестицій на ділянки, що підлягають реконструкції; кореспондуванням результатів теоретичних досліджень з фактичними даними та результатами досліджень інших авторів, позитивними результатами практичного застосування розробок на залізницях України.

Особистий внесок здобувача. Постановку мети й завдань досліджень виконано разом з науковим керівником. Усі наукові положення, розробки й результати досліджень, що виносяться на захист, отримані особисто автором. У наукових працях, що опубліковані в співавторстві, особистий внесок автора такий. У [1] розроблено методику оцінки економічної ефективності усунення обмежень швидкості руху поїздів, пов'язаних із станом залізничної колії. У [2] запропоновано алгоритм визначення допустимих швидкостей руху поїздів на складних ділянках плану залізниці. У [3] розроблено методику раціонального вибору параметрів залізничної колії у плані за різними методами зйомки. У [4] проаналізовано способи отримання інформації про стан плану колії та надана оцінка впливу різних методів зйомки на рівень максимальної швидкості руху. У [5] виконано варіантні

тягові розрахунки для оцінки можливостей впровадження прискореного руху поїздів. У [6] запропоновано варіанти перебудови земляного полотна при збільшенні радіусів кривих. У [7] досліджено фактори, що впливають на безпеку руху поїздів в кривих ділянках залізничної колії. У [8] виконано розрахунки та надана оцінка впливу стану залізничної колії в плані на допустиму швидкість руху поїздів за даними паспортів кривих.

1. Оцінка економічної ефективності усунення обмежень швидкості руху поїздів, пов'язаних із станом залізничної колії / А. А. Босов, М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. – 2012. – Випуск 41. – С. 106-115.

2. Методика визначення допустимих швидкостей руху поїздів на складних ділянках плану залізниці / М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. – 2014. – Випуск 2 (50). – С. 83-94.

3. Дослідження параметрів залізничної колії у плані за різними методами зйомки / М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. – 2018. – Випуск 2 (74). – С. 77-86.

4. Курган М. Б. Визначення раціональних параметрів залізничних кривих для заданого рівня максимальної швидкості / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // *Транспортні системи і технології: зб. наук. пр. Держ. екон.-технол. ун-ту трансп.* – 2012. – Вип. 21. – С. 57-63.

5. Курган М. Б. Передумови впровадження прискореного руху поїздів на напрямку Куми – Дніпропетровськ / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // *Українські залізниці: Міжнародний техніко-економічний журнал*. – 2014. – Випуск 10. – С. 56-64.

6. Курган Н. Б. Определение объемов работ для снятия ограничений

скорости, связанных с планом линии / Н. Б. Курган, Н. П. Хмелевская, С. Ю. Байдак, // *Сб. науч. тр. Дальневосточного гос. ун-та путей сообщения*. – Хабаровск, 2014. – Выпуск 2. – С. 52-62.

7. Курган М. Б. Умови підвищення безпеки руху поїздів в кривих ділянках залізничної колії / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, О. Ф. Лужицький // *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. – 2014. – Випуск 8. – С. 41-49.

8. Дослідження впливу стану залізничної колії в плані на плавність і безпеку руху поїздів / М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. – 2017. – Випуск 14. – С. 94-101.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертації доповідались і отримали схвалення на таких конференціях: 73-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, травень 2013 р.), на Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової школи транспортної механіки» (Дніпропетровськ, травень, 2013), на Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу» присвяченій 100-річчю проф. М.А. Фрішмана (Дніпропетровськ, жовтень, 2013 р.), на 74-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, травень 2014 р.), на 75-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, травень 2015 р.), на VI Міжнародній науково-практичній конференції «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості» (Воловець, червень 2015 р.), на VIII Міжнародній науково-практичній конференції «ТРАНСЕЛЕКТРО 2015». (Одеса, жовтень 2015 р.), на 6-й науково-практичній міжнародній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (Харків, квітень, 2017 р.), на 78-й Міжнародній науково-практичній

конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, травень 2018 р.), на 79-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, травень 2019 р.).

В повному обсязі дисертаційна робота доповідалась на науково-практичному міжкафедральному семінарі кафедр «Проектування і будівництво доріг», «Колія та колійне господарство», «Мости та тунелі» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, (Дніпро, 20 лютого 2020 р.)

Публікації. Основний зміст дисертації опублікований у 19 наукових працях і матеріалах конференцій: 8-ми основних працях, з них: 3 – статті, що індексуються в міжнародній наукометричній базі Index Copernicus і є фаховими, 5 – статей у фахових виданнях; 5 додаткових; 7 тез доповідей та матеріалів конференцій.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг становить 290 сторінок, з них основний текст на 168 сторінках, 99 рисунків і 35 таблиць, у тому числі 14 на повну сторінку, список використаних джерел із 114 найменувань подано на 14 сторінках, 5 додатків на 77 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ В КРИВИХ НА НАПРЯМКАХ ВАНТАЖНОГО Й ПАСАЖИРСЬКОГО РУХУ

1.1 Передумови впровадження швидкісного руху поїздів в Україні

Залізничний транспорт України є провідною галуззю економіки, виконує 82,9% вантажообігу і 36,4% пасажирообороту всіх видів транспорту (за даними Державного статистичного управління без урахування трубопровідного транспорту та даних анексованої території Автономної Республіки Крим і м. Севастополь), на відміну від країн Європейського Союзу, де частка залізничних перевезень становить 6-8% пасажирські й до 20% – вантажні. Передбачається, що доля залізничного транспорту в загальному пасажирообігу буде скорочуватись до 34% у 2021 році [1].

Українські залізниці мають експлуатаційну довжину 19,8 тис. км, зокрема електрифікованих ліній 9,4 тис. км, або 47,3% загальної довжини головних колій. Щільність мережі – 32,8 км на 1000 км² території. Довжина ліній, обладнаних автоблокуванням і диспетчерською централізацією, становить 12,2 тис. км. Інвентарний парк рухомого складу налічує 1,7 тис. електровозів, 2,1 тис. тепловозів, 5,1 тис. пасажирських вагонів і 104,3 тис. вантажних. Найбільшою загрозою сталому функціонуванню залізничного транспорту є майновий знос його основних фондів, особливо рухомого складу, що перевищив 90% [2].

Сьогодні реалізується програма реформування залізничного транспорту, розрахована до 2020 року [3]. Серед планових завдань – модернізація й реконструкція залізничних колій для збільшення пропускної спроможності залізниць, впровадження швидкісного руху поїздів як умови реалізації геополітичних переваг України. Ділянок з протермінованою колією 27% (рисунок 1.1).

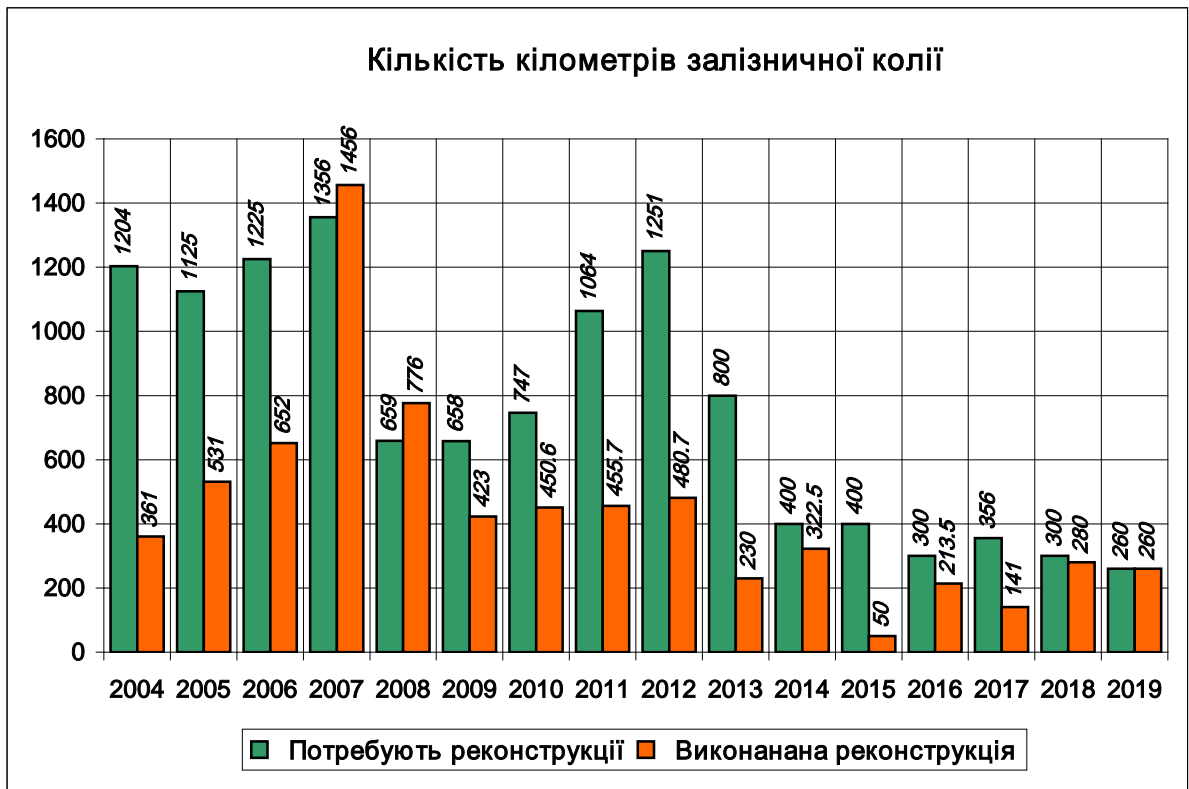


Рисунок 1.1 – Планові й фактичні показники реконструкції колії

З метою визначення можливих обсягів перевезень проаналізовано прогноз обсягів перевезень пасажирів на 2010-2015-2020 роки, який виконано у складі Генеральної схеми розвитку залізниць України на період до 2020 року [4].

Показники обсягів перевезень наведено на графіках (рисунки 1.2 – 1.4).

Пасажирообіг по АТ «Укрзалізниця» за період 2008-2018 рік досягав максимального значення у 2008 році – 53,056 млрд пас.-км, мінімального у 2017 році – 28,001 млрд пас.-км.

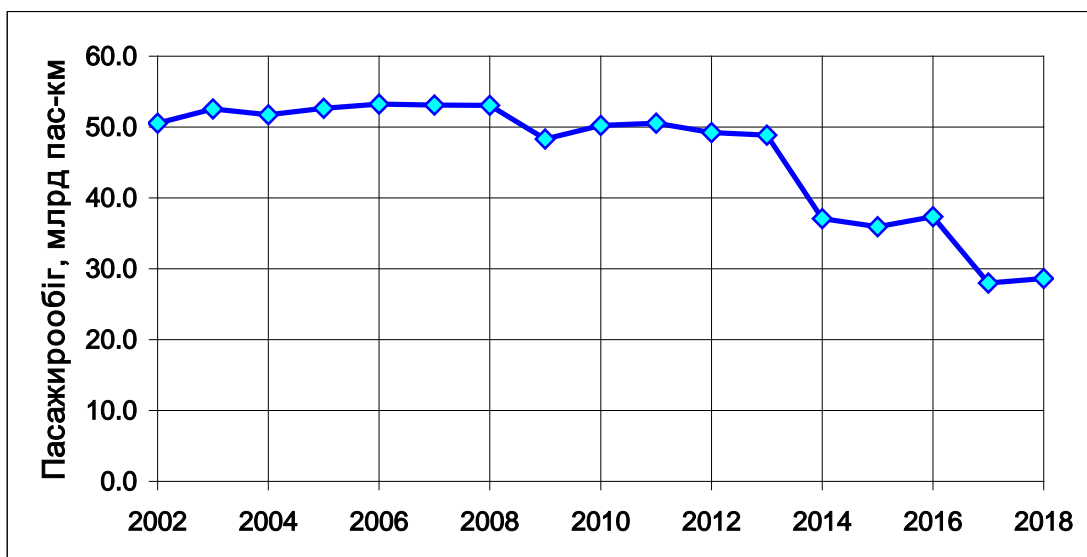


Рисунок 1.2 – Динаміка пасажирообігу по рокам, млрд пас-км

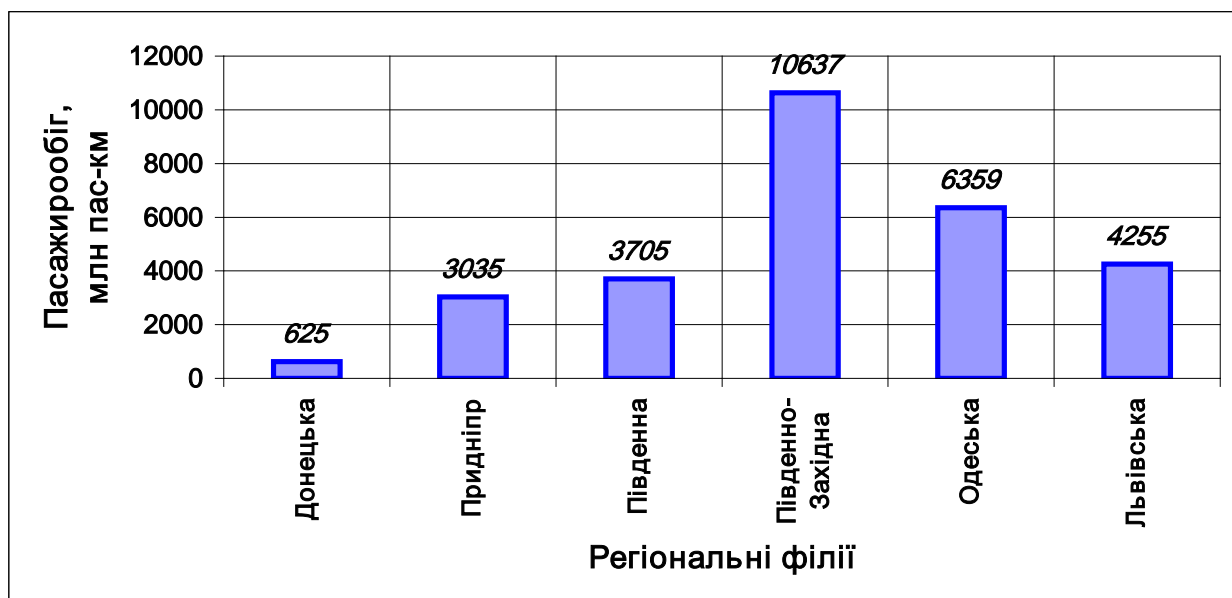


Рисунок 1.3 – Пасажируобіг, млн пас.-км, у розрізі регіональних філій

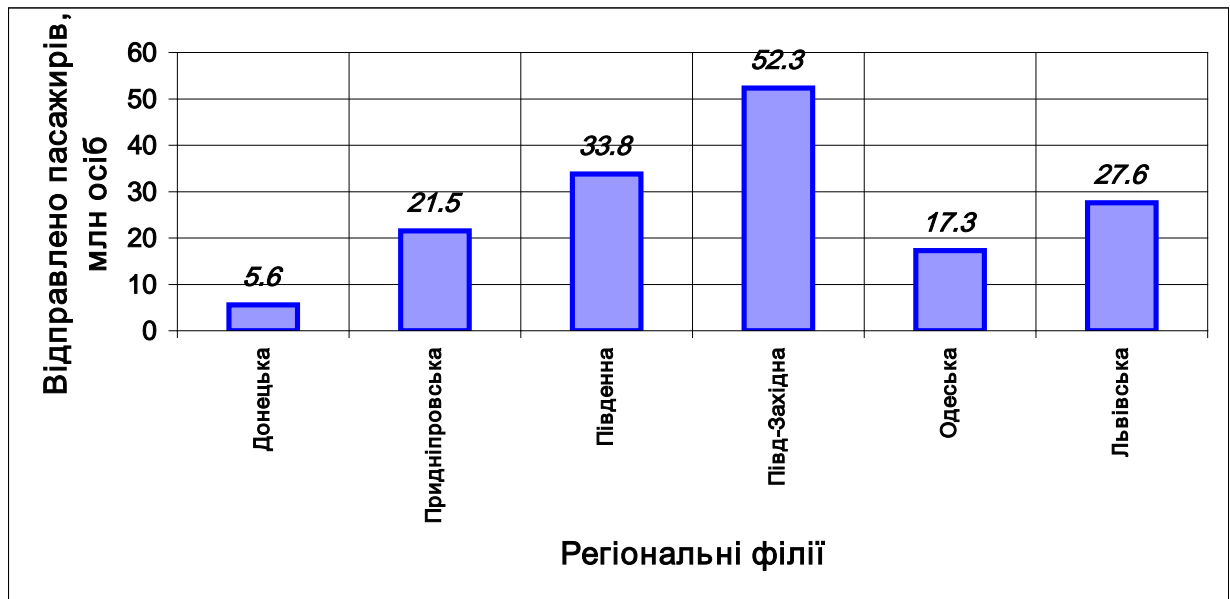


Рисунок 1.4 – Відправлено пасажирів по регіональним філіям у 2017 році

Коефіцієнт рухливості на розрахункові терміни визначено на основі ретроспективного аналізу цих показників, з урахуванням основних впливових факторів, до яких слід віднести у дальньому сполученні:

- зростання доходів найбільш активної частини населення (середнього класу);
- перспективу вступу України до Євросоюзу (ЄС), прагнення до більш високих європейських показників (2,8 – 3,5 поїздки на рік);
- позитивний вплив комплексу заходів щодо збільшення швидкості руху поїздів, комфортності поїздки та підвищенню рівня сервісу.

Прийнята прогнозна кількість населення на 2020 рік – 42,5 млн осіб.

З урахуванням прогнозу кількості населення визначено обсяги відправлення пасажирів на 2020 рік у межах залізниць та загальні по Україні (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Прогноз відправлення пасажирів на 2020 рік [5]

Регіональні філії	Показники			
	населення, млн. осіб	відправлено пасажирів, млн на рік		
		дальнє сполучення	приміське сполучення	разом
Донецька	6336	7540	54552	62092
Придніпровська	7133	14908	64197	79105
Південна	4774	10646	59150	69796
Південно-Західна	8892	26676	114678	141354
Одеська	6901	10628	26016	36644
Львівська	8502	12072	54072	66144
Разом по Україні	42538	82470	372665	455135

Економічна фінансова криза негативно вплинула на обсяги пасажирських перевезень в Україні. З урахуванням зазначеного, прогностичні показники потребують коригування. Орієнтовно, зростання обсягів відправлення у дальньому сполученні може скласти у 2020 році 15-18% до рівня 2006 року, тобто, можливий обсяг відправлення 72-74 млн пасажирів.

Аналогічно, з урахуванням наслідків фінансової кризи, очікується відставання реальних темпів зростання вантажних перевезень на 2020 рік (на рівні 2015 року).

Переважною загрозою сталому функціонуванню залізничного транспорту є майновий знос основних фондів, особливо активної їх частини, що перевищив 90%. Зокрема, знос електровозів – 92%, вантажних і пасажирських вагонів 91% і 88% відповідно [2].

Крім фізичного зносу, переважна частка рухомого складу для пасажирських перевезень застаріла морально, за рядом показників поступається європейським зразкам.

У зв'язку зі зношеністю екіпажної частини електровозів ЧС4 (ЧС2) замість номінальної 160 км/год, для них встановлено максимальну швидкість 100 км/год (з модернізованою ходовою частиною 120 км/год), для більш

нових електровозів ЧС8 (ЧС7), відповідно 120 км/год та 140 км/год.

Через нестачу пасажирських електровозів, частина пасажирських поїздів обслуговується вантажними електровозами, що мають обмежену конструкційну швидкість 110 км/год. Старіння рухомого складу обумовлює підвищені витрати на його ремонт та утримання, що негативно позначається на собівартості перевезень.

Конструктивно вагони застаріли. Крім підвищеної матеріалоемності та недостатньої надійності вузлів, вони не відповідають сучасним споживчим вимогам.

Близько 70% парку електропоїздів постійного струму та 25% електропоїздів змінного струму експлуатуються за межами нормативно встановленого терміну служби 28 років. Зношеність ходової частини накладає обмеження на максимальну швидкість (замість конструкційної 130 км/год для електропоїздів встановлено 100 км/год). Аналогічно, близько 60% дизель-поїздів експлуатуються за межами нормативного терміну служби, що складає 20 років, швидкість обмежена 80 км/год.

Слід зазначити, що за останні роки відбулися деякі зрушення в обслуговуванні приміських перевезень – закуплені нові електропоїзди вітчизняного виробництва, організовано курсування електропоїздів підвищеної комфортності, з наданням пасажиром додаткових послуг (з застосуванням відповідного тарифу), на деяких малодіяльних дільницях впроваджено курсування «рейкових автобусів», що є більш ефективним в умовах незначних пасажиропотоків. В умовах державного регулювання тарифів та утримання їх на рівні значно нижчому за собівартість, всі види пасажирських перевезень, крім міжнародних, є збитковими.

1.2 Організаційно-технологічні й реконструктивні заходи забезпечення залізничних пасажирських перевезень

Транспортна стратегія України на період до 2020 року [3] передбачає створення організаційних, технічних і технологічних умов для забезпечення конкурентноздатності залізничних пасажирських перевезень шляхом:

- вибору оптимального варіанта схеми організації переважно денного пасажирського руху в сполученні між містами з найбільшою чисельністю населення; між окремими обласними та промисловими центрами;
- виконання заходів щодо розмежування пасажирського та вантажного руху;
- скорочення часу поїздки з наданням комфортних умов перебування пасажирів у дорозі;
- підвищення перевізної спроможності у сфері пасажирських перевезень, при безумовному забезпеченні безпеки руху;
- зменшення потреби у пасажирському рухомому складі за рахунок підвищення його продуктивності;
- оновлення рухомого складу залізниць вагонами та локомотивами нового покоління, моторвагонними секціями; підвищення енергетичної ефективності та зменшення шкідливого впливу на довкілля;
- подальшого розвитку залізничної інфраструктури на напрямках міжнародних транспортних коридорів;
- зменшення собівартості перевезень.

Проектно-вишукувальним інститутом «Київдіпротранс» було розглянуто три варіанти вирішення проблеми розвитку пасажирських перевезень залізничним транспортом [5]:

I – екстенсивний, зі збереженням існуючої технології пасажирських перевезень та типу рухомого складу;

II – впровадження прискореного та швидкісного руху пасажирських поїздів на існуючій залізничній мережі зі швидкостями до 160 км/год, з перспективою зростання до 200 км/год на напрямках: Київ – Полтава – Красноград – Донецьк/Дніпро/Харків, Київ – Жмеринка – Львів/Одеса, для чого передбачена реконструкція інфраструктури зазначених напрямків;

III – впровадження високошвидкісного руху (максимальна швидкість 250-350 км/год), з будівництвом нових залізничних ліній.

Встановлено, що варіант I не вирішує проблему скорочення часу та підвищення комфортності поїздки, не забезпечує зниження собівартості перевезень, поглиблює відставання від світових і європейських стандартів та відповідно, є неприйнятним.

Оптимальним і реальним для України є варіант II – організація прискороного та швидкісного руху на існуючих магістралях, з їх реконструкцією та відхиленням вантажного руху на інші, паралельні напрямки. Позитивний досвід такої організації перевезень набуто в ряді європейських країн, у першу чергу, в Німеччині та країнах Скандинавського півострова.

Варіант III є найбільш прогресивним та конкурентоздатним, забезпечує перевагу залізниць перед авто- та авіатранспортом на відстані 250-500 км та конкуренцію на рівних з авіацією відстанях 500-1000 кілометрів. Цей вид перевезень впроваджено в розвинених європейських країнах, в першу чергу Франції, Німеччині, Італії, Іспанії. Перша у Європі високошвидкісна лінія Париж-Ліон збудована у 1981 році і в наступні роки мережа таких залізниць розширювалася високими темпами [6].

Основним недоліком цього виду сполучень є необхідність будівництва спеціалізованих високошвидкісних залізничних ліній та впровадження спеціалізованого рухомого складу підвищеної вартості. У нинішній час таке будівництво можуть дозволити собі тільки країни з високорозвиненою економікою. Прогнозні показники розвитку економіки України свідчать, що у найближчій перспективі неможливо реалізувати цей варіант.

Передбачається [1, 2] організація руху пасажирських поїздів зі швидкостями до 160 км/год, на окремих дільницях до 200 км/год на напрямках Київ – Полтава – Красноград – Донецьк / Дніпро/Харків, Київ – Жмеринка – Львів/Одеса, для чого передбачена реконструкція інфраструктури зазначених напрямків.

Передбачається максимально можливе вивільнення цих напрямків від

руху вантажних поїздів, з переведенням їх на інші паралельні напрямки з посиленням останніх, що дозволить застосувати для кожного виду руху оптимальне технічне обладнання, зменшити обсяги інвестицій в реконструкцію інфраструктури, підвищити швидкості руху та скоротити витрати на утримання колії в процесі експлуатації

У європейській практиці, рекомендаціях Організації співробітництва залізниць (ОСЗ) зазначено, що час у русі швидкісного денного поїзда не повинен перевищувати 7 годин. Найбільш ефективним є термін рейсу до 5,0-6,0 годин, що забезпечує можливість організації 3 рейсів за період з 6 до 24 години, при більшій тривалості кількість рейсів обмежується двома. На рис. 1.5 наведено графік зміни часу руху пасажирського поїзда в залежності від рівня маршрутної швидкості і відповідна вартість на реалізацію реконструктивних заходів [7].

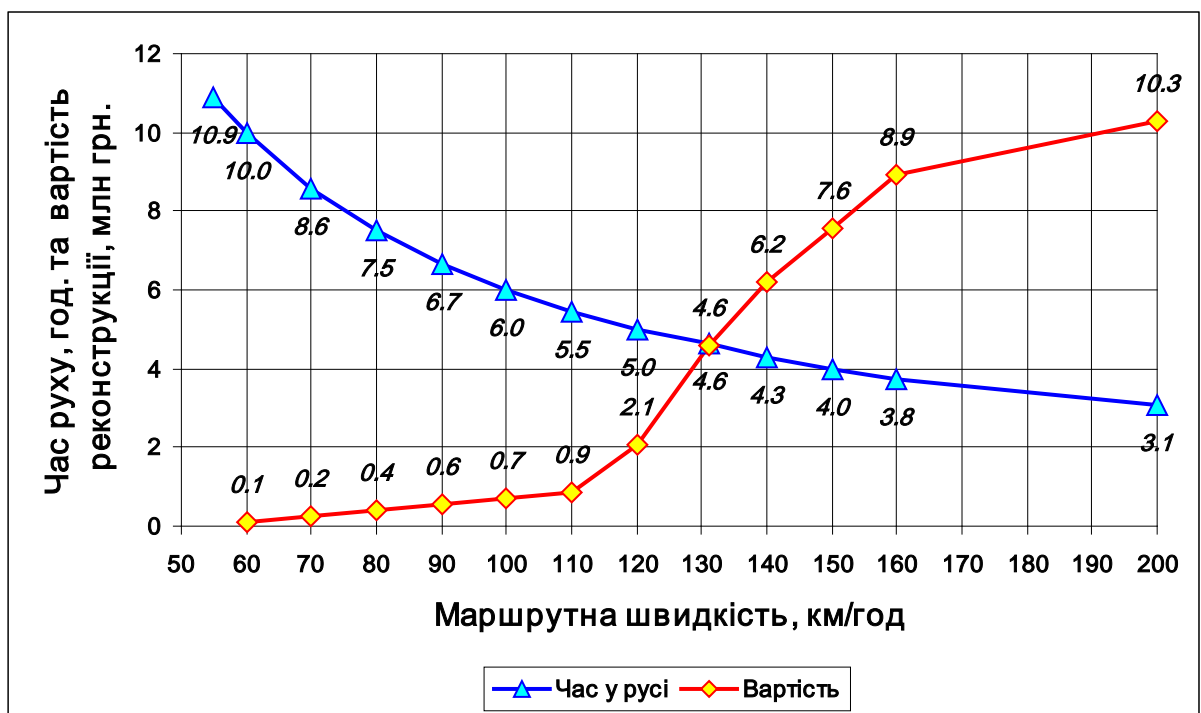


Рисунок 1.5 – Діаграма зміни часу руху і вартості реконструкції в залежності від маршрутної швидкості

Наведені дані обумовлюють пріоритетність будівництва суцільної другої колії на напрямку Гребінка – Полтава – Красноград, що є критичним для всієї системи пасажирських сполучень Київ – Красноград – Донецьк /

Дніпро – Харків.

Збереження одноколіійно-двоколіійної інфраструктури на дільницях Гребінка – Ромодан – Полтава не забезпечить рівня маршрутної швидкості, необхідної для курсування поїздів в сполученні Київ – Донецьк в межах 7 годин.

Актуальним на сьогодні є питання спеціалізації напрямків для вантажних і пасажирських перевезень. Міжнародний досвід виявив наявність проблем в організації суміщеного руху швидкісних пасажирських та значно повільніших вантажних поїздів та доцільність їх розмежування з переключенням на паралельні напрямки. Різниця в швидкостях, масі поїздів, навантаженні на вісь рухомого складу обумовлюють різні вимоги до конструкції та технічного обладнання інфраструктури, в першу чергу, колійної. Спеціалізація ліній по видах руху, за наявності відповідної оптимальної інфраструктури, забезпечує її надійність, скорочення витрат на утримання та ремонт [8].

З іншого боку, суміщений рух поїздів з різною швидкістю негативно впливає на пропускну спроможність напрямків. Так, на напрямку Лозова-Запоріжжя-Джанкой один вантажний поїзд знімає з графіка 4 пасажирських поїзди. Відповідно, спеціалізація напрямків може забезпечити збільшення пропускну спроможності без інвестиційних заходів, в окремих випадках.

Дисертаційна робота присвячена питанням вибору раціональних параметрів кривих на існуючій залізничній мережі зі швидкостями до 160 км/год, з перспективою зростання до 200 км/год. Реалізація зазначеного варіанту потребує менших у порівнянні з III варіантом витрат на реконструкцію мережі і водночас забезпечує значне скорочення термінів поїздки в межах України.

1.3 Розвиток національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні для підвищення швидкості руху поїздів

Вигідне географічне положення України обумовлює проходження Пан'європейських (Критських) транспортних коридорів № 3, 5, 7, 9;

коридорів Організації співробітництва залізниць (ОСЗ) № 3, 4, 5, 7, 8, 10 та транспортного коридору Європа – Кавказ – Азія (ТРАСЕКА) [9].

Центральна вісь сполучає центр ЄС з Україною та Чорним морем, Північна вісь сполучає з Центральною віссю країни Скандинавії та Балтії.

У межах України Критський коридор № 3 (Берлін/Дрезден – Катовіце – Львів – Красне – Тернопіль – Жмеринка – Козятин – Київ) проходить по Львівській і Південно-Західній залізницях (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Проходження міжнародного залізничного коридору № 3 територією України

До недоліків цього ходу можна віднести зміну струму: на ділянці зернове – Київ – Львів змінний струм, а на ділянці Львів – Мостиська-П – постійний.

Виконані Львівською залізницею маркетингові дослідження показали, що існує велика зацікавленість, насамперед Польщі й України, у перебудові існуючої залізниці Державний кордон – Мостиська-П – Львів у швидкісну за

параметрами європейських стандартів [9].

Характеристика третього міжнародного транспортного коридору з позиції параметрів плану лінії наведена на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Гістограма розподілу радіусів кривих на ділянці Київ – Мостиська

Найбільші ухили на цьому напрямку сягають 12‰, питома вага кривих ділянок майже 25%, мінімальний радіус – 250 м.

Аналіз гістограми на рисунку 1.7 надає попереднє уявлення про складність плану траси на цьому маршруті. Так, наприклад, максимальна швидкість 160 км/год може бути реалізована в кривих, радіус яких 1500 метрів і більше [10].

Серед напрямків, що зв'язують Львів з країнами Європи і країнами ЄС можна виділити МТК № 5, що проходить через Чоп і з'єднує Україну зі Словаччиною, Угорщиною, Болгарією, Румунією й іншими країнами Центральної та Південної Європи. Критський коридор № 5 у межах України – це двоколійна, електрифікована на постійному струмі лінія Львів – Чоп довжиною 266 км (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Проходження міжнародного залізничного коридору № 5 територією України

Розподіл радіусів кривих на ділянці Львів – Чоп наведено на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Гістограма розподілу радіусів кривих на ділянці Львів – Чоп

Встановлено, що транспортний коридор № 5 у межах України не дозволяє за параметрами плану й поздовжнього профілю реалізувати високі

швидкості. Особливо слід виділити ділянку Лавочне – Мукачево, на якій ухили поздовжнього профілю більші за 15‰ становлять приблизно 28%, кривих радіусом до 500 м – 29,3%, а швидкості руху не перевищують 60 – 70 км/год.

Виконаний аналіз технічного стану й параметрів траси ділянки Львів – Чоп показав, що основними причинами, які викликають необхідність зниження швидкості, є *план лінії з недостатніми довжинами перехідних кривих і кривими малих радіусів*. Питання, що стосуються неякісного стану інфраструктури, пропонується вирішувати в процесі ремонтів залізниці. Складнішим є питання зміни параметрів плану лінії.

По Південно-Західній і Одеській залізницях проходить міжнародний транспортний коридор «Критський» № 9 (Александрополіс – Пловдив – Бухарест – Кишинів – Кучурган – Роздільна – Жмеринка – Київ – Ніжин – Чернігів – Горностаївка) з відгалуженнями: № 9-а (Роздільна – Одеса); № 9-с (Ніжин – Хутір-Михайлівський – Зернове) наведено на рисунку 1.10 (позначення див. на рис. 1.6). На рисунку 1.11 наведена характеристика плану лінії ділянки МТК № 9 у межах України.



Рисунок 1.10 – Проходження міжнародного залізничного коридору № 9 територією України

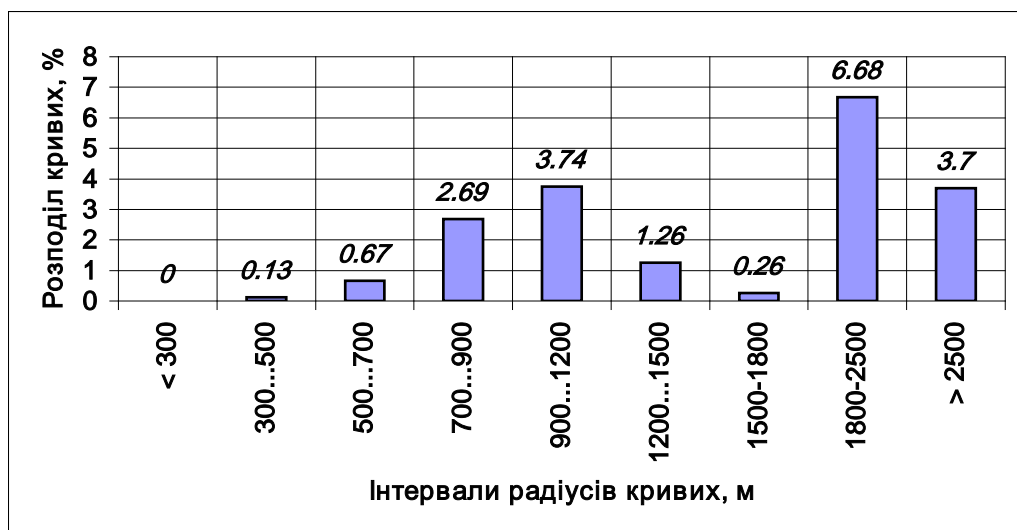


Рисунок 1.11 – Гістограма розподілу радіусів кривих на ділянці
Київ – Зернове

Найбільші ухили досягають 8‰. Питома вага кривих ділянок відповідно 10,3%, мінімальний радіус – 325 м. За параметрами поздовжнього профілю і плану це одна з найкращих ділянок, на якій можна досягти суттєвого скорочення часу руху пасажирських і вантажних поїздів.

З метою забезпечення мінімальної дальності перевезень з Польщі, Скандинавських і Прибалтійських країн в порти Чорного моря, Україна і Польща погодили створення додаткового коридору Гданськ – Одеса (Балтійське море – Чорне море) (рисунок 1.12).



Рисунок 1.12 – Проходження міжнародного залізничного коридору Гданськ – Одеса (Балтійське море – Чорне море) територією України

У межах України довжина коридору Балтійське море – Чорне море (Ягодин – Ковель – Здолбунів – Шепетівка – Козятин – Жмеринка – Одеса) становить 917 км, з яких 85,3% експлуатаційної довжини це двоколійна залізниця. Одноколійною залишається тільки ділянка Державний кордон – Ягодин – Ковель – Ківерці (від кордону з Польщею до Ковеля прокладена друга колія шириною 1435 мм). Найбільший ухил – 11‰.

Від Ковеля до Жмеринки ділянка електрифікована на змінному струмі. На рисунку 1.13 наведено гістограму розподілу радіусів кривих на ділянці Ягодин – Одеса. Кривих ділянок 25,1%, мінімальний радіус – 225 м.

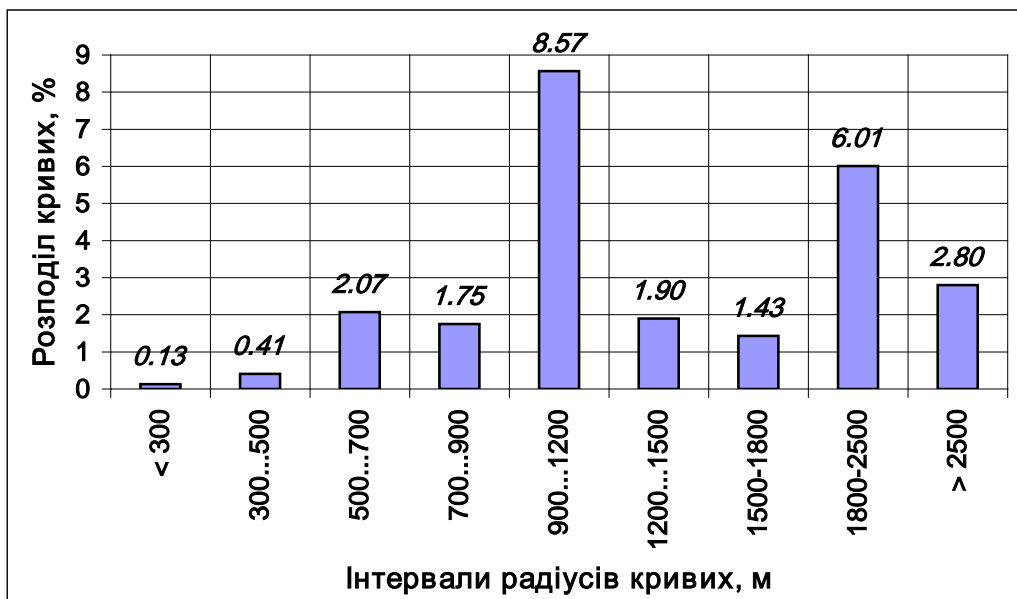


Рисунок 1.13 – Гістограма розподілу радіусів кривих на ділянці Ягодин – Одеса

За результатами виконаного дослідження по основним напрямкам МТК встановлено взаємозв'язок між питомою вагою кривих на ділянці і реалізацією максимальної швидкості (рисунок 1.14). Так, на напрямку Київ – Львів (МТК № 3) має місце найменша кількість (протяжність) кривих, що обмежують максимальну швидкість, тому й реалізація швидкості 141–160 км/год найбільша, близько 71%.

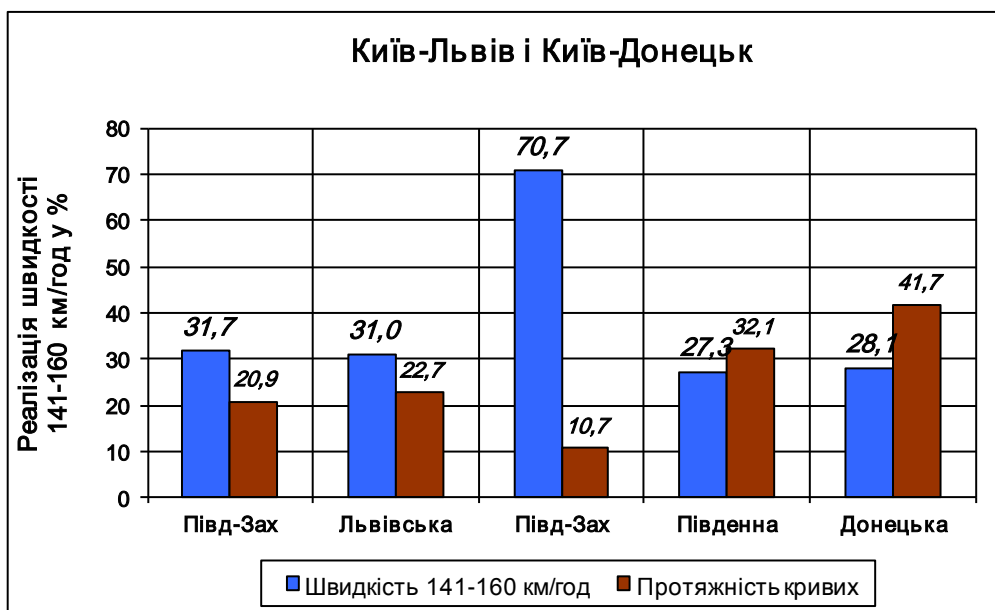


Рисунок 1. 14 – Реалізація максимальної швидкості в залежності від питомої ваги кривих на ділянці

1.4 Огляд наукових досліджень з питань реконструкції залізниць для впровадженні швидкісного руху поїздів

Проблема швидкості для залізниць України набула великого значення з прийняттям Транспортної стратегії України на період до 2020 року [3], яка передбачає виконання таких важливих завдань як необхідність інтеграції до європейської транспортної мережі, модернізацію міжнародних транспортних коридорів, впровадження швидкісного руху поїздів.

В той же час, параметри і умови експлуатації європейських і українських залізниць суттєво відрізняються, що вимагає додаткових досліджень, змін відповідних нормативів і підходів до реалізації програм [11]. Перш за все це питання, пов'язане з розмежуванням напрямків залізниць за своїм функціональним призначенням. Безумовно, на напрямках вантажного й пасажирського руху повинні бути різні норми утримання колії, різні максимальні швидкості руху. Тільки за таких умов можна досягти високих показників у пасажирському сполученні, безпеки у вантажному, і зрештою – ефективного використання існуючої інфраструктури.

Проблема підвищення швидкостей руху не є новою, але залишається різнобічною і складною. Комплексні дослідження технічних, економічних, соціальних проблем підвищення швидкості руху поїздів проводять науково-дослідні й вищі навчальні заклади в Україні і за кордоном.

Пом'якшення кривих є одним з найважливіших заходів, спрямованих на підготовку існуючих залізниць до освоєння зростаючих перевезень та впровадження підвищених швидкостей руху поїздів. Одним з перших вітчизняних учених звернув увагу на необхідність проведення робіт щодо збільшення радіусів кривих проф. М. А. Чернишов [12]. В роботі [13] автор ставить запитання, чому так рідко проводяться роботи з поліпшення поздовжнього профілю й плану ліній. Такими причинами, вважає він, є «недостатня увага відповідних управлінь при виборі засобів збільшення пропускної й провізної спроможності залізниць, відсутність обґрунтованих і

широко відомих техніко-економічних показників ефективності проведення робіт щодо перебудови плану, профілю та спрямлення».

На закордонних залізницях питанням необхідності збільшення радіусів кривих приділяють велику увагу. Багато авторів висловлюють думку, що при сучасній конструкції колії та рухомого складу, параметри кривих є основним фактором, що обмежують швидкості руху. Тому перебудові кривих повинно надаватись більшого значення, що поліпшить умови експлуатації для можливості організації руху швидкісних поїздів. Професор Іллінойського університету Кінг Е. Е., відзначаючи умови руху по кривих і вплив їх на верхню будову колії і рухомий склад, наводить розрахунок річної економії від перебудови кривих і розмір капітальних вкладень, які доцільно витратити на збільшення радіусів для усунення обмежень швидкості [14].

Становить значний інтерес досвід реконструкції ліній на зарубіжних залізницях і, особливо, на дорогах США, де проблемі поліпшення плану й профілю приділяється серйозна увага. Ще в 40-х роках минулого століття в США були розгорнуті в небувалому масштабі роботи по зміні положення траси окремих ділянок існуючих залізниць. Приблизно 75% доріг США мають проекти реконструкції плану, починаючи з невеликих робіт до більш складних, які мають на меті скорочення довжини лінії та збільшення радіусів кривих. Розглянуті питання отримали широке висвітлення в роботах О. В. Джгамдзе [15, 16].

Великого значення збільшенню радіусів кривих на мережі наших залізниць надавав проф. Г. І. Черномордик. Він відзначав, що пом'якшення кривих повинно відбуватися в першу чергу на найбільш вантажонапружених ділянках, а також на ділянках з великим пасажирським рухом [17]. У цій же роботі наводиться методика оцінки втрат часу і палива на уповільнення і розгін поїзда при підході до кривої і виході з неї, викликані необхідністю зниження швидкості.

Узагальнив зарубіжний досвід проф. А. І. Іоаннісян в роботі

«Улучшение трассы существующих железных дорог» [18]. У цій роботі викладені методичні підходи до оцінки питань реконструкції траси при введенні швидкісного руху пасажирських поїздів.

В Україні питаннями удосконалення траси існуючих залізниць займалось багато фахівців. Дисертаційна робота В. І. Євграфова [19] присвячена впровадженню швидкісного руху поїздів, в якій розглянуто питання техніко-економічного обґрунтування збільшення радіусів кривих на кримському напрямку. За даними дванадцяти реальних проектів перебудови плану лінії в різних районах (Крим, Молдова, Центральна Україна, Південний Урал та ін.) було встановлено, що вартість таких робіт може змінюватись у п'ять разів в залежності від топографічних умов і параметрів кривих, що підлягали перебудові.

В роботі [20] М. Б. Курган дослідив техніко-економічну ефективність удосконалення плану існуючих залізниць за рахунок спрямлення траси. На прикладі ділянок Донецької залізниці запропоновано зміни плану лінії й надані рекомендації щодо оптимального розподілення капітальних вкладень при перебудові кривих.

Б. В. Яковлев запропонував класифікацію робіт і навів рекомендації з проектування плану при реконструкції залізниці: перебудова окремих кривих, реконструкція плану існуючої колії, проектування плану другої колії, спрямлення траси [21].

Ґрунтовні наукові дослідження щодо реалізації високих швидкостей припадають на 70-ті роки. У 1972-1973 рр. Інститутом технічної механіки (ІТМ) і Дніпропетровським інститутом залізничного транспорту (ДІТ) на ділянці Баловка – Березанівка Придніпровської залізниці були проведені поїздки швидкісного вагона-лабораторії з реактивною тягою зі швидкістю 250 км/год. У 80-х роках ХХ століття велика увага приділялась підготовці інфраструктури залізниць і рухомого складу до високих швидкостей руху. У роботах професорів О. П. Єршкова, А. Ф. Золотарського, М. А. Фрішмана, М. А. Чернишова розглянуті питання підготовки колії до швидкісного руху

[12, 22, 23].

У 1986 р. вийшла праця проф. М. В. Веріго і проф. А. Я. Когана «Взаємодія колії і рухомого складу» [24], яка вважається фундаментальною з вирішення задач розрахунків колії на міцність, у тому числі з використанням просторових розрахункових схем.

В Україні вітчизняними вченими під керівництвом проф. Є. І. Даніленка були розроблені сучасні «Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість» ЦП-0117 [25], які на сьогодні є діючим офіційним документом. Основи теорії взаємодії залізничної колії з рухомих складом, питання надійності роботи залізничної колії при її експлуатації висвітлені в підручнику для вищих навчальних закладів «Залізнична колія» (2010 р.), який є першим фундаментальним виданням в Україні під авторством проф. Є. І. Даніленка [26]. В підручнику наведені сучасні методики проектування інженерних розрахунків рейкової колії в прямих і кривих ділянках, в тому числі для ділянок швидкісного (161-200 км/год) руху поїздів [27].

Розробкою сучасних методів зміцнення і підвищення зносостійкості пар тертя займається проф. В. В. Косарчук [28]. Дослідження щодо впливу поверхні кочення на коливання та стійкість динамічної системи колесо-рейка проводить проф. В. Г. Вербицький [29].

Задачі моделювання взаємодії колії і рухомого складу є базовими для більшості напрямків сучасних наукових досліджень залізничного транспорту. Тому дослідженню таких питань присвячені роботи багатьох провідних вчених: Є. П. Блохіна, С. В. Вершинського, В. Д. Дановича, В. А. Лазаряна, С. В. Мямліна, М. О. Радченка, В. Ф. Ушкалова [30 – 36].

Задачам напружено-деформованого стану земляного полотна присвячені роботи проф. В. Д. Петренка, д.т.н. О. Л. Тютькіна [37, 38].

Вузьким місцем для реалізації високих швидкостей є станції, насамперед стрілочні переводи, що стримують швидкість руху як на головну, так і бокову колії. Широке коло питань, що відносяться до проектування,

виготовлення і експлуатації стрілочних переводів розглядається в роботах Е. І. Даніленка, Ю. Д. Волошка, А. М. Орловського, С. Д. Тараненка та ін. [39 – 40].

Наявність сполучень кривих з малими радіусами і довжинами прямих вставок на ділянках з важким планом і профілем може істотно обмежувати швидкість руху поїздів. Вимоги щодо сполучення кривих докладно розглянуті в роботі Г. М. Шахунянца [41]. Результати експериментальних досліджень руху рухомого складу по сполученнях кривих, викладені в роботі М. А. Фрішмана [22], показали складний характер взаємодії колії і рухомого складу на цих ділянках.

На основі експериментальних досліджень, а також узагальнення експлуатаційного досвіду були розроблені вказівки щодо визначення максимально допустимих швидкостей руху на ділянках сполучень кривих у плані. В основу визначення допустимих швидкостей руху по сполученнях кривих покладені критерії плавності і комфорту їзди пасажирів, що, як показав багаторічний досвід експериментальних досліджень, досить повно відбивають також умови забезпечення міцності та стійкості колії [42].

Проблемою створення в Україні швидкісного транспорту майже пів століття займається Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В Лазаряна (ДНУЗТ). Співробітниками ДНУЗТ захищені дисертації, написані монографії й наукові статті з питань вибору параметрів та обґрунтування окремих проектних рішень при впровадженні високих швидкостей [6 – 8, 19, 43, 44 – 46].

Серед закордонних вчених, які зробили істотний внесок в теорію і експериментальне вивчення питань взаємодії колії і рухомого складу протягом всієї історії розвитку цієї науки, слід назвати німецьких вчених Є. Вінклера, Г. Циммермана, Г. Герца, Ф. Бірмана, Е. Фраймана, французьких вчених Сен-Венана і Марьє, а також американців Тальботома і Мітчела, японських вчених К. Мацубару і А. Тіля, поляків Н. Балуха і М. Балух та ін. [47 – 51].

Незважаючи на достатньо ґрунтовне вивчення широкого кола питань пов'язаних з впровадженням швидкісного руху поїздів, поки що відсутні дослідження, які б давали комплексне науково-технічне обґрунтування раціональних параметрів кривих на напрямках залізниць відповідно до їх спеціалізації.

1.5 Висновки до розділу 1

1. В Україні розгорнуто широкомасштабну реалізацію перспективних програм. Одна з них – впровадження швидкісного руху поїздів висуває перед транспортом України додаткові вимоги щодо надання послуг на якісно новому рівні. Але умови роботи європейських і українських залізниць суттєво відрізняються, що вимагає додаткових досліджень, змін відповідних нормативів і підходів до реалізації програм.

2. Проблема зростаючої невідповідності залізничного пасажирського транспорту потребам щодо обсягів та якості перевезень обумовлена рядом факторів, основні з яких:

– невиконання вимог Закону України «Про залізничний транспорт», яким встановлено, що будівництво і реконструкція магістральних залізничних ліній, придбання залізничного рухомого складу для перевезень пасажирів у поїздах дальнього слідування та місцевого сполучення здійснюються у встановленому порядку за рахунок коштів Державного бюджету України. Фактично закупівля рухомого складу ведеться за власні кошти залізниць, в обсягах у багато разів менше потреби;

– крім проблем, пов'язаних з фізичним старінням рухомого складу, підвищеними витратами на ремонт та утримання, слід відзначити його моральну застарілість, зокрема, незабезпечення необхідного рівня швидкості. Переважна більшість парку – це вагони та локомотиви конструкції 60-х – 70-х років минулого століття, які в порівнянні з сучасними зразками програють у комфорті, потребують підвищеної витрати енергоресурсів.

3. Критично аналізуючи існуючі наукові підходи, слід відмітити відсутність системного підходу при вирішенні проблеми. Існуюча

конкуренція з боку, наприклад, автомобільного транспорту призводить до перерозподілу потоків вантажів і пасажирів. Тому виникає ряд проблемних задач щодо скорочення часу доставки вантажів і пасажирів залізничним транспортом, підвищення якості послуг та ін.

4. На основі проведеного аналізу показано, що на основних напрямках міжнародних транспортних коридорів, які проходять територією України, без перебудови плану і спеціалізації напрямків за рухом неможливо дотримати встановлені європейські вимоги, насамперед – максимальної швидкості руху. У зв'язку з цим необхідно дослідити і обґрунтувати раціональні параметри плану лінії в умовах спеціалізації напрямків, визначити обсяги робіт і вартість перебудови кривих.

5. При впровадженні швидкісного руху виникла потреба в удосконаленні методики визначення раціональних параметрів кривих і розробці стратегії перебудови існуючих ділянок залізниць, яка б враховувала сучасне обмежене інвестування проектів і життєвий цикл роботи залізничної колії.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ З ПЕРЕБУДОВИ ПЛАНУ ЗАЛІЗНИЦЬ

2.1 Програма впровадження швидкісного руху поїздів в Україні

Подальші дослідження щодо удосконалення плану існуючих залізниць виконувались у відповідності до тих чи інших програм. Так, в області створення швидкісного руху на існуючих лініях в період 1985-1990 рр. діяли галузеві програми підвищення швидкостей руху вантажних поїздів «Швидкість» та пасажирських поїздів «Прогрес». Згодом вони були об'єднані в єдину галузеву науково-технічну програму підвищення швидкостей руху «Прискорення». Питання збільшення радіусів кривих розглядалися вибірково, тому що це було пов'язано з одного боку з високою вартістю робіт з реконструкції лінії, з іншого боку – з обмеженим фінансуванням.

Завдання впровадження швидкісного руху поїздів в Україні було поставлено в 2002 році з запуску «швидкісного поїзда» Київ-Харків. Одним з перших кроків щодо підвищення якості транспортних послуг став наказ від 18 липня 2003 р. № 383-Ц «Про запровадження швидкісного руху денних поїздів».

Пізніше, за участю ДПТУ була запропонована Концепція Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки [52], на основі якої була розроблена Державна цільова програма впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2008-2015 роки. Прийняття Програми було зумовлено також необхідністю створення умов для забезпечення пасажирських перевезень під час проведення фінальної частини чемпіонату Європи з футболу «Євро-2012», створення в Україні мережі швидкісних залізничних магістралей для сполучення великих обласних та промислових центрів країни зі столицею, країнами СНД та Західної Європи, збільшення продуктивності пасажирських перевезень.

Для запуску «швидкісних поїздів» була проведена істотна реконструкція інфраструктури, в тому числі електрифікація, збільшення

радіусу кривих, переукладання колії, впровадження стрілочних переводів з безперервною поверхнею кочення. Проект швидкісного руху передбачав сполучення між усіма найбільшими містами України.

В рамках цієї програми було виконано такі роботи: укладено понад 6 тис. км безстикової колії; проведена реконструкція залізних магістралей та їх інфраструктури за основними напрямками Київ – Харків, Київ – Дніпропетровськ, Київ – Хутір-Михайлівський, Київ – Львів; введені в експлуатацію 370 безстикових стрілочних переводів з безперервною поверхнею кочення; покладено 3,3 тис. км колії на залізобетонних шпалах з пружними скріпленнями; збільшена швидкість руху пасажирських поїздів до 140-160 км/год на більш ніж 1,8 тис. км головних колій магістральних напрямків.

В цілому, готуючись до Євро 2012, Укрзалізниця виконала значні обсяги робіт з реконструкції головних напрямків залізниць, що дало можливість розширити географію впровадження прискореного (до 160 км/год) руху пасажирських поїздів. Так, з 740 км експлуатаційної довжини залізниць на ділянках сумарної протяжності близько 83% була реалізована швидкість 120-160 км/год, що дало можливість скоротити час руху поїздів стосовно діючого графіку на чотири години (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика напрямків Київ – Львів і Київ – Донецьк та експлуатаційні показники ділянок після виконання ремонтних робіт

Найменування показників	Київ-Коростень-Шепетівка-Здолбунів-Львів			Київ-Гребінка-Полтава-Красноград-Донецьк			
	П-Зах.	Львів.	Всього	П-Зах.	Під.	Дон.	Всього
1	2	3	4	5	6	7	8
Експлуатаційна довжина, км	375,4	191,5	566,9	145,9	382,1	212,1	740,1
Протяжність колії в кривих ділянках, км	127,4	88,1	215,5	30,9	179,7	159,4	370,0
Загальна кількість роздільних пунктів, шт.	41	18	59	12	53	22	87
Загальна кількість переїздів, шт.	68	41	109	23	74	32	129
Дефектні штучні споруди, шт.	4	7	11	2	7	1	10

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Хворі місця земляного полотна	2	1	3		56	3	59
Швидкість руху до 120 км/год	159	68	227	13	70	118	201
Швидкість руху до 140 км/год	149	88	237	40	85	22	147
Швидкість руху до 160 км/год	193	120	313	205	154	107	466
Час руху після виконання ремонтних робіт, хв.	194	102	296	69	197	119	385
Прискорення до діючого графіку, хв.	55	38	94	13	141	88	242

Відомо, що реалізація швидкісного руху на тому чи іншому напрямку характеризується двома категоріями швидкостей – максимальною й маршрутною. Перша служить характеристикою загального рівня залізничної техніки, друга – інтегральним вираженням впливу експлуатаційних умов: організації руху, стану та параметрів колії та ін. Характерним є те, що кінцевий результат перевезень, тобто час доставки пасажирів, визначається не максимальною, а маршрутною швидкістю.

Середню маршрутну швидкість пасажирських поїздів можна визначити за формулою:

$$V_m = \frac{L}{T_x + T_3 + T_2}, \quad (2.1)$$

де T_x – час руху поїзда з урахуванням усіх розгонів і гальмувань, який можна зменшити, якщо усунути обмеження швидкості на бар'єрних місцях, якими також є й криві;

T_3, T_2 – відповідно час всіх зупинок і втрат при складанні графіків руху.

Підвищення рівня максимальної швидкості прямування поїздів ще не визначає найбільший вигравш у часі. Необхідно домогтися реалізації максимальної швидкості на можливо більшій довжині залізниці. Показовим у цьому питанні є досвід залізниць Німеччини. У результаті спеціальних досліджень, проведених на цих залізницях і реалізації розроблених

рекомендацій, максимальні швидкості руху зросли на 10 км/год майже на 40% мережі обертання швидкісних поїздів (більше 3 тис. км). При цьому частка ділянок, на яких дозволена швидкість складала 160 і 200 км/год, підвищилась на 5% [53].

У 2019 році загальна довжина маршрутів швидкісних поїздів «Intercity» і «Intercity+» складає 6332 км (рисунок 2.1), а найбільша маршрутна швидкість сягає 103-119 км/год і реалізується поїздами на ділянках Київ – Харків, Київ – Львів (Перемишль) (рисунок 2.2).



Рисунок 2.1 – Маршрути швидкісних поїздів

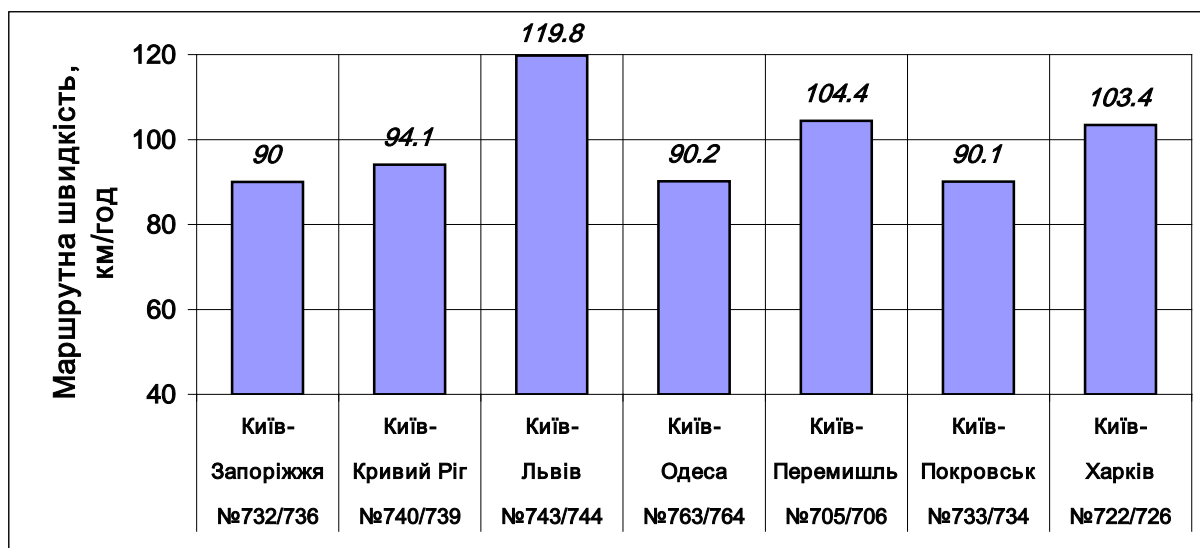


Рисунок 2.2 – Маршрутна швидкість пасажирських поїздів

За завданням Укрзалізниці у 2015 р. було розроблено техніко-економічне обґрунтування (бізнес-план) переведення пасажирських перевезень в далекому сполученні з переважно нічних на переважно денні поїзди. Відповідно до плану пропонується замінити 42 пари нічних поїздів, в яких задіяно 1276 вагонів, 17 парами денних поїздів, в яких буде задіяно лише 306 вагонів. Економія інвестиційних ресурсів при заміні нічних поїздів денними складе за період 2016-2021 складе 14,392 млрд. грн. Зазначені заходи дозволять не допустити падіння обсягів перевезень і до 2021 року збільшити перевезення денними поїздами на 8,3-8,7 млн пасажирів.

Всього, для збільшення кількості денних поїздів необхідно придбати 24 міжрегіональних двосистемних електропоїздів подвійного живлення (у 9-ти вагонному виконанні, сума інвестицій складе – 9,504 млрд грн.), 15 міжрегіональних двосистемних електропоїздів подвійного живлення (у 6-ти вагонному виконанні, сума інвестицій складе – 3,960 млрд грн.), 19 дизель-поїздів (у 3-х вагонному виконанні, сума інвестицій складе – 3,110 млрд грн.), та провести модернізацію з подовженням терміну служби 30 електропоїздів. Разом за період з 2015 по 2020 рік сума інвестицій в оновлення рухомого складу для забезпечення перевезень денними поїздами має скласти 18,037 млрд грн [2].

Для поїздів «Interciti+», нічних швидкісних і регіональних були визначені розміри руху і пересадкові транспортні вузли (ХАБИ): Дніпро, Донецьк, Запоріжжя, Київ, Львів, Одеса, Харків (рисунк 2.3).



Рисунк 2.3 – Перспективні напрямки розвитку денного руху поїздів

2.2 Практичні заходи з перебудови плану лінії на окремих ділянках залізниць

Щоб збільшити швидкість руху поїзда в кривих ділянках колії до 140-160 км/год і більше необхідно виконати виправлення кривих в плані з відновленням проектних радіусів, як того вимагає Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України (ЦП-0287) [54].

На ділянках залізниць, де передбачається перебудова кривих, можуть прийматись різні рішення щодо параметра $C = R \cdot l$, при якому забезпечується встановлена максимальна швидкість. В результаті проведеного дослідження [55] встановлено, що параметр C слід приймати таким, щоб $C \rightarrow \max$ при

$R \rightarrow \min, l \rightarrow \max$ для отримання мінімальної будівельної вартості реконструкції плану лінії.

Важливим питанням було й залишається обґрунтування мінімального радіусу кривих. Особливістю цього дослідження є те, що при визначенні мінімального радіуса кривої (R_{\min}) враховується спеціалізація напрямків: суто пасажирський рух, переважно пасажирський рух, суміщений рух поїздів [56].

Якщо розглядається перший варіант (суто пасажирський), то мінімальний радіус кривої можна визначити з відомої формули підвищення зовнішньої рейки [10]

$$R_{\min} = \frac{V_{\max}^2}{3,6^2 \left([\alpha_{nn}^{nc}] + \frac{gh}{S} \right)}. \quad (2.2)$$

де V_{\max} – максимальна допустима швидкість для пасажирських поїздів, км/ГОД;

α_{nn}^{nc} – непогашене прискорення для пасажирських поїздів ($0,7 \text{ м/с}^2$), м/с^2 ;

g – прискорення сили тяжіння, $9,81 \text{ м/с}^2$;

h – величина підвищення зовнішньої рейки, мм;

S – відстань між осями рейок, 1600 мм.

За результатами розрахунків за формулою (2.2) побудовані графіки залежності підвищення зовнішньої рейки від радіуса кривої (рисунок 2.4).

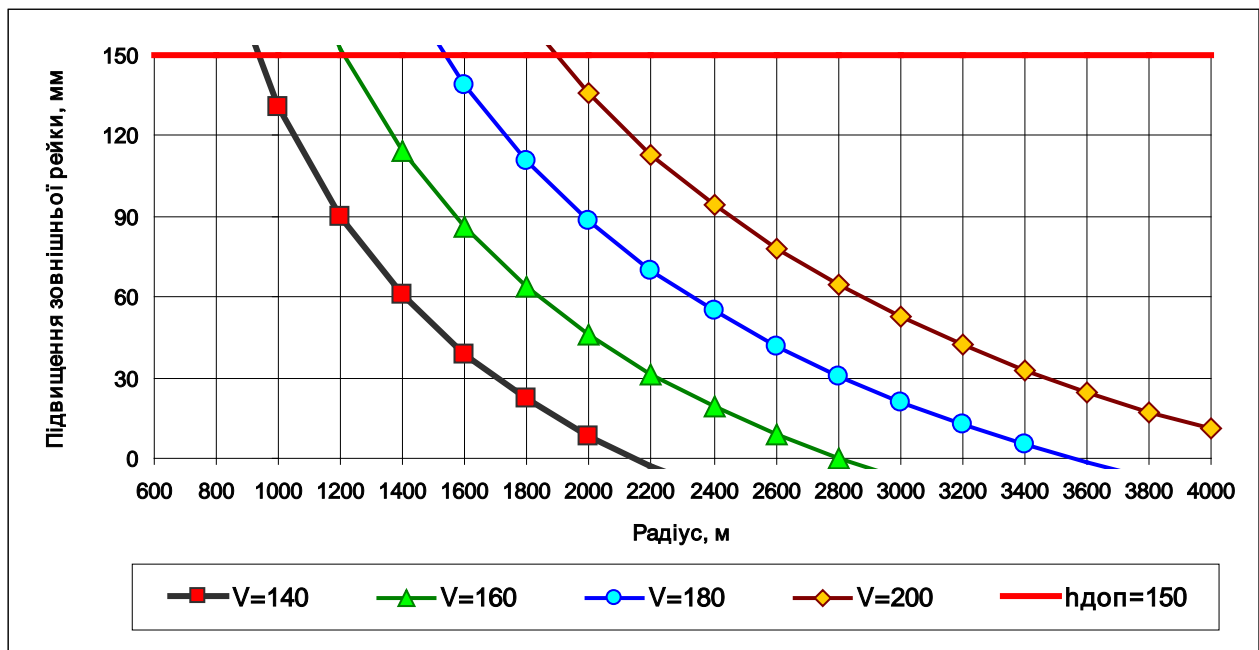


Рисунок 2.4 – Графіки залежності підвищення зовнішньої рейки від радіуса кривої (суто пасажирський рух)

При переважно пасажирському русі та наявності поїздів інших категорій, наприклад, швидкісних вантажних, мінімальний радіус кривої встановлюється за умови, що

$$h_{\min} \leq h \leq h_{\max} \quad (2.3)$$

$$h_{\min} = \frac{A \cdot V_{\max}^2}{R} - I, \quad h_{\max} = \frac{A \cdot V_{\min}^2}{R} + E,$$

де $A = 12,5$ для залізниць з шириною колії 1520 мм;

h_{\min} – мінімально допустиме підвищення зовнішньої рейки для пасажирських поїздів, мм;

h_{\max} – максимальна допустима величина підвищення зовнішньої рейки для вантажних поїздів, мм;

V_{\min} – мінімальна швидкість вантажного поїзда, км/год;

α_{nn}^e – непогашене прискорення для вантажних поїздів ($-0,3 \text{ м/с}^2$), м/с^2 ;

E – надлишок підвищення зовнішньої рейки $E = \frac{S}{g} \alpha_{nn}^e$, мм;

I – недостача підвищення зовнішньої рейки $I = \frac{S}{g} \alpha_{nn}^{nc}$, мм.

За умови (2.3) мінімальний радіус для при суміщеному русі поїздів визначається із співвідношення

$$\frac{A \cdot V_{\min}^2}{D - E} \leq R \leq \frac{A \cdot V_{\max}^2}{D + I}, \quad (2.4)$$

де D – підвищення зовнішньої рейки в кривій, мм;

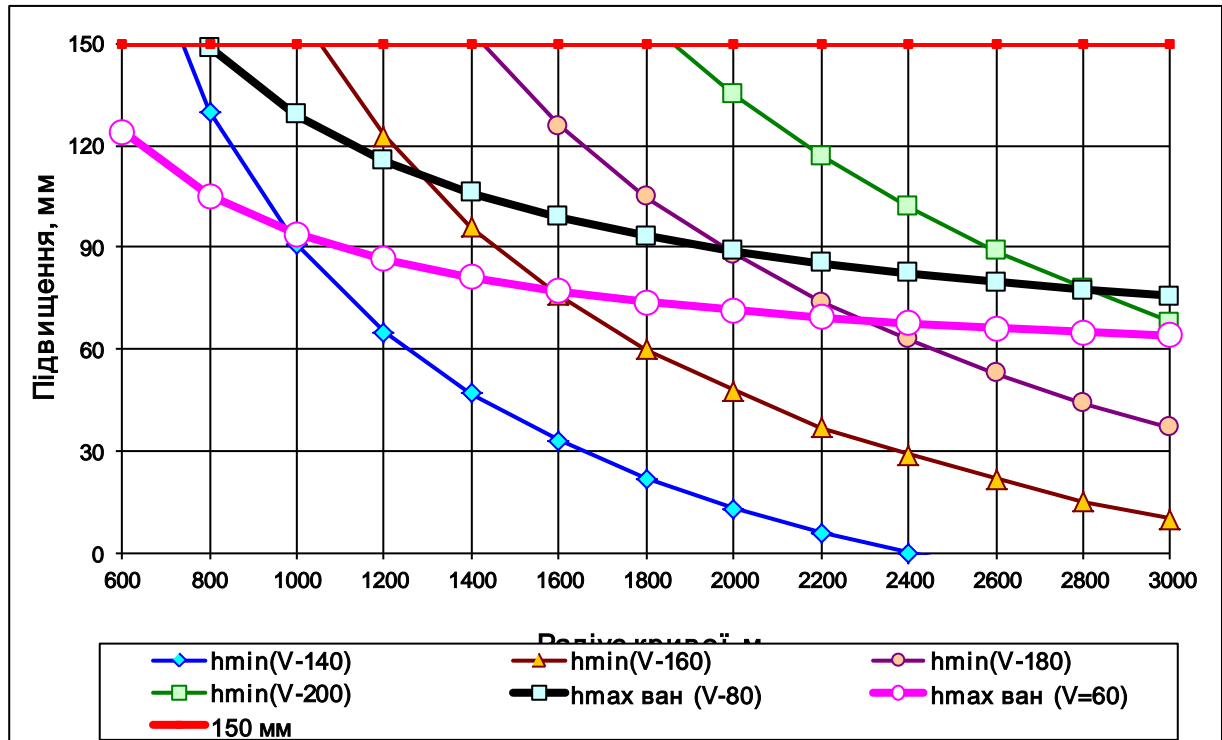


Рисунок 2.5 – Графіки залежності підвищення зовнішньої рейки від радіуса кривої (суміщений рух)

З рисунків 2.4 і 2.5 випливає, що для реалізації максимальної швидкості 160 км/год на напрямках суто пасажирського руху може бути мінімальний радіус 1200 метрів, на напрямках суміщеного руху при максимальній швидкості пасажирських 160 км/год і відношенні $V_{\text{ван}(\min)} / V_{\text{пас}(\max)} = 0,5$, $R_{\min} = 1300$ м, при відношенні 0,375 – $R_{\min} = 1600$ м.

2.2.1 Корегування параметрів кривих на напрямку Миронівка – П’ятихатки

Необхідність корегування параметрів кривих з’явилась ще при впровадженні на залізницях України прискореного руху поїздів. Так, з метою підвищення швидкості руху поїздів на напрямку Миронівка – П’ятихатки

«Одесжелдорпроект» у 2003 р. було запропоновано перебудувати 21 криву, в тому числі 8 – у межах смуги відводу і 13 – за її межами. Частково ці пропозиції були реалізовані.

Розглянемо на вказаному напрямку ділянку Т. Шевченка – Знам'янка. Щоб надати техніко-економічну оцінку запропонованим заходам, на першому етапі досліджень були зібрані дані про план і профіль колії, технічні й експлуатаційні показники. Аналіз плану показав, що криві складають 42,5% від загальної довжини лінії, середній радіус – 940 м. Основними перешкодами є криві радіусами менше за 1200 м.

Було встановлено, що ділянка Т. Шевченка – Знам'янка має складний план і реалізація швидкості 160 км/год приведе до значної перебудови кривих зі зміщенням вісі колії на нове земляне полотно за межі смуги відводу. Тому максимальний рівень швидкості прийнято 120-140 км/год.

На другому етапі досліджувалась техніко-економічна ефективність перебудови кривих ділянок колії з метою збільшення радіусів і встановлення необхідного підвищення зовнішньої рейки, що забезпечує реалізацію максимально допустимих швидкостей. Для вирішення цього завдання розглядалися криві запропоновані до перебудови інститутом «Одесжелдорпроект» (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Корегування параметрів кривих на напрямку Миронівка – П’ятихатки

№ зп	Найменування перегону	Існуючий стан кривої					Перебудова в межах смуги відводу					Перебудова на новій трасі			Вартість перебудови, млн грн.	
		початок, КМ	кінець, КМ	радіус, м	довжина, м	швидкість руху, км/год	радіус, м	швидкість руху, км/год	зсуви, м	довжина зсувів, м	радіус, м	швидкість руху, км/год	довжина, м	в межах смуги відводу	за межами смуги відводу	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	Миронова – Таганча	107 пк 7	108 пк 1	840	500	100	1000	120	6 м	600				14,7		
2		109 пк 6	110 пк 1	624	520	100	1000	120	22 м	750						
3		111 пк 9	112 пк 4	815	550	100	1000	120	6 м	600						
4		117 пк 6	118 пк 5	500	940	90	S - криві				1000	120		5000		
5	119 пк 6	120 пк 8	545	1260	90	S - криві				1000	120				43,2	
6	Таганча – Сотники	125 пк 6	125 пк 10	755	400	100	1000	120	5 м	800			6,9			
7		127 пк 5	128 пк 2	633	720	100	S - криві				1000	120	1800		17,5	
8		128 пк 6	129 пк 1	623	460	100	1000	120	14 м	600				9,1		
9	Корсунь – Городище	151 пк 9	152 пк 2	525	400	90	1000	120	6 м	600						
10		152 пк 10	153 пк 7	600	720	100	S - криві				1000	120		3000		
11		153 пк 8	154 пк 7	650	1000	100	S - криві				1000	120				29,2
12		161 пк 2	161 пк 4	645	300	100	S - криві				1000	120		3500		
13		161 пк 6	162 пк 2	634	660	100	S - криві				1000	120				34
14	162 пк 4	163 пк 4	605	1040	100	S - криві				1000	120					
15	Городище – Хлистуновка	168 пк 9	169 пк 6	570	760	100	S - криві				1000	120		3000		
16		169 пк 6	170 пк 1	568	520	100	S - криві				1000	120				26
17		170 пк 2	170 пк 8	630	580	100	S - криві				1000	120				
18		172 пк 6	172 пк 8	630	280	100	1000	120	5 м	400					3,1	
19	Хлистуновка – Цвіткове	174 пк 2	174 пк 5	646	380	100	S - криві				1000	120		2000		
20		174 пк 6	174 пк 10	610	400	100	S - криві				1000	120				19,4
21		175 пк 1	175 пк 5	695	410	100	S - криві				1000	120				
22	Цвіткове – Володимирівка	183 пк 8	184 пк 1	700	310	100	S - криві				1000	120		3300		
23		184 пк 9	185 пк 1	635	290	100					1000	120				28,5
24		185 пк 2	185 пк 9	630	710	100					1000	120				
25		189 пк 3	189 пк 9	550	620	100					1000	120		1700		
26		190 пк 1	190 пк 5	700	400	100					1000	120				14,7

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
27	Володимирівка	194 пк 10	195 пк 8	700	820	100	800	120	12 м	860				14,4	14,6		
28	– Перегонівка	198 пк 8	199 пк 6	760	880	100	1000	120	24 м	1000							
29	Камянка – Косарі	238 пк 3	238 пк 8	615	460	100	S - криві				800	120					
30		238 пк 8	239 пк 2	640	400	100					800	120	1500				
31		240 пк 6	241 пк 2	631	680	100	800	120	17 м	800							
32	Фундукліївка –	256 пк 1	256 пк 4	750	340	100	800	120	1 м	300				35,1			
33	Цибулево	256 пк 6	256 пк 10	780	420	100	800	120	1 м	400							
34	Цибулево – Чорноліська	281 пк 2	281 пк 10	740	780	100	800	120	1 м	800							
35	Знам'янка-Пас – Пантаївка	313 пк 3	131 пк 9	1040	580	100	1400	140	10 м	800							
36	Пантаївка – Користівка	325 пк 6	327 пк 6	1000	2000	100	1200	140	80 м	2400							
37		328 пк 9	329 пк 8	1198	960	100	1400	140	11 м	1100							
38		330 пк 6	331 пк 1	1196	600	100	1400	140	4 м	700							
39		333 пк 2	333 пк 8	600	640	90	S - криві				1000	120	3000	25,9			
40		333 пк 9	334 пк 10	531	1100	90					1000	120					
41	336 пк 7	337 пк 5	630	820	90	м. мост пр. 42 м.											
42	Користівка –	345 пк 8	346 пк 3	530	480	90	S - криві				800	100	5000	43,2			
43	Олександрія	347 пк 2	347 пк 6	560	480	90	S - криві				800	100					
44	Олександрія – Королівка	361 пк 5	361 пк 7	505	280	90	S - криві				800	100	4000	34,6			
45		361 пк 8	363 пк 2	514	1480	90	S - криві				800	100					
46		363 пк 4	364 пк 1	500	680	90	S - криві				800	100					
47	Королівка –	367 пк 1	367 пк 4	1100	280	100	1400	140	1,5 м	300			5,9				
48	Щаслива	369 пк 7	369 пк 10	1100	360	100	1400	140	3 м	400							
49	Щаслива – Зелена	377 пк 9	378 пк 4	1020	380	100	1400	140	4 м	400							
50		379 пк 5	380 пк 1	605	600	100					1400	140	1400				
51		382 пк 3	382 пк 8	1049	420	100	1400	140	5 м	500							
52		384 пк 7	385 пк 1	1068	420	100	1400	140	4 м	500							
53		388 пк 2	388 пк 6	1049	500	100	1400	140	7 м	700							
54	Зелена –	397 пк 9	398 пк 2	520	320	90	S - криві				800	100	1200	9,1			
55	Яковлівка	398 пк 3	398 пк 9	500	640	90	S - криві				800	100					

Всього в цінах 2003 р. 411, 6 млн грн, в тому числі: 100,2 | 311,4

На ділянці Миронівка – П'ятихатки при існуючих параметрах плану лінії встановлені максимальні швидкості поїздів 100-120 км/год. На окремих ділянках можливе збільшення швидкості на 10-20 км/год після зміни підвищення зовнішньої рейки в кривих відповідно до Правил ЦП-0236 [10]. Обов'язковим є винос стрілочних переводів за межі кривих зі збільшенням допустимих швидкостей руху поїздів по станціях і на підходах до них.

При підвищенні швидкості руху на станціях і в кривих, після їх перебудови час руху поїздів від ст. Миронівка до ст. П'ятихатки відповідно з тяговими розрахунками становитиме близько 180 хвилин, а середня ходова швидкість – 100 км/год.

Подальше збільшення швидкості і зменшення часу руху поїздів пов'язане зі значною перебудовою кривих, що тягне за собою винесення траси на нове земляне полотно. Для реалізації цих заходів необхідно грошові витрати за розрахунком 7-9 млн грн. на 1 км перебудови. При цьому перебудова, наприклад, 12 кривих загальної протяжності 8,2 км в сприятливих за профілем умовах, дає економію часу руху поїзда 1-1,5 хв. і складає близько 61 млн грн.

Нижче наведені пропозиції щодо перебудови кожної з цих кривих (номери кривих наведені відповідно до таблиці 2.2).

1. Перебудова кривих № 2 радіусом 624 м і № 3 радіусом 815 м на 109 і 111 км перегону Миронівка – Таганча загальної протяжності 1,35 км технічно можлива. Збільшення їх радіусу до 1000 м дозволить збільшити допустиму швидкість до 120 км/год на цих кривих і прилеглих ділянках протяжністю 4 км і зменшити час руху поїзда на перегоні на 0,5 хв. Орієнтовна вартість будівельних робіт 10,2 млн грн.

2. Перебудова кривих № 32 і № 33 на 256 км можлива. При цьому необхідно розглядати збільшення радіусів до 900-950 м або навіть до 1050 м. В останньому випадку можна розглядати варіант перетворення складових дворадіусних кривих в однорадіусну з радіусом 1050 м. Одночасно з перебудовою на даному перегоні цих двох кривих слід розглянути варіант

збільшення радіусу першої частини складової кривої на 259 км ($R_1 = 870$ м, $R_2 = 985$ м, $R_3 = 1480$ м) за рахунок зменшення радіусу останньої частини. Якщо при цьому можливо перейти на одно радіусну криву 1050 м, то максимальна швидкість на рівні 125-130 км/год буде реалізована від 254 км і далі на довжині 8 км. Фактичні радіуси інших кривих на цій ділянці за матеріалами розшифровки колієвимірювальної стрічки дозволяють встановлювати рекомендовані швидкості.

3. Перебудова чотирьохрадіусної кривої № 34 на 281 км можлива, але потребує великого обсягу робіт, оскільки максимальний зсув осі колії складе 10-15 м на довжині 800 м. Крім того, одночасно з перебудовою цієї кривої (радіуси від 763 до 1000 м) необхідно перебудувати попередню криву на 280 км, в якій майже такий же радіус 855 м обмежує швидкість 120 км/год. Між цими кривими розташована пряма вставка довжиною 100 м, що може виявитися недостатнім при одночасному збільшенні обох кривих до радіуса 950 м. При фактичному стані цих кривих допустима швидкість руху по ним 110 км/год. При довжині ділянки перебудови близько 1,5 км збільшується протяжність ділянки з максимальністю швидкості 120 км/год всього на 2 км, що дозволить скороти час руху лише на 5-10 с. Вартість перебудови цих кривих близько 10 млн грн. Таким чином, перебудова запропонованих кривих на 280-281 км економічно недоцільна.

Варто розглянути варіант збільшення радіуса до 1050 м. Крім того, в цьому варіанті до такого ж радіусу слід перебудувати криву на 284-285 км ($R_{\text{існ}}=880$ м). Тоді на довжині ділянки близько 8 км можна буде встановлювати швидкість 130 км/год, що скоротить час руху на 0,5 хв.

4. Крива № 35 на 313 км має фактичний радіус 1108 м і підвищення 100 мм, що є недостатнім для забезпечення максимальної швидкості 140 км/год з непогашеним прискоренням $0,7 \text{ м/с}^2$, але дозволяє встановити швидкість 130-135 км/год з перевищенням норми негативного прискорення для вантажних поїздів до $-0,45 \text{ м/с}^2$. Згідно тягових розрахунків по кривій в парному напрямку може бути реалізована швидкість 135 км/год, в непарному

– 137 км/год. При збільшенні радіуса цієї кривої до 1400 м виникає потреба в спорудженні нового земляного полотна на довжині близько 800 м при зміщенні вісі колії на 5-10 м. Вартість робіт близько 4 млн грн. при скороченні часу руху поїзда на декілька секунд.

Виходячи з цього вважаємо більш доцільним встановити по цій кривій допустиму швидкість 130 км/год без зміни радіуса з підбором раціонального підвищення зовнішньої рейки.

5. Криві № 47 і № 48 на 367 км і 369 км мають фактичні радіуси 1150 м і 1106 м. Реалізовані швидкості в них по тяговим розрахункам близькі до 140 км/год. Умови профілю й плану дозволяють збільшувати радіуси цих кривих. За рахунок збільшення підвищення відповідно до 70 мм і 80 мм в цих кривих допускаємо швидкість складе 130 км/год. Збільшити підвищення з відповідним подовженням перехідних кривих не можливе через малу довжину кругових кривих. Перебудова цих кривих збільшує довжину ділянки з реалізацією швидкості 140 км/год замість 130 км/год на 4 км з прискоренням часу ходу на 8-10 с.

6. Перебудову кривих №50, 51, 52, 53 на перегоні Щаслива-Зелена необхідно розглядати в комплексі. Встановлено, що перебудова кривої №53 на 388 км під швидкість 140 км/год недоцільна з огляду на близькість розташування ст. Зелена. Як в парному так і в непарному напрямках по цій кривій згідно тягових розрахунків можлива швидкість 135 і 130 км/год відповідно. Таку максимально допустиму швидкість при існуючому радіусі 1200 м можна забезпечити за рахунок корегування підвищення зовнішньої рейки.

Крива №52 на 384 км є складовою кривої з радіусами 1180 і 1480 м. За рахунок часткового зміщення осі колії і встановленні відповідного підвищення зовнішньої рейки можна забезпечити швидкість 140 км/год.

Перебудова кривої № 50 на 379 км під швидкість 140 км/год вимагає зміщення осі колії за межі смуги відводу, що пов'язано з великими витратами. З меншими витратами і технічно простіше здійснити перебудову

цієї кривої під радіус 900-950 м із зміщенням осі до 15 м для встановлення по ній швидкості 120 км/год. Це скоротить на 2,5 км довжину ділянки з реалізацією швидкості 140 км/год і призведе до втрати часу на 10 с. При цьому варіанті перебудови кривої №50 необхідно збільшити радіус кривої № 51 на 382 км до $R = 1350-1400$ м; тоді швидкість близька до 140 км/год буде реалізовуватись на довжині близько 7 км. Якщо не виконувати роботи щодо збільшення радіусу кривої №50, а тільки провести виправку колії, то в кривій №51 реалізована швидкості буде близька до 130 км/год, що забезпечується при існуючому радіусі і підвищенні зовнішньої рейки.

Без перебудови кривих на перегоні, втрата часу складе близько 0,5 хв., але витрати зменшуються орієнтовно на 10-15 млн грн.

Проведене дослідження показало, що на ділянці Т. Шевченка – Знам'янка раціональним є варіант перебудови кривих, коли зміщення осі колії не потребує розширення існуючого земляного полотна, тобто при мінімальних витратах на перебудову кривих.

2.3 Корегування параметрів кривих на напрямку Полтава – Красноград – Лозова

Роботи з перебудови кривих виконувались на залізницях України при підготовці інфраструктури до впровадження прискореного руху поїздів на напрямках Київ – Полтава – Красноград – Лозова – Донецьк, Київ – Коростень – Здолбунів – Львів. На стратегічному напрямку Полтава – Красноград – Лозова національного пасажирського транспортного коридору були запропоновані роботи з розширення земляного полотна для збільшення радіусів десяти кривих (таблиця 2.3, 2.4), які за своїми параметрами стримували встановлену максимальну швидкість 160 км/год: (у чисельнику існуючий радіус, у знаменнику проектний): 13 км (705/750), 16 км (1139/1500), 17 км (1001/1500), 39 км (1020/1600), 40-41 км (1070/1600), 68 км (1075/1600), 85 км (1101/1500), 87 км (830/1500), 97 км (882/1500), 101 км (1094/1500), 164 км (1036/1500).

Таблиця 2.3 – Реконструкція земляного полотна для перевлаштування кривих на напрямку

Полтава – Красноград

№ зп	Перегін	Місцезнаходження кривої	Обсяг робіт, тис. м ³	Середня висота насипу, м	Величина зсувів, м	Параметри існуючої кривої		Параметри проектної кривої		Примітка
						радіус, м	довжина, м	радіус, м	довжина, м	
Дільниця Полтава – Красноград										
1	Пост 8 км – Минівка	13 км	5,3	1,55	9,1	705	93	750	553	місцевий ґрунт
2	Минівка – Селещина	16 км ПК 6+69 – 9+36	1,7	1,5	2,33	1139	245	1500	280	місцевий ґрунт
3	Минівка – Селещина	17 км ПК 7+23 – 9+84	2,7	1,5	2,65	1001	260	1500	400	місцевий ґрунт
4	Сухий – БП 43 км	39 км ПК 3+66 – 7+50	6,5	0,9	6,5	1020	375	1600	550	місцевий ґрунт
5	Сухий – БП 43 км	40 км ПК 7+40 – 41 км ПК 0+22	3,9	0,7	2,68	1070	285	1600	440	привозний ґрунт
6	Ланна – Куми	68 км ПК 2+10 – 5+88	0,4	0,8	4,68	1075	378	1600	530	зрізання ґрунту
Всього по дільниці:			13,2							

Таблиця 2.4 – Реконструкція земляного полотна для перевлаштування кривих на напрямку

Красноград – Лозова

№ зп	Перегін	Місцезнаходження кривої	Обсяг робіт, тис. м ³	Середня висота насипу, м	Величина зсувів, м	Параметри існуючої кривої		Параметри проектної кривої		Примітка
						радіус, м	довжина, м	радіус, м	довжина, м	
Дільниця Красноград – Лозова										
7	Красноград – Розжив'ївка	85 км ПК 5+81 – 8+21	10,8	4,1	0,67	1101	240	1500	476	привозний ґрунт, влаштування берми
8	Красноград – Розжив'ївка	87 км ПК 2+59 – 5+58	7,2	1,2	2,94	830	297	1500	588	
9	Балки – Шляховий	97 км ПК 2+38 – 5+73	1,6	1,5	2,14	882	338	1500	669	
10	Шляховий – Кегичівка	101 км ПК 4+01 – 7+54	1,8	0,8	2,54	1094	349	1500	569	після знімання рейкової решітки – спановано та ущільнено старопридатний щебінь
11	Орілька – Гражданський	164 км ПК 1+08 – ПК 5+28	2,3	0,7	1,67	1036	420	1500	836	
Всього по дільниці:			19,3							

На ділянках розширення земляного полотна середня висота насипу коливалась від 0,7-0,8 м до 1,5 м за виключенням кривої на 85 км при середній висоті насипу 4,1 м. Зміщення вісі колії складало від 0,7 до 9,1 м. Загальний обсяг земляних робіт 32,5 тис. куб. м. Використовувався як місцевий, так і привезений ґрунт. Роботи виконувала Смородинська колійна машинна станція з ремонту земляного полотна. Відсипання земляного полотна здійснювалось скреперами, ущільнення виконувалось 13-тонним вібраційним катком ДУ-85, для контролю ущільнення використовувався прилад НМР LFG pro+, що видавав ряд параметрів, в тому числі динамічний модуль пружності [57].

На ділянці Полтава – Лозова доцільними виявились варіанти розширення земляного полотна, що пояснюється невисокими насипами в місці розташування кривих і невеликими обсягами земляних робіт.

На основі проведеного аналізу напрямків Миронівна – П'ятихатки Одеської залізниці, Полтава – Лозова Південної залізниці встановлено, що при вирішенні питання перебудови кривих у залізниць виникають певні труднощі щодо вибору варіанту під виділені інвестиції на реконструкцію. Може бути варіант виправлення кривих за умови, що колія залишається на існуючому земляному полотні або перебудова кривих зі зміщенням осі колії але за умови, що зміна положення плану відбувається у межах смуги відведення і, на кінець, варіант переходу на нову трасу за межами смуги відведення.

2.4 Аналіз пропозицій щодо перебудови плану лінії при впровадженні швидкісного руху поїздів

Аналіз напрацювань з питань перебудови плану залізниць [45, 46, 55, 56 – 58] показав, що в умовах всесвітньої економічної кризи ряд пропозицій і підходів до вирішення проблеми потребують корінних змін. Якщо, наприклад, на напрямку впровадження швидкісного руху задана максимальна швидкість 160 км/год, то до такого рівня швидкості приводилась вся інфраструктура залізниць навіть тих ділянок, де реалізація

встановленої швидкості неможлива, що робило проекти надто дорогими і вони не реалізовувались. Підвищення швидкості розглядалось при суміщеному русі вантажних і пасажирських поїздів без оцінки можливостей спеціалізації напрямків.

Проектними інститутами «Дніпродіпротранс», «Київдіпротранс» і «Хардіпротранс» у 2007 році розроблені заходи з впровадження руху пасажирських поїздів зі швидкостями 160-200 км/год. Розглядались наступні варіанти:

1 – існуючий стан колійної інфраструктури;

2 – мінімальні рихтування кривих в межах існуючого земляного полотна з доведенням до нормативних значень перехідних кривих для кривих радіусом 1200 м і більше;

3 – те ж, що у варіанті 2, та додатково передбачена суцільна заміна стрілочних переводів на новий тип для пропуску поїздів із швидкістю 120 км/год;

4 – перебудова частини кривих малого радіусу на радіус 1500 м за умови зміщення вісі існуючої колії не більше 15 м;

5 – перебудова всіх кривих малого радіусу на радіус 1500 м при максимально необхідному зміщенні вісі існуючої колії.

Вартість реконструкції основних напрямків, віднесена до 1 км експлуатаційної довжини (у цінах 2018 року), наведена на рисунку 2.6.

На вартість робіт впливає технічний стан інфраструктури залізниці, параметри плану і поздовжнього профілю, частота розміщення роздільних пунктів тощо. Витрати на колійне господарство склали від 39% (Жмеринка – Одеса) до 69,5% (Київ – Харків), а на напрямку Київ – Львів – 62,5%.

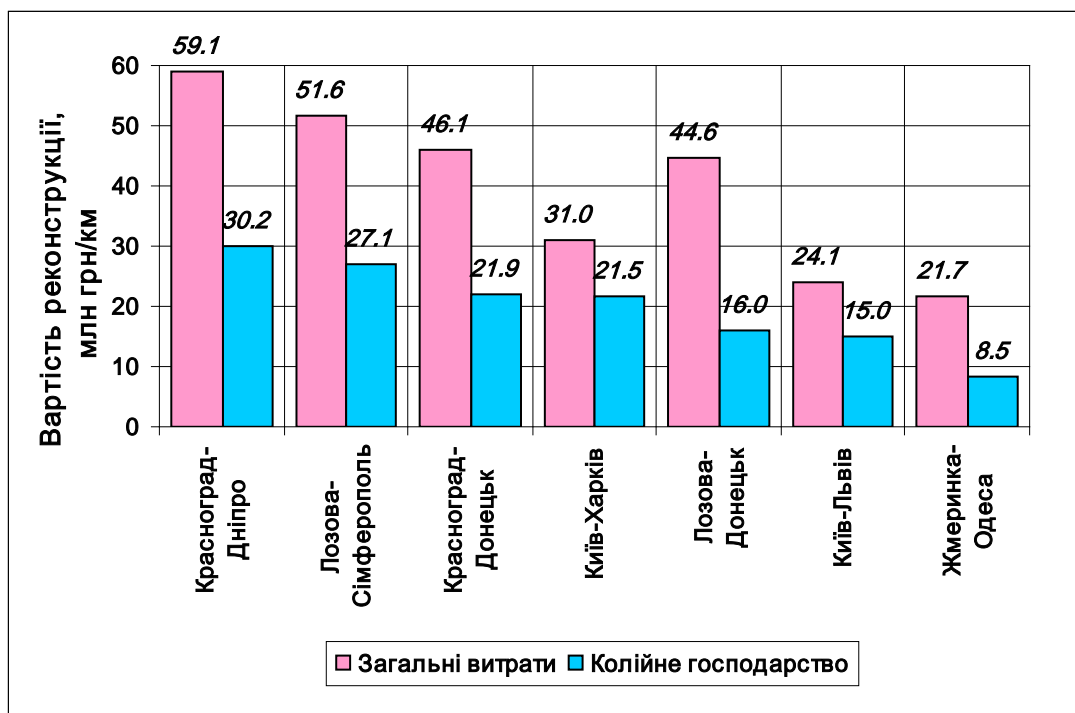


Рисунок 2.6 – Питомі витрати на впровадження швидкісного руху

З метою скорочення обсягів робіт з реконструкції інфраструктури при впровадженні швидкісного руху на напрямках Київ – Одеса і Київ – Львів (можливість використання тієї ж ділянки Київ – Жмеринка для обох напрямків) найбільш сприятливим визнано варіант Київ – Львів через Жмеринку.

Проведемо аналіз запропонованих раніше заходів з впровадження швидкісного руху на напрямку Львів – Підволочиськ. (191,2 км). Початковий стан плану лінії приймався згідно поздовжнього профілю, рухомий склад типу «Intersiti».

Результати розрахунків плану лінії і швидкості руху в цілому на напрямку Львів – Підволочиськ і на окремих його ділянках наведені в таблицях 2.5 і 2.6.

Таблиця 2.5 – Час руху поїзда типу «Intersiti» на окремих ділянках напрямку
Львів – Підволочиськ

Перегін	Довжина ділянки, км	Час руху для різних технічних станів за напрямками					
		початковий стан плану		рихтування в межах земляного полотна		перебудова кривих для забезпечення швидкості 160 км/год	
		непарн	парний	непарн	парний	непарн	парний
Підволочиськ – Тернопіль	51,2	27,9	28,1	25,5	25,7	21,7	22,2
Тернопіль – Красне	89,5	51,9	52,0	43,6	43,3	37,8	37,5
Красне – Львів	50,5	27,0	27,2	23,3	23,5	21,6	21,9
Підволочиськ – Львів	191,2	106,7	107,2	92,3	92,5	81,1	81,6
Середня швидкість, км/год		107	107	124	124	141	141

Таблиця 2.6 – Економія часу руху і вартість робіт

Перегін	Економія часу (хв.) при рихтуваннях в межах земполотна		Вартість робіт, млн грн.	Економія часу (хв.) при перебудові кривих для забезпечення швидкості 160 км/год		Вартість робіт, млн грн.
	непарн	парний		непарн	парний	
Підволочиськ – Тернопіль	2,42	2,42	1,0	6,17	5,92	943,7
Тернопіль – Красне	8,25	8,63	1,2	14,07	14,45	730,1
Красне – Львів	3,72	3,68	0,4	5,37	5,28	4330,8
Підволочиськ – Львів	14,38	14,73	2,6	25,60	25,56	6004,7

Прагнення виконати перебудову окремих кривих малих радіусів при забезпеченні зміщення вісі колії у межах смуги відводу може не дати

позитивних результатів, якщо криві знаходяться на такій відстані друг від друга, що рівень швидкості руху по одній кривій впливає на рівень швидкості по іншій (залежні криві).

Наведемо тільки один приклад з запропонованого переліку заходів по перевлаштуванні кривих по перегонам. Київдіпротрансом пропонується на км 1293/1294 перебудувати дві криві радіусів 700 і 820 м під проектний 1500 м для забезпечення швидкості 160 км/год.

Автором дисертації встановлено наступне. По-перше, поїзд після прослідування ст. Підволочиськ із швидкістю 100 км/год (бо у межах станції на км 1289 криві обмежують швидкість руху) не встигає розігнатись до максимальної швидкості 160 км/год, по-друге, вписати криві радіусом 1500 м в кути повороту уже існуючих кривих неможливо, по-третє, перебудова п'яти кривих на ділянці км 1195/1197 під проектну криву 1000 м може забезпечити швидкість руху 100 км/год і наступний розгін до швидкості 160 км/год при перебудові кривої радіусом 530 м на км 1302/1303 під проектний радіус 1500 м неможливий із-за короткої ділянки розгону. Крім того, поїзд повинен не тільки розігнатись до максимально встановленої швидкості, але й рухатися не менше 5–7 кілометрів, інакше витрати на розгін і гальмування виявляться неефективними [59].

Недоцільним є намагання досягати швидкості 160 км/год на всій довжині ділянки Львів – Підволочиськ, оскільки орієнтовна вартість переносу траси перевищить 6 млрд грн, а вісь колії доведеться зміщати до 100-200 м, а в окремих випадках і більше (див. табл. 2.6), що призведе до значних додаткових робіт і невиправданих витрат.

2.5 Визначення проектних параметрів плану на прикладі ділянки залізниці Львів – Зборів

Один із способів зменшення розладу залізничної колії в кривих полягає у визначенні їх раціональних параметрів. З цією метою були розглянуті наступні варіанти:

Варіант 0. Розрахунки допустимої швидкості руху для існуючого

стану колії.

Варіант 1. Розглядається можливість максимального підвищення швидкості руху поїздів на окремих кривих. Допускається зміщення вісі колії в межах існуючого земляного полотна. Умовно прийнято, що в цьому випадку рихтування не повинні перевищувати 250-300 мм.

Варіант 2. Розглядається можливість максимального підвищення швидкості руху поїздів в окремих кривих, але допускається зміщення вісі колії в межах смуги відведення.

Варіант 3. В цьому варіанті розглядається можливість максимального підвищення швидкості руху поїздів на ділянках колії, які включають декілька суміжних кривих. Умовно прийнято, що для того, щоб залишити колію в межах існуючої смуги відведення допустимі зміщення вісі не перевищують 15 метрів.

На ділянці Львів – Зборів можлива реалізація максимально встановленої швидкості 160 км/год по варіантам коливається від 5 до 42% (рисунок 2.7).

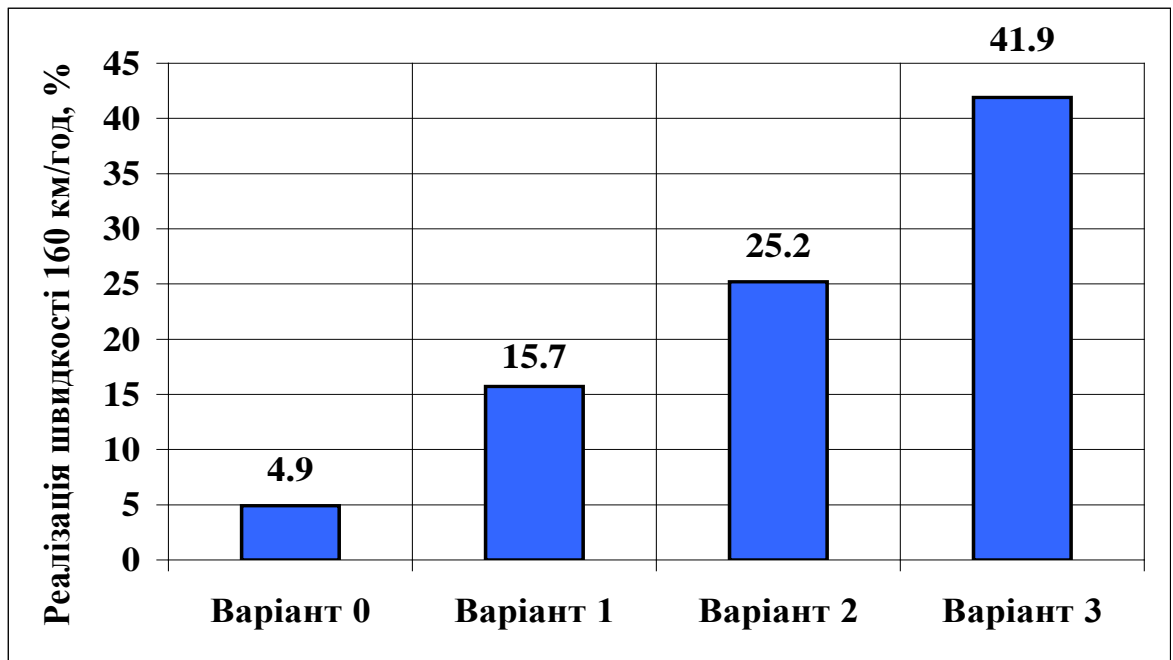


Рисунок 2.7 – Реалізація максимальної швидкості 160 км/год на ділянці Львів – Зборів

Як відомо інвестиційні витрати в залізничному будівництві виступають у формі капіталовкладень K . З використанням програми RWPlan і методики, що передбачає урахування відповідних робіт з перебудови кривої [60], була розрахована за формулою (2.5) вартість по кожному варіанту, що розглядається

$$K = \sum_{i=1}^{i=4} a_i l_i + \sum_{i=5}^{i=7} a_i l_i + \sum_{i=8}^{i=10} a_i Q_i, \quad (2.5)$$

де a_1, \dots, a_4 – витрати на зміщення осі існуючої колії відповідно до 60 мм, 61-120 мм, 121-120 мм і більше 250 мм;

l_1, \dots, l_4 – довжина ділянок з відповідним діапазоном зсувів;

a_5, \dots, a_7 – витрати відповідно на перекладання верхньої будови колії, перенесення контактної мережі, пристроїв СЦБ;

l_5, \dots, l_7 – довжина ділянок перекладання колії, перенесення контактної мережі, кабелів СЦБ;

a_8, \dots, a_{10} – вартість 1 м³ баласту, ґрунту для розширення існуючого земляного полотна та ґрунту для відсіпання земляного полотна на новій трасі;

Q_8, \dots, Q_{10} – об'єм баласту, ґрунту для розширення існуючого земляного полотна та ґрунту для відсіпання нового земляного полотна.

При рихтуванні колії на відстань більшу за 60 мм будуть виникати додаткові обсяги робіт, які пов'язані з роботами по контактній мережі та досипці баласту. А якщо зсув перевищує задане значення, то замість витрат на рихтування підраховуються витрати на перекладання колії, перенесення контактної мережі і пристроїв СЦБ.

Об'ємно-вартісні показники по варіантам перебудови плану лінії наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Об’ємно-вартісні показники по варіантам на прикладі ділянки залізниці Львів – Зборів

Показники	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Довжина проектна, м	77 374	77 359	77 317
Вартість, млн грн.	0,796	72,790	635,456
Довжина рихтувань, м:			
- до 60 мм	62 733	13 613	1 441
- до 120 мм	9 024	25 800	1 919
- до 250 мм	5 104	11 156	1 312
>250 мм	568	23 706	35 650
Довжина перекладання колії, м		3 154	37 107
Довжина перебудови СЦБ і контактної мережі, м		21 498	72 270
Об’єм, м куб.			
- щебеневого баласту	1312	26 190	153 049
- ґрунту, що додається		269 155	2 115 426
- нового земляного полотна			1 073 251

З використанням програми MoveRW були виконані варіантні тягові розрахунки для такого рухомого складу: прискорені (типу «Interciti») (600 т), пасажирські (1000 т), вантажні (4600/2800 т) і приміські (400 т), таблиця 2.8.

Таблиця 2.8 – Результати тягових і економічних розрахунків

Показники	Початковий стан	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		
		показник	економія відносно початкового	показник	економія відносно початкового	показник	економія відносно початкового	
1	2	3	4	5	6	7	8	
Прискорені поїзди (600 т)								
Час ходу, хв.	Туди	45,2	36,1	9,1	33,9	11,3	32,6	12,6
	Звор.	45,2	36,1	9,1	33,9	11,3	32,6	12,6
Середньоходова швидкість: км/год	Туди	101	126		135		140	
	Звор.	101	126		134		140	
Витрати ел. енергії, кВт-год	Туди	3686	3120	566	2973	713	2573	1113
	Звор.	3720	3196	524	3031	689	2683	1037
Економія на пару поїздів на добу за рік, тис. грн.				211		271		416
Економія на 2 пари поїздів на добу, грн.				422		542		832
Пасажирські (1000 т)								
Час ходу, хв.	Туди	52,0	46,7	5,2	44,1	7,8	43,6	8,4
	Звор.	52,0	46,9	5,2	44,3	7,7	43,8	8,3
Середньоходова швидкість: км/год	Туди	88	98		103		105	
	Звор.	88	97		103		104	
Витрати ел. енергії, кВт-год	Туди	3800	3454	346	3091	709	2889	911
	Звор.	3704	3377	327	3038	666	2865	839
Економія на пару поїздів на добу за рік, тис. грн.				130		266		339
Економія на 40 пар поїздів на добу, грн.				5208		10640		13542
Приміські (400 т)								
Час ходу, хв.	Туди	52,0	54,1	49,7	4,4	47,6	6,5	47,3
	Звор.	52,0	53,9	49,7	4,2	47,4	6,6	46,9
Середньоходова швидкість: км/год	Туди	84	92		96		96	
	Звор.	85	92		96		97	
Витрати ел. енергії, кВт-год	Туди	665	618	47	577	88	552	113
	Звор.	652	609	43	582	70	563	89
Економія на пару поїздів на добу за рік, тис. грн.				17		31		39
Економія на 8 пар поїздів на добу, грн.				139		245		313

Продовження табл. 2.8

1	2	3	4	5	6	7	8	
Вантажні (4000 т)								
Час ходу, хв.	Туди	78,4	74,7	3,7	73,0	5,4	72,9	5,5
	Звор.	76,8	73,3	3,5	72,1	4,7	71,9	4,8
Середньохорова швидкість: км/год	Туди	58	61		62		63	
	Звор.	59	62		63		63	
Витрати ел. енергії, кВт-год	Туди	6313	6040	273	5874	439	5880	433
	Звор.	5902	5660	242	5414	488	5421	481
Економія на пару поїздів на добу за рік, тис. грн.				100		179		177
Економія на 8 пар поїздів на добу, грн.				797		1435		1415
Вантажні (2800 т)								
Час ходу, хв.	Туди	73,9	70,3	3,6	69,1	4,8	69,0	4,9
	Звор.	73,3	69,7	3,6	68,7	4,6	68,6	4,7
Середньохорова швидкість: км/год	Туди	62	65		66		66	
	Звор.	62	65		66		66	
Витрати ел. енергії, кВт-год	Туди	4228	3990	238	3826	402	3829	399
	Звор.	3945	3737	208	3553	392	3556	389
Економія на пару поїздів на добу за рік, тис. грн.				86		154		152
Економія на 8 пар поїздів на добу, грн.				690		1229		1220
Очікуваний річний ефект за рахунок економії електроенергії, млн грн.				7,26		14,09		17,32
Термін окупності витрат на перевлаштування плану тільки за рахунок економії електроенергії, років				0,1		5		37

З аналізу результатів розрахунків (див. табл. 2.8) можна вважати, що в умовах обмеженого фінансування найбільш ефективним є варіант модернізації плану колії (варіант 1) з реалізацією максимальної швидкості 160 км/год близько 16% від загальної довжини ділянки при рихтуваннях колії в межах основної площадки земляного полотна. Характеристики кривих, що відповідають варіанту 1, забезпечують всі вимоги до плану лінії для встановленої максимальної швидкості 160 км/год.

Аналогічні розрахунки були проведені й на інших ділянках

залізниць (рисунок 2.8). У вартість включено роботи, що виконуються відповідними господарствами: колійним, енергопостачання та електрифікації, автоматики, телемеханіки та зв'язку, пасажирським.

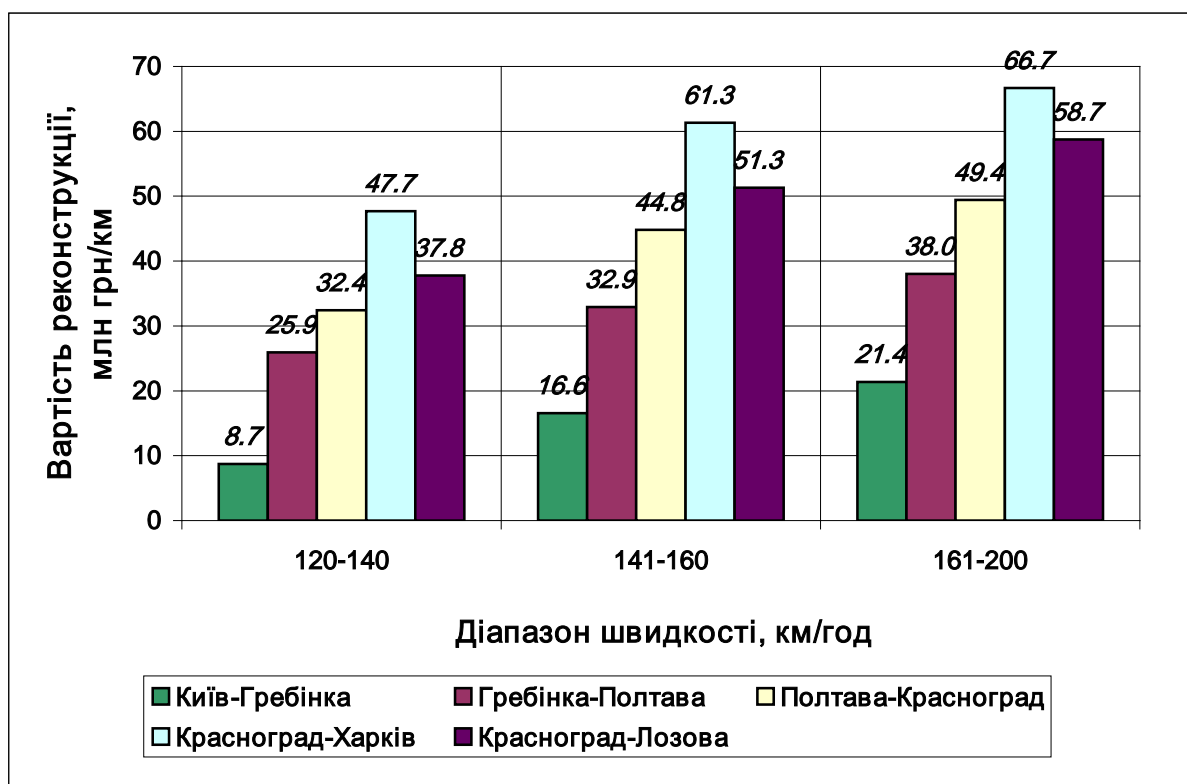


Рисунок 2.8 – Питома вартість реконструкції ділянок

2.6 Рекомендації й висновки до розділу 2

1. На основі проведеного аналізу напрямків Миронівна – П'ятихатки регіональної філії «Одеська залізниця», Полтава – Лозова регіональної філії «Південна залізниця», Львів – Підволочиськ регіональної філії «Львівська залізниця» встановлено, що на існуючих залізницях без перебудови плану неможливо значно підвищити швидкість руху та скоротити час руху, насамперед – максимальної швидкості руху.

2. При перебудові залізниці під швидкісну проектні параметри кривих, слід встановлювати за умови безпеки руху, комфортабельності їзди (неперевищення непогашених прискорень) і оптимальної роботи колії відповідно до рекомендацій Інструкції з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП-0269) [79]. Техніко-економічна ефективність перебудови плану залізниці досягається при раціональних параметрах

кривих, тобто в тому випадку, коли забезпечуються мінімальні витрати на перебудову кривих, які окупаються за нормативний термін.

3. В умовах фінансово-економічної кризи найбільш обґрунтованим на кожній ділянці слід вважати такі параметри кривих, що враховують рівень встановленої максимально допустимої швидкості, який визначається складністю плану лінії та наявним станом колійної інфраструктури, за умови, щоб колія залишалась у межах існуючого земляного полотна. Таке рішення можна здійснити під час реконструкції або капітального ремонту колії й забезпечити середню ходову швидкість на рівні 124 км/год (див. табл. 2.8), тобто час руху від Львова до Києва може скласти 5 год. без урахування зупинок.

4. Для отримання додаткового ефекту від скорочення часу руху може розглядатись перебудова окремих кривих у межах існуючої смуги відводу. Але проектний радіус кривих не слід встановлювати на рівні 1500 м, як це робилось раніше (див. табл. 2.4), а необхідно визначати при перебудові кожної кривої з урахуванням фактично реалізуємої швидкості за тяговими розрахунками.

5. Пропозиції щодо перебудови кривих малих радіусів під проектний 1500 м (для швидкості 160 км/год) з застосуванням перехідних кривих 200-220 м недоцільні. Це пояснюється, по-перше, тим, що після перебудови залишитись у межах смуги відводу можуть тільки ті криві, кут повороту яких не більше $19-21-24^\circ$ відповідно для радіусів 400-600-800 м.

6. Що стосується довжини перехідних кривих, то відповідно до ДБН В.2.3-19:2018 при реконструкції та технічному переоснащенні існуючих ліній допускається приймати довжину перехідної кривої з умови $L \geq \frac{h \cdot V_{\max}}{125}$.

При нормативі непогашеного прискорення для пасажирських поїздів $\alpha_{nn}=0,7 \text{ м/с}^2$ і $V_{nc}=160 \text{ км/год}$, для вантажних поїздів $\alpha_{nn} = -0,3 \text{ м/с}^2$ і $V_{вант}$ близько 80 км/год максимальне підвищення зовнішньої рейки $h=100 \text{ мм}$. Тоді $L \geq 130 \text{ м}$. Максимальне підвищення 150 мм можна встановлювати

тільки після переключенні вантажного руху на напрямку Львів – Київ на паралельні ходи.

7. При впровадженні швидкісного руху великого значення набуває точність розрахунків і якість виконання робіт з постановкою вісі колії в проектне положення. У зв'язку зі сказаним, слід вважати, що розрахунки, виконані Київдіпротрансом у 2007 році з використанням даних з поздовжніх профілів ділянок Львів – Красне, Красне – Тернопіль і Тернопіль – Підволочиськ, є попередніми.

8. Застосування розробленої в ДНУЗТ за участю автора програми RWPlan в комплексі з тяговими розрахунками MovRW надає можливість знаходити раціональну швидкість руху на кожному об'єкті чи ділянці, що забезпечить скорочення часу руху при менших на 15-20% витратах відносно варіанту, коли максимальний рівень швидкості не визначається, а задається.

РОЗДІЛ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМИХ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ ПОЇЗДІВ НА СКЛАДНИХ ДІЛЯНКАХ ПЛАНУ ЛІНІЇ

3.1 Способи отримання інформації про стан кривих

На сьогодні існують різні можливості для зйомки натурної геометрії залізничної колії. Широке поширення отримали наступні три способи зйомки кривих: спосіб стріл – вимір стріли від середини двадцяти (десяти) метрової хорди, спосіб Гонікберга – вимір стріл і кутів повороту хорд теодолітом, і отримання даних з колієвимірювальної стрічки – безперервний запис стріл, виміряних на відстані 4,109 м від кінця хорди довжиною 21,495 м. Перший спосіб більш простий і при ретельному виконанні вимірів досить точний. Тому при поточному утриманні колії користуються в основному цим способом. Другий спосіб отримав переважне застосування в проектних організаціях.

Для проведення досліджень за значною кількістю ділянок і за тривалий термін експлуатації найбільш зручним, перш за все враховуючи регулярність заїздів, залишається стрічка колієвимірювального вагону (третьій спосіб). Однак цей спосіб спрямовано для оцінки стану залізничної колії, а не для визначення точного геометричного положення. Так, при спробі визначати за колієвимірювальною стрічкою дійсні обриси нерівностей колії виникає низка складностей.

Аналогічні методи вимірювання параметрів кривої використовуються і на зарубіжних дорогах. Наприклад, в США використовується кілька інструментів, за допомогою яких можна виміряти стріли кривих (варіації методу стріл) [61]. Величину стріл заміряють від туго натягнутого дроту. Також вимірювання можуть вестися за допомогою шнура. В цьому випадку довжину хорди для зручності робіт приймають рівною довжині двох рейок.

При побудові математичної моделі існуючого плану використовується неточна модель, при якій вважається, що три сусідні точки кривої лежать на колі. На такому принципі «згладжування» побудована робота виправочно-

підбивочно-рихтувальних машин (ВІР). В результаті виконання рихтувальних робіт з метою зменшення обсягів зсувів крива не відповідає вихідним паспортним даним, з однорадіусної може стати багаторадіусною (складовою) [62].

У зв'язку з неточністю первісного укладання та похибками подальших рихтувань кривих проектні характеристики плану лінії найчастіше не витримуються і їхні фактичні значення відрізняються від паспортних даних.

Методи, які використовуються сьогодні в дистанціях колії для визначення фактичних параметрів кривих недосконалі, так як в кінцевий результат привноситься суб'єктивність, кваліфікація виконавця та інші фактори. Геометричні параметри кривих, що вказані на поздовжньому профілі, часто не відповідають фактичним даним. Для виконання роботи по приведенню кривих у проектне положення та визначення їх геометричних параметрів необхідно вирішити такі питання:

- яким методом виконувати зйомку кривих і яка інформація дає вичерпне представлення про фактичний стан кривих;
- яким методом виконувати розрахунки з виправки кривих;
- якими є реальні значення радіусів, довжини перехідних кривих і прямих вставок, підвищення зовнішньої рейки;
- чи допустиме неспівпадання відводів підвищення зовнішньої рейки й кривизни та визначення допустимої швидкості руху на таких ділянках.

Для отримання інформації про стан плану залізничної колії тривалий час використовувалися два способи зйомки: спосіб стріл і спосіб Гонікберга (його ще називають інструментальним або способом Ленгіпротрансу). Зазвичай спосіб стріл використовують організації, що експлуатують залізничну колію, а Гонікберга – проектні організації.

При зйомці плану виникає два типи завдань, які можуть вирішуватися на основі цієї зйомки. У першому випадку, для цілей поточного утримання достатньо отримати динамічно плавну криву, у другому, при реконструкції ділянки залізниці отримати з достатньою точністю інформацію про план

колії: кути повороту, радіуси, довжини прямих і кривих. Завдання другого типу можуть бути вирішені тільки на основі координатного підходу до зйомки і проектування.

Сьогодні існує безліч пропозицій щодо використання сучасних технологій і приладів для зйомки плану залізничної колії: зйомка із застосуванням електронних тахеометрів; супутникова геодезія на основі GPS-систем або аналогічних; обробка результатів заїздів сучасних колієвимірювальних вагонів; зйомка плану колієрихтувальними машинами; зйомка з використанням системи реперів. Кожен з цих способів має свої переваги і недоліки.

3.1.1 Спосіб стріл, який застосовують в дистанціях колії

У способі стріл ділянку колії, що знімається, розбивають на відрізки як правило завдовжки 10 м по робочій грані зовнішньої рейки. Стріли вимірюються за схемою, що показана на рисунку 3.1 [63].

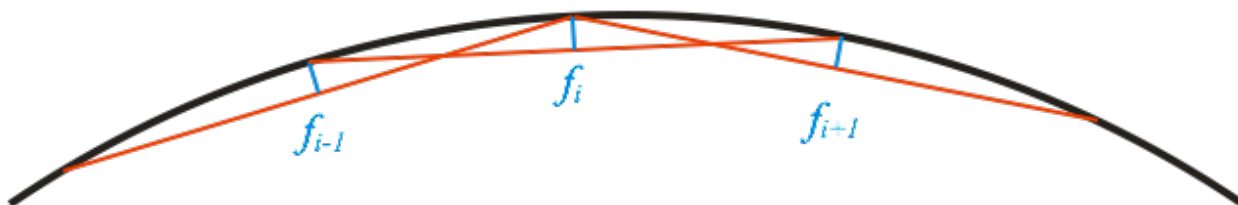


Рисунок 3.1 – Схема вимірювання стріл

Потім натягують капронову нитку і посередині вимірюють відстань від струни до робочої грані рейки на рівні 13 мм нижче за поверхню катання (рисунки 3.2). Так послідовно проходять всю вимірювану ділянку.



Рисунок 3.2 – Відлік стріли вигину

Починати і закінчувати вимірювання треба на прямих за 40-60 м від видимого початку кривої. Вимірювання стріл виконують в прямому та зворотному напрямках; за кінцевий результат приймають середнє значення, якщо розходження в сумах стріл не перевищує величини, визначеної за формулою [63]:

$$\delta=2\sqrt{n}, \text{ мм} \quad (3.1)$$

де n – кількість точок на кривій.

Спосіб дозволяє достатньо точно оцінити кривизну двох сусідніх точок, але має істотний недолік – помилку, що швидко накопичується, у визначенні просторового положення кривої. Ця помилка викликана тим, що кут повороту визначається інтеграцією по кривизні (аналог – сума стріл), а просторове положення, яке традиційно визначалося через евольвенту, подвійною інтеграцією кривизни. В результаті розрахунків по неточній зйомці і подальшого рихтування крива може стати гірше, ніж була до рихтування.

До недоліків цього способу слід віднести і те, що проектні параметри визначаються не для осі колії, а для однієї з рейок. У традиційних методах розрахунку по зйомці способом стріл прямі на початку і в кінці ділянки задаються першою і останньою парами точок, відповідно. Це приводить до

неточності у визначенні прямих підходів, кута повороту і проектних параметрів.

Дещо підвищити точність способу можна виконавши декілька незалежних вимірювань стріл. У розрахунку в цьому випадку використовуються середні значення зміряних стріл. Зрівнюванням стріл по відомому куту повороту скористатися, як правило, не вдається із-за похибок у визначенні прямих на початку і в кінці ділянки, а також із-за низької достовірності кутів повороту, нанесених на поздовжніх профілях.

Помилковою є думка, що точність зйомки можна підвищити, якщо брати точки частіше (наприклад, через 5 м). Абсолютна похибка вимірювання стріли в цьому випадку залишається та ж, а відносна відразу знижується в 4 рази із-за зменшення значення самої стріли [64]. Так само наростає похибка подвійної інтеграції із-за збільшення кількості точок.

3.1.2 Спосіб Гонікберга (Ленгіпротранса)

У цьому способі ділянка розбивається по зовнішній рейці на відрізки рівної довжини (як правило 20 м). Розбиття починають і закінчують на прямих за 40-60 м від видимого початку кривої. У першій, останній і в частині проміжних точок (як правило через 100 м) встановлюється теодоліт, яким вимірюють кути між напрямками на точки стояння α_i . У першій і останній точках кут вимірюється між напрямками на наступну точку стояння і прямими підходів (рисунок 3.3). Паралельно з вимірюваннями кутів, бічним нівелюванням, визначаються відстані від променя візування до рейки. Для цих вимірювань, як правило, використовують звичайну нівелірну рейку, яка встановлюється горизонтально. Нуль рейки розміщується або по осі рейки, або по робочій грані, залежно від центрування теодоліта [63].

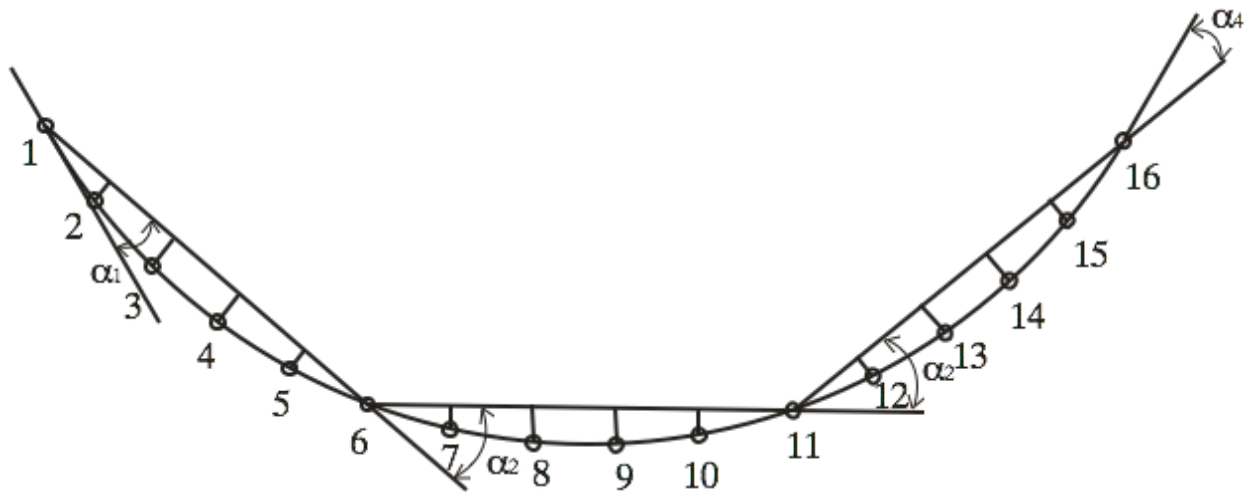


Рисунок 3.3 – Зйомка кривої способом Гонікберга

Чисто геометрично способи стріл і Гонікберга можуть бути перераховані один в другий, але з урахуванням точності кутових і лінійних вимірювань мають ряд відмінностей.

Кут повороту в способі Гонікберга визначається точніше за рахунок відсутності інтеграції стріл та вищої точності кутових вимірювань в порівнянні з лінійними і за рахунок орієнтування теодоліта в першій і останній точках ходу на середній напрям прямих підходів. В той же час кривизна окремих точок вимірюється менш точно із-за неточності взяття відліку по горизонтальній рейці і більшій відстані між точками.

Для підвищення точності даного способу слід, як це і було передбачено при створенні цього способу, замикати теодолітний хід і зрівнювати зміряні кути. Відліки при бічному нівелюванню слід брати в кожній точці двічі з двох стоянок. Рейку при вимірюваннях слід похитувати в горизонтальній площині для отримання перпендикулярності між променем візування і рейкою.

До недоліків цього способу слід також віднести те, що проектні параметри визначаються не для осі колії, а для однієї з рейок [65].

3.1.3 Координатна зйомка від базису

Тахеометрична зйомка із застосуванням електронних приладів реально дозволяє визначити координати точок, що знімаються, з похибкою

близько 20 мм. Це призводить до неточності оцінки кривизни колії в сусідніх точках, але дає достатньо точне положення плану на великій відстані. Така зйомка є достатньо трудомісткою і доцільна при зйомці плану одночасно з тахеометрією прилеглих об'єктів.

Для зйомки коротких кривих, наприклад захрестовинних, пропонується координатна зйомка від базису (рис. 3.4).

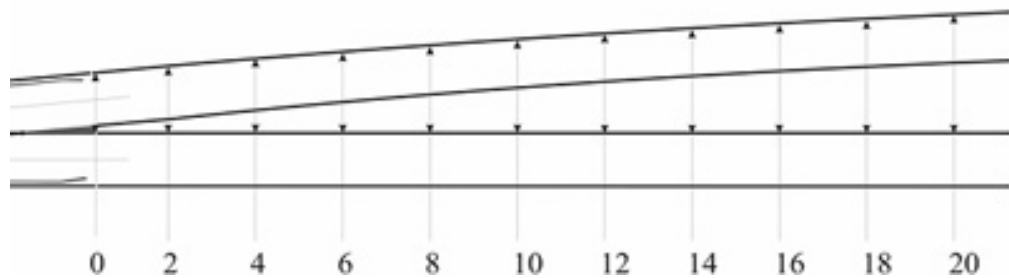


Рисунок 3.4 – Приклад зйомки від базису захрестовинної кривої

В якості базису може використовуватися або одна з рейок прямого напрямку, або розтягнута поблизу кривої рулетка. Від базису вимірюються під прямим кутом до нього відстані до точок кривої. У результаті отримуємо координатну зйомку ділянки. У версії RWPlan LE [66] ці виміри перетворюються для подальших розрахунків у зйомку способом стріл із заданим кроком. За рахунок вимірювання координат нагромадження помилок не відбувається.

3.1.4 Використання колієвимірювальних вагонів

Колієвимірювальний вагон (КВЛ) оцінює план рейкових ниток методом стріл, виміряних від бокової робочої грані голівки рейки до хорди довжиною 21,5 м у точці, розташованій на відстані 4,1 м від кінця хорди. Ці записи за формою відрізняються від фактичного геометричного положення рейкових ниток у плані, а також від графіка стріл вигину, виміряних від середини хорди довжиною 20 м. Також у поздовжньому профілю записуються осідання рейкових ниток, перевищення однієї рейкової нитки над іншою – рівень, та відстань між робочими гранями рейкових ниток – шаблон. Для оцінки записів стану колії за колієвимірювальним вагоном

використовують спеціальні шаблони та методика, яка не визначає координати колії, але дозволяє встановити допустиму швидкість руху поїздів [67]. Всі записи носять відносний характер, але дозволяють визначити довжину кругової кривої, довжини перехідних кривих, та визначити пікетажне положення початку та кінця даних кривих (рисунок 3.5).

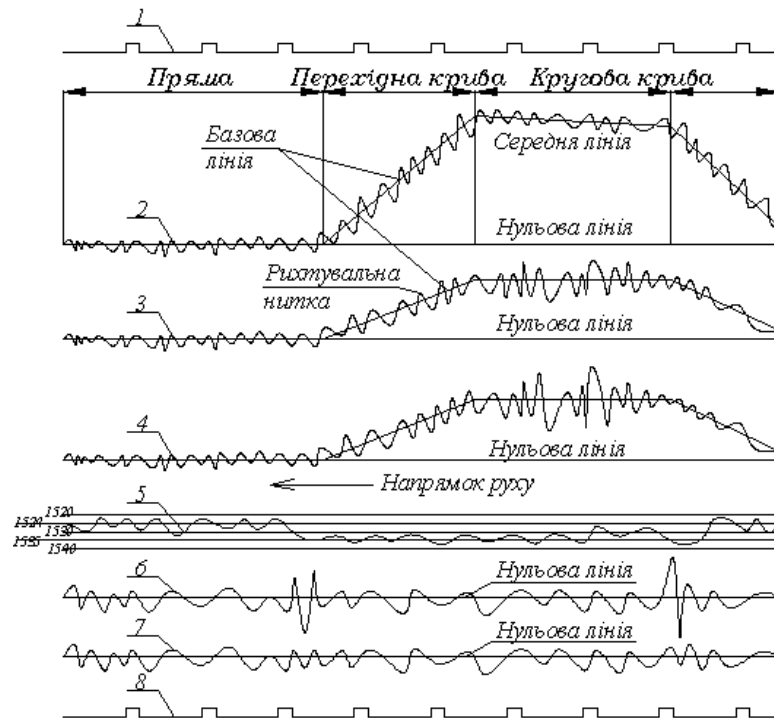


Рисунок 3.5 – Приклад записів стану колії вагоном ЦНИИ-2:

1 – відмітки часу; 2 – рівень; 3 – напрям у плані правої рейкової нитки; 4 – напрям у плані лівої рейкової нитки; 5 – ширина колії; 6 – відображення осідання правої рейкової нитки; 7 – відображення осідання лівої рейкової нитки; 8 – відмітки пікетів і кілометрів.

Згідно конструкції в процесі заїзду колієвимірювальний вагон отримує інформацію про колію шляхом вимірювання кривизни в плані та нерівностей у профілі. Асиметричність вимірювальних схем не дозволяє отримати надійні дані про параметри кривих. Через асиметричність вимірювальної системи ігноруються короткі прямі вставки, не вірно оцінюється місце розташування перехідних кривих.

Особлива проблема таких вагонів – вимірювання довжини. Так пройдений шлях визначається оборотами колісної пари, то навіть його паспортна точність (1: 500) в десять разів гірше звичайних вимірів рулеткою,

а оскільки фіксація точок зйомки на колії взагалі відсутня, то знайти ці точки в «натурі» практично неможливо. Цей метод має ті ж недоліки, що й метод стріл – швидке наростання помилки вимірювань по довжині із-за подвійного сумування стріл та відсутність контролю вимірів [68]. Все це приводить до необхідності застосування згладжуючих методів, які не гарантують правильної оцінки плану лінії. Похибка вимірювання стріли прогину на рівні 1 мм не дає практично ніяких переваг такої зйомки в порівнянні із звичайною зйомкою способом стріл. Таким чином, вимірювальні системи цих вагонів, не дозволяють з достатньою точністю надійно визначати параметри плану і профілю лінії.

3.1.5 Зйомка плану колієрихтувальними машинами

Істотно кращі результати по точності зйомки дають колієрихтувальні машини. По-перше, вони обладнані достатньо точними системами вимірювання пройденого шляху; по-друге, використовується схема з невеликою асиметрією і, по-третє, точність вимірювання стріли на таких машинах складає 0,1 мм. Безумовно, на таких машинах проблемною залишається оцінка просторового положення плану колії із-за необхідності подвійної інтеграції кривизни.

3.2 Аналіз похибок при встановленні максимально допустимої швидкості в кривих

В науково-дослідній роботі [69] за участю автора було розроблено програму і методику дослідження щодо визначення швидкостей руху поїздів в кривих за вихідними даними, отриманими різними способами зйомок. Необхідність такої науково-дослідної роботи пояснюється тим, що діючі Правила технічної експлуатації [70] і Державні будівельні норми (ДБН В.2.3-19: 2018 [71], не враховують особливості й специфіку, що мають місце на напрямках вантажних і пасажирських перевезень. Результати досліджень автора доповідались на міжнародних конференціях [72, 73], викладені в публікації [68] та науково-дослідній роботі [69].

Для аналізу впливу похибок при різних способах зйомки кривих на

допустиму швидкість руху поїздів розглянемо криву на ділянці Тернопіль – Красне, зйомку якої виконано способом стріл, Й. В. Гонікберга та координатним.

3.2.1 Розрахунок виправки кривої, знятої способом стріл

Створення файлу зйомки виконувалось безпосередньо в програмі RWPlan [66], для чого необхідно ввести кількість точок зйомки та величини стріл в міліметрах. За методикою [46] виконуємо оптимізацію кривої. На рисунках 3.6 та 3.7 наведені графік проектного рішення та графік зсувів.

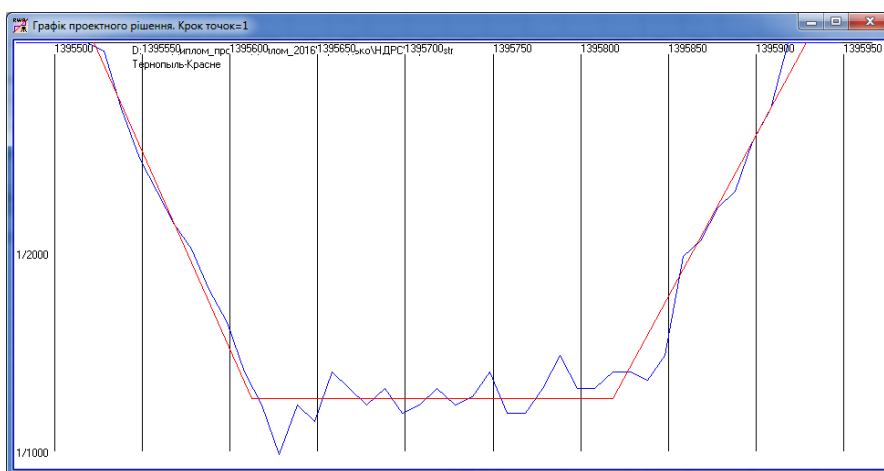


Рисунок 3.6 – Графік проектного рішення

Параметри проектної кривої після оптимізації та максимальна швидкість для пасажирських, максимальна і мінімальна швидкість для вантажних поїздів наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри кривої після оптимізації

Параметри кривої					Кут повороту елемента		Швидкість пасажирських, км/год	Швидкість вантажних, км/год	
перехідна крива	радіус	довжина	підвищення	ухил відводу підвищення					
м	м	м	мм	%	град	хв	max	min	max
100				0.7	2	13.8			
	1156	206	70		10	12.3	130	44	105
100				0.7	2	43.5			

Кінцеві зсуви після оптимізації наведені на рисунку 3.7, де показані зсуви на кожній точці. Максимальні зсуви вправо склали 23 мм, вліво – 49 мм.

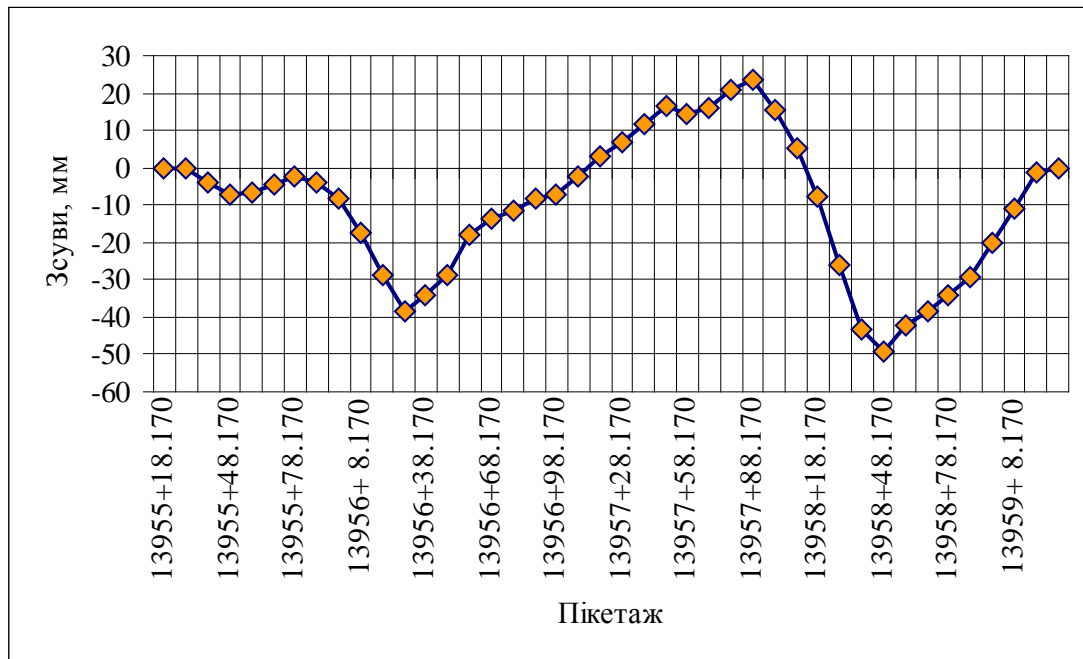


Рисунок 3.7 – Графік зсувів

3.2.2 Розрахунок виправки кривої за даними, отриманими способом Гонікберга

Результати зйомки способом Гонікберга занесені в таблицю 3.2

Таблиця 3.2 – Результати зйомки кривої

Стоянка	Точка орієнтув.	Відлік по горизонтал. кругу	Кут по горизонтал. кругу	Кут повороту α	Пікетажне значення	Стріли f
1	2	3	4	5	6	7
Крива ліво початок знімання на пк4+40						
пк13944+40	пряма	0°00'			4+40	0.00
	пк5+80	179°09'	179°09'	0°51'	+60	0.34
	пряма	180°00'	179°09'		+80	0.68
	пк5+80	359°09'			5+00	0.96
					+20	1.16
					+40	1.12
					+60	0.74
пк13945+80					+80	0.00
	пк4+40	0°00'			6+00	1.06
	пк7+20	173°45'	1732°45'	6°14'	+20	1.77
	пк4+40	180°00'	173°46'		+40	2.12
	пк7+20	353°46'			+60	2.13
				+80	1.77	

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7
					7+00	1.07
					+20	0.00
пк13947+20	пк5+80	0°00'			+40	0.84
	пк8+60	173°31'	173°31'	6°28'	+60	1.38
	пк5+80	180°00'	173°32'		+80	1.52
	пк8+60	353°32'			8+00	1.33
					+20	0.91
					+40	0.43
					+60	0.00
пк13948+60	пк7+20	0°00'				
	пряма	178°46'	178°46'	1°14'		
	пк7+20	180°00'	178°47'			
	пряма	358°47'		<u>Σ14°47'</u>		

Розрахунки кривої виконуються за допомогою програми RWPlan [66]. На рисунку 3.8 наведена кутова діаграма та кривизна ділянки. На основі цих даних обчислюють зсуви без урахування і з урахуванням перехідної кривої.

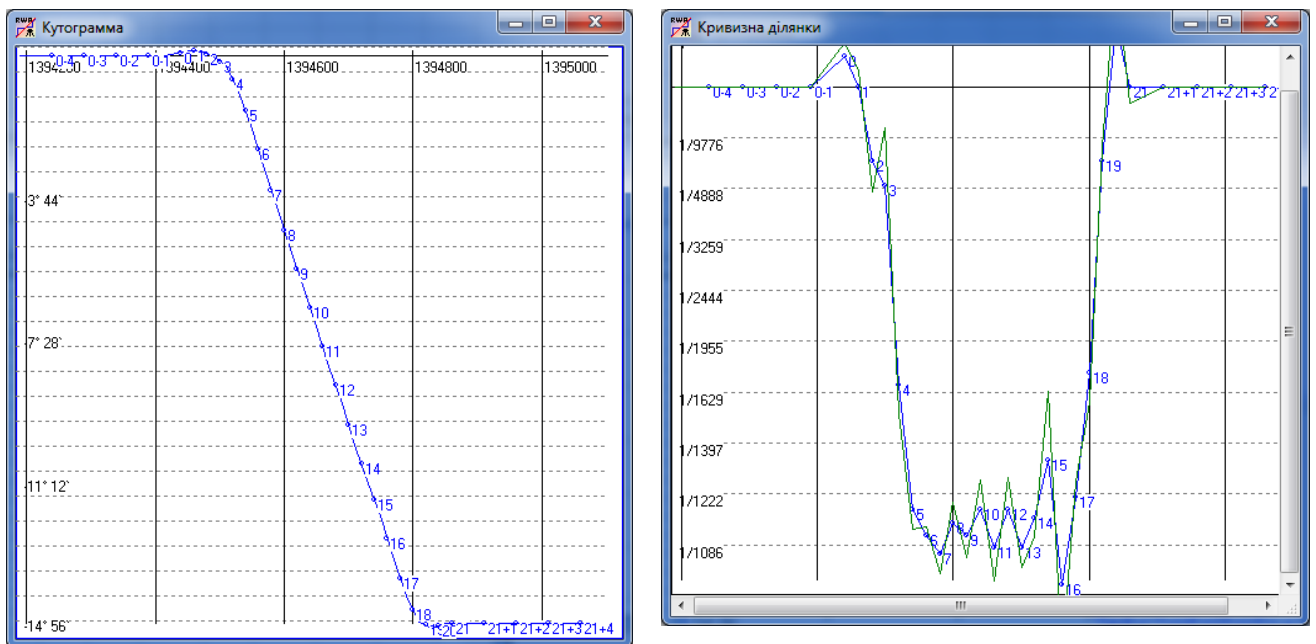


Рисунок 3.8 – Кутова діаграма та кривизна існуючої кривої

Для розрахунку необхідно задати початкове наближення до існуючої кривої. Крива, яку розглядаємо, одностороння, сторонність кривої – ліва, має одну ділянку кривизни. На рисунку 3.9 наведений графік допустимої швидкості для існуючого стану, яка становить близько 90 км/год.

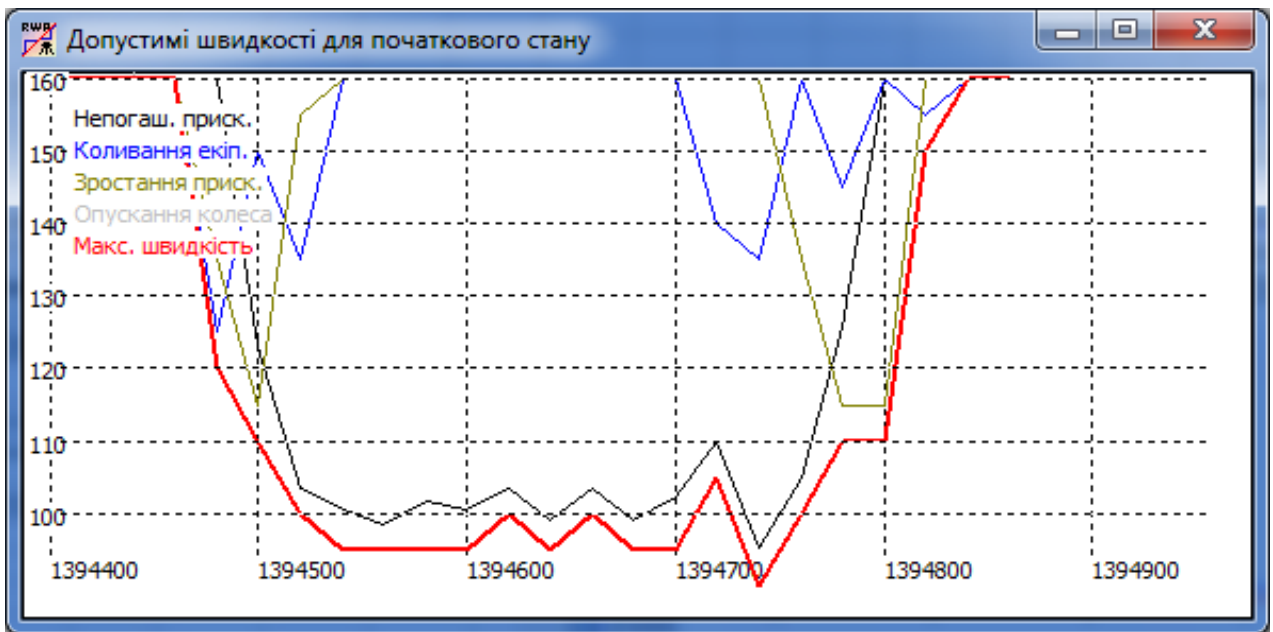


Рисунок 3.9 – Допустима швидкість для початкового стану

Наступним кроком розрахунку є визначення проектних параметрів кривої при мінімальних зсувах. При сумуванні зсувів в межах кругової кривої зсувами від перехідної кривої слід мати на увазі, що останні завжди «однойменні» з кутом повороту кривої, тобто направлені в середину кривої. На рис. 3.10 наведено графік проектного рішення.

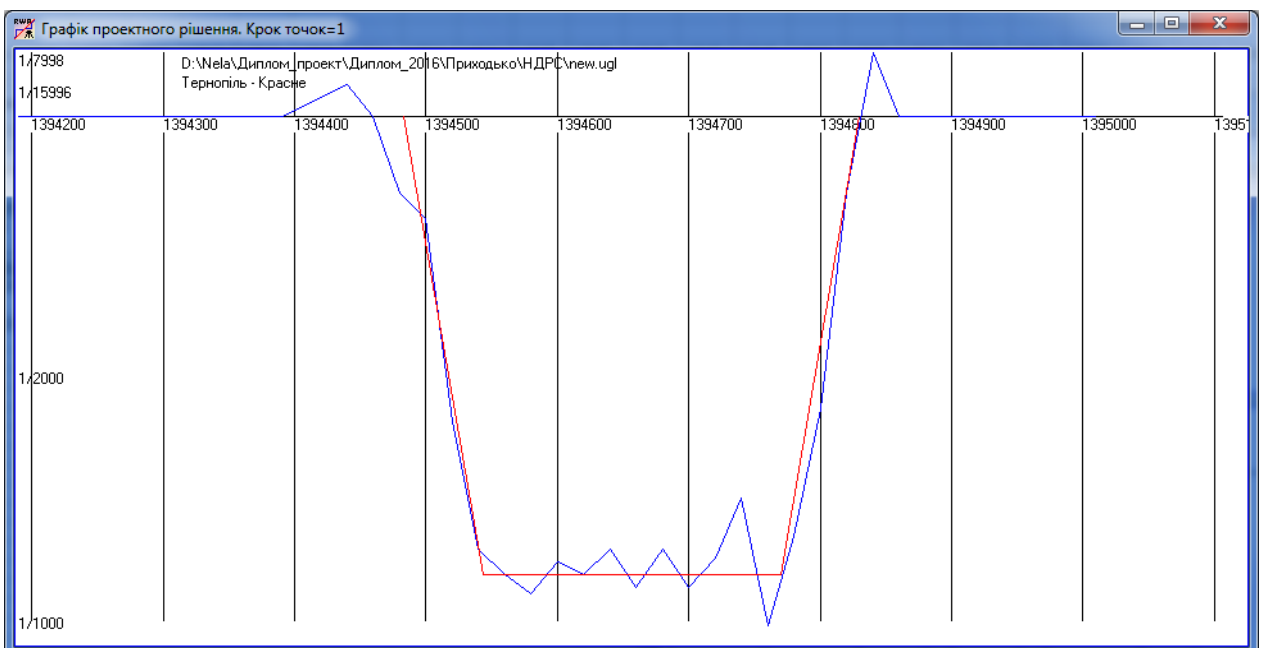


Рисунок 3.10 – Графік проектного рішення

Параметри проектної кривої після оптимізації та максимальна

швидкість для пасажирських, максимальна і мінімальна швидкість для вантажних поїздів наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Параметри кривої після оптимізації

Параметри кривої					Кут повороту елемента		Швидкість пасажирських, км/год	Швидкість вантажних, км/год	
перехідна крива	радіус	довжина	підвищення	ухил відводу підвищення					
м	м	м	мм	%	град	мінут	max	min	max
60				0.8	1	32.9			
	1110	226.402	50		11	41.2	120	0	93
60				0.8	1	32.9			

Кінцеві зсуви після оптимізації наведені на рисунку 3.11. Максимальні зсуви вправо склали 24 мм, вліво – 106 мм.

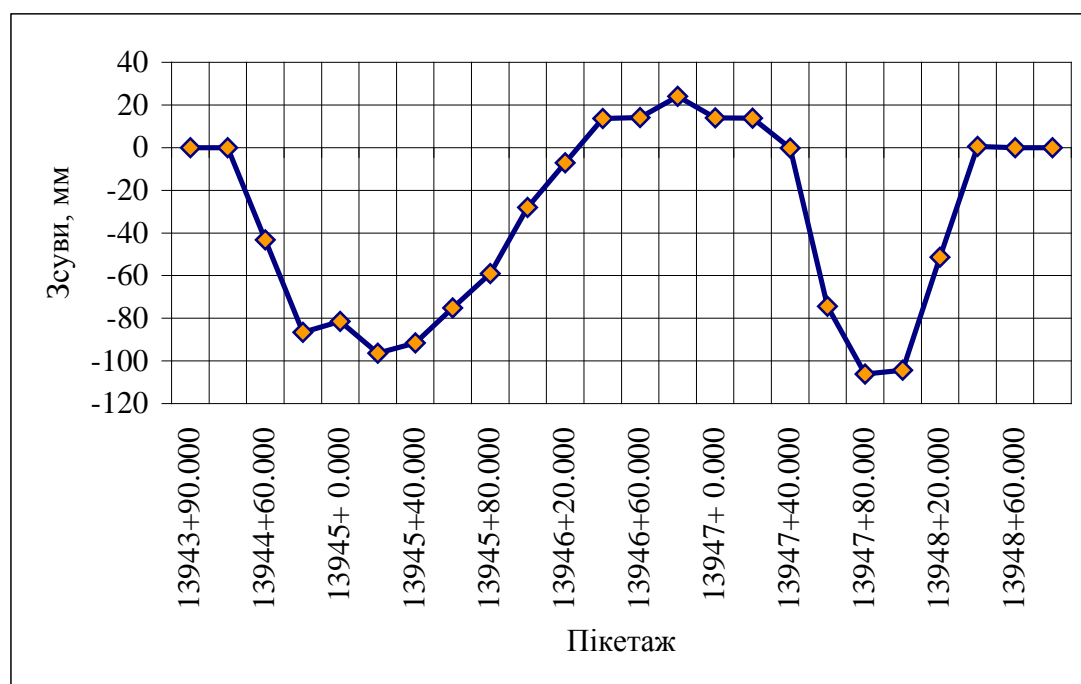


Рисунок 3.11 – Графік зсувів

3.2.3 Розрахунок виправки кривої за даними координатної зйомки

Зйомка кривої виконувалась електронним тахеометром, координати точок кривої наведена в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Координати точок кривої

№	Ім'я точки	X(північ), м	Y(схід), м
1	101	5540.38	5065.62
2	104	5496.99	5056.49
3	105	5455.68	5047.74
4	109	5442.03	5044.85
5	110	5406.15	5037.26
6	115	5386.67	5033.12
7	116	5368.06	5029.20
8	120	5357.56	5027.03
9	127	5344.17	5024.28
10	130	5324.49	5020.43
11	134	5308.94	5017.56
12	136	5284.04	5013.35
13	142	5259.70	5009.82
14	146	5244.81	5007.94
15	150	5225.23	5005.83
16	154	5214.70	5004.84
17	156	5204.33	5003.97
18	159	5184.61	5002.57
19	160	5170.07	5001.77
20	167	5145.98	5000.85
21	170	5124.87	5000.50
22	175	5105.35	5000.53
23	176	5086.44	5000.87
24	182	5067.82	5001.46
25	188	5045.65	5002.38
26	191	5030.90	5003.08
27	196	5007.15	5004.25
28	197	4985.85	5005.29
29	201	4968.12	5006.21
30	205	4950.29	5007.09
31	207	4946.30	5007.31
32	209	4929.75	5008.17
33	212	4870.41	5011.16
34	213	4845.73	5012.43
35	216	4816.22	5013.93
36	219	4770.52	5016.24

В програмі RWPlan існує можливість введення координат точок кривої автоматично, попередньо записавши файл з координатами у відповідний формат, або ввести їх вручну безпосередньо у програмі. Графік проектного рішення наведено на рис. 3.12.

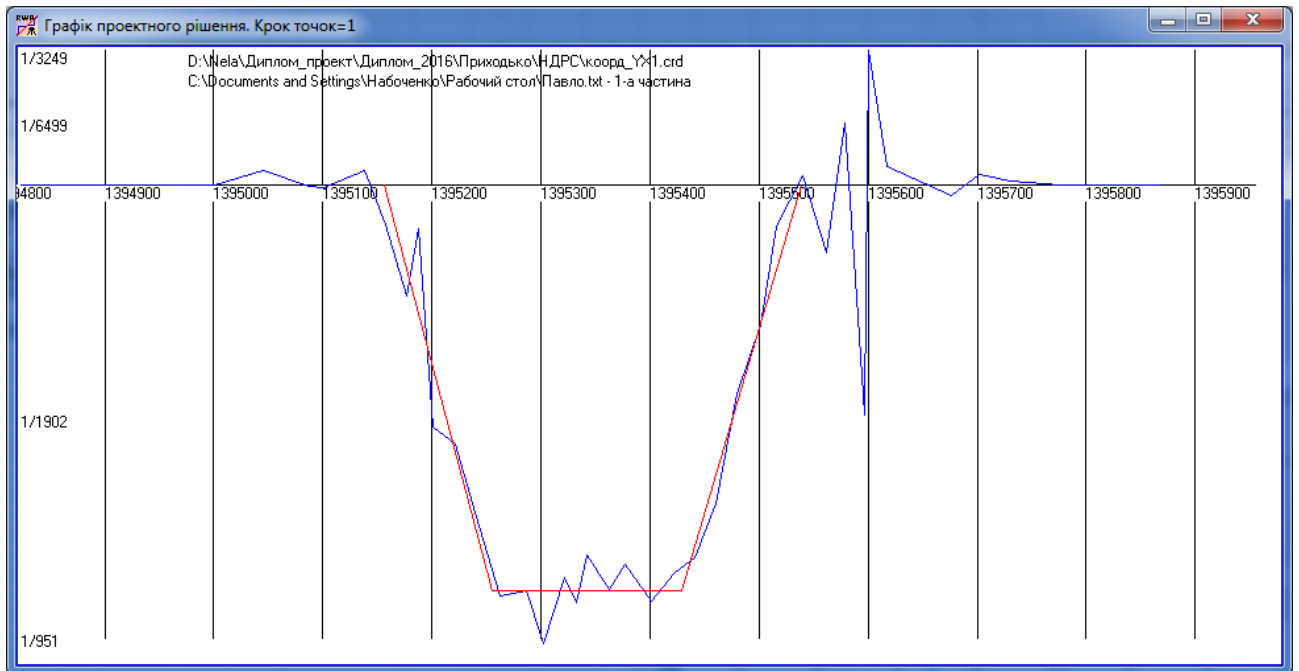


Рисунок 3.12 – Графік проектного рішення

Кінцеві зсуви після оптимізації наведені на рисунку 3.13, де показані зсуви на кожній точці. Максимальні зсуви вправо склали 15 мм, вліво – 84 мм.

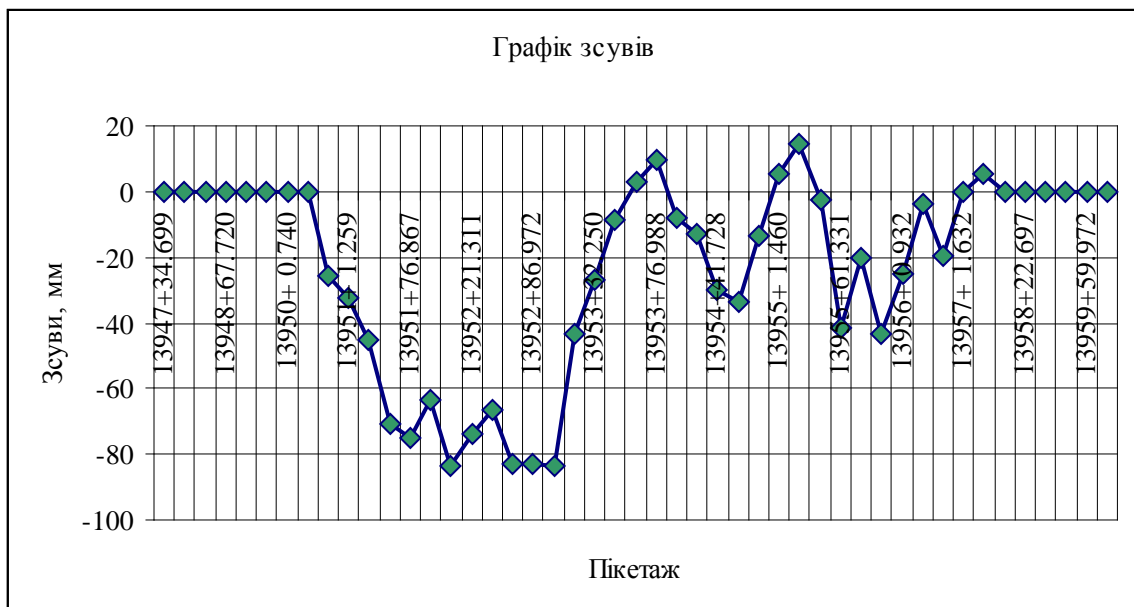


Рисунок 3.13 – Графік зсувів

Параметри проектної кривої після оптимізації та максимальна швидкість для пасажирських, максимальна і мінімальна швидкість для вантажних поїздів наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Параметри кривої після оптимізації

Параметри кривої					Кут повороту елемента		Швидкість пасажирських, км/год	Швидкість вантажних, км/год	
перехідна крива	радіус	довжина	підвищення	ухил відводу підвищення					
м	м	м	мм	‰	град	хв	max	min	max
100				0.7	2	13.8			
	1073	172	70		10	12.3	126	32	100
110				0.7	2	43.5			

3.2.4 Порівняння результатів виправки кривої при різних способах зйомки

Порівняння результатів виправки кривих за вихідними даними, отриманими різними способами зйомки, наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Значення параметрів кривої і відповідна допустима швидкість руху

Параметри кривої і допустима швидкість	Значення параметрів кривої, отримані різними способами зйомки		
	спосіб стріл	спосіб Гонікберга	координатна зйомка
Кут повороту	15°09.6'	14°47'	14°49,5'
Радіуси R_1 , м	1156	1110	1156
Перехідна I_1 , м	90	60	100
Кругова K , м	199.29	226.40	197.03
Перехідна I_2 , м	100	60	110
Максимальна допустима швидкість $V_{доп}$	130	120	126
Екстремальні зсуви, мм (право – «+», ліво – «-»)	+ 23 - 43	+ 24 - 106	+ 15 - 84

Однак, зазначимо, що вище названі способи зйомки використовують детерміновану інформацію про стан кривих і значення кривизни кривої беруться тільки в точках виміру стріл вигину. Проблема не була такою

гострою, поки не з'явилася необхідність підвищення швидкостей руху та моніторингу технічного стану плану колії.

В кінці ХХ століття в роботі [74] проф. Веріго М. Ф. написав: «В настоящее время на большинстве железных дорог мира контроль кривизны пути в плане осуществляется измерением стрел от хорды, соединяющей две точки на рабочей грани наружного рельса кривой. Однако в ряде случаев не обеспечивается необходимая точность в оценке местной кривизны рельсовых нитей, т.к. пропускаются участки меньшие по длине, чем хорда».

Сьогодні відомі діагностичні комплекси, які дозволяють здійснювати діагностику об'єктів інфраструктури всіх господарств (П, Ш, Е) одночасно безконтактним способом із застосуванням оптичних лазерних датчиків зі швидкістю до 160 км/год [75]. При цьому може проводитись вимір додаткових параметрів – контроль поздовжнього профілю, габариту наближення, зносу рейок, коротких нерівностей, вертикальних і горизонтальних прискорень тощо. Крім того, проводиться відеоспостереження за всіма об'єктами (колією, контактним дротом, опорами контактної мережі і т.д.) камерами з високою роздільною здатністю і прив'язкою до колійної координаті, що дозволить отримувати додаткову інформацію про стан об'єктів. Планувалося, починаючи з 2014 року придбати діагностичний комплекс на кожну залізницю для проведення дослідних випробувань, напрацювання необхідних нормативів динамічного впливу рухомого складу на колію для оцінки ефективності їх подальшого впровадження, але плани залишились нездійсненими.

За результатами дослідження встановлено, що оцінка точності зйомки кривої за трьома способами (метод стріл, Гонікберга, координатний) може бути надана після оптимізації параметрів кривої за різними критеріями. Для вихідних даних отриманих зйомкою кривої методом стріл максимальна допустима швидкість склала 130 км/год при мінімальних зсувах, що було кращим результатом у порівнянні з іншими методами зйомки.

3.3 Достовірність інформації про стан кривих за технічним паспортом дистанції колії

Для дослідження впливу помилок вимірювання параметрів плану лінії на рівень допустимої швидкості руху поїздів та розробки пропозицій щодо зниження інтенсивності розладу колії за рахунок приведення параметрів кривих до нормативних вимог більш докладно зупинимось на способі стріл, який і до цього часу широко застосовується в дистанціях колії.

Для порівняння натурального положення кривої з проектним на кожному криву складається технічний паспорт [76]. Наведемо аналіз паспортних даних однієї з кривих на ділянці Синельникове – Чаплине, км 251 – км 255, непарна колія, за період з 2013 по 2016 роки. Графіки натурних стріл вигину представлено на рисунку 3.14.

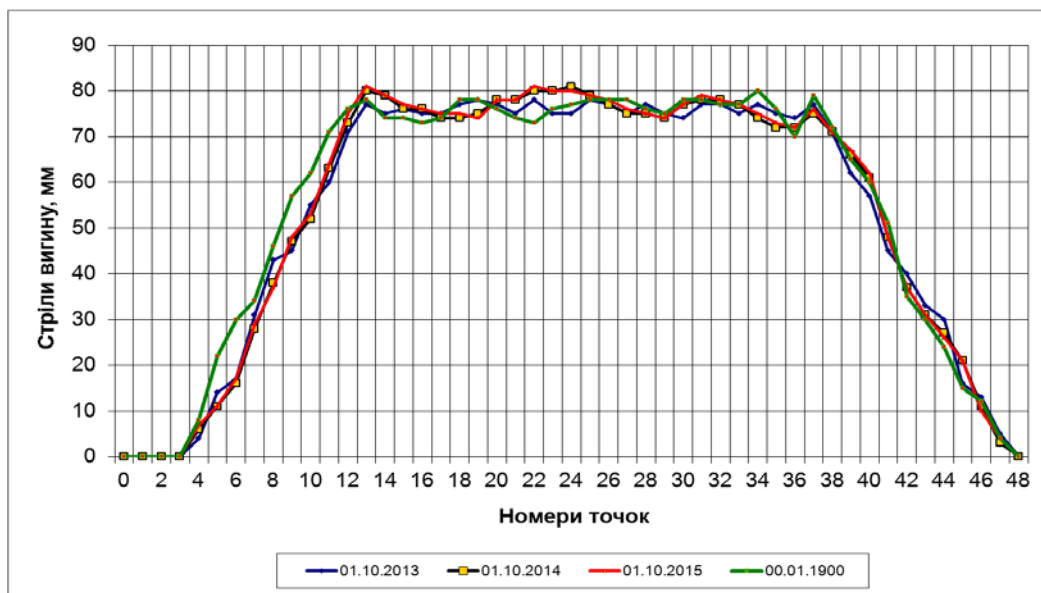


Рисунок 3.14 – Графіки натурних стріл вигину кривої в різні роки

Паспортні характеристики кривої (кривизна, підвищення зовнішньої рейки, довжина перехідних кривих) повинні забезпечувати для заданого рівня швидкості оптимальну величину непогашених прискорень α_m , швидкості їх зміни $\psi = \frac{d\alpha}{dt}$ і відведення підвищення зовнішньої рейки $i = \frac{dh}{dl}$.

Розрахунок величин фактичних непогашених прискорень виконувався за формулою [10]:

$$\alpha_{\text{нп}(i)} = \frac{V_{\text{макс}}^2}{3,6^2 R_i} - 0,00613h_i, \quad (3.1)$$

де R_n і h_n – величини радіусу і підвищення в i -й характерній точці.

3,6 – коефіцієнт переходу від виміру швидкості в км/год до м/с.

При розбіжностях відводів підвищення і кривизни і коротких довжинах одного з відводів перевірялась допустима швидкість зміни непогашеного прискорення за формулою

$$\psi = \frac{(\alpha_{\text{нп}(i+1)} - \alpha_{\text{нп}(i)}) V_{\text{макс}}}{3,6 \Delta l}, \quad (3.2)$$

де $\alpha_{\text{нп}(i+1)}, \alpha_{\text{нп}(i)}$ – величини непогашених прискорень у суміжних точках, відповідних початку і кінцю відводів за кривизною і підвищенням;

Δl – відстань між цими характерними точками.

Оцінка відступів в плані виконувалась за показниками колієвимірвальних вагонів відповідно до норм утримання рейкової колії ЦП-0267 [77].

За даними паспорта кривої, що наведені на рис. 3.14 за період 2013-2016 рр., були виконані розрахунки за формулами (3.1) і (3.2), результати яких наведено на рисунках 3.15-3.18.

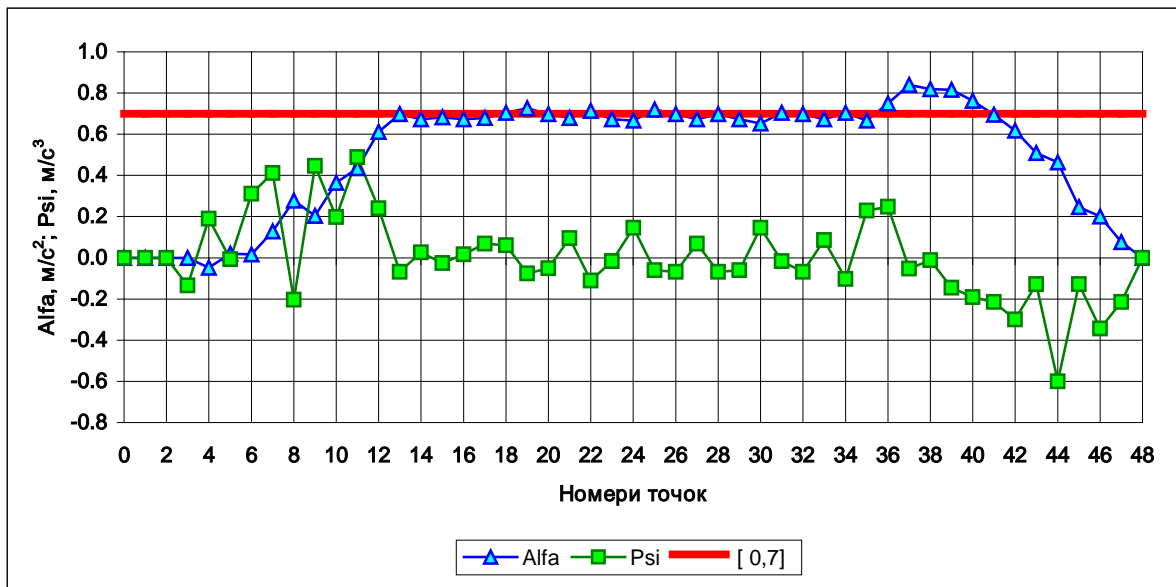


Рисунок 3.15 – Непогашені прискорення (Alfa) та зміна прискорень в часі (Psi) (2013 р.)

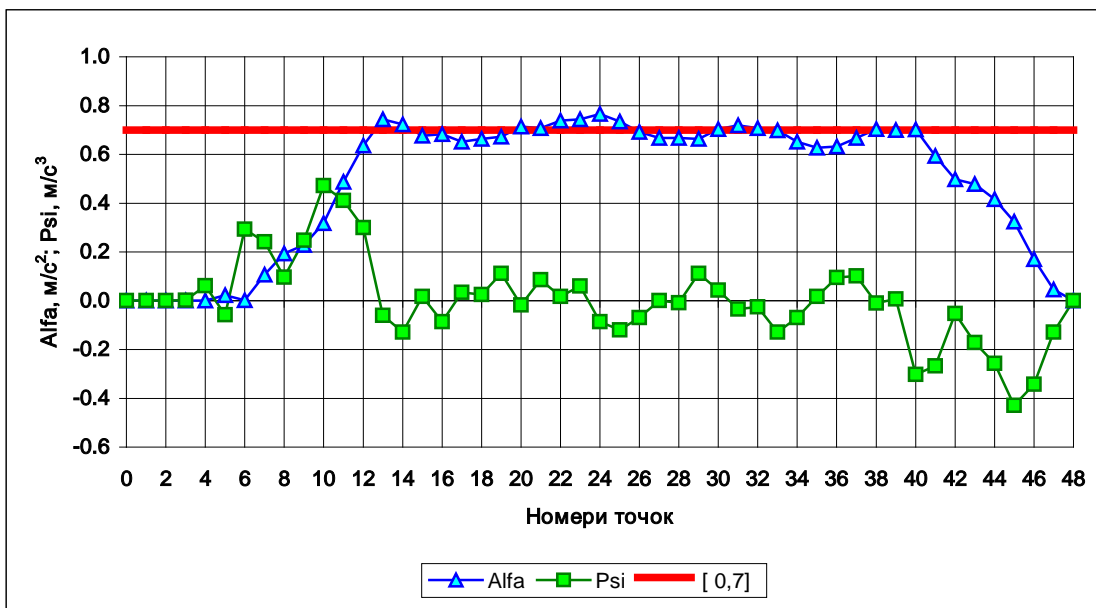


Рисунок 3.16 – Непогашені прискорення (Alfa) та зміна прискорень в часі (Psi) (2014 р.)

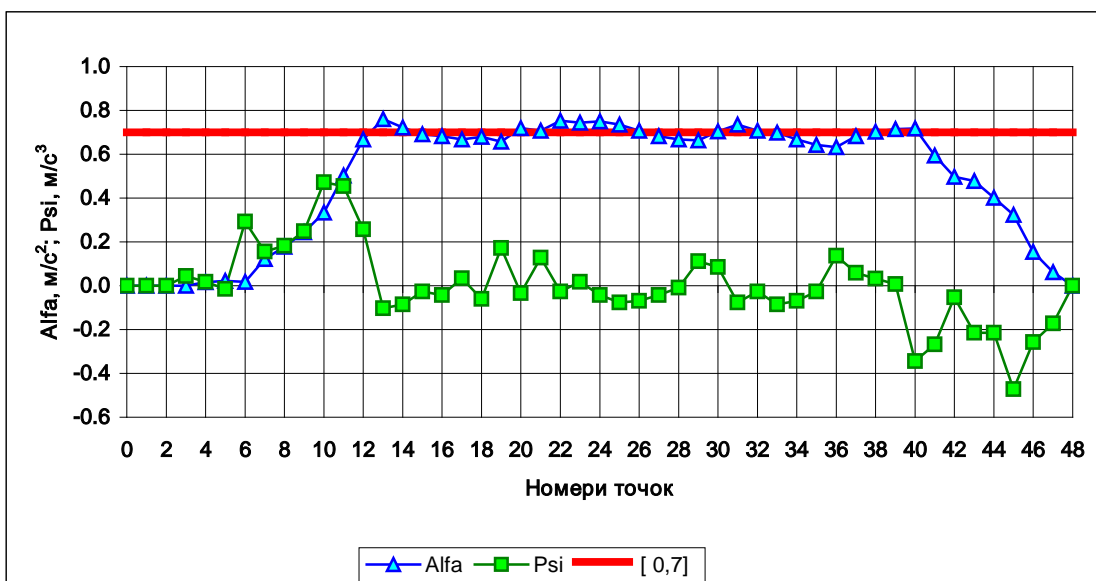


Рисунок 3.17 – Непогашені прискорення (Alfa) та зміна прискорень в часі (Psi) (2015 р.)

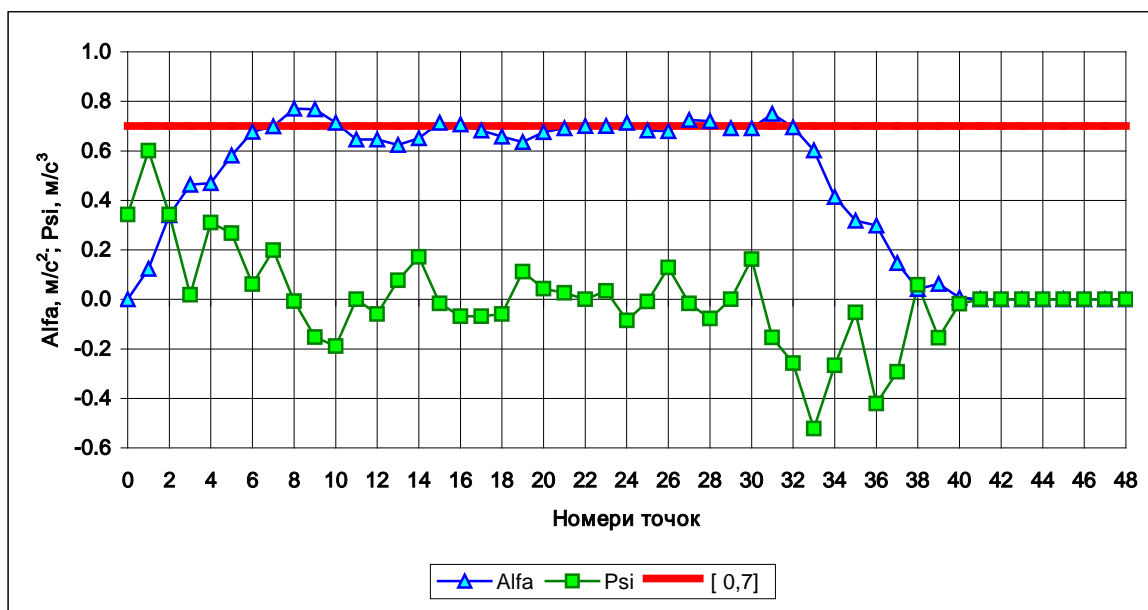


Рисунок 3.18 – Непогашені прискорення (Alfa) та зміна прискорень в часі (Psi) (2016 р.)

За даними паспорта кривої в таблиці 3.1 наведено параметри кривої і підрахована сума стріл вигину, на основі якої визначений кут повороту кривої.

Таблиця 3.1 – Параметри розрахункової кривої

Найменування показника	Параметри кривої у відповідні роки			
	2013	2014	2015	2016
Радіус кривої R , м	656	649	647	656
Довжина кругової кривої K , м	242,83	240,60	240,46	240,00
Довжина першої перехідної кривої L_1 , м	90	90	90	90
Довжина другої перехідної кривої L_2 , м	110	110	110	110
Підвищення h , мм	100	100	100	100
Сума стріл S , мм	2613	2624	2641	2439
Кут повороту α , град/мін	29°56′	30°04′	30°16′	27°56′

Загальний кут повороту кривої $\alpha_{рад}$ (формула 3) повинен залишатись однаковим незалежно від того правильно улаштована крива чи має зсуви назовні й усередину:

$$\alpha_{рад} = \frac{2}{a} \sum_{i=1}^N f_i \text{ або } \alpha_{рад} = \frac{2}{a} S_{вим}. \quad (3.3)$$

Оскільки крива розбита на відрізки однакової довжини a , то сума стріл $S_{вим}$ повинна бути однаковою. Фактично ж сума стріл не постійна (див. табл.3.1).

Згідно з [78] найбільш імовірне відхилення суми обмірюваних стріл від дійсної суми дорівнює

$$|\Delta S_{вим}| = \tau \sqrt{N}, \quad (3.4)$$

де τ – точність виміру кожної стріли; $\tau = 1-1,5$ мм;

N – число точок кривої.

При $N=48$ для даної кривої $|\Delta S_{вим}| = 10$ мм. Фактична різниця між сумами стріл двох різних вимірів (табл.1) значно більше допустимої, що викликає сумніви у вірогідності вихідних даних.

Похибка у визначенні кута повороту в мінутах залежить від точності виміру стріл і кількості точок кривої $\Delta \alpha_{мин} = \frac{60\pi 10^3 \tau \sqrt{N}}{2 \cdot 180 a}$. Після підстановки значень отримаємо $\Delta \alpha_{мин} = 3,4'$. Фактична похибка перевищує допустиму (див. табл. 3.1).

3.4 Вплив допусків в утриманні кривих на величину допустимої швидкості

Розглянемо, як позначаються допуски в утриманні кривих на величину радіуса кругової кривої, якщо він установлений за даними зйомки методом стріл вигину від стандартної двадцятиметрової хорди.

Звернемося до відомої формули [10], за якою визначається допустима швидкість руху екіпажа по одинокій круговій кривій радіусом R :

$$V = 3,6 \sqrt{R \left([\alpha_{нп}] + \frac{gh}{S} \right)}, \quad (3.6)$$

де $[\alpha_{нп}]$ – нормативне значення поперечного непогашеного прискорення, ($0,7 \text{ м/с}^2$ для пасажирських поїздів);

g – прискорення вільного падіння ($9,81 \text{ м/с}^2$);

h – розрахункове підвищення зовнішньої рейки, мм;

S – відстань між точками обпирання коліс на рейки (1,6 м).

Подамо радіус у такому вигляді:

$$R = R_0 + \frac{k}{df}, \quad (3.7)$$

де R_0 – усереднений радіус кривої, м;

k – коефіцієнт, що залежить від довжини хорди ($a \neq 20$) і визначається за формулою

$$k = \frac{a^2 \cdot 10^3}{8} = 50000 \quad (3.8)$$

df – похибка у вимірюванні стріли, мм.

Формула (3.8) випливає з теореми: «Перпендикуляр, опущений з якої-небудь точки кола на діаметр – є середнє геометричне між відрізками діаметра», тобто $\frac{a}{2} = \sqrt{f(2R-f)}$. Ураховуючи малість стріли f у порівнянні з діаметром $2R$, був отриманий вираз для коефіцієнта k , формула (3.8).

Тоді швидкість руху можна виразити як

$$V = V_0 + dV, \quad (3.9)$$

де V_0 – допустима швидкість руху по круговій кривій радіусом R_0 ;

dV – похибка у розрахунку швидкості при зміні радіуса на величину $50000/df$.

Після математичних перетворень виразів (3.7)-(3.9) похибка у вимірюванні стріли від допустимої швидкості для заданого радіуса й підвищення зовнішньої рейки визначиться як

$$df = \frac{a^2 \cdot 10^3}{8} \left(\frac{3,6^2 \cdot \left([\alpha_m] + \frac{gh}{S} \right)}{\left(3,6 \sqrt{R \left([\alpha_m] + \frac{gh}{S} \right)} + dV \right)^2} - \frac{1}{R} \right) \quad (3.10)$$

Використовуючи формулу (3.10), можна встановити, при якій різниці стріл вигину помилка у визначенні допустимої швидкості руху не перевищить 5 км/год (точність швидкостеміра). Швидкість 5 км/год обрана як величина точності, у межах якої рекомендується робити такі розрахунки [10].

Згідно з [79] при утриманні кривих радіусом більше 650 м допустима різниця стріл у суміжних точках складає 8 мм. Можна прийняти, що похибка щодо стріли вигину, що визначає радіус кривої, складе 4 мм. У цьому випадку, неточність у розрахунку допустимої швидкості руху перевищить 5 км/год у кривих радіусом 1200 м і більше.

Щоб при розрахунку допустимої швидкості руху помилка не перевищувала 5 км/год, до допусків на утримання кривих великого радіусу повинні ставитися більш жорсткі вимоги, ніж до кривих малих радіусів.

Сказане пояснюється таким:

– по-перше, чим більший радіус кривої, тим більша допустима швидкість, а саме вона є визначальною при розрахунку похибки у вимірюванні стріли, див. формулу (3.10);

– по-друге, чим положиста крива, тим менша величина стріли i , отже, похибка у її вимірюванні істотніше позначається на визначенні величини радіуса.

Використовуючи викладену вище методику, були визначені для різних рівнів розрахункової швидкості можливі допуски у вимірі стріли вигину, при яких похибка у розрахунку допустимої швидкості руху не перевищить 5 км/год.

Розрахунок залежності похибки у вимірі стріл від радіуса і підвищення зовнішньої рейки кривої для допустимого непогашеного прискорення $0,7 \text{ м/с}^2$ і передбаченої помилки в розрахунках швидкості 5 км/год представлено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Похибка у визначенні допустимої швидкості руху
(при допущеній похибці у вимірюванні стріли вигину ± 1 мм)

Показник	Значення				
Радіус кривої, м	1000	1400	1800	2200	2600
Стріла вигину, мм	50	35,7	27,8	22,7	19,2
Підвищення, мм	50				
Швидкість руху ($V_{\text{доп}}$), км/год	114	135	153	169	191
Похибка визначення швидкості, км/год	1,2	1,9	2,8	3,8	5,3
Підвищення, мм	100				
Швидкість руху ($V_{\text{доп}}$), км/год	130	154	175	194	210
Похибка визначення швидкості, км/год	1,3	2,2	3,2	4,3	5,5
Підвищення, мм	150				
Швидкість руху, км/год	145	171	194	215	233
Похибка визначення швидкості ($V_{\text{доп}}$), км/год	1,5	2,5	3,5	4,8	6,0

Як впливає з аналізу результатів розрахунків (див. табл. 3.2), для швидкостей руху до 140 км/год включно можна вважати достатньою точність у вимірі стріли ± 2 мм, для швидкості 160 км/год точність ± 2 мм достатня тільки для кривих з радіусами не більше 2400 м.

3.5 Вплив різних способів зйомки плану лінії на параметри кривих

Для виконання розрахунків з визначення допустимої швидкості руху поїздів в кривих, необхідна вихідна інформація про стан кривої як у вертикальній (рівень), так і в горизонтальній (план) площинах. Причому, отримання інформації про стан колії в плані є більш суттєвим для подальших розрахунків, а її отримання – більш складним завданням. Це пов'язано з тим, що положення кривої в горизонтальній площині, тобто її кривизна є характеристикою не окремо взятої точки, а деякої ділянки навколо неї, довжина якого мінімальна або математично прагне до нуля. Тому вимір кривизни відомими способами виконується з деякими припущеннями,

пов'язаними як безпосередньо з технологією вимірювань, так і з методами розшифровки даних.

При використанні кожного з методів зйомки, параметри кривих визначаються з різним ступенем точності через відмінності в характеристиках використовуваних приладів, професіоналізму працівників і математичних методів подальшої обробки отриманих даних. При аналізі похибок, закладених в існуючих методах обробки інформації, можна відзначити наступне:

- в межах хорди приймається, що дуга її стягуюча, має постійну кривизну;

- для визначення координат наступної точки, необхідно знати координати попередніх, таким чином, помилка, що виникає в розрахунку однієї точки, поширюється на наступні;

- при використанні теодолітного методу зйомки (метод Гонікберга), точність вимірювань стріл залежить від віддалення від місця стоянки теодоліта, і, таким чином, циклічно змінюється по довжині кривої;

- при використанні колієвимірювальної стрічки стріли вимірюються від середини хорди, таким чином, при її розшифровці закладається інтерполяція.

Для оцінки цього питання було розглянуто ряд кривих, кожна з яких була виміряна різними способами.

Можливість отримання фактичних характеристик стану кривих по стрічці вагона-колієвимірювача була перевірена на основі зіставлення параметрів кривих, наведених в поздовжніх профілях, в паспортах кривих і отриманих методом стріл (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Співставлення значень радіусів кривих, отриманих за різними вихідними даними зйомки [43]

Номер кривої	Радіус кругової кривої, м				Розбіжність, %
	за профілем	за паспортом	за стрічкою КВЛ	натурною зйомкою	
однорадіусні					
1	1055	1082	938	952	+1,5
2	631	631	601	584	-2,8
3	654	654	659	600	-9,0
4	628	620	633	592	-6,5
5	670	688	679	645	-5,0
6	625	619	602	562	-6,6
7	900	880	845	820	-3,0
дворадіусні					
8	620	625	528	575	+8,2
	650	685	614	606	-1,3
9	641	641	638	586	-8,2
	505	616	596	597	+0,2
10	822	815	778	769	-1,2
	822	880	832	853	+2,5
трьохрадіусні					
11	440	448	471	424	-10,0
	600	477	441	541	+18,5
	600	770	655	793	+17,4
чотирьохрадіусні					
12	830	827	1788	1351	-24,4
	830	827	826	810	-2,0
	970	970	912	888	-2,6
	1200	1168	1195	1055	-11,7
13	625	715	654	626	-4,3
	725	703	699	642	-8,2
	641	625	621	578	-6,9
	653	670	692	708	+2,3
шестирадіусні					
14	900	928	873	927	+5,8
	1230	1435	1348	1076	-20,2
	642	640	914	1076	+15,1
	642	640	594	610	+2,6
	750	778	707	696	-1,6
	622	615	601	580	-3,5

При порівнянні радіусів кругових кривих, отриманих натурними вимірами і по колієвимірювальним стрічкам на ділянці Одеської залізниці, можна відзначити, що різниця в значеннях радіусів знаходиться в межах $\pm 20\%$. Аналіз інших розрахункових параметрів кривих (кутів повороту, довжин перехідних кривих і підвищень зовнішньої рейки) показав, що й ці

параметри відрізняються від даних, отриманих з стрічок вагона-колієвимірювача.

3.6 Методика визначення допустимих швидкостей руху поїздів на складних ділянках плану залізниці

Як показали проведені ДНУЗТ розрахунки, обмеження швидкості, що встановлені за наказом начальника залізниці, можуть бути більші розрахункових. Це можна пояснити тим, що розрахунки в дистанціях колії часто виконуються по спрощеній схемі, тобто для складових і сполучених кривих вони виконуються як для одиноких кривих і основна увага приділяється двом параметрам – радіусу й підвищенню зовнішньої рейки. Фактично враховуються тільки два критерії: непогашене прискорення і крутизна відводу підвищення зовнішньої рейки. В той же час, в умовах українських залізниць проблеми швидкості в двох третинах випадків пов'язані не з радіусом, а з довжиною перехідних кривих і прямих вставок між суміжними кривими. Отже, критерії, що впливають на плавність і комфортабельність руху [80] не враховуються в повній мірі. Такий підхід не допустимий особливо при впровадженні на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів.

Оскільки збільшення швидкості ставить підвищені вимоги до якості проведення робіт з виправки й утримання кривих, необхідні нові підходи до розрахунків проектних параметрів плану та встановлення максимально допустимої швидкості руху поїздів. Ті допущення, що були прийняті раніше й слабо впливали на показники руху поїздів при швидкостях 100-120 км/год, потребують або зміни, або відповідного корегування при швидкостях 160 км/год і більше.

Задача визначення допустимої швидкості руху в кривих є складовою багатогранної наукової проблеми і описується у такому різноманітті: складові (багаторадіусні) криві; сполучені криві, розділені короткими прямими вставками; вірогідність вихідних даних; відступи в утриманні кривих та ін.

Вивченню цих складових присвячена не одна наукова праця в країнах СНД [42, 81-85] і за кордоном [47 – 51] як у теоретичному, так і в експериментальному напрямках.

При наявності складних сполучень кривих важко правильно визначити необхідний розрахунковий випадок, відповідні критерії та розрахункові формули й отримати вірний результат. Статистика підтверджує, що велика кількість сполучень кривих на залізницях України у ряді випадків приводить до недоцільного обмеження швидкостей руху або, навпаки, до їх завищення і, як наслідок, до погіршення комфортабельності руху поїздів та швидкого розладу колії.

У зв'язку з неточністю первісного укладання і погрішностями подальших рихтувань кривих проектні характеристики плану лінії найчастіше не витримуються і їх фактичні значення відрізняються від паспортних. Методи визначення параметрів кривих, що використовуються дистанціями колії недосконалі, адже на кінцевий результат впливають суб'єктивність, кваліфікація виконавця, інші фактори. Геометричні параметри кривих, зазначені на поздовжньому профілі, часто не відповідають фактичним даним [64].

При русі по кривій поїзда з встановленою швидкістю повинні забезпечуватися безпека й плавність руху та комфортабельність їзди. При правильно встановленій швидкості забезпечуються нормальні умови роботи залізничної колії, найменші поточні витрати на її ремонт і утримання [10]. В той же час, мають місце випадки, коли максимально допустима швидкість встановлена з порушенням певних вимог (рівень швидкості не задовольняє всім нормативним критеріям). Якщо для одиноких кривих таких порушень найменше, то на ділянках складного плану їх значно більше.

Якщо крива має суттєві відхилення в утриманні, може бути важко визначити її розрахункові параметри: радіус, довжини перехідних кривих, кількість кругових, на які доцільно поділяти криву. Наявність таких кривих на ділянці призводить до зменшення швидкості руху та, як наслідок, до

збільшення часу руху по даній ділянці залізниці, збільшення експлуатаційних витрат [64].

Відповідно до вимог п. 5.19 ДБН В.2.3-19:2018 [71] у разі перевлаштування кривих у важких умовах допускається зберігати радіуси різних значень з урахуванням динаміки, тобто різниці в кривизні. На рис. 3.19 наведено два варіанти визначення розрахункових параметрів проектної кривої (1-й – 4-радіусна крива, 2-й – однорадіусна), які дають різні результати щодо оцінки стану кривої, обсягів рихтувальних робіт і, в кінцевому результаті, різну величину допустимої швидкості руху.



Рисунок 3.19 – Варіанти проектної кривої:

1– 4-х радіусна, 2 – однорадіусна

Розрахунки в дистанціях колії часто виконуються по спрощеній схемі, тобто для складових і сполучених кривих розрахунки виконуються як для одиноких кривих і основна увага приділяється трьом параметрам – радіусу, підвищенню зовнішньої рейки і крутизні його відводу.

Проведений аналіз встановлення максимально допустимих швидкостей на складних ділянках плану показав, критерії, які впливають на плавність і комфортабельність руху не враховуються в повній мірі. Такий підхід не допустимий, особливо при впровадженні на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів.

На рисунку 3.20 наведено критерії α_{nn}, ψ, f , за якими визначається допустима швидкість руху в одиноких кривих [80].

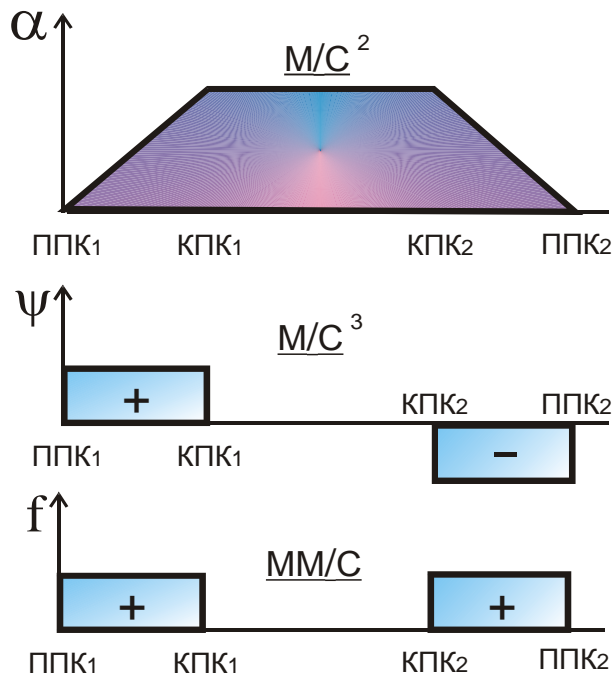


Рисунок 3.20 – Межі дії критеріїв α_{nn}, ψ, f

У випадку наявності складових (багаторадіусних) і сполучених (розділених короткою прямою вставкою) необхідно визначати допустиму швидкість ще й за параметрами сполучення [10]. До експлуатації приймається найменша швидкість із всіх можливих варіантів, тобто $V_{\min} = \min\{V^{(i)}, V^{(\psi)}, V^{(\alpha)}\}$.

При встановленні максимальної швидкості необхідно враховувати, що витрати на забезпечення того чи іншого рівня швидкості не повинні перевищувати доходи від її реалізації. Складність управління цим процесом приводить до необхідності застосування системного підходу до вирішення поставленого завдання за схемою, яка представлена на рисунку 3.21.

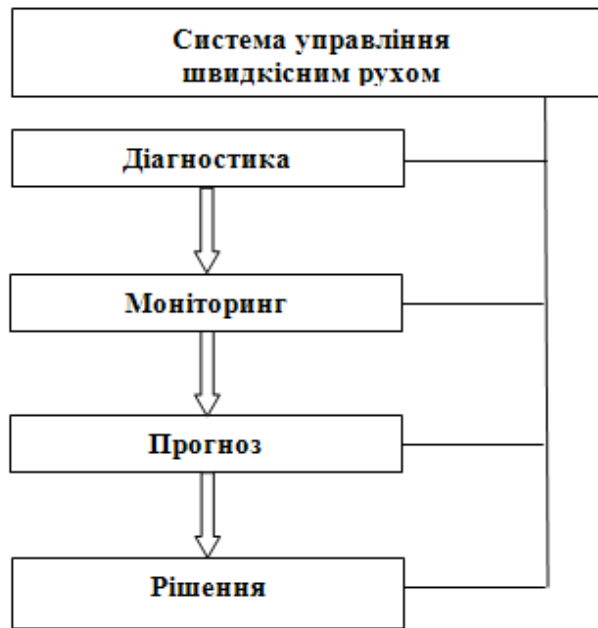


Рисунок 3.21 – Конфігурація системи управління швидкісним рухом поїздів

Діагностика – це система заходів, після проведення яких визначається фактичний стан колії в плані, параметри кривих та ін.

Моніторинг – інформаційне забезпечення, що включає характеристики параметри плану, поздовжнього профілю, земляного полотна, стан колії, осьове навантаження, швидкості руху поїздів різних категорій, в тому числі співвідношення швидкості вантажних і пасажирських поїздів. Тобто, це аналіз інформації, що отримана в ході діагностики.

Прогноз – передбачає можливості зміни системи на основі моніторингу даної ділянки залізниці.

Рішення – це розробка управлінських дій щодо зміни самої системи.

Таким чином, необхідно пройти шлях від діагностики до прийняття рішення, надати рекомендації щодо визначення допустимої швидкості руху поїздів на складних ділянках плану залізниць та розробити пропозиції щодо корегування параметрів кривих для реалізації максимально можливої швидкості, забезпечивши безпеку, плавність і комфортабельність їзди.

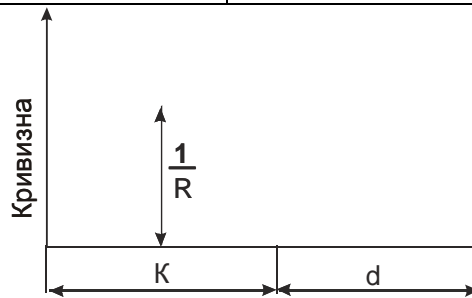
Як уже відмічалось, в умовах українських залізниць проблеми швидкості в двох третинах випадків пов'язані не з радіусом, а з довжиною

перехідних кривих і прямих вставок між суміжними кривими. Отже, основну увагу слід приділяти суміжним кривим, які підпадають до категорії залежних, одна з яких впливає на умови руху поїзда по іншій [82]. Для вирішення такого завдання автором запропонована методика визначення допустимої швидкості руху поїзда на ділянках складного плану [86], що передбачає покрокове виконання розрахунків в залежності від типу сполучень в точках зміни кривизни кривої (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Класифікація сполучень кривих і послідовність виконання розрахунків

<p>Сполучення 1: пряма-перехідна крива-кругова крива (Пряма; $L > 0$; K)</p>	<p>Сполучення 5: S-подібні кругові криві без прямої вставки ($K_1; L_1 \neq 0; d = 0; L_2 = 0; R_2$)</p>
<p>Сполучення 2: перехідна крива-пряма вставка-перехідна крива ($K_1; L_1 > 0; 0 < d \leq 25; L_2 > 0; K_2$)</p>	<p>Сполучення 6: сполучення односторонніх кругових кривих ($K_1; L_1 \neq 0; d = 0; L_2 = 0; R_2$)</p>

Сполучення 3: S-подібні криві розділені прямою вставкою ($K_1; L_1 \neq 0; 0 < d \leq 25; L_2 \geq 0; \dots$)	Сполучення 7: кругова крива-проміжна перехідна крива-кругова крива ($K_1; K_C > 0; \dots$)
---	---



Сполучення 4: кругова крива-пряма вставка ($K; L = 0; d > 0$)

Послідовність виконання розрахунків:

1. Встановлюються типи сполучень в точках зміни кривизни кривої.
2. Вибирається тип сполучення (відповідно до класифікації).
3. Вводяться вихідні дані.

4. Визначається мінімальна допустима швидкість

$$V_{\min} = \min \{V^{(t)}, V^{(p)}, V^{(\alpha)}\}$$

5. Розглядаються варіанти (при необхідності) щодо підвищення максимальної швидкості за умови перебудови кривої.

Методика визначення допустимої швидкості в кривих була реалізована у вигляді програми DopShvid і апробована на реальних ділянках залізниць, де впроваджено прискорений рух поїздів.

На рис. 4 представлено параметри 4-радіусної кривої на перегоні Боярський – Лазірки (км 148) Південної залізниці [86].

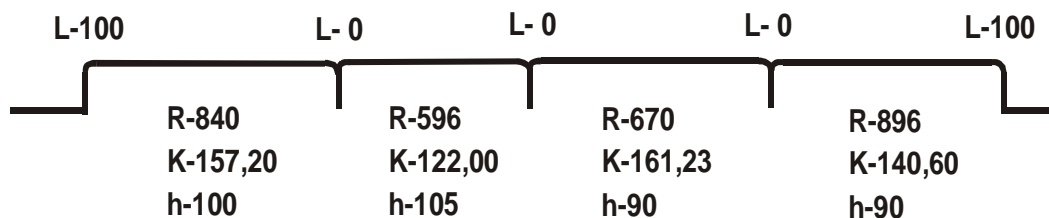


Рисунок 3.22 – Вихідні параметри складової кривої

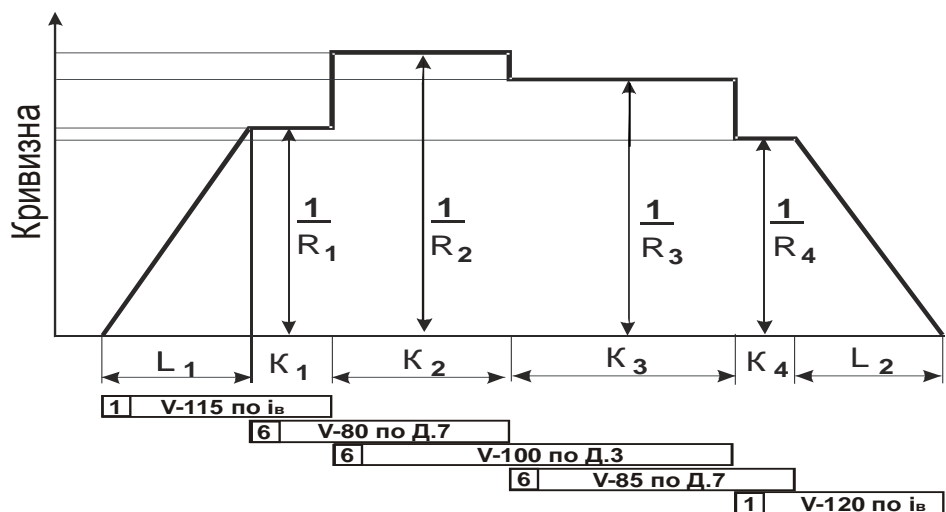


Рисунок 3.23 – Графік кривизни існуючої кривої

На рисунку 3.23 наведено графік кривизни, використання якого дозволяє виділити п'ять місць сполучення кривих, які за класифікацією, що наведена в таблиці 3.4, відносяться до першого й шостого типів.

Сполучення 1: пряма-перехідна крива-кругова крива (рисунок 3.24)

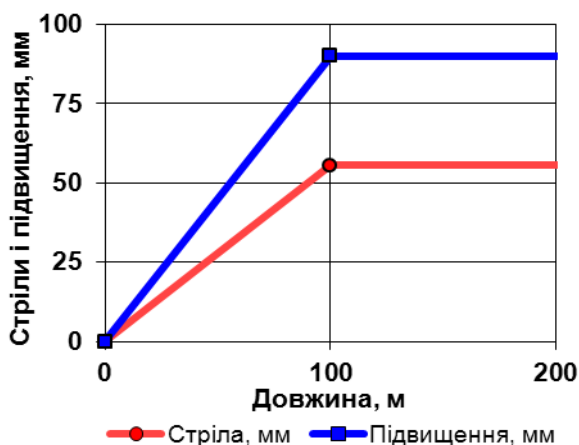


Рисунок 3.24 – Графіки стріл і підвищень у сполученні 1

У цьому випадку визначається допустима швидкість руху у межах перехідної кривої за двома критеріями: за крутизною відводу підвищення ($V^{(i)}=114$ км/год), за швидкістю зміни непогашеного прискорення ($V^{(\psi)}=149$ км/год). Допустима швидкість в круговій кривій дорівнює $V^{(\alpha)}=120$ км/год (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 – Допустимі швидкості в кривій по сполученню 1

Параметри	Значення
Перехідна крива	
Довжина перехідної кривої, м	100
Ухил відводу підвищення, мм/м	1
Параметр $C = R \cdot L$	м ²
Допустима швидкість по i_e , км/год	114
Допустима швидкість по ψ , км/год	149
Кругова крива	
Радіус кругової кривої, м	840
Підвищення зовнішньої рейки, мм	100
Допустима швидкість по α_{nn} , км/год	120
Допустима швидкість прийнята*, км/год	115

* - приймається кратно 5 км/год

Сполучення 6: кругові криві без прямої вставки направлені в одну сторону (рисунок 3.25)

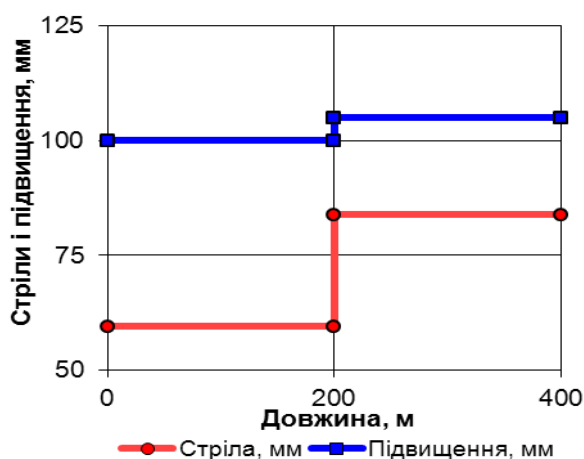


Рисунок 3.25 – Графіки стріли і підвищень у сполученні 6

Таблиця 3.6 – Допустимі швидкості в кривій по сполученню 6

Параметри	Значення
Перша кругова крива	
Радіус кругової кривої, м	840
Підвищення зовнішньої рейки, мм	100
Різниця кривизни $k = \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}$	$\frac{1}{2052}$
Допустима швидкість по $D.7$, км/год	82
Друга кругова крива	
Радіус кругової кривої, м	596
Підвищення зовнішньої рейки, мм	105
Допустима швидкість по $D.3$, км/год	88
Допустима швидкість прийнята, км/год	80

Допустима швидкість визначається за формулами Д.3 (використовується критерій α_{nn}) $V^{(Д.3)} = 88$ км/год і Д.7 (за критерієм зміни непогашеного прискорення ψ), $V^{(Д.7)} = 82$ км/год. Формули Д.3, Д.7 відповідають табл. Д.1 ЦП-0236 [10]. Аналогічно за програмою DopShvid виконані розрахунки по іншим сполученням і результати наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Допустима швидкість в 4-радіусній кривій за існуючими параметрами (Південна залізниця)

Показники	Допустима швидкість за сполученнями, км/год				
	1	2	3	4	5
Номер сполучення	1	2	3	4	5
Тип сполучення	1	4	4	4	1
Причина обмеження	i_e	за форм. Д.7	за форм. Д.3	за форм. Д.7	i_e
Швидкість, км/год	1	2	3	4	5

За максимальну допустиму швидкість приймається $V = 80$ км/год.

Запропонована методика дозволяє не тільки визначати допустимі швидкості на складних ділянках плану, а й надавати рекомендації, як при мінімальних витратах на корегування параметрів кривих можна збільшити швидкість. З цією метою була виконана оптимізація кривої за програмою RWPlan [66] за умови мінімізації робіт з рихтування кривої. Параметри кривої наведені на рисунку 3.26.

На рисунку 3.27 наведено графік кривизни, на якому виділено п'ять місць сполучення кривих, які за класифікацією, що наведена в таблиці 3.4, відносяться до першого й сьомого типів.

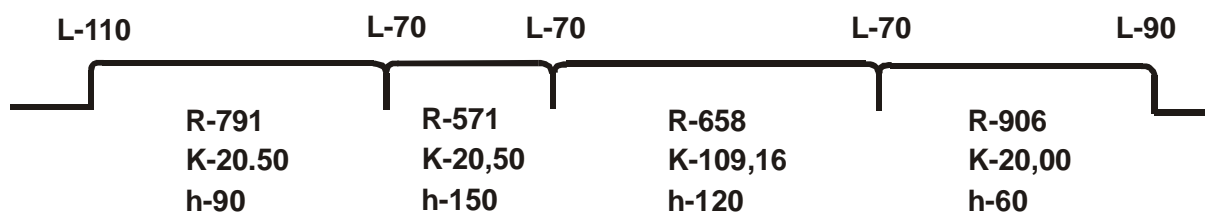


Рисунок 3.26 – Проектні параметри складової кривої

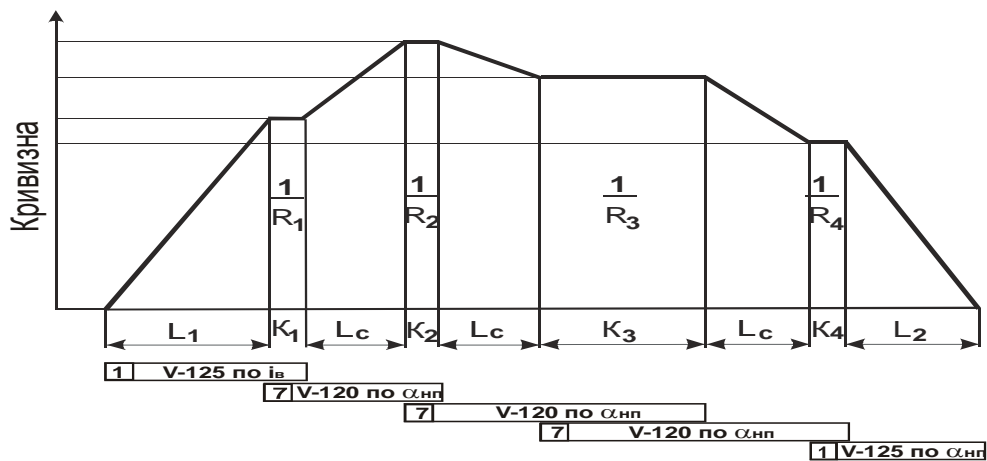


Рисунок 3.27 – Графік кривизни проектної кривої

Сполучення 7: кругова крива-проміжна перехідна крива-кругова крива (рисунок 3.28)

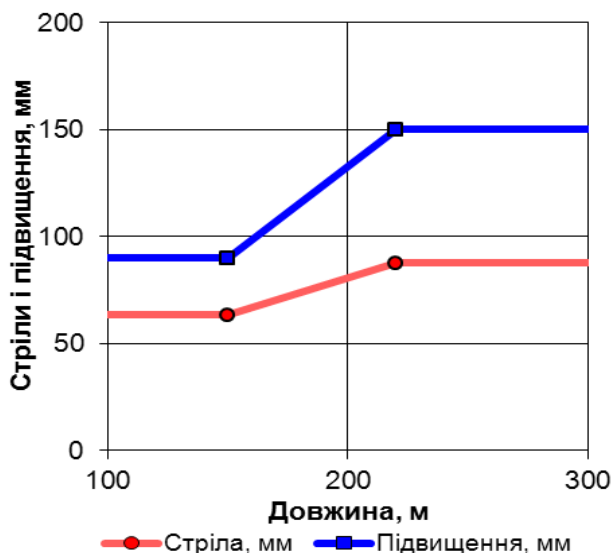


Рисунок 3.28 – Графіки стріл і підвищень у сполученні 7

Визначається допустима швидкість руху у межах кожної кругової кривої $V^{(\alpha)}$, що враховує критерій α_m , потім на ділянці перехідної кривої, що сполучає кругові: за крутизною відводу підвищення $V^{(i)}$ і за швидкістю зміни непогашеного прискорення $V^{(\psi)}$ (див. табл. 3.8).

Аналогічно за програмою DopShvid виконані розрахунки по іншим сполученням і результати наведено в таблиці 3.9.

За максимальну допустиму швидкість приймається $V=120$ км/год. Отже, для вихідних параметрів максимально допустима швидкість руху по

кривій 80 км/год (таблиця 3.7).

Таблиця 3.8 – Допустимі швидкості в кривій по сполученню 7

Параметри	Значення
Перша кругова крива	
Радіус кругової кривої, м	840
Підвищення зовнішньої рейки, мм	100
Допустима швидкість по α_{nn} , км/год	126
Перехідна крива	
Довжина перехідної кривої, м	70
Ухил відводу підвищення, мм/м	0,857
Допустима швидкість по i_g , км/год	126
Допустима швидкість по ψ , км/год	179
Друга кругова крива	
Радіус кругової кривої, м	840
Підвищення зовнішньої рейки, мм	100
Допустима швидкість по α_{nn} , км/год	119
Допустима швидкість прийнята, км/год	120

Після незначного корегування параметрів, значення допустимої швидкості зросло до 120 км/год (таблиця 3.9).

Таблиця 3.9 – Допустима швидкість в 4-радіусній кривій за проектними параметрами ДНУЗТ

Показники	Допустима швидкість за сполученнями, км/год				
	1	2	3	4	5
Номер сполучення	1	2	3	4	5
Тип сполучення	1	6	6	6	1
Причина обмеження	i_g	α_{nn}	α_{nn}	α_{nn}	α_{nn}
Швидкість, км/год	125	120	120	120	125

Розроблена методика визначення допустимої швидкості в кривих була реалізована у вигляді програми DopShvid і апробована на реальних ділянках залізниць, де впроваджено прискорений рух поїздів. Методика дозволяє визначати допустимі швидкості руху і підвищення зовнішньої рейки на складних ділянках плану лінії. Запропонований підхід дозволяє отримувати раціональні рішення щодо перебудови плану.

3.7 Висновки до розділу 3

Враховуючи результати проведеного дослідження, можна констатувати, що на сьогоднішній день існує багато способів, які використовуються для виміру параметрів і стану кривих. Саме вже існування різних способів, що мають практичне застосування, говорить про те, що кожен з них має свої як позитивні так і негативні якості. Для вибору того чи іншого способу треба мати як статистичне, так і математичне обґрунтування.

1. При виконанні зйомки кривих різними способами – спосіб стріл (паспорти кривих дистанцій колії), спосіб Гонікберга (план лінії на поздовжньому профілі), зйомка плану колії колієвимірювальними вагонами отримані результати відрізняються між собою. Встановлено, що точність результатів залежить не тільки від параметрів вимірювальних приладів і вміння виконавців, але й від самої методики, яка визначає технологію вимірювання і виконання розрахунків.

2. Досьогодні, при побудові математичної моделі існуючого плану використовується неточна модель, при якій вважається, що три сусідні точки кривої лежать на колі. На такому принципі – методі «згладжування» побудована робота ВПР. В результаті виконання рихтувальних робіт з метою зменшення обсягів зсувів крива не відповідає вихідним паспортним даним, з однорадіусної може стати багаторадіусною. Це питання стало особливо актуальним при реконструкції плану лінії для впровадження швидкісного руху.

3. Обмеження швидкості, що встановлені за наказом начальника залізниці, не завжди відповідають реальному стану кривих. Цей факт можна пояснити тим, що в дистанціях колії розрахунки виконуються по спрощеній схемі, не в повному обсязі, як того вимагають Правила ЦП-0236 [10]. При заїздах вагонів КВЛ основна увага приділяється трьом параметрам – радіусу, підвищенню зовнішньої рейки й крутизні його відводу. Фактично при визначенні максимально допустимої швидкості не враховуються параметри сполучення, які повинні визначатись для суміжних і складових кривих.

4. В умовах українських залізниць проблеми швидкості в двох третинах випадків пов'язані не з радіусом, а з довжиною перехідних кривих і прямих вставок між суміжними кривими, а тому при встановленні максимально допустимої швидкості руху на складних ділянках плану залізниці слід приділяти більше уваги суміжним кривим, які підпадають до категорії залежних, тобто таких, коли одна впливає на умови руху поїзда по іншій.

5. Аналіз вихідних даних, отриманих різними способами зйомки плану лінії, показав, що для визначення максимально допустимої швидкості необхідно мати достовірну інформацію про параметри й стан кривих. Перед проведенням реконструкції залізничних напрямків для підвищення швидкості руху поїздів, а тим більше для впровадження швидкісного руху, необхідно провести натурне обстеження з виконанням повного циклу розрахунків для їх паспортизації.

6. При проектуванні ремонтів колії можна досягнути суттєвого виграшу в часі руху за рахунок виконання виправлення кривих у плані та відновлення проектних радіусів, тобто встановлювати колію при машинізованому поточному утриманні й ремонтних роботах в проектне положення.

7. Використання запропонованої класифікації сполучень кривих дає змогу обґрунтовано прийняти критерії безпеки, плавності й комфортабельності їзди, що впливають на рівень максимально допустимої швидкості руху поїздів і роботу залізничної колії. Застосування розробленої й апробованої в науково-дослідній роботі програми DopSvid дозволяє не тільки виконувати розрахунки в автоматизованому режимі, але й визначати варіанти підвищення швидкості, що є дуже важливим на етапі планування модернізації залізниці чи проведення капітального ремонту.

РОЗДІЛ 4

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМФОРТАБЕЛЬНОСТІ ТА ПЛАВНОСТІ РУХУ ПОЇЗДІВ В КРИВИХ

4.1 Визначення зміни динамічних показників в кривих різних радіусів

4.1.1 Постановка задачі

Задача вибору раціональних параметрів кривих не проста, тому що при підвищенні швидкостей руху збільшується динамічний вплив на рейкову колію рухомого складу, в зв'язку з чим відбувається зростання вертикальних і горизонтальних сил. Зменшення динамічного впливу досягається зменшенням вантажонапруженості. Наприклад, на Польських залізницях прийнято, що при введенні для пасажирських поїздів максимальної швидкості до 160 км/год швидкість вантажних поїздів може бути меншою чи рівною 100 км/год при вантажонапруженості до 10 млн. ткм/км, при швидкості 161...200 км/год – швидкість вантажних поїздів не менше 100 км/год, а вантажонапруженість до 5 млн. ткм/км [87].

Незважаючи на зниження обсягів перевезень за останні роки, умови роботи залізниць України залишаються більш важкими, ніж на закордонних дорогах. Вантажонапруженість магістральних ліній України в 3-5 разів перевищує середньоєвропейський рівень [11].

Проблема визначення параметрів кривих, перш за все мінімального радіуса і підвищення зовнішньої рейки, існує. При встановленні мінімального радіусу необхідно забезпечити виконання наступних вимог [56]:

- міцність і надійність несучих елементів конструкцій верхньої будови колії;
- стійкість рейко-шпальної решітки поперечному зсуву по баласту;
- стійкість коліс від вкочення на головку рейки;
- комфортабельність їзди пасажирів.

Слід відмітити, що при виборі мінімального радіусу кривих в умовах суміщеного вантажного й пасажирського руху поїздів необхідно забезпечити

найкращі умови роботи колії, що можливо при мінімізації впливу вантажного рухомого складу.

4.1.2 Математична модель просторових коливань пасажирського вагона при русі по криволінійній ділянці колії реального обрису

В даний час накопичено великий досвід математичного моделювання коливання динамічної системи «екіпаж-колія». В інституті технічної механіки НАН України [32], в Дніпровському національному університеті залізничного транспорту розроблено й широко використовується програмне забезпечення для моделювання руху вантажних вагонів, піввагонів, пасажирських вагонів та ін. [32, 88]. Під час досліджень була використана модель пасажирського вагона розроблена в докторській дисертації проф. М. Б. Кургана [89].

У моделі розглядаються наступні тіла: кузов, дві рами візків, чотири колісні пари, вісім коліс і вісім ділянок рейок умовної довжини під кожним.

Колія представлена інерційною пружньо-дисипативною з реальними нерівностями, що приймалися за результатами записів, виконаних лабораторією динаміки й міцності рухомого складу ДНУЗТ. Переміщення кожного з тіл у можливих лінійних і кутових напрямках описується диференціальним рівнянням Лагранжа другого роду з урахуванням зв'язків, накладених на ці тіла [31, 33].

Рух екіпажа по криволінійній ділянці колії розглядається як складний, що складається з відносного і переносного.

У результаті отримані диференціальні рівняння виду

$$\ddot{q}_i = f(q_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n, q_1, q_2, \dots, q_n, f'),$$

де f' – функція, що описує параметри ділянки колії (вісь колії в плані, підвищення однієї рейки щодо іншої).

Використані система рівнянь з невідомими $q_1 \dots q_{60}$ наведені в роботах [88, 89].

Розв'язування системи таких рівнянь здійснювалось методом

чисельного інтегрування в часовій області. Результатом розв'язку є лінійні й кутові переміщення тіл системи, за якими розраховувались їхні прискорення, сили взаємодії, динамічні коефіцієнти.

Рівняння складені за умови, коли колеса екіпажа мають одноконтактну взаємодію з рейками. В монографії М. О. Радченка [35] показано, що двоконтактний характер взаємодії коліс з рейками впливає на стійкість стаціонарного руху екіпажа з подвійним ресорним підвішуванням при русі із швидкістю 160 км/год і більше в кривих радіусом більше 2000 м. Характер контакту коліс з рейками може суттєво впливати на величину сил взаємодії коліс з рейками, але має невеликий вплив на значення бічних сил. Прийнята в дисертаційній роботі модель обумовлюється задачами, що розглядаються за її допомогою і точністю отриманих результатів.

4.1.3 Вихідні дані і результати моделювання

Вихідними даними для моделювання руху є геометричні й динамічні параметри вагона і колії. Зокрема, задаються положення осі колії в горизонтальній (план) і вертикальній (підвищення зовнішньої рейки) площинах і швидкість руху. Прийнято, що переміщення колісної пари у вертикальній площині відбувається без відриву від рейок.

Результатом розв'язання системи рівнянь на кожному кроці є лінійні й кутові переміщення всіх розглянутих тіл q_i , їхні швидкості $\frac{dq_i}{dt}$ і прискорення

$\frac{d^2q_i}{dt^2}$. У залежності від поставленої задачі розглядалась динаміка конкретного процесу (наприклад, горизонтальні прискорення кузова вагона) по довжині ділянки. Використовуючи методи статистичної обробки, отримувались узагальнені характеристики – середнє значення, середньоквадратичне відхилення, спектр коливань за частотою чи амплітудою та ін.

Обґрунтування раціональних параметрів кривих повинно враховувати умови роботи колії, швидкість руху, спектр динамічних показників, а також

вартість уположення кривих, що пов'язана з переносом вісі колії на нову трасу.

Для визначення спектру динамічних показників було виконано моделювання руху пасажирського і вантажного вагонів по кривих різних радіусів за методикою, що викладена вище.

Вихідні дані для встановлення раціонального радіуса кривої представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунків

Показники	Максимальна швидкість пасажирських поїздів 160 км/год на кривих ділянках колії з параметрами:				
	800	1000	1200	1400	1600
R , м	800	1000	1200	1400	1600
h , мм	60	60	60	60	60
$L_{пер}$, м	90	90	90	90	90
h , мм	90	90	90	90	90
$L_{пер}$, м	130	130	130	130	130
h , мм	120	120	120	120	120
$L_{пер}$, м	180	180	180	180	180
h , мм	150	150	150	150	150
$L_{пер}$, м	220	220	220	220	220

В таблиці прийняті такі позначені: h – підвищення зовнішньої рейки; $L_{пер}$ – довжина перехідної кривої.

Для знаходження бічної сили, що діє на рейки з боку коліс і рамних сил, що діють на колісні пари, обчислювалась направляюча сила, що являє собою реакцію рейки на загальний опір повороту візка (екіпажа) при русі по кривій. Визначення цієї сили відноситься до класу задач геометричного вписування. Для візкових екіпажів найбільш типовим є перекісне положення, що змінюється після кожного імпульсу в зоні контакту гребеня колеса з

рейками.

При відомих направляючих силах HN , бічні HB і рамні сили HR визначались за формулами:

$$HB_{(i,j,k)} = HN_{(i,j,k)} - Y_{(i,j,k)}, \quad (4.1)$$

$$HR_{(i,j)} = HN_{(i,j,k)} - \sum_{k=1}^2 Y_{(i,j,k)}, \quad (4.2)$$

де i – номер візка,

j – номер колісної пари у візку,

k – сторона (1 – ліва, 2 – права, якщо дивитися на вагон з заду);

$Y_{(i,j,k)}$ – поперечні сили тертя між рейкою і лівим чи правим колесом відповідної колісної пари і візка.

Крім бічних сил, був проаналізований цілий спектр динамічних показників, отриманих при моделюванні просторових коливань пасажирського і вантажного вагонів:

$k_{VD(i,j,k)}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки колії по силам взаємодії коліс з рейками (відношення динамічної добавки вертикальної сили до статичного тиску колеса на рейку);

$k_{GD(i,j,k)}$ – коефіцієнт горизонтальної динаміки колії по горизонтальним силам взаємодії коліс з рейками;

$SI_{(k)}$ – кромочні напруження в підшві рейки під колісьми першої колісної пари;

$F_{(k)}$ – фактор зносу бічної грані бандажа колеса першої колісної пари першого візка;

$\Pi_{(k)}$ – показник зносу поверхні кочення колеса першої колісної пари першого візка;

$k_{VKO(i,j)}$ – коефіцієнт стійкості від сповзання колеса на рейку.

Програма здійснює інтегрування системи диференціальних рівнянь у процесі руху вагона на ділянці колії 100 м. Після виключення на довжині

близько 50 м перехідного процесу, виконується розрахунок екстремальних і статистичних характеристик найбільших значень сил, переміщень і прискорень, що виникають при русі вагона по реальних нерівностях колії.

Для кожного з динамічних показників визначались:

- мінімальні значення F_{\min} і абсциса колії, при якій досягнуте x_{\min} ;
- максимальне значення F_{\max} і відповідна абсциса колії x_{\max} ;
- середнє значення показника на даній ділянці M ;
- дисперсія D ;
- середньоквадратичне відхилення S ;
- максимальне-ймовірне значення, що дорівнює $|M| + 2,5 * S$.

Коефіцієнт горизонтальної динаміки, кромочні напруження, бокові сили та ін. показники були використані при обґрунтуванні раціонального радіусу кривих і вибору підвищення зовнішньої рейки від потоку поїздів різних категорій.

На основі моделювання взаємодії колії і пасажирського вагону при русі по кривим побудовані графіки (рис. 4.1...4.4), які були використані для наступного аналізу. На рис. 4.1...4.4 в чисельнику вказана величина підвищення зовнішньої рейки, в знаменнику – довжина перехідної кривої.

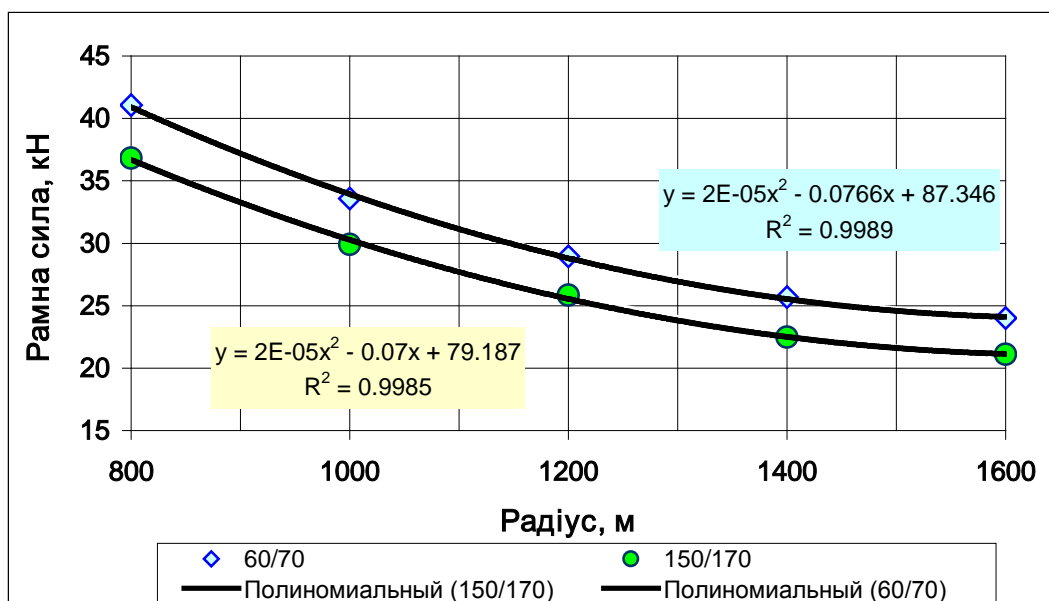


Рисунок 4.1 – Залежність рамних сил від радіусу кривої

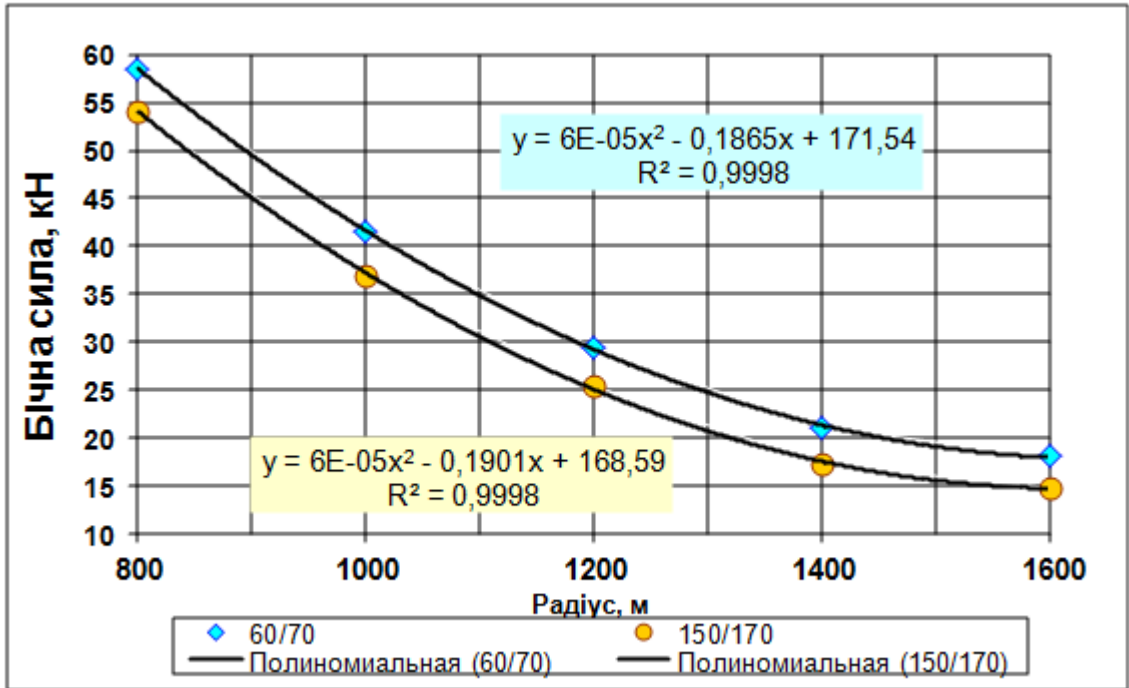


Рисунок 4.2 – Залежність бічних сил від радіусу кривої

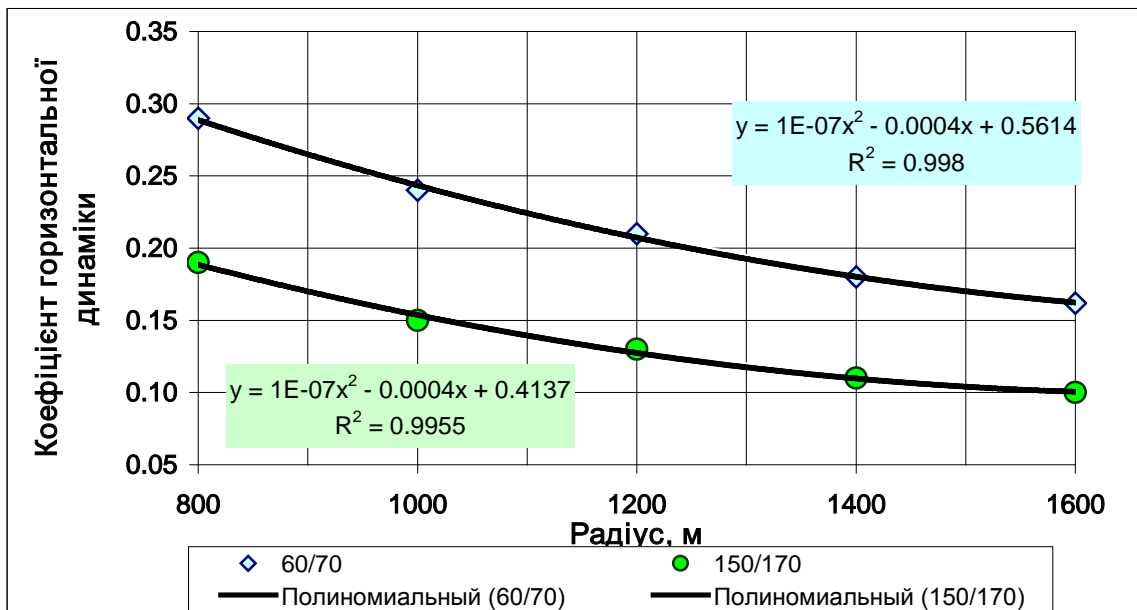


Рисунок 4.3 – Зміна коефіцієнту горизонтальної динаміки

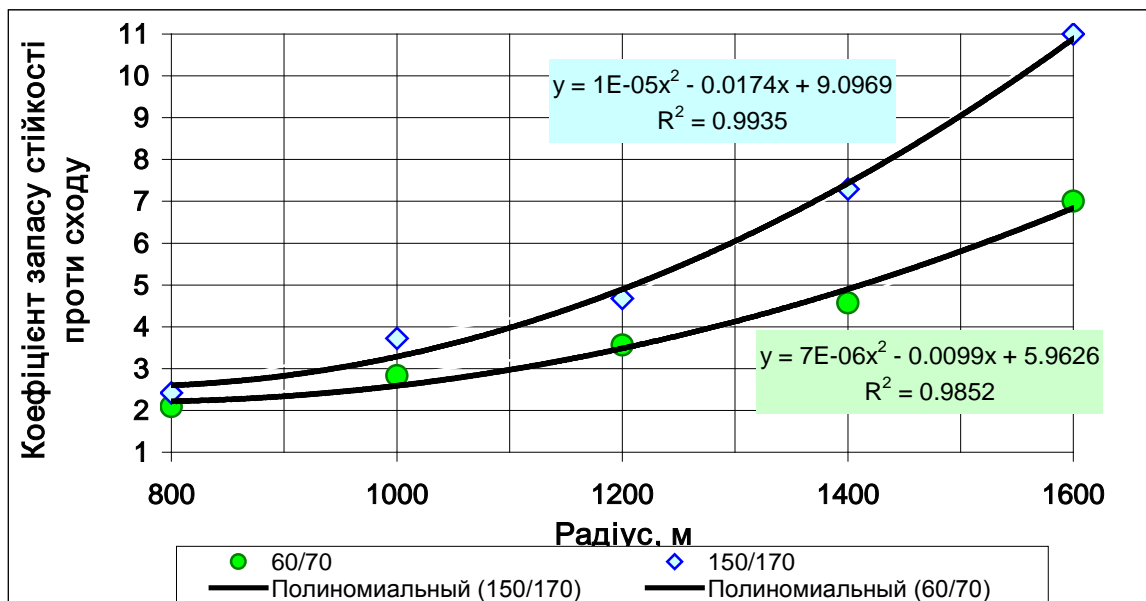


Рисунок 4.4 – Зміна коефіцієнту стійкості проти сходу

4.2 Аналіз роботи колії за результатами моделювання руху екіпажу

4.2.1 Забезпечення міцності несучих елементів конструкцій верхньої будови колії

При підвищенні швидкостей руху поїздів зростає динамічний вплив на колію рухомого складу, в зв'язку з чим має місце збільшення вертикальних і горизонтальних сил і, як наслідок, напружень в кромках підшви рейок. Максимально ймовірні кромочні напруження не повинні перевищувати 240 МПа для колії з рейками Р65, чим і визначається допустима швидкість руху.

Відомо, що на величину кромочних напружень впливають такі фактори як швидкість руху, величина радіусу, підвищення зовнішньої рейки, осьове навантаження та ін. Вплив перерахованих факторів на величину напружень різний. Для встановлення залежності кромочних напружень від величини радіусів кривих, які можуть підлягати перебудові на швидкісних ділянках, були використані результати дослідних поїздок, що наведені в роботі [90] і дані виконаних розрахунків, що отримані на основі моделювання.

На рисунку 4.5 показані графіки кромочних напружень, отриманих за експериментом для електровоза ЧС2м і розрахованих за програмою ДНУЗТ для пасажирського вагона при підвищенні зовнішньої рейки 100 мм.

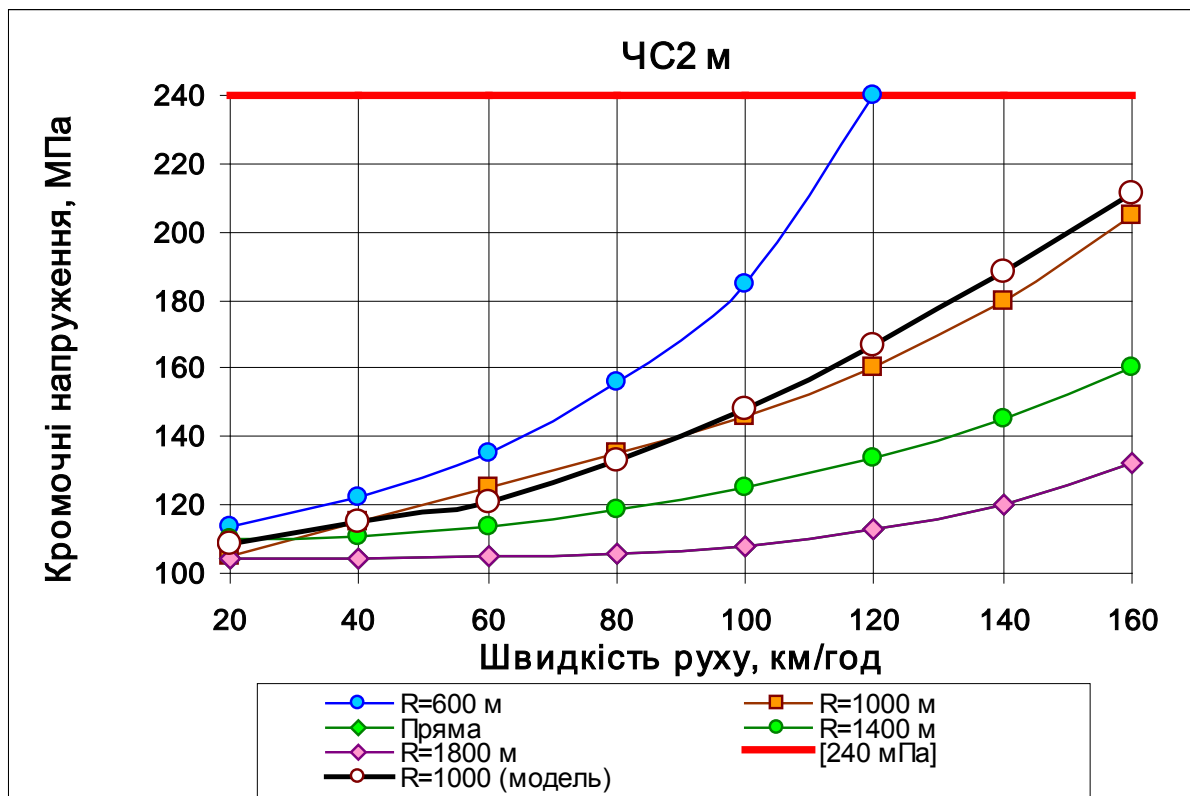


Рисунок 4.5 – Залежність напружень в кромках підшви рейки від швидкості руху електровоза ЧС2^м на прямій і в кривих різних радіусів

Аналіз графіків показав, що при збільшенні швидкості руху з 120 до 160 км/год напруження в кромках підшви рейки зростають за розрахунками на 26,8%, за експериментом – на 28,1%. Можна вважати, що модель адекватно відображає реальний рух екіпажів. Таким чином, перехід до швидкісного руху приводить до збільшення напружень в середньому в 1,3 рази, але в кривих радіусом 1000 м і більше максимальні напруження не перевищують допустимих значень.

Так як на величину кромочних напружень впливає величина встановленого підвищення зовнішньої рейки, то були виконані відповідні розрахунки з використанням моделі і результати представлені на рисунку 4.6.

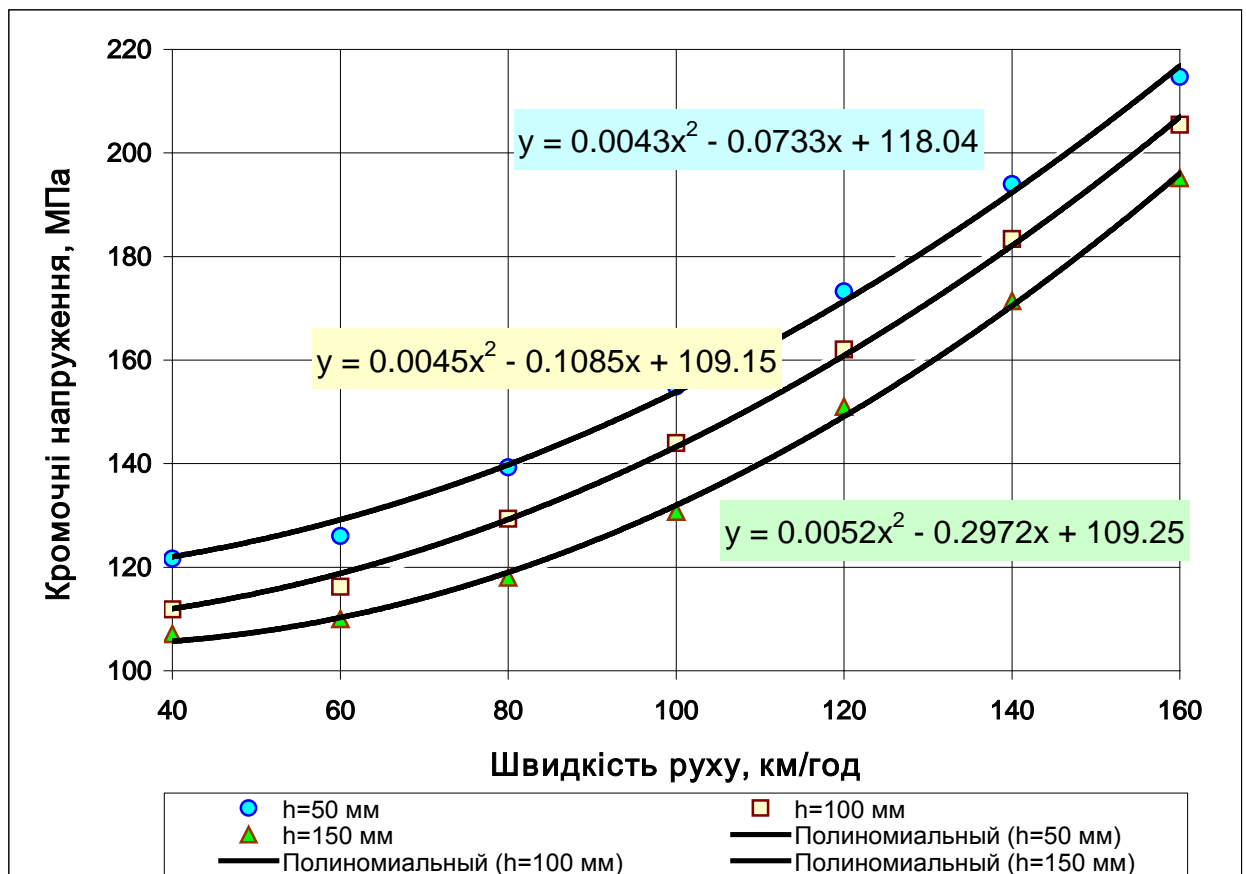


Рисунок 4.6 – Залежність напружень в кромках підшви рейки від швидкості руху для кругової кривої радіусом 1000 м з підвищенням зовнішньої рейки 50, 100 і 150 мм

Аналіз графіків показує, що більш суттєво на величину кромочних напружень впливає величина швидкості і радіус кривої і значно менше величина підвищення зовнішньої рейки. Так, при збільшенні підвищення з 50 до 100 мм, або зі 100 до 150 мм напруження в кромках підшви рейок зменшуються на 5...10%.

За умови неперевищення непогашених прискорень $0,7 \text{ м/с}^2$ при проходженні найбільш швидкого поїзда, мінімальні радіуси складають відповідно 1200 м при максимальній швидкості 140 км/год і 1500 м при максимальній швидкості 160 км/год (рисунок 4.7). Отже, в таких кривих не виникає загроза щодо перевищення допустимих значень кромочних напружень.

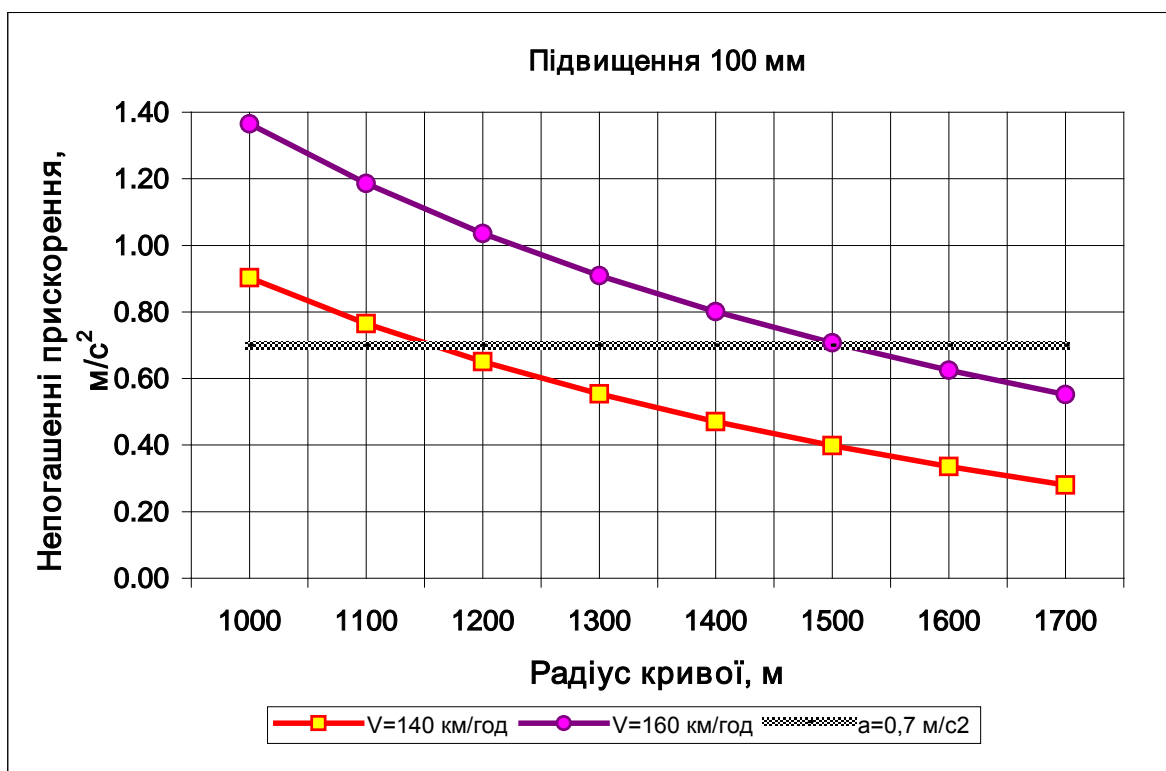


Рисунок 4.7 – Залежність поперечних непогашених прискорень від радіуса кривої для максимальної швидкості 140 і 160 км/год

Іншим фактором, що визначає безпеку руху і міцність колії є бокові сили, що виникають при русі в кривих. Результати отримані для пасажирського вагону при моделюванні його руху в кривій радіусом 1000 м наведені на рис. 4.8. При підвищенні швидкості руху зі 120 км/год до 160 км/год бокові сили збільшуються вдвічі, але не перевищують рекомендованих значень.

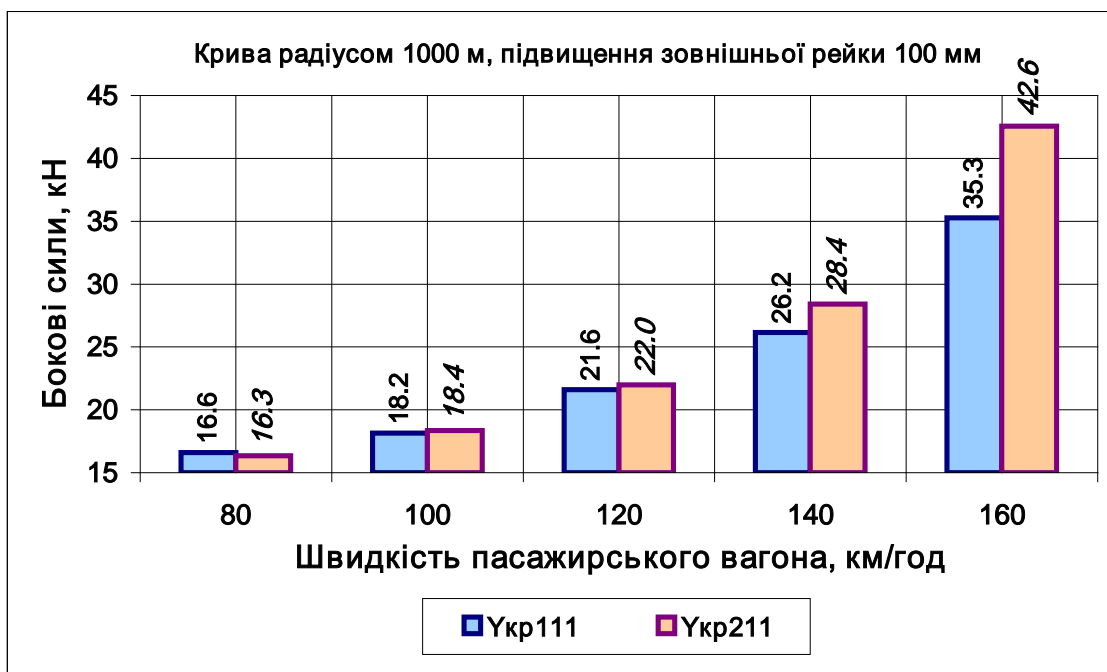


Рисунок 4.8 – Залежність максимально ймовірних бокових сил від швидкості руху в кривій радіусом 1000 м

4.2.2 Забезпечення стійкості рейко-шпальної решітки поперечному зсуву по баласту

Крім забезпечення міцності елементів верхньої будови колії, важливе значення має умова забезпеченості стійкості рейко-шпальної решітки проти зсуву по баласту. При підвищенні швидкості руху має місце різке зростання поперечних сил в сполученні з короткочасним зменшенням вертикального навантаження. Аналіз великої кількості дослідних матеріалів показує, що ймовірність одночасного сполучення максимальних значень горизонтальних навантажень на колію з мінімальною величиною вертикальних сил, що сприймається шпалою, близька до нуля [91]. Тому розрахунковий опір шпали зсуву прийнято визначати по середнім значенням вертикального навантаження від коліс на рейки. Коефіцієнт стійкості рейко-шпальної решітки в колії з щебневим баластом повинен бути

$$k_{ZSU} = \frac{H_{\max}}{P_{\text{сеп}}} \leq 1,4, \quad (4.3)$$

де H_{\max} – максимальна горизонтальна сила, що сприймається шпалою від направляючого колеса екіпажу;

$P_{\text{сер}}$ – середнє значення динамічного вертикального навантаження рейки на шпалу.

Як показали розрахунки, значення коефіцієнта k_{ZSU} знаходиться в діапазоні 0,73 для радіуса 1000 м до 0,50 для радіуса 1500 м при максимальній швидкості 160 км/год, тобто умова (4.3) виконується.

Наступним важливим показником є коефіцієнт горизонтальної динаміки колії k_{GD} , який є критерієм безпеки від зсуву рейко-шпальної решітки. Коефіцієнт горизонтальної динаміки визначається як відношення максимальної рамної сили Y_p до статичного навантаження $P_{\text{ст}}$ колісних пар на рейки

$$k_{GD} = \frac{Y_p}{P_{\text{ст}}} \leq 0,4. \quad (4.4)$$

З рис. 4.9 видно, що при максимальній швидкості 140 км/год коефіцієнт горизонтальної динаміки 0,35 (0,24) при радіусі 1000 м і підвищенні зовнішньої рейки 60 мм менший [0,4], тобто умова безпеки від поперечного зсуву рейко-шпальної решітки (4.4) забезпечується.

При збільшенні підвищення зовнішньої рейки коефіцієнт k_{GD} зменшується. Так, при збільшенні підвищення зі 60 до 90 мм k_{GD} зменшується на 7%. При збільшенні радіуса з 1000 до 1200 м коефіцієнт горизонтальної динаміки колії зменшується в 1,2 рази.

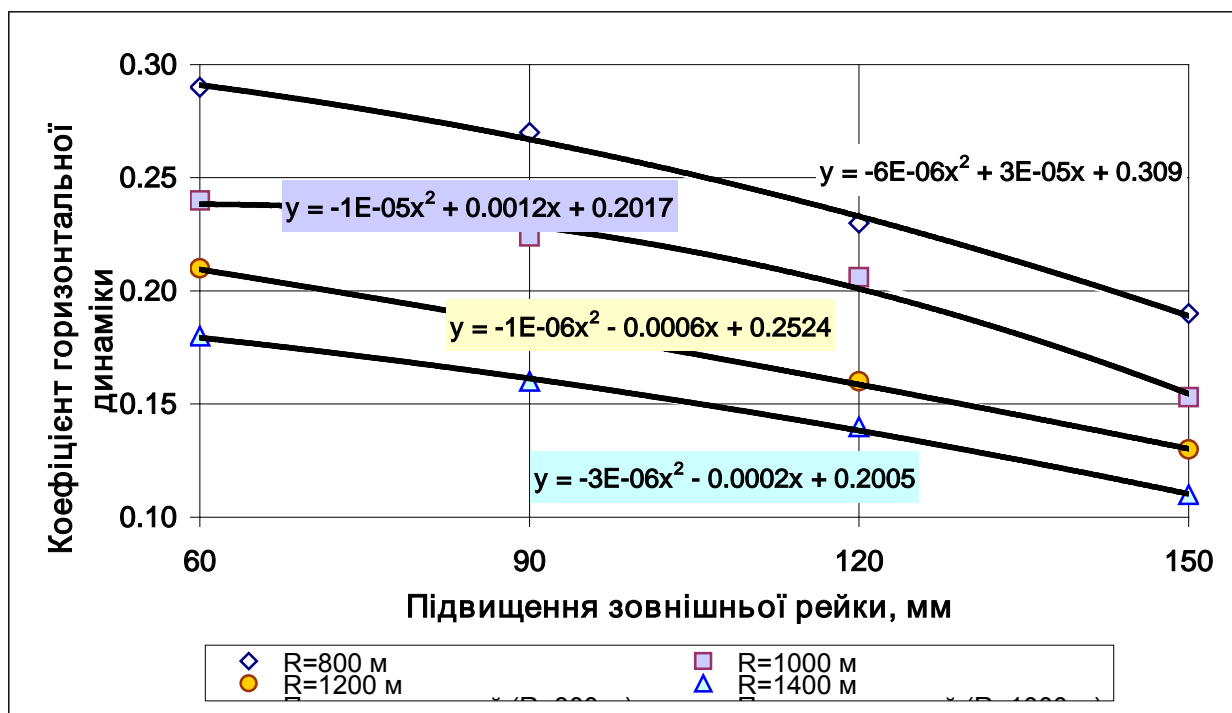


Рисунок 4.9 – Зміна коефіцієнта горизонтальної динаміки в залежності від радіуса кривої і підвищення зовнішньої рейки

4.2.3 Забезпечення стійкості коліс проти вкочення на головку рейки

Стійкість колеса проти вкочення його гребня на рейку залежить від відношення бокової сили Y_B , що передається від колеса на рейку, до вертикальної сили P взаємодії колеса й рейки

$$k_{vko} = \frac{Y_B}{P} > [1,4]. \quad (4.5).$$

Перевірка щодо забезпечення безпеки від сходу коліс з рейок показала, що коефіцієнт запасу стійкості колеса проти вкочення на головку рейки k_{vko} знаходиться в діапазоні 1,7...2,5 для вантажних і більше 2,0 для пасажирських вагонів (рис. 4.10), що перевищує допустиме значення 1,4 при ймовірності 0,01, тобто умова (4.5) теж виконується.

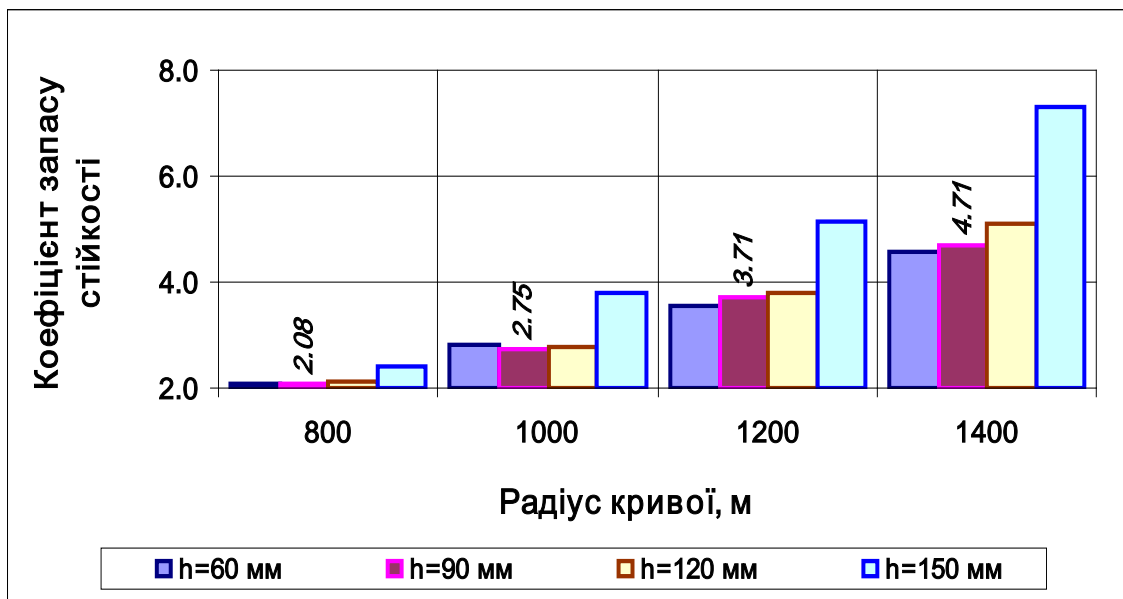


Рисунок 4.10 – Зміна коефіцієнту запасу стійкості проти вкочення на головку рейки

4.2.4 Забезпечення неперевищення непогашених прискорень

Виконання цієї умови розповсюджується на пасажирські й вантажні поїзди, тобто:

– неперевищення непогашених прискорень, спрямованих від центру кривої при проходженні найбільш швидкого поїзда

$$\alpha_{\text{нп пас}} \leq [\alpha_{\text{нп}}]_{\text{зов}} ; \quad (4.6a)$$

– обмеження непогашених прискорень, спрямованих усередину кривої при проходженні вантажного поїзда з найменшою швидкістю

$$\alpha_{\text{нп вантаж}} \leq [\alpha_{\text{нп}}]_{\text{вн}} ; \quad (4.6б),$$

де $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{зов}}$, $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{вн}}$ – допустимі непогашені прискорення відповідно для пасажирських ($\pm 0,7$) і вантажних ($\pm 0,3$) поїздів, м/с^2 [10].

Необхідно підкреслити, що критерій $0,7 \text{ м/с}^2$ є не тільки показником комфортабельності їзди для пасажирів. Усі іспити нового і модернізованого рухомого складу проводяться на основі вимог неперевищення такого прискорення, габарити в кривих прийняті також із умови нахилу кузова на ресорах при $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{зов}} = 0,7 \text{ м/с}^2$ [92]. Таким чином, цей критерій забезпечує і

комфортабельність, безпеку руху і є тим основним показником, за яким встановлюються мінімально допустимі радіуси кругових кривих (рис. 4.7).

Встановлено, що на швидкісних напрямках залізниць з урахуванням суміщеного руху пасажирських і вантажних поїздів, максимальне розрахункове підвищення не повинно перевищувати 90 – 110 мм. Величина максимального підвищення залежить від значення мінімального радіуса кривих, максимальної швидкості пасажирських і мінімальної швидкості вантажних поїздів та ін. факторів. В свою чергу, від прийнятого підвищення залежить мінімальне значення радіусу. Розрахунки показали, що для вище названих умов можна рекомендувати мінімальний радіус 1200 м при встановленій максимальній швидкості 140 км/год і 1500 м – при швидкості 160 км/год.

4.3 Експериментальні дослідження комфортабельності та плавності руху поїздів в кривій

4.3.1 Дослідження характеристик входу і виходу екіпажу зі складової кривої

Для вивчення характеру коливань екіпажів і величини горизонтальних сил, що виникають при проходженні кривих, в дисертаційній роботі був використаний матеріал експериментів, проведених ДНУЗТ на перегоні Ігрень-Ілларіонове регіональної філії «Придніпровська залізниця» [93].

Для проведення експериментальних досліджень була обрана крива радіусом $R = 1100 \dots 1300$ метрів, довжиною 808,55 метрів з підвищенням зовнішньої рейки від 50 до 70 мм.

Конструкція верхньої будови: безстикова колія, рейки типу Р65, шпали залізобетонні, баласт щебеневий, скріплення КБ.

Однією з задач проведення експериментів було дослідження характеристик входу екіпажу в криву і виходу зі складової кривої (рис. 4.11)

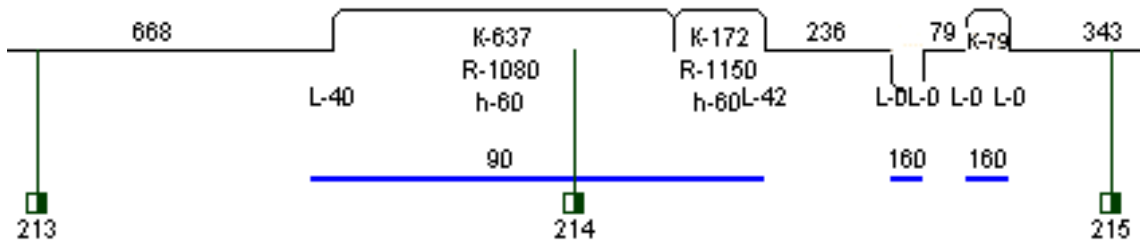


Рисунок 4.11 – План експериментальної ділянки

Конструкція верхньої будови: безстикова колія, рейки типу Р65, шпали залізобетонні, баласт щебеневий, скріплення КБ.

Для подальших досліджень було виділено на кривій чотири характерних ділянки: 1 – перехідна крива, 2 – сполучення перехідної кривої з круговою з кутом в плані, 3 – розладнана кругова крива, 4 – плавна кругова крива (R=1300 м). Точне положення ділянок упродовж кривої показано на рис. 4.12.

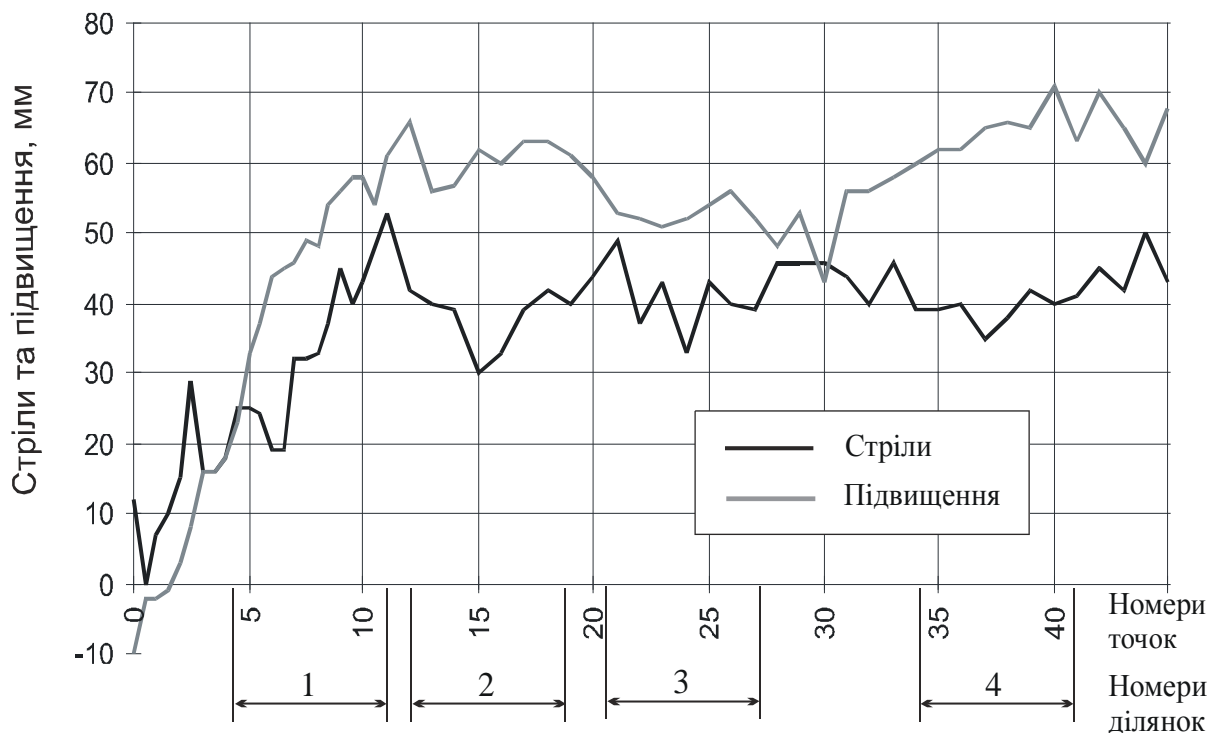


Рисунок 4.12 – Характерні ділянки на кривій для подальшого дослідження

Як дослідний поїзд використовувався зчеп, що складався з локомотива і трьох вагонів: пасажирського (вагон-лабораторія), порожнього вантажного і навантаженого вантажного, рис. 4.13. Датчики встановлювалися на одному з візків кожного вагона



Рисунок 4.13 – Дослідний поїзд

Були обміряні наступні параметри кривої:

– стріли вимірялися хордою 20 м із кроком 5 м у межах перехідної кривої і 10 м в межах кругової кривої в напрямках «туди» і «назад» з наступним усередненням;

– різниця у взаємному положенні рейок за рівнем (підвищення) вимірялося нівелюванням з кроком 5 м і 10 м відповідно до точок виміру стріл.

Для «прив'язки» показань датчиків на колії було встановлено три відмітчика з магнітами, проходження яких фіксувалося котушкою, що була встановлена на одній з букс вагону-лабораторії. Заїзди здійснювалися в напрямках «туди» і «назад» до і після розвороту дослідного поїзда. Загальна кількість заїздів – 65. Швидкість руху дослідного поїзда змінювалась від 40 до 100 км/год. Час запису показань датчиків вагонів складав 30 секунд.

Дійсна швидкість руху визначалася двома способами: за показниками каналу, що фіксував розгорнення колеса, і за часом проходження між відмітчиками. Відчутної відмінності в значеннях швидкостей, визначених різними способами, не встановлено. Також не встановлено відчутного коливання швидкості під час одного заїзду. Для проведення статистичних розрахунків заїзди зі схожими швидкостями об'єднані в шість груп: 40, 45,

65, 75, 85 і 95 км/год. Всередині групи коливання швидкості по заїздах складала ± 2 км/год.

Невелика тривалість запису (30 секунд) обмежувала довжину кривої, можливу для розгляду, особливо при низьких швидкостях (довжина запису в метрах тим менше, чим нижче швидкість руху).

Для отримання картини діючих на екіпаж прискорень (рис. 4.14), були використані методи статистичної обробки даних і розглянуті наступні показники: середня частота коливань, середня амплітуда, середньоквадратичне відхилення значень амплітуди, максимальне спостережене значення амплітуди, середнє значення ординати, табл. 4.2-4.4

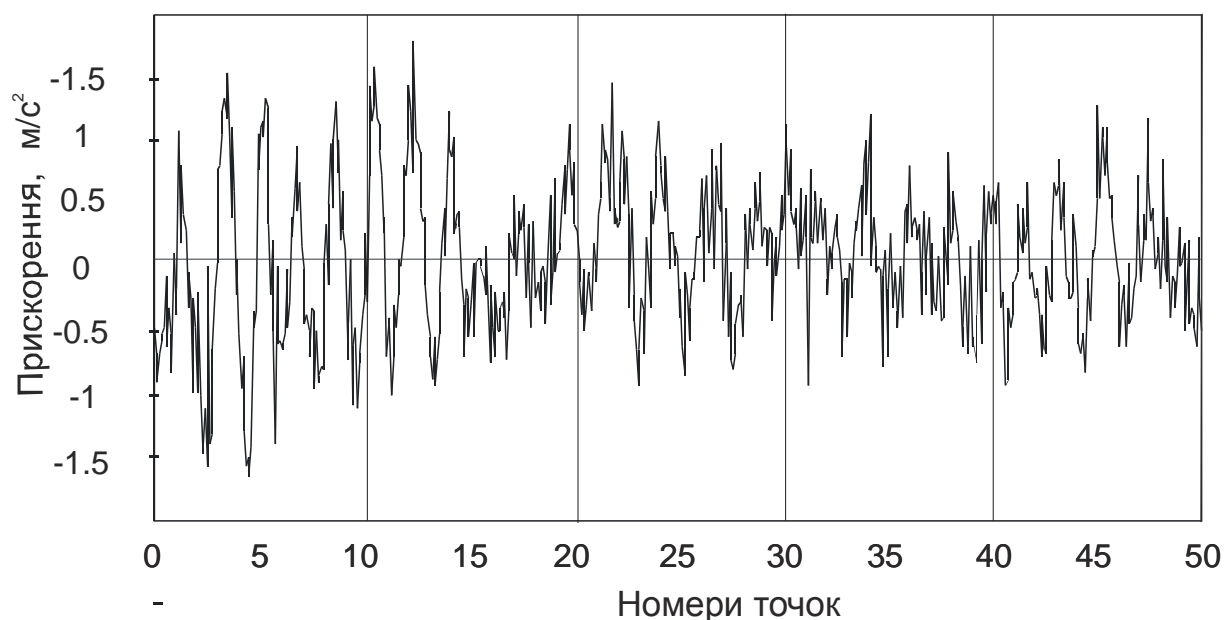


Рисунок 4.14 – Горизонтальні прискорення на шкворні вагона при швидкості 100 км/год

Таблиця 4.2 – Горизонтальне прискорення на шкворні

Показник	Швидкість, км/год	Ділянка			
		1	2	3	4
Амплітуда	45	0,373	0,354	0,283	
	65	0,357	0,404	0,295	0,223
	75	0,772	0,372	0,344	0,288
	85	1,426	0,578	0,422	0,486
	95	1,33	0,628	0,88	0,578

Продовження табл. 4.2

Показник	Швидкість, км/год	Ділянка			
		1	2	3	4
Сер. квадрат відхилення амплітуди	45	0,173	0,189	0,106	
	65	0,205	0,143	0,141	0,126
	75	0,390	0,218	0,201	0,159
	85	0,256	0,122	0,253	0,168
	95	0,406	0,428	0,301	0,192

Виміри сил проводилися за загально прийнятою методикою проведення натурних експериментів: вертикальні сили вимірювалися за допомогою вертикальних датчиків, встановлених на шийці рейки, горизонтальні сили визначалися методом, запропонованим професором О. П. Єршовим [96], на основі вимірів кромочних напружень у трьох характерних точках перетину рейки.

Таблиця 4.3 – Вертикальні сили

Показник	Швидкість, км/год	Ділянка			
		1	2	3	4
Максимальна ордината	45	84,996	84,514	82,366	
	65	82,765	82,72	78,528	84,244
	75	83,292	78,966	76,143	76,735
	85	82,116	78,316	74,748	77,673
	95	82,283	75,179	74,819	72,189
Сер. квадрат відхилення ординати	45	4,080	4,090	1,808	
	65	3,853	4,128	2,994	2,809
	75	5,121	4,662	3,864	3,812
	85	6,223	4,414	4,001	3,984
	95	5,41	4,387	3,522	2,932

Таблиця 4.4 – Горизонтальні сили

Показник	Швидкість, км/год	Ділянка			
		1	2	3	4
Максимальна ордината	45	32,487	30,868	31,668	
	65	34,457	32,858	29,113	28,196
	75	49,105	45,087	54,975	44,092
	85	54,195	48,246	50,88	46,706
	95	81,267	80,292	93,808	73,719
Сер. квадрат відхилення ординати	45	12,895	12,905	3,169	
	65	7,959	7,731	8,318	3,911
	75	12,917	13,393	13,579	11,231
	85	15,495	11,343	9,926	11,841
	95	21,713	18,228	19,184	14,02

Встановлено, що найменші значення прискорень і сил спостерігаються на експериментальній ділянці (4), яка утримується відповідно до встановлених норм. При підвищенні швидкості руху середнє значення та амплітуда коливань горизонтальних сил збільшуються на всіх ділянках експериментальної кривої в такій послідовності: плавна кругова (4), перехідна з кутом в плані (2), не виправлена кругова (3), перехідна крива (1)

На підставі даних, отриманих за результатами експерименту, були побудовані графіки залежності середніх значень амплітуди коливань, дисперсії амплітуди та середніх значень ординат від швидкості руху для чотирьох ділянок кривої та трьох типів вагонів (рисунок 4.15 – 4.17).

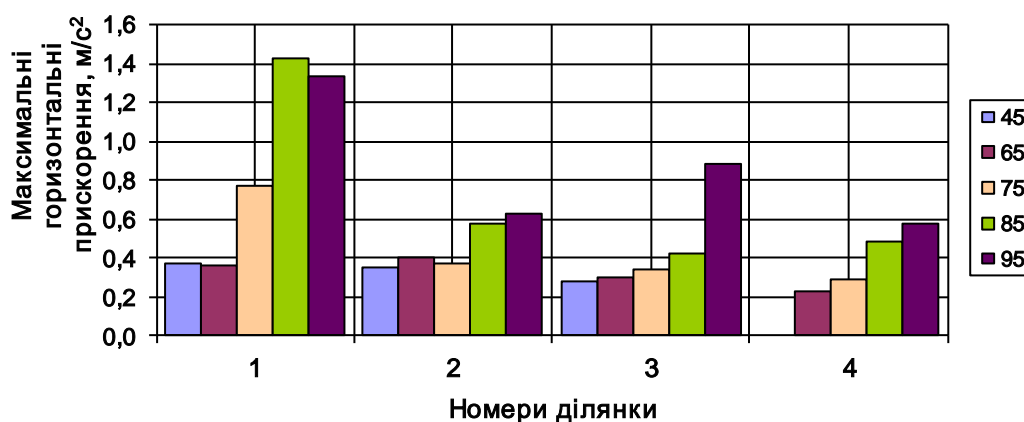


Рисунок 4.15 – Максимальні спостережені значення горизонтальних прискорень

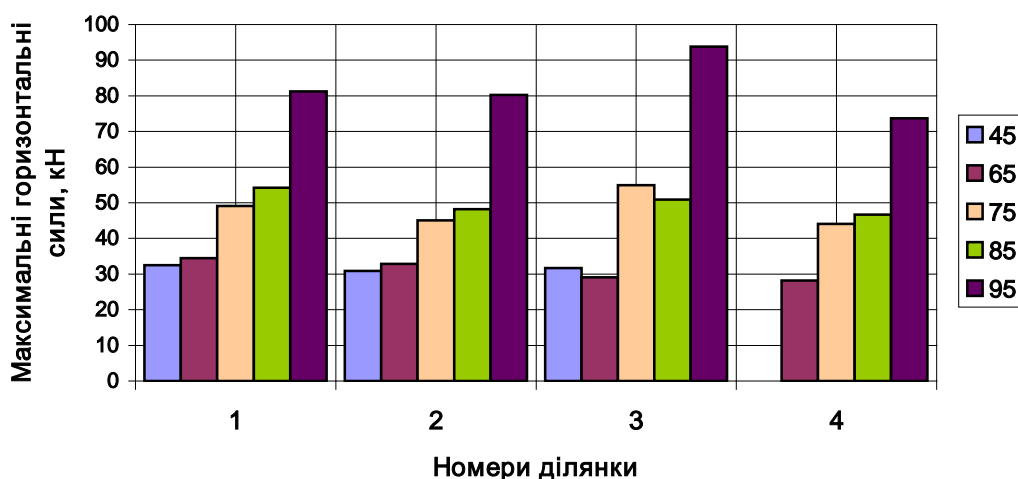


Рисунок 4.16 – Максимальні спостережені значення горизонтальних сил

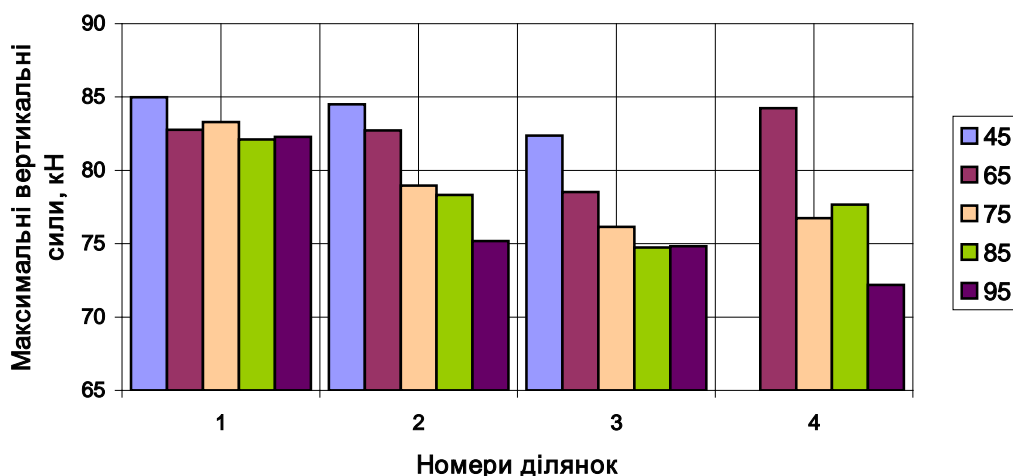


Рисунок 4.17 – Максимальні спостережені значення вертикальних сил

Аналіз даних (див. табл. 4.2 – 4.4) і графіків (див. рис. 4.15 – 4.17) дозволяють зробити такі висновки:

- максимальні горизонтальні прискорення спостерігаються на ділянці (1) розладнаної перехідної кривої, а максимальні горизонтальні сили – на ділянці (3) розладнаної кругової кривої;
- найменші значення прискорень і сил спостерігаються на ділянці (4), яка утримується відповідно до встановлених норм;
- на величину вертикальної сили стан кривої впливає несуттєво і величина цієї сили знаходиться в діапазоні 75-85 кН;
- значення амплітуди і дисперсії горизонтальних прискорень

збільшуються при підвищенні швидкості руху;

– при підвищенні швидкості руху середнє значення та амплітуда коливань горизонтальних сил збільшуються на всіх ділянках кривої в такій послідовності: плавна кругова (4), сполучення перехідної кривої з круговою з кутом в плані (2), розладнана кругова (3), перехідна крива (1).

4.3.2 Підвищення швидкості за рахунок перебудови кривих

Щоб підтвердити результати теоретичних досліджень і проведеного експерименту, було розглянуто п'ять кривих (таблиця 4.5), що знаходяться на перегоні Верхівцеве – Верхньодніпровськ.

Таблиця 4.5 – Параметри кривих до і після їх перебудови

Місце знаходження, км	До реконструкції				Після реконструкції			
	Параметри кривої			$V_{\text{доп}}$, км/год	Параметри кривої			$V_{\text{доп}}$, км/год
	R, м	h, мм	L, м		R, м	h, мм	L, м	
76-77	1052	100	100	130	1200	90	120	140
121-122	1048	80	85	125	1200	90	120	140
126-127	1064	60	80	120	1200	90	120	140
128-129	1039	75	100	125	1200	90	120	140
130-131	853	60	100	110	900	90	120	120

Зміна параметрів кривих (табл. 4.5) надає можливість встановити швидкість на цьому перегоні до 140 км/год на довжині 8 км з урахуванням необхідного розгону від станції Верхівцеве, що вже може бути практично реалізовано.

4.3.3 Експериментальні дослідження стану кривої

Експериментальні поїздки були проведені на ділянці Київ-Миронівка регіональної філії «Південно-Західна залізниця» на прямій і на кривій [94].
Характеристика прямої: безстикова колія, рейки Р65, шпали залізобетонні покладені на щебеневиї баласт. *Характеристика кривої:* радіус 1400 м, перехідні криві по 140 м, підвищення зовнішньої рейки 70 мм. Стан кривої оцінювався за даними колієвимірювального вагона по шаблону, рівню і в

плані по стрілам вигину через 10 м від 20-метрової хорди.

Експериментальний поїзд був сформований з електровозів ЧС8 (в голові і хвості поїзда) і двох нових пасажирських вагонів (рис. 4.18).

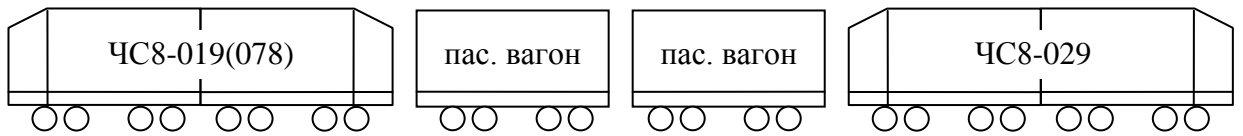


Рисунок 4.18 – Схема дослідного поїзду

Поїздки здійснювались човником із швидкістю від 100 до 160 км/год. На пасажирському вагоні були встановлені датчики (рис. 4.19), за допомогою яких велись записи по 20-ти каналам (табл. 4.6).

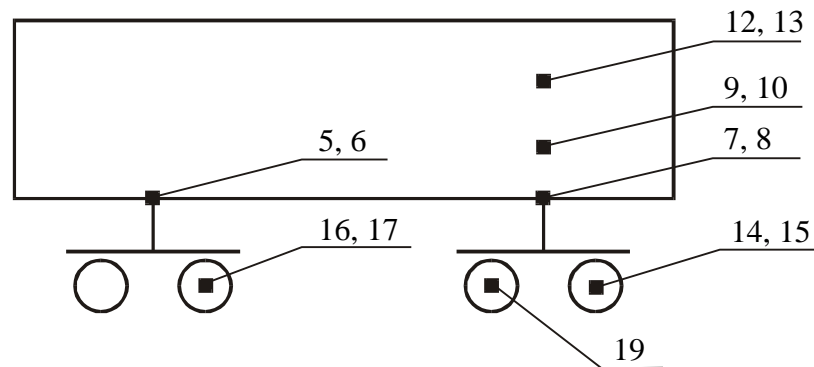


Рисунок 4.19 – Розстановка датчиків на вагоні

Таблиця 4.6 – Експериментальні дані, що отримувались по 20-ти каналам

Номер каналу	Вимірювальна величина	
1	φ	кут повороту візка відносно кузова
2	f_1	прогин правого ресорного комплекту
3	f_2	прогин лівого ресорного комплекту
5	y_{u2}	горизонтальне прискорення на 2-му шкворені
6	z_{u2}	вертикальне прискорення на 2-му шкворені
7	y_{u1}	горизонтальні прискорення на 1-му шкворені
8	z_{u1}	вертикальне прискорення на 1-му шкворені
9	y_n	горизонтальне прискорення на нижній полиці
10	z_n	вертикальне прискорення на нижній полиці
12	z_e	вертикальне прискорення на верхній полиці
13	y_e	горизонтальне прискорення на верхній полиці

Продовження табл. 4.6

Номер каналу	Вимірювальна величина	
14	$y_{\delta 1}$	горизонтальне прискорення на 1-й буксі
15	$z_{\delta 1}$	вертикальне прискорення на 1-й буксі
16	$z_{\delta 2}$	вертикальне прискорення на 2-й буксі
17	$y_{\delta 2}$	горизонтальне прискорення на 2-й буксі
19		відмітчик (прив'язка до кривої на місцевості)
20		розгортка колеса

Для прив'язки виміряних даних до плану лінії були встановлені три відмітчика (рисунок 4.20).

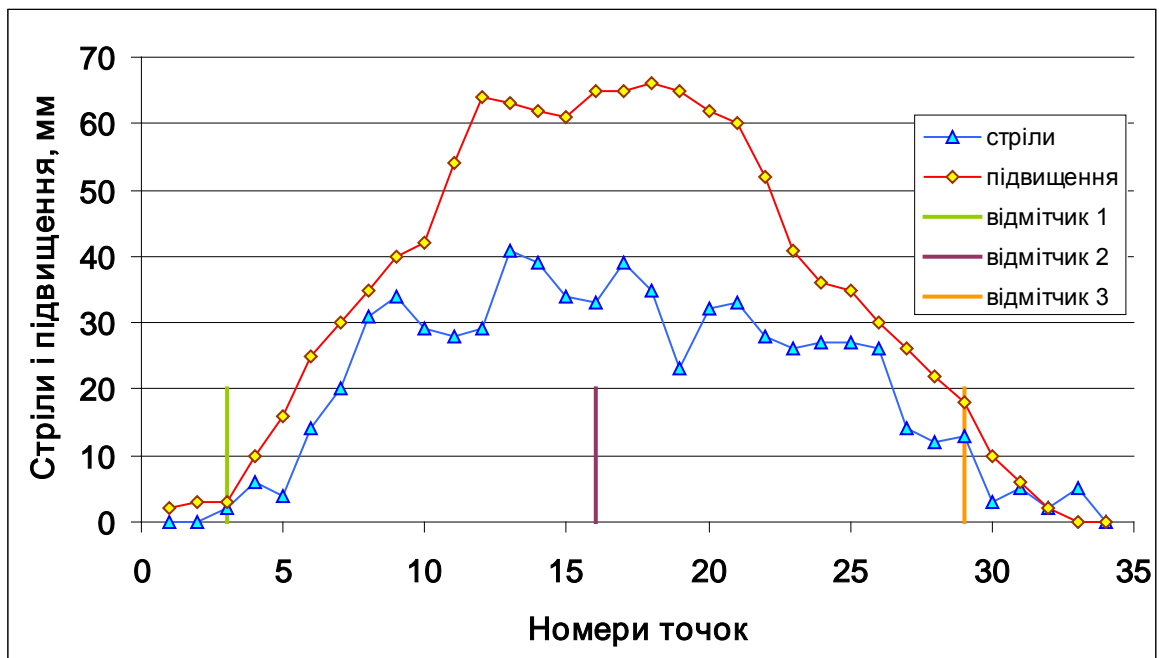


Рисунок 4.20 – Стріли вигину і підвищення зовнішньої рейки кривої з прив'язкою до відмітчиків

Частота запису складала 273 Гц, тобто між моментами фіксації показань проходило приблизно 0,0037 с. Тривалість запису 30 с. Фіксувались високочастотні коливання вимірюваних величин і їхні пікові значення – великі за величиною і короткочасні за часом дії. Кожний запис складався із 8190 точок.

Щоб зменшити вплив пікових сплесків на картину вимірів при обробці експериментальних даних, були прийняті для кожної точки

усереднені значення вимірів на часовому інтервалі тривалістю $T \cdot (2k+1)$ секунд, де T – часова відстань між сусідніми точками.

Нижче наведено приклад запису горизонтальних прискорень у вагоні на рівні нижньої полиці при швидкості руху 160 км/год (рис. 4.21) і на рівні букси (рисунок 4.22) до і після процесу згладжування.

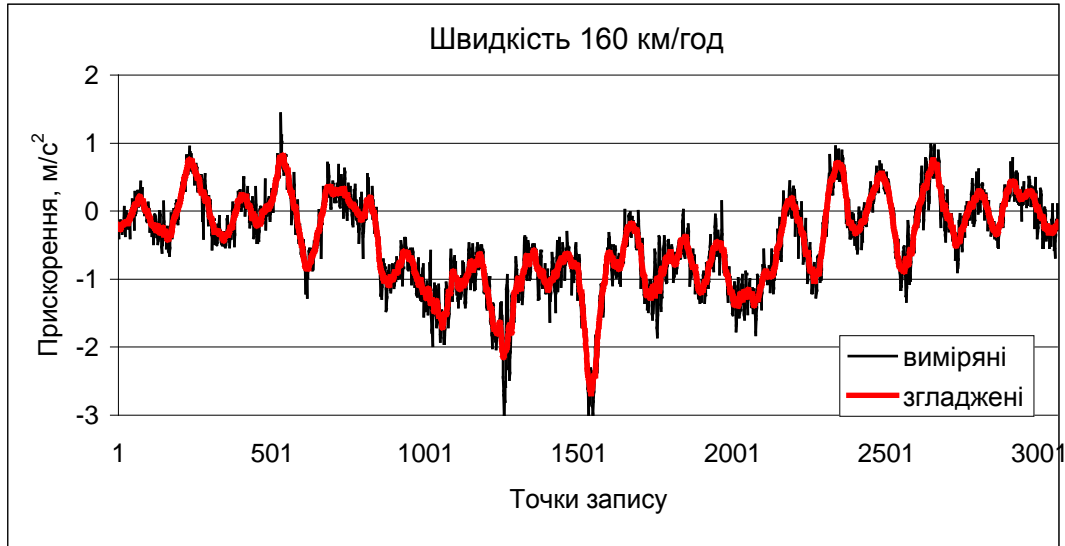


Рисунок 4.21 – Горизонтальні прискорення у вагоні на рівні нижньої полиці до і після згладжування

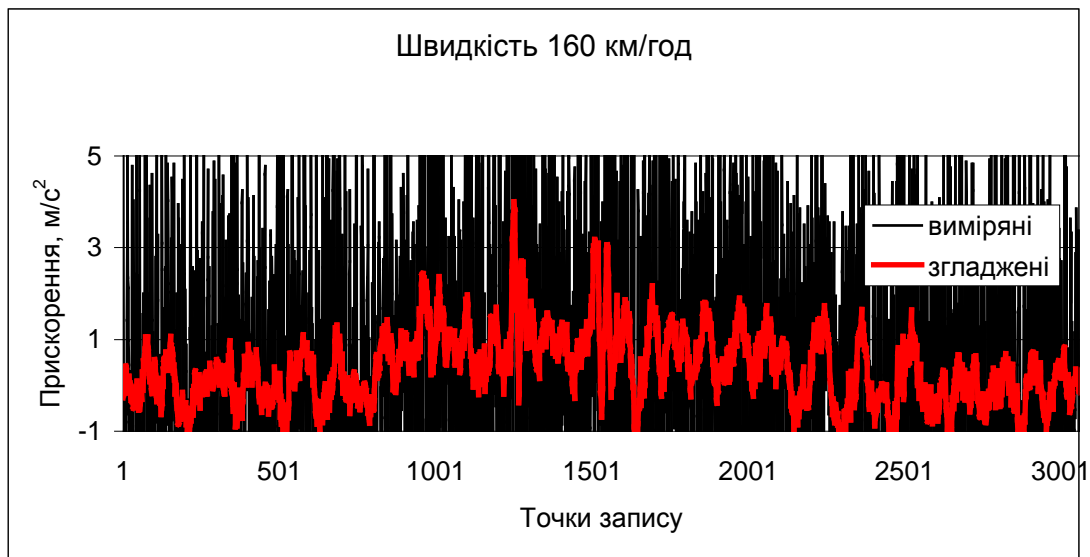


Рисунок 4.22 – Горизонтальні прискорення на буксі до і після згладжування

Довжина запису в експерименті 500 м (100 м до першого відмітчика і 140 після третього). Таким чином, відстань між точками в даному прикладі складає приблизно 0,16 м.

Після обробки записів по всіх каналах, горизонтальна ордината кожного запису відповідає горизонтальній ординаті кривої в момент проходження над нею відповідного датчика. З урахуванням розташування відмітчиків по датчиках була встановлена точна швидкість руху вагона для кожного з заїздів (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7 – Заявлена, розрахункова і прийнята швидкості руху

Номер заїзду	Швидкість руху, км/год				прийнята для розрахунків
	заявлена при заїзді	розрахована на ділянках між відмітчиками			
		1-2	2-3	1-3	
23	100	104	101	102	100
24	100	111	107	109	110
32	120	129	125	127	125
33	120	126	122	124	125
40	130	141	136	138	140
41	130	136	131	133	135
58	140	143	139	141	140
59	140	147	142	145	145
67	150	159	153	156	155
68	150	161	156	159	160
71	155	165	160	162	160
72	155	164	158	161	160

Крива ділянка, де проводились випробування при швидкості руху до 160 км/год не відповідала доброму стану утримання колії. Максимальне значення алгебраїчної різниці стріл вигину $\Delta f_{\max} = 12$ мм, тобто $\Delta f = f_{n-1} - f_n > [f]$ більше, ніж допускається існуючими нормами [79]. Але такий підхід до випробувань взаємодії рухомого складу і колії дозволив вирішити ряд задач, в тому числі по встановленню норм утримання кривих на ділянках швидкісного руху.

При обробці матеріалів експерименту на кривій було виділено чотири характерних ділянки з характеристиками що наведені в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Характеристика виділених на кривій ділянок для аналізу

Ділянка	Точки кривої	Середній радіус, $R_{сер}$	Різниця стріл Δf , мм	Різниця підвищень Δh , мм
1	6 – 8	3500	8,5	5,0
2	16 – 18	1409	5,0	0,5
3	18 – 20	1722	10,5	2,0
4	22 – 24	1854	1,5	8,0

Якщо не враховувати нерівності, що мають місце в плані й профілі, то розрахункове непогашене прискорення (назвемо його статичним) можна визначити за формулою

$$\alpha_{nn}^{стат} = \frac{V^2}{3.6^2 \rho_0} - \frac{gh_0}{s}. \quad (4.3)$$

Реально, фактичний радіус і підвищення зовнішньої рейки мають відхилення від розрахункового значення в тій чи іншій точці кривої, тобто $\rho = \rho_0 + \Delta\rho$ і $h = h_0 + \Delta h$. І тоді формула (4.3) прийме вид

$$\alpha_{nn}^{дин} = \frac{V^2}{3.6^2 (\rho_0 + \Delta\rho)} - \frac{g(h_0 + \Delta h)}{s}$$

або $\alpha_{nn}^{дин} = \alpha_{nn}^{стат} + \Delta\alpha_{nn}^{дин}$. (4.4)

На рисунках 4.23 – 4.26 показані усереднені на кожній ділянці динамічні непогашені прискорення, які отримані в експерименті і враховують нерівності колії, і статичні, розраховані за формулою (4.3).

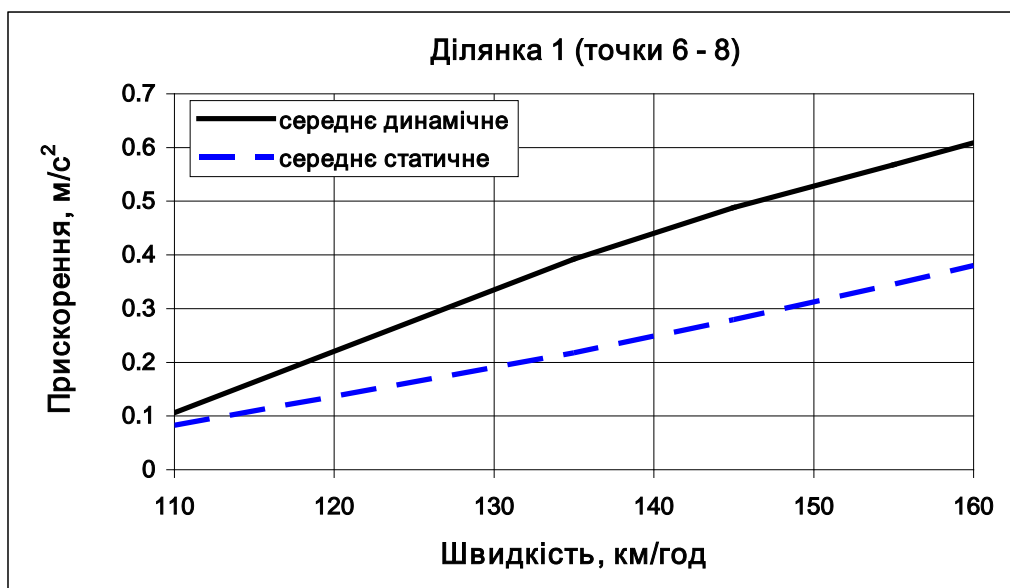


Рисунок 4.23 – Залежність середніх прискорень від швидкості руху на 1-й ділянці кривої

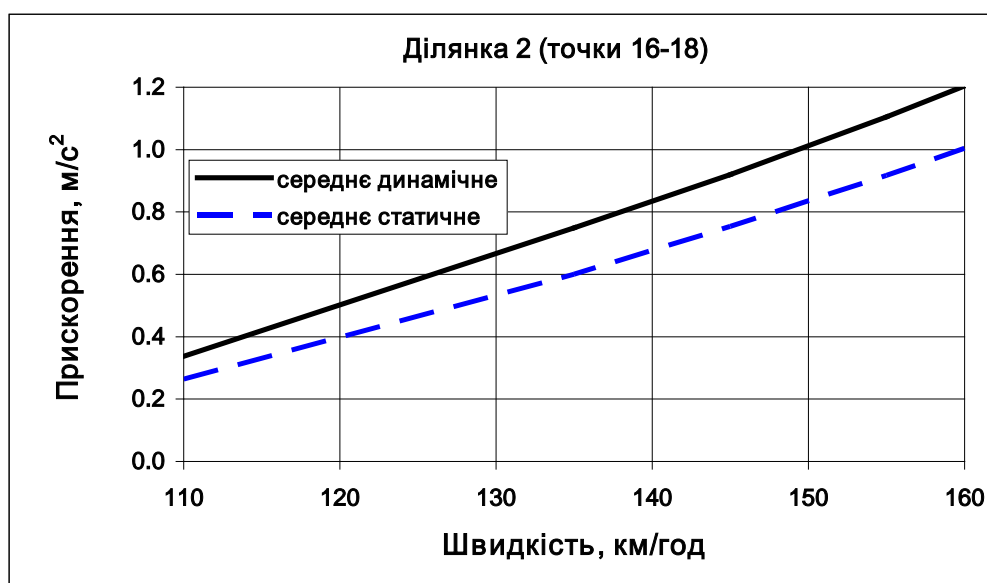


Рисунок 4.24 – Залежність середніх прискорень від швидкості руху на 2-й ділянці кривої

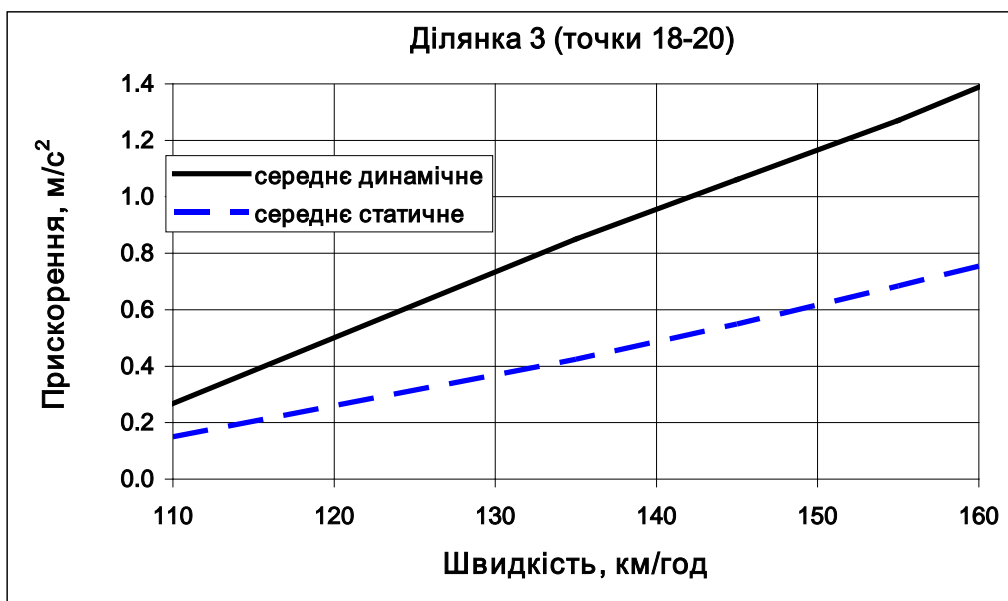


Рисунок 4.25 – Залежність середніх прискорень від швидкості руху на 3-й ділянці кривої

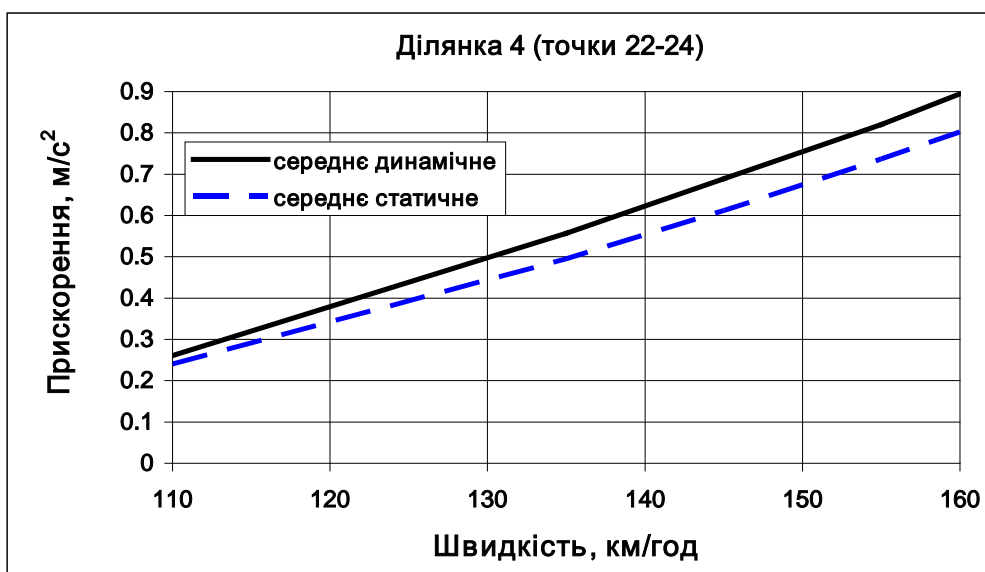


Рисунок 4.26 – Залежність середніх прискорень від швидкості руху на 4-й ділянці кривої

Як видно з графіків (рис. 4.23 – 4.26), із збільшенням швидкості руху різниця між непогашеними прискореннями (динамічними і статичними) росте і може бути описана за лінійним законом (таблиця 4.9).

Таблиця 4.9 – Аналітична залежність різниці непогашених прискорень $\Delta\alpha_{nn}^{дин}$ від швидкості руху для різних ділянок кривої

Ділянка	Точки кривої	Формула
1	6 – 8	$\Delta\alpha_{nn}^{дин} = 0,0022V - 0,10$
2	16 – 18	$\Delta\alpha_{nn}^{дин} = 0,0025V - 0,20$
3	18 – 20	$\Delta\alpha_{nn}^{дин} = 0,0102V - 1,00$
4	22 – 24	$\Delta\alpha_{nn}^{дин} = 0,0014V - 0,13$

За результатами розрахунків, отриманих за формулами (див. табл. 4.9), побудовані графіки (рисунок 4.27).

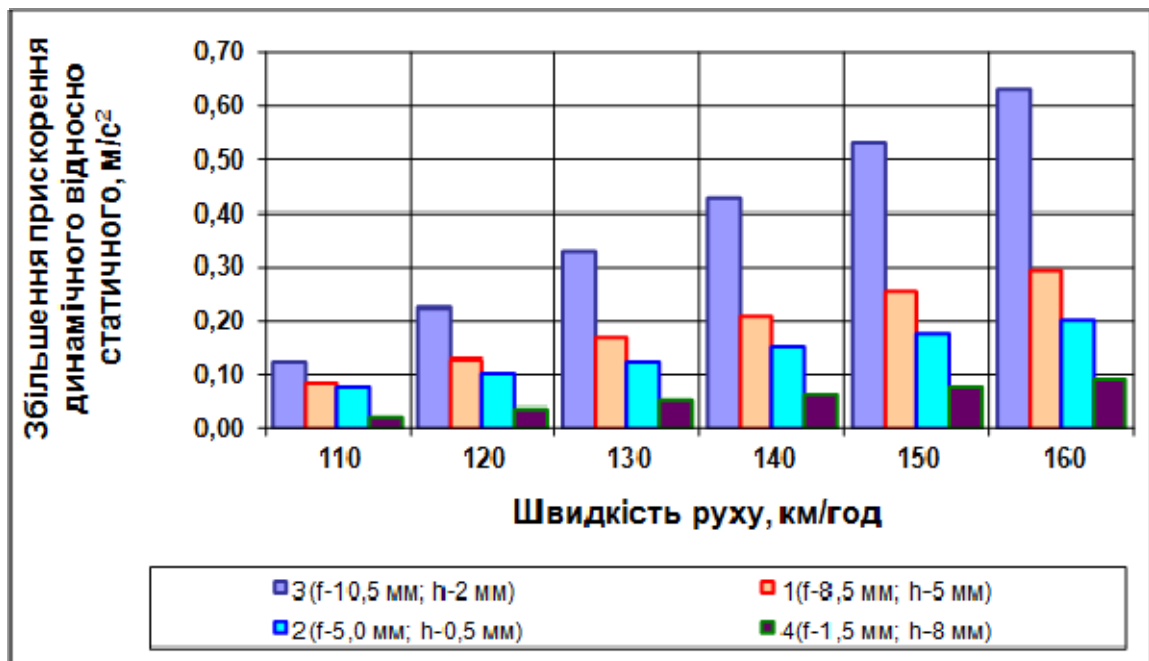


Рисунок 4.27 – Зростання різниці непогашених прискорень $\Delta\alpha_{nn}^{дин}$ від швидкості руху для різних ділянок кривої

Аналіз графіків показав, що при збільшенні швидкості все сильніше впливають нерівності колії на динамічну складову $\Delta\alpha_{nn}^{дин}$, яка приводить до зростання непогашеного прискорення. З нерівностей, що мають місце в плані і профілі більш суттєвими є планові, питома вага яких становить близько 80% від загального значення непогашених прискорень при швидкості руху 160 км/год [95].

Проведений експеримент підтвердив теоретично встановлені вимоги до утримання кривих на ділянках швидкісного руху [79]. Щоб різниця між динамічними і статичними непогашеними прискореннями $\Delta\alpha_{nn}^{дин}$ не перевищувала 5% різниця стріл вигину в кривих Δf повинна бути не більше 2 мм. При різниці $\Delta\alpha = 10-15\%$ допустима різниця стріл вигину Δf дорівнює 4-5 мм. При різниці стріл 10-12 мм динамічне непогашене прискорення в окремих випадках збільшується вдвічі відносно статичного, що є недопустимим на ділянках швидкісного руху (рисунок 4.28).

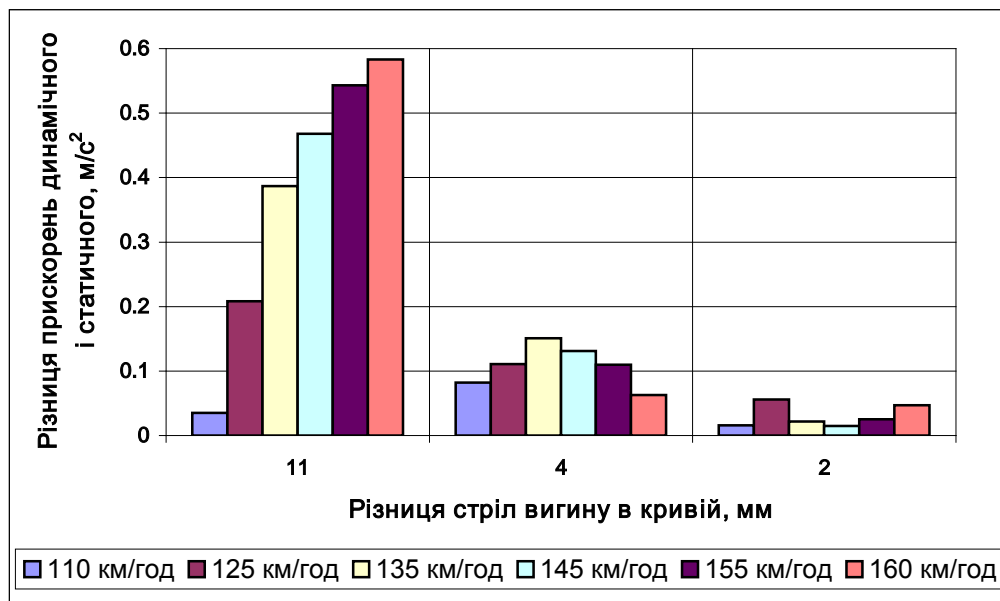


Рисунок 4.28 – Зростання різниці непогашених прискорень $\Delta\alpha_{nn}^{дин}$ в залежності від різниці стріл вигину в кривій при різних швидкостях руху

4.3.4 Експериментальні дослідження бокових сил в кривих

За отриманими експериментально величинами кромочних напружень у подошві й у зовнішній грані головки рейки були визначені бокові сил, що передаються від екіпажів на рейки за методикою Ершкова О.П. [96]

$$Y_o = B \cdot \sigma_H^n \quad (4.5)$$

де Y_o – бокові сили, що виникають у колії;

B – коефіцієнт для визначення бокових сил;

σ_H^n – напруження, що виникають у зовнішньої крайці подошви рейок від дії бокових сил.

$$\text{для рейок типу Р65 } B = 2,19 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[3]{\beta_y^2},$$

$$\text{для рейок типу UIC 60 } B = 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[3]{\beta_y^2},$$

де β_y^2 – горизонтальна жорсткість по головці рейки.

В таблиці 4.10 і на рисунку 4.29 показані максимально ймовірні (H_{max}^6) значення бокових сил на прямій і в кривій радіусом 1400 м, а також значення напружень в підшві рейки.

Таблиця 4.10 – Значення бокових сил і напружень у кромках підшви рейок

Показники	Один. виміру	Значення бокових сил і напружень у кромках підшви рейок для швидкостей руху, км/год					
		100	120	130	140	150	160
пряма ділянка							
H_{max}^6	кН	10,8	11,3	11,6	13,0	18,5	18,6
σ_{max}^6	МПа	71,1	74,6	83,2	84,4	90,5	91,0
крива радіусом 1400 м							
H_{max}^6	кН	12,0	14,7	16,7	18,4	22,9	24,2
σ_{max}^6	МПа	80,2	83,4	88,7	95,1	104,8	106,7
зростання бокових сил і напружень відносно прямої							
H_{max}^6	%	11,1	30,1	44,0	41,5	23,8	30,1
σ_{max}^6	%	12,8	11,8	6,6	12,7	15,8	19,9

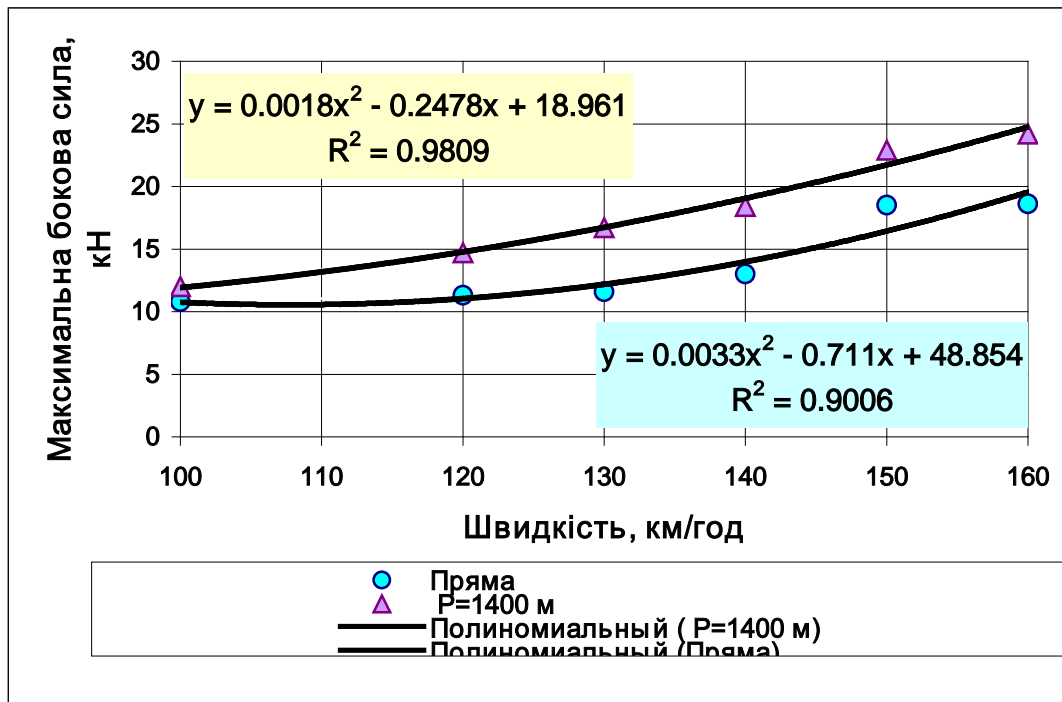


Рисунок 4.29 – Залежність бокових сил від швидкості руху

Аналіз таблиці 4.10 і графіків (рис. 4.29) показав, що на дослідних ділянках спостерігається близька до квадратичної залежність величини бокових сил від швидкості руху і непогашених прискорень. Експериментальні дані підтверджують аналітичні розрахунки, що представлені в цьому розділі.

4.4 Висновки до розділу 4

1. При перебудові залізниці під швидкісну і встановленні раціональних параметрів кривих, слід враховувати не тільки умови безпеки руху і комфортності їзди (неперевищення непогашених прискорень), але й умови оптимальної роботи колії, що забезпечуються при мінімальній дії бічних сил, напружень у кромках підшви рейок та ін.

2. Отримані в дослідженні аналітичні й експериментальні залежності достатньо точно характеризують вплив основних факторів (типу рухомого складу, швидкості руху, стану залізничної колії тощо) на величину направляючих, рамних і бокових сил, що виникають при проходженні екіпажу по кривій.

3. Найменші значення прискорень і сил спостерігаються на

експериментальній ділянці (4), яка утримується відповідно до встановлених норм. При підвищенні швидкості руху середнє значення та амплітуда коливань горизонтальних сил збільшуються на всіх ділянках експериментальної кривої в такій послідовності: плавна кругова (4), сполучення перехідної кривої з круговою з кутом в плані (2), розладнана кругова (3), перехідна крива (1).

4. Аналізуючи весь спектр норм по утриманню кривих і результати отриманих розрахунків за статичними й динамічними критеріями, встановлено, що значення різниці суміжних стріл, що були наведені раніше в нормативних документах, не можуть бути рекомендовані для високих швидкостей руху. При швидкостях руху більше 160 км/год допустиме значення різниці суміжних стріл складає 2 мм, що граничить з технічно можливою точністю утримання кривої (за технологією вимірів і рихтування). Очевидно, у цих випадках норма на утримання кривих повинна встановлюватися, виходячи з точності діючої методики виміру, а допустима швидкість руху визначатися з урахуванням можливих відступів від проектного положення кривої.

5. На основі аналізу отриманих з використанням моделі і експериментальних даних встановлено, що максимально імовірні кромочні напруження досягають 200...220 МПа в кривих радіусом 1000 м і не перевищують допустимого значення 240 МПа. В кривих радіусом 1400, 1800 м при швидкості 160 км/год напруження зменшуються і становлять відповідно 160 і 135 МПа.

6. Максимальна бокова сила в кривих радіусом 1000 м складає від 37 до 42 кН в залежності від підвищення зовнішньої рейки і довжини перехідних кривих. При збільшенні радіусів бокова сила зменшується і становить при радіусі 1500 м 17-22 кН.

7. При радіусі 1000 м значення коефіцієнта стійкості рейко-шпальної решітки в колії з щебневим баластом становить 0,7...0,8, що менше допустимого значення. Коефіцієнт горизонтальної динаміки колії, який

можна вважати критерієм безпеки від зсуву рейко-шпальної решітки, не перевищує допустимого значення 0,4 в кривих радіусом 1000...1200 м. При таких радіусах забезпечується також стійкість коліс проти вкочення на головку рейки.

8. Визначальною умовою для встановлення мінімального радіуса є неперевикнення допустимих непогашених прискорень. При такому радіусі кривої будуть забезпечені всі інші вимоги, тобто міцність елементів верхньої будови колії, стійкість рейко-шпальної решітки поперечному зсуву й стійкість коліс проти вкочення їхніх гребенів на головку рейки.

9. При обґрунтуванні величини мінімального радіусу кривої швидкості руху поїздів різних категорій повинні встановлюватись у взаємозв'язку з потужністю локомотивів, масою рухомого складу і заданою максимальною швидкістю руху пасажирських. Результати досліджень щодо обґрунтування й вибору мінімальних радіусів кривих були використані на Придніпровській і Південній залізницях при розробці заходів з впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів відповідно до плану Укрзалізниці.

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЛАНУ ЛІНІЇ ПРИ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА НАПРЯМКАХ ШВИДКІСНОГО РУХУ ПОЇЗДІВ

5.1 Економічне поняття раціональних параметрів кривих

З погляду цього питання раціональними можна вважати такі параметри кривих, при яких окупаються витрати на їх реалізацію [46]. В дисертаційній роботі при визначенні раціональних параметрів кривих враховувались фактори, що обумовлюються, по-перше, взаємодією рухомого поїзда й об'єктів інфраструктури, і, по-друге, умовами організації перевізного процесу. До таких факторів віднесені:

- конструкційна швидкість поїзда, що обертається на ділянці, і можливість її реалізації за реальними тяговими характеристиками локомотивів;

- наявність місць з обмеженнями швидкості руху, рівень обмежень і взаємне розташування цих місць;

- маси поїздів на ділянці і їхнє співвідношення з можливими по тягових характеристиках локомотивів значеннями.

На вибір раціональних параметрів кривих впливають нормативи устрою і утримання об'єктів інфраструктури і витрати на їхнє технічне обслуговування, співвідношення швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів у кривих, установлені виходячи з вимог мінімізації інтенсивності зносу і розладів колії, можливість зменшення витрат на технічне обслуговування об'єктів інфраструктури в частині, що залежить від швидкості руху поїздів.

Для дослідження організації руху поїздів на ділянках кривих, улаштованих з раціональними параметрами, враховувались основні складові ефективності, що наведені на рисунку. 5.1. В результаті проведеного аналізу щодо впливу різних факторів на величину раціональних параметрів кривих встановлено, що оптимум рішення знаходиться з урахуванням реальних

термінів окупності, виходячи із співвідношення між збільшенням доходів від скорочення часу руху.

Очікувана ефективність від застосуванні раціональних параметрів кривих: зменшення витрат на тягу поїздів; зменшення експлуатаційних витрат на обслуговування інфраструктури в частині, що залежить від швидкості; збільшенням витрат на перебудову й модернізацію інфраструктури, а також витрат на забезпечення утримання колії за нормативами, установленими для підвищених швидкостей руху.

Було встановлено, що при вирішенні розглянутої проблеми доцільно виходити з оптимізації часу доставки вантажів або пасажирів, а не швидкості руху.

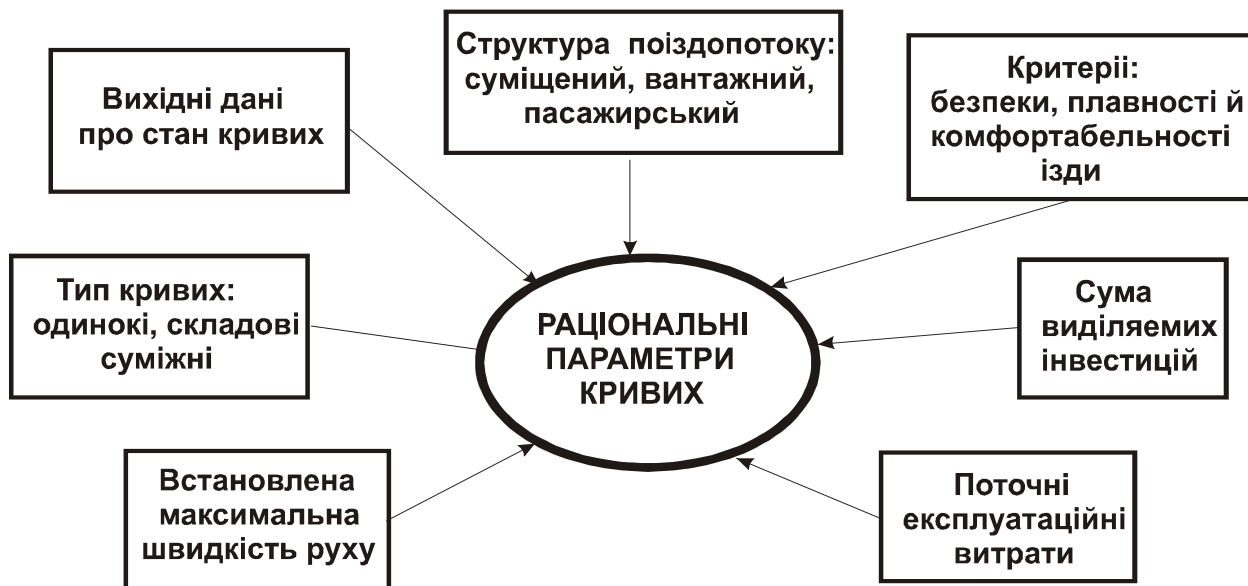


Рисунок 5.1 – Основні фактори, що впливають на вибір раціональних параметрів кривих

У реально існуючих на мережі умовах експлуатації підвищення максимальних швидкостей руху за рахунок перебудови кривих може мати як позитивні, так і негативні наслідки. Це зв'язано з наступними факторами:

– при швидкості 160 км/год середня відстань між місцями з обмеженнями швидкості нижче цього значення складає 5...7 км через наявність обмежень у горловинах станцій, у кривих, а також у місцях ослаблення конструкції колії і виконання колійних робіт. На таких відрізках

поїзд практично не встигає розігнатися. Навіть при наявності ділянок довжиною 10...15 км з максимально дозволеною швидкістю скорочення часу ходу складе 30...40 с, але витрати енергії на тягу поїздів істотно зростають через розгони і гальмування;

– перехід на швидкість 160 км/год замість 120 км/год вимагає застосування більш жорстких нормативів, що відповідним чином збільшує частоту виправочно-рихтувальних робіт;

– підвищення максимальної швидкості вимагає відповідного збільшення підвищення зовнішньої рейки і довжини перехідних кривих.

Так, у кривій радіусом 1500 м при швидкості 160 км/год потрібне підвищення 80 мм, а при швидкості 120 км/год тільки 10 мм. Відповідно повинна змінитися і довжина відводу підвищення, з 20 м до 120 м (допустима крутість відводу при швидкості 160 км/год – 0,67‰ [ЦП-0236]). При цьому неминуче зростають розбіжності відводів підвищення і кривизни.

5.2 Передумови до розв’язання задачі визначення раціональних параметрів кривих

Криві ділянки колії часто є тими бар’єрними місцями, що викликають обмеження швидкості руху. А тому виникає питання, залишити криві з існуючими параметрами чи передбачити перебудову окремих кривих для усунення постійно діючих обмежень швидкості руху. Такі задачі в ряді випадків можуть розглядатись як оптимізаційні. Сформульована таким чином проблема вибору послідовності реконструкції ділянки з метою встановлення максимально допустимих швидкостей руху мала рішення в ряді наукових робіт, наприклад [97-99]. На сьогоднішній день потребує розв’язання задача у більш широкій постановці – визначення раціональних параметрів кривих, а отже максимально допустимих швидкостей для всіх об’єктів, що входять до складу ділянки залізниці.

Для вирішення такої задачі ділянку залізничної колії будемо представляти як множену об’єктів $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots, \omega_n\}$. Окремий i -й об’єкт ω_i – це інфраструктура залізничної колії, рівень швидкості по якій,

обмежується одним конкретним фактором, наприклад, радіус кривої, довжина перехідної кривої, коротка пряма вставка між суміжними кривими тощо.

При такому визначенні об'єкти ω_i можуть бути розташованими як окремо один від іншого, так і бути однією сукупністю. Кожен об'єкт ω_i характеризується місцем розташування L_i (пикетажна прив'язка початку та кінця об'єкта), встановленою швидкістю руху $v_{0i} \in [v_{\min i}; v_{\max i}]$, де $v_{\min i}$ і $v_{\max i}$ – відповідно мінімальна і максимальна можливі швидкості руху по об'єкту.

Таким чином, на встановлення відповідних швидкостей $V^* = \{V_{n.1}, V_{n.2}, \dots, V_{n.i}, \dots, V_{n.n}\}$ на всіх об'єктах ділянки треба вирішити задачу

$$V^* \rightarrow \begin{cases} \Delta t(V^*) \geq \Delta T \\ K(V^*) \rightarrow \min \end{cases}, \quad (5.1)$$

де $\Delta t(V^*)$ – зміна часу руху по ділянці при встановленні швидкостей руху v^* ; ΔT – заплановане скорочення часу руху після реконструкції ділянки.

В цій роботі ставиться задача визначення множини об'єктів $\Omega^* \subseteq \Omega$, які потребують перебудови для забезпечення необхідного скорочення часу руху з мінімальними витратами коштів

$$\Omega^* \subseteq \Omega \rightarrow \begin{cases} \Delta t(\Omega^*) \geq \Delta T \\ K(\Omega^*) \rightarrow \min \end{cases} \quad (5.2)$$

При цьому кожен об'єкт характеризується двома станами – швидкістю руху до і після можливої перебудови і відповідно вартістю такої операції.

Задача ускладнюється тим, що функція $\Delta t(v_{ij})$ може бути визначена тільки за результатами тягових розрахунків і не є адитивною, бо на її значення будуть впливати технічні стани суміжних об'єктів. Докладно це питання було розглянуто в роботі [100] і запропоновано рішення задачі (5.2) для неадитивної функції скорочення часу руху з використанням методики оптимізації функцій множини, розробленої проф. А. А. Босовим [101].

Розглянуті підходи до вирішення проблеми потребують застосування складного математичного апарату, відповідних програм, великої кількості

вихідних даних.

Для розрахунку економічних характеристик ефективності потрібно визначити тягово-енергетичні показники, точне значення яких може бути встановлено тяговими розрахунками. На конкретних напрямках кількість обмежень швидкості може складати від декількох до десятків. Виконання тягових розрахунків для різних типів локомотивів, маси рухомого складу, рівня швидкості і комбінацій усунення ділянок з обмеженнями потребує великих витрат часу. А тому постало питання, як провести економічну оцінку на стадії оперативного прийняття інженерного рішення. Автором запропоновано спрощене вирішення задачі економічної оцінки [102].

Для різних вихідних даних і умов експлуатації були отримані залежності тягово-енергетичних показників у вигляді таблиць і графіків, що є достатнім для проведення попередньої оцінки економічної ефективності усунення обмеження швидкості. Так як досліджуються напрямки руху з суміщеним рухом поїздів, то для прикладу, на рис. 5.2 показані графіки витрат електроенергії на тягу вантажного поїзда масою 4000 т з локомотивом ДЕ1 при різній довжині $L_{обм}$ з обмеженням швидкості $V_{обм} = 40$ км/год.

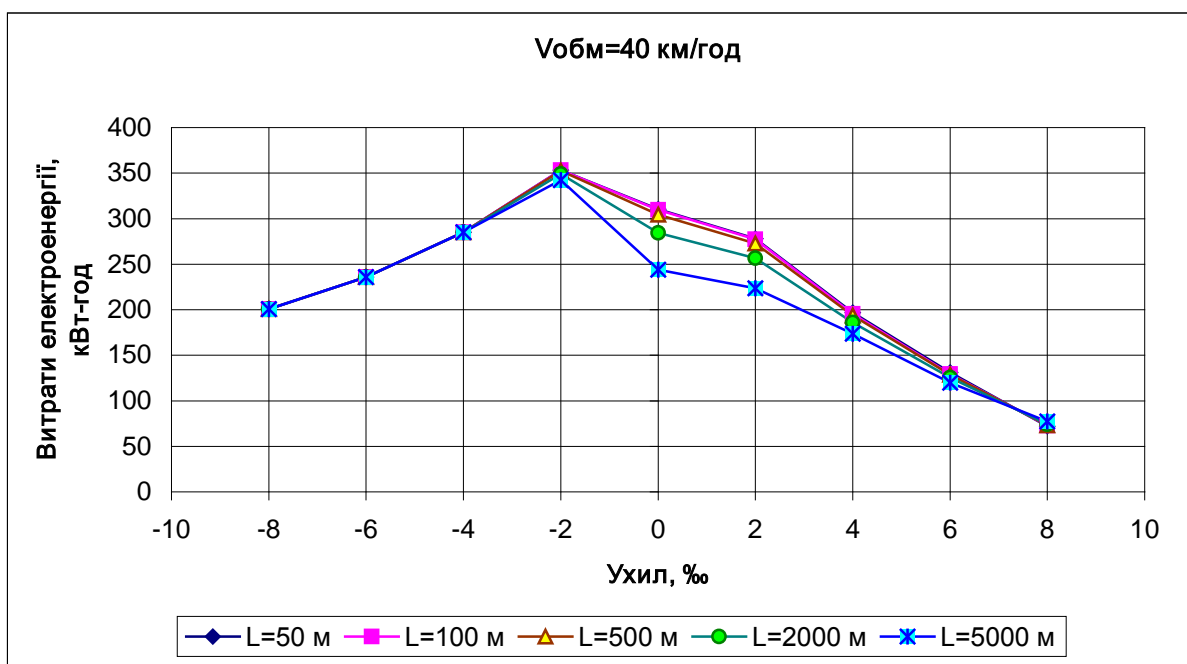


Рисунок 5.2 – Витрати електроенергії при наявності обмеження швидкості 40 км/год

На витрати електроенергії крім інших факторів впливає режим руху поїзда, який, в свою чергу, залежить від маси поїзда й профілю колії. Як впливає з рис. 5.2, на спусках $i > 3\text{‰}$ і підйомах $i > 7\text{‰}$ величина витрат електроенергії практично не залежить від довжини ділянки обмеження швидкості.

На рисунках 5.3, 5.4 наведені графіки зміни витрат електроенергії і часу руху при різних рівнях обмеження швидкості на ділянці довжиною 500 м.

За результатами розрахунків складені таблиці й побудовані графіки, які враховують різний рівень обмеження швидкості (25, 40, 60 км/год), різну довжину ділянок (50, 100, 500, 2000 і 5000 м), середню крутизну ухилу, де знаходиться обмеження (від -8 до 8‰), типи локомотивів (2ТЕ116, ВЛ80, ДЕ1, ДС3, ЧС7, ТЕП70) і масу рухомого складу – від 1000 до 5000 тонн) (додаток Б).

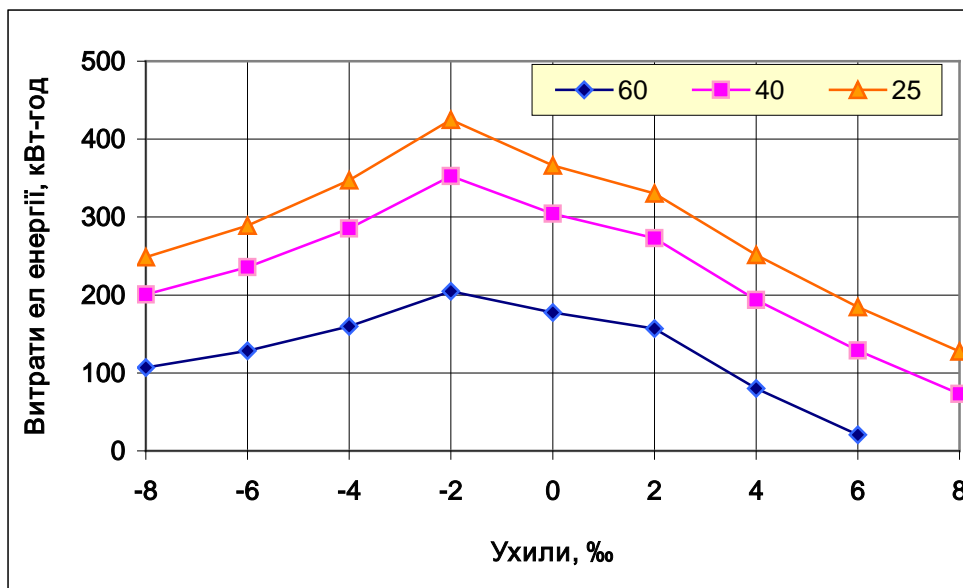
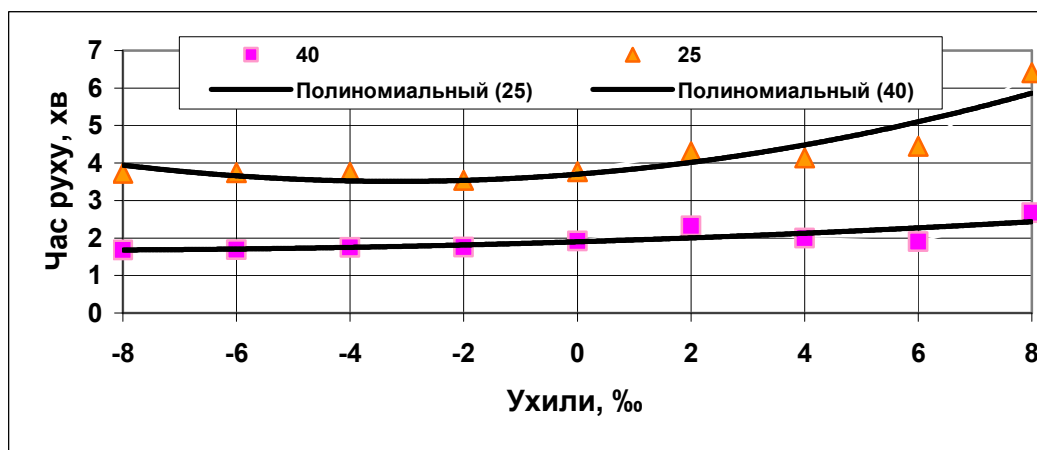


Рисунок 5.3 – Витрати електроенергії при різних рівнях обмеження швидкості відносно стану залізниці «без обмеження»



Рисуюнок 5.4 – Зміна часу руху при різних рівнях обмеження швидкості відносно стану залізниці «без обмеження»

5.3 Методика оцінки економічної ефективності

Для оцінки економічної ефективності визначається інтегральний ефект $E_{\text{інт}}$ як різниця експлуатаційних витрат за розрахунковий період T_p та інвестиційних витрат K_0 , що приведена до початкового року

$$E_{\text{інт}} = \sum_{t=1}^{T_p} \Delta C_t \eta_t - K_0, \quad (5.3)$$

де η_t - коефіцієнт дисконтування різночасових витрат.

Одноразові інвестиційні витрати K_0 приймаються як сумарні капітальні вкладення приурочені до проведення відповідних реконструктивних робіт з усунення обмеження швидкості. Скорочення експлуатаційних витрат ΔC_t визначається як різниця

$$\Delta C_t = C_o(t) - C_{\text{пр}}(t),$$

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

При наявності декількох бар'єрних місць черговість їх усунення може визначатись за таким показником як відношення вартості робіт K_i до економії механічної роботи сили тяги локомотива ΔR_i за рахунок усунення

обмеження швидкості, тобто

$$q_1 = \frac{K_1}{\Delta R_1}, q_2 = \frac{K_2}{\Delta R_2}, \dots q_n = \frac{K_n}{\Delta R_n}; \quad (5.4)$$

причому $q_1 < q_2 < \dots q_n$.

На напрямках, де переважають пасажирські перевезеннями, аналогічно вище викладеному може розглядатись відношення вартості робіт K_i до скорочення часу руху Δt_i

$$p_1 = \frac{K_1}{\Delta t_1}, p_2 = \frac{K_2}{\Delta t_2}, \dots p_n = \frac{K_n}{\Delta t_n}; \quad (5.5)$$

причому $p_1 < p_2 < \dots p_n$.

5.3.1 Послідовність виконання розрахунків.

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. Вибираються тип локомотива і маса рухомого складу.

3. Визначається економія електроенергії (кВт-год) чи дизельного палива (кг) – ΔA за рахунок усунення бар'єрного місця, окремо для парного й непарного напрямків. Величину економії енергоносіїв для умов конкретної ділянки можна отримати з допустимою для інженерних розрахунків похибкою за таблицями чи графіками (див. додаток Б). Складені таблиці враховують різний рівень обмеження швидкості довжину ділянок, середню крутизну ухилу, тип локомотивів і масу рухомого складу. При інших вихідних даних економія електроенергії визначається інтерполюванням.

4. Визначається скорочення часу знаходження поїздів (кожної категорії окремо) на ділянці при знятті обмеження швидкості – Δt (хв.). Для різних варіантів вихідних даних скорочення часу руху наведено в таблицях (додаток Б).

5. Задаються середньодобові розміру руху, окремо для вантажних,

пасажирських, приміських поїздів.

6. Відповідно до розташування ділянки обмеження швидкості приймаються укрупнені витратні ставки, а також питомі витрати на 1 км при виконанні ремонтних робіт для конкретної залізниці:

E_{nz} – 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),

C_{ny} – вартість поточного утримання 1 км колії за рік (тис грн).

7. Розраховується загальний ефект від скорочення витрат на паливо-енергетичні ресурси для потоку поїздів окремо для непарного й парного напрямків

$$C_1 = \sum_{i=1}^{i=k} (\Delta A_i \cdot n_i \cdot T_o \cdot E_e), \quad (5.6)$$

де ΔA_i – скорочення витрат електроенергії (палива) від зняття обмеження для кожної категорії поїздів;

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.

8. Розраховується економія витрат від скорочення часу знаходження поїздів на дільниці окремо для непарного й парного напрямків

$$C_2 = \sum_{i=1}^{i=k} \left(\frac{\Delta t_i}{60} \cdot n_i \cdot T_o \cdot E_{ir} \right), \quad (5.7)$$

де Δt_i – скорочення часу руху поїздів i категорії від зняття обмеження швидкості (див. п.3).

n_i – кількість пар поїздів i категорії за добу;

T_o – тривалість дії обмеження швидкості, діб;

E_{ir} – укрупнена витратна ставка 1 поїздо-год, грн.

9. Розраховується економія витрат, пов'язаних з покращенням стану

колії від усунення обмеження швидкості окремо для непарного й парного напрямків за формулою

$$C_3 = \frac{2,88 C_{op} \cdot B^2 \cdot L_{обм} \cdot m}{T_o \cdot [T]}, \quad (5.8)$$

де C_{op} – витратна ставка на 1000 тонно-кілометрів брутто, грн;

B – вантажонапруженість ділянки, млн ткм/км брутто за рік;

$L_{обм}$ – довжина обмеження швидкості, км;

T_o – тривалість дії обмеження швидкості, діб;

$m, [T]$ – відповідно пропущений тоннаж і норматив призначення реконструкції чи капітального ремонту колії, млн тонн.

10. Визначається загальний ефект від усунення обмеження швидкості руху, який складається із економії витрат на паливно-енергетичні ресурси (C_1), економії витрат від скорочення часу знаходження поїздів на дільницях, та в зв'язку з цим, скорочення витрат на утримання локомотивів та вагонів (C_2) та скорочення витрат, що пов'язані зі станом колії (у випадках коли не виконано своєчасно капітальний ремонт або модернізацію) (C_3), тобто

$$C = C_1 + C_2 + C_3. \quad (5.9)$$

Для визначення економічної ефективності за викладеною методикою була розроблена програма розрахунків для ПЕОМ. На рис. 5.5 показано вікно програми (меню) для введення вихідних даних.

Для виконання розрахунків, додатково до вищеназваних, необхідно ввести вантажонапруженість ділянки, типи локомотивів і масу поїздів, кількість пар поїздів на добу: вантажних, пасажирських і приміських (див. рис. 5.5).

Величина витратних ставок суттєво впливає на результат, тому для конкретних розрахунків необхідно приймати витратні ставки притаманні тій чи іншій залізниці. Для регіональної філії «Придніпровська залізниця» прийнято значення 1 поїздо-години у русі тепловозною тягою $E_{не} = 8451$ грн для вантажного поїзду, $E_{не} = 2994$ грн для пасажирського, $E_{не} = 920$ грн для

дизель-поїздів; вартість 1000 тонно-кілометрів бруто $C_{op} = 22,92$ грн; вартість поточного утримання 1 км колії за рік $C_{ny} = 37,5$. З урахуванням запланованої в перспективі електрифікації напрямку прийнято: $E_{nz} = 6462$ грн для вантажного поїзду, $E_{nz} = 3741$ грн для пасажирського, $E_{nz} = 853$ грн для електропоїздів.

Загальний ефект від скорочення витрат на паливо-енергетичні ресурси для потоку поїздів розраховано окремо для непарного й парного напрямків за програмою, в якій реалізовано методику (див. п. 3).

Аналіз отриманих даних показав, що основними чинниками, які впливають на економічний ефект від усунення бар'єрного місця є рівень обмеження швидкості і довжина ділянки, що підтверджується висновками, наведеними в роботах [103, 104]. На рис. 5.6 і табл. 5.1 показано залежності економічного ефекту від зазначених факторів.

Таблиця 5.1 – Ефект від усунення обмеження швидкості на 1 поїзд, віднесений до 1 км підвищення швидкості

Тип поїзда	Довжина обмеження, м	Ефект, грн, при збільшенні швидкості, км/год		
		з 15 до 25	з 25 до 40	з 40 до 60
Вантажний	100	14,0	8,5	5,9
	2000	34,4	15,5	9,0
	5000	65,6	27,7	13,4
Пасажирський	100	6,8	2,9	2,4
	2000	16,8	7,3	4,3
	5000	34,8	14,1	7,3

Для перерахунку результатів до конкретного поїздопотоку отримані результати слід помножити на кількість поїздів кожної категорії.

Перелік вихідних даних для виконання розрахунків наведено на рис. 5.5. А економічний ефект, який залежить від швидкості і довжини ділянки

обмеження, розрахований за формулою (5.9) і для наочності наведено на рисунку 5.6.

Ділянка	Зачепилівка - Перещепине		напрямок	парний
Вантажонапруженість ділянки	В		млн. ткм бр/км за рік	10
Швидкість руху до обмеження швидкості руху поїздів	V1		км/год	120/80
Встановлення обмеження швидкості	V2		км/год	40
Тривалість дії обмеження швидкості	T		діб	365
Збільшення витрат електроенергії (палива) при дії обмеження шидкості	ΔA			
- вантажних	ΔA_v		кВт-год	170,1
- пасажирських	$\Delta A_{пас}$		кВт-год	147,8
- приміських	$\Delta A_{пр}$		кВт-год	44,5
Збільшення часу руху поїздів при дії обмеження швидкості руху	Δt			
- вантажних	Δt_v		хв.	3,0
- пасажирських	$\Delta t_{пас}$		хв.	3,5
- приміських	$\Delta t_{пр}$		хв.	3,0
Середньодобові розміри руху поїздів:	n			
- вантажних	n _v		пар поїздів	3
- пасажирських	n _{пас}		пар поїздів	8
- приміських	n _{пр}		пар поїздів	2
Тип, маса локомотива та маса поїзда:				
ДЕ 1	P	184	Q	4000
ЧС 7	P	164	Q	1000
ДР1			P+Q	454
Довжина обмеження швидкості	L _{обм}		км	2
Вартість 1 кВт-год електроенергії (1 кг палива)	E _e		грн	0,8
Укрупнена витратна ставка 1 поїздо-год.	E _{нг}			
- вантажного	E _{нг вант}		грн	6462
- пасажирського	E _{нг пас}		грн	3742
- приміського	E _{нг пр}		грн	853
Якщо на ділянці обмеження швидкості прострочено модернізацію чи капітальний ремонт, то необхідно про це вказати відповідним знаком у віконці				<input checked="" type="checkbox"/>
Вартість 1000 тонно-кілометрів бруто вантажних поїздів	C _{оп}		грн	22,92
Пропущений по ділянці тоннаж	m		млн т	745
Вартість поточного утримання 1 км колії за рік	C _{пу}		тис. грн	37,5

Рисунок 5.5 – Вікно програми для введення вихідних даних

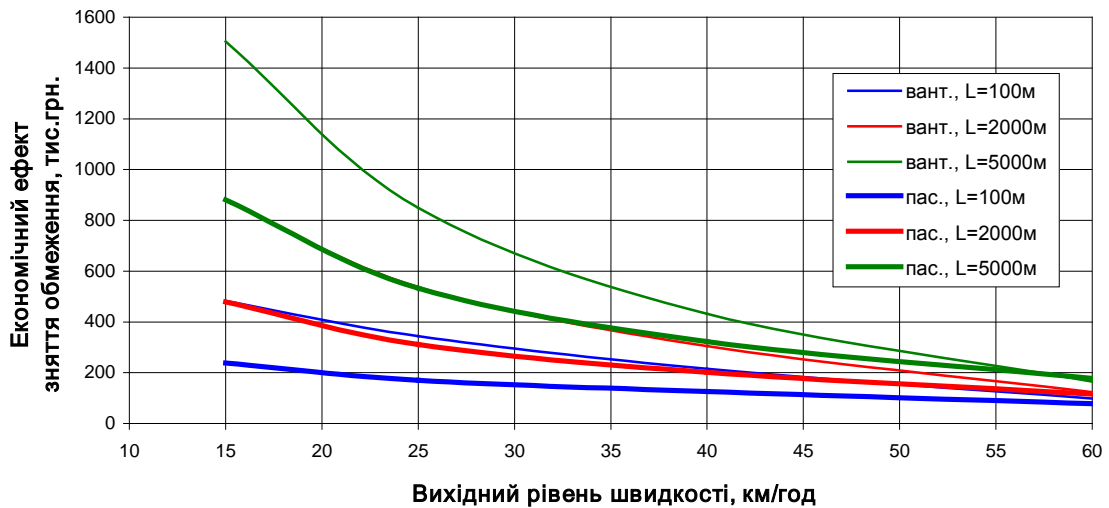


Рисунок 5.6 – Залежність економічного ефекту від швидкості і довжини ділянки обмеження для 1 пари вантажного і пасажирського поїзда за рік

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

На напрямках, що готуються для впровадження швидкісного руху поїздів особливо гостро стоїть питання підвищення швидкості за рахунок усунення обмежень швидкості при проведенні тих чи інших ремонтних робіт.

Для усунення причин обмеження швидкостей руху (бар'єрних місць) і отримання відповідного економічного ефекту за рахунок збільшення швидкості руху поїздів і усунення ділянок гальмування та розгону, необхідно проведення ремонтних робіт, що потребує певних витрат (капітальних вкладень). Слід враховувати, що капітальні вкладення носять одноразовий характер, а зменшення витрат буде мати місце протягом тривалого часу. Тому, в ряді випадків, для правильної оцінки економічного ефекту слід говорити про термін окупності капітальних витрат, а не про миттєву ефективність.

Точне значення капітальних витрат на усунення того чи іншого бар'єрного місця може бути визначено шляхом складання калькуляції за проектом на виконання робіт для конкретної ділянки залізниці, з урахуванням потрібного переліку операцій, вартості й об'ємів матеріалів, наявності робочої сили, механізмів тощо. Однак, можна зазначити, що

більшість бар'єрних місць – це довготривалі обмеження швидкості, які доцільно ліквідувати під час проведення планових ремонтів. Тому для попередньої оціни можна приймати в якості витрат на усунення бар'єрного місця вартість ремонту, під час якого будуть проводитись відповідні роботи, з урахуванням довжини ділянки, що обмежує швидкість руху.

Так, при комплексно-оздоровчому ремонті можуть бути усунені бар'єрні місця пов'язані з виправкою і рихтуванням колії машинними комплексами, ліквідацією місць виплесків, заміною дефектних рейок і непридатних шпал, очищенням водовідвідних споруд тощо.

При середньому ремонті можна планувати усунення бар'єрних місць, які потребують виконання робіт з очищення забрудненого баласту, заміни непридатних шпал, брусів і скріплень, виправлення кривих, ремонту переїздів, водовідвідних і укріпних споруд тощо.

Під час проведення реконструкції чи капітального ремонту можуть бути проведені роботи для усунення обмеженні швидкості пов'язані з виправленням і постановкою колії у проектне положення в профілі, виправлення кривих в плані з відновленням проектних радіусів, збільшення радіусів кривих до передбачених проектом з відповідним перевлаштуванням земляного полотна та штучних споруд, приведення розмірів земляного полотна у відповідність до встановлених нормативів, ремонт водовідвідних і зміцнювальних споруд, реконструкція горловин станцій, ремонт або перевлаштування переїздів тощо.

На рисунку 5.7 показано вартості усунення бар'єрного місця для різної довжини ділянки в залежності від виду ремонту, за рахунок якого будуть виконуватися роботи.

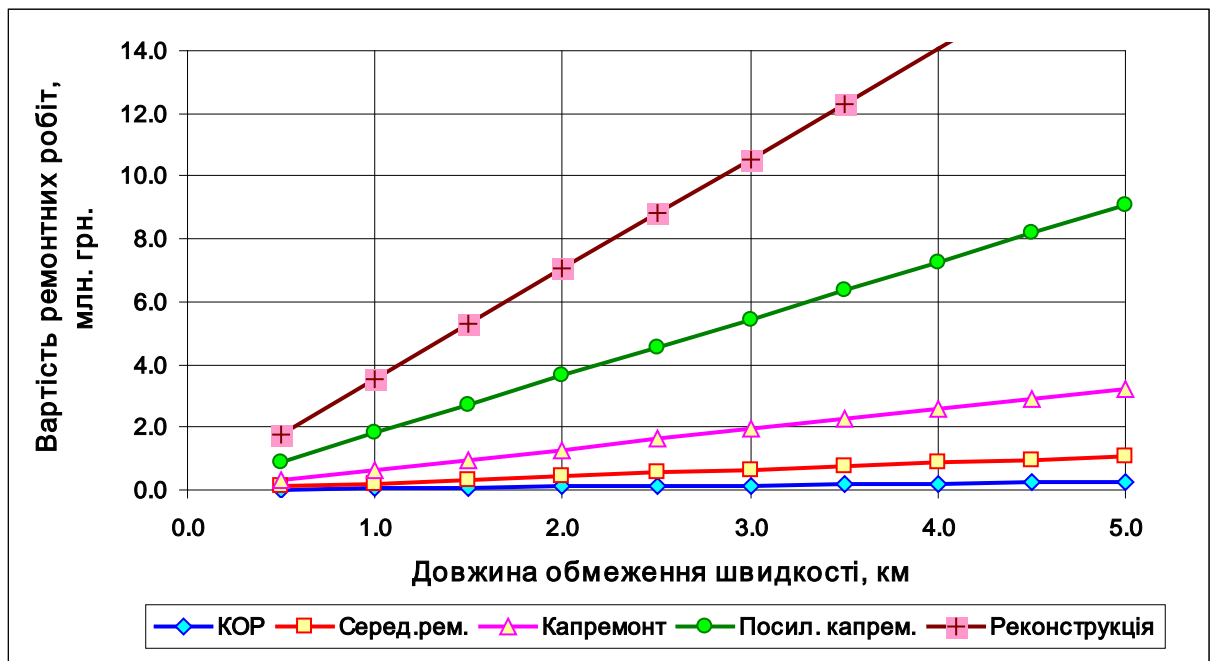


Рисунок 5.7 – Вартість ремонтних робіт

5.5 Обґрунтування отриманих результатів

Для прикладу в роботі наведено результати розрахунків на одному з перегонів ділянки Красноград-Новомосковськ. Згідно перспективного плану електрифікації залізниць України на цій ділянці планується введення електричної тяги для впровадження швидкісного руху на напрямку Київ-Дніпро.

У теперішній час на станціях Бузівка, Перещепине, Кільчень, Губиниха, Новомосковськ. встановлена швидкість 40 км/год. Відповідно до пропозицій регіональної філії «Придніпровська залізниця» [105] на вказаних станціях (крім ст. Новомосковськ) може бути підвищена швидкість до 120 у пасажирському русі і до 80 км/год у вантажному за рахунок проведення реконструкції чи капітального ремонту колії. Для прикладу, на рисунку 5.8 показано криву швидкості руху вантажного поїзда через ст. Бузівка в прямому напрямку при наявності обмеження швидкості.

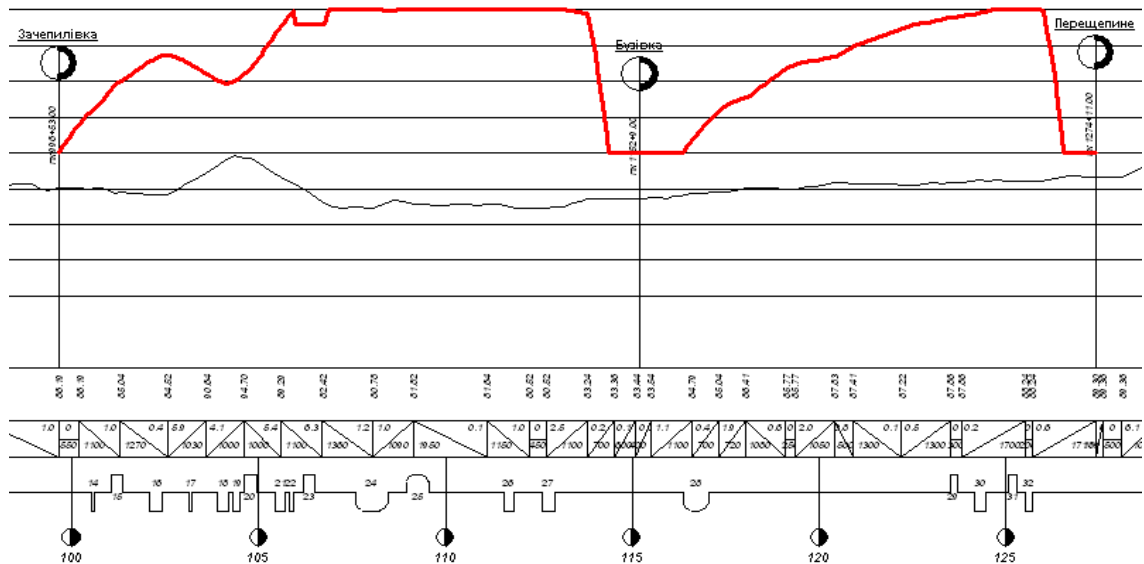


Рисунок 5.8 – Крива швидкості руху при наявності обмеження по станції

Розрахунки виконано для тепловозної й електричної тяги. Загальний ефект від усунення обмеження швидкості на ст. Бузівка визначається за формулою (5.9). Результати розрахунків наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати розрахунків економічного ефекту, млн грн

Вид тяги	Парний напрямок	Непарний напрямок	Сумарно
тепловозна	1,400	1,670	3,070
електрична	1,234	1,218	2,452

Для прийнятих вихідних даних отримано загальний річний економічний ефект від зняття обмеження швидкості руху у сумі 3,070 млн грн при тепловозній і 2,452 млн грн при електричній тязі.

Якщо виконання робіт з реконструкції станції буде відбуватися під час запланованої реконструкції колії, то за рис. 5.5 при довжині ділянки 2 км вартість робіт складе 7,1 млн грн.

Далі розрахунки зручно виконувати у табличній формі. При постійних обсягах перевезень економія від зняття обмеження швидкості з урахуванням коефіцієнту дисконтування визначається за формулою (5.3). Результати розрахунку наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Ефективність від зняття обмеження швидкості

Роки	G_t , млн т	K_t , млн грн	C_t , млн грн	η_t	Ефект, млн грн	Нароста- ючий підсумок
1	10,0	7,1	2,683	0,9091	-4,02	-4,0
2	10,0	0	2,683	0,8264	2,22	-1,8
3	10,0	0	2,683	0,7513	2,02	0,2
4	10,0	0	2,683	0,6830	1,83	2,1
5	10,0	0	2,683	0,6209	1,67	3,7
6	10,0	0	2,683	0,5645	1,51	5,2
7	10,0	0	2,683	0,5132	1,38	6,6
8	10,0	0	2,683	0,4665	1,25	7,9
9	10,0	0	2,683	0,4241	1,14	9,0
10	10,0	0	2,683	0,3855	1,03	10,0

За даними таблиці 5.3 побудовано графік (рисунок 5.9), аналіз якого дозволяє встановити термін окупності капітальних вкладень.

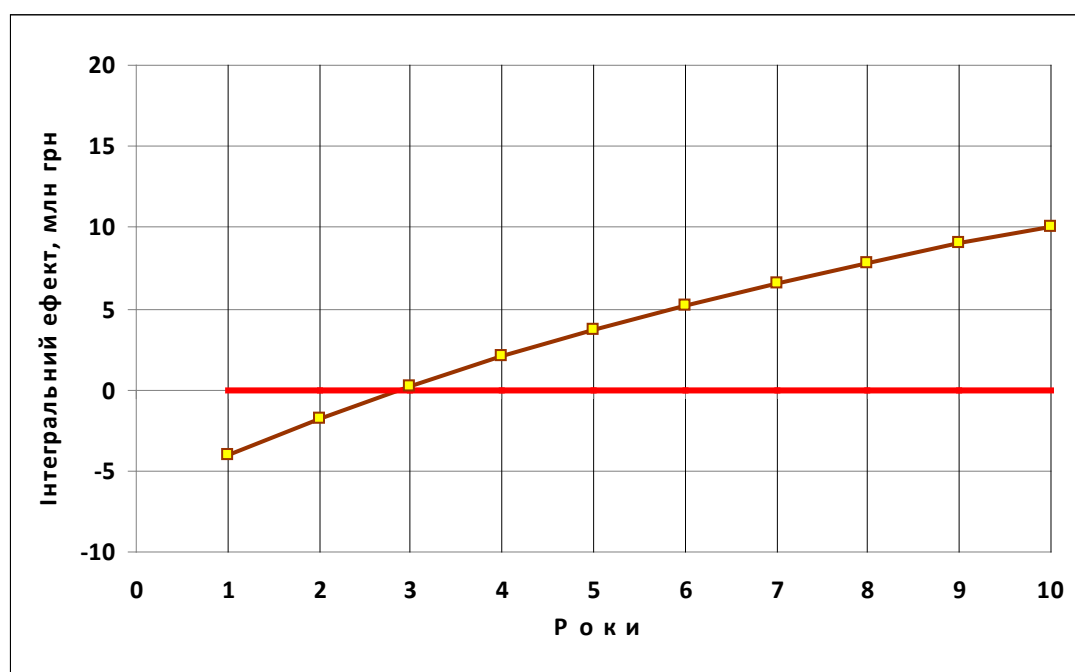


Рисунок 5.9 – Термін окупності капітальних вкладень при постійних щорічних обсягах перевезень

Як впливає з рисунку 5.9, до 3-го року витрати залізниці є від'ємними, а після цього терміну за рахунок зняття обмеження швидкості спостерігається зростання ефекту в протязі тому, якщо б бар'єрне місце залишалось (швидкість 40 км/год по станції) і залізниця щорічно несла втрати від додаткових витрат електроенергії, а також витрат, пов'язаних з часом руху і на утримання колійної інфраструктури.

Враховуючи, що всі витрати залізниці, пов'язані з наявністю ділянок на яких встановлено обмеження швидкості, зростають пропорційно кількості поїздів, можна вважати, що економічний ефект буде пропорційний обсягам перевезень. У такому випадку, якщо прогноз росту вантажонапруженості змінюється за лінійним законом $\Gamma_t = \Gamma_o + \Delta\Gamma \cdot t$, можна спрогнозувати зростання величини економічного ефекту за виразом

$$C_t = k \cdot \Gamma_t, \quad (5.10)$$

де k – коефіцієнт пропорційності $k = \frac{C_o}{\Gamma_o}$.

Порівняльний аналіз виконаних розрахунків за точною методикою з використанням тягових розрахунків і за спрощеною, викладеною в даній роботі, показали що похибка в розрахунках знаходиться в допустимому діапазоні.

5.6 Визначення заходів для підвищення швидкостей руху поїздів на ділянці Красноград – Лозова та встановлення орієнтованої вартості на їх реалізацію

Для підвищення швидкостей руху пасажирських поїздів на існуючих магістралях заходи розподілені на три види: реконструкція траси залізниці; модернізація (реконструкція) колійних пристроїв; капітальний ремонт колійних пристроїв.

До числа заходів з модернізації колійних пристроїв віднесені наступні:

1. Реконструкція колії з укладанням подовжених рейок безстикової колії: 7,6-8,5, в кривих 9,9 млн грн/км

2. Капітальний ремонт колії: 4,5-4,9 млн грн/км.

3. Заміна стрілочних переводів на залізобетонних брусах в головних коліях: 1,6-2,0 млн грн/комплект.

4. Капітальний ремонт стрілочного переводу 0,8-1,0 млн грн/комплект.

5. Збільшення довжини перехідних кривих для забезпечення відводу підвищення зовнішньої рейкової нитки 1 мм на 1,5 пог.м. При цьому прийнято, що величина переміщення рейко-шпальної решітки за рахунок влаштування перехідної кривої не перевищує 0,2 м і дозволяє виконати рихтування кривої в межах існуючої ширини земляного полотна. Вартість цієї роботи прийнята як вартість виконання комплексно-оздоровчого ремонту колії: 0,5-1,2 млн грн/км.

6. Капітальний ремонт і підсилення земляного полотна: вартість встановлена за даними, що надані відділом земляного полотна служби колії по відомості (паспорту) земляного полотна, що деформується.

7. Капітальний ремонт і підсилення штучних споруд: вартість встановлена за даними, що надані відділом штучних споруд служби колії по відомості штучних споруд.

8. Реконструкція переїздів – 8,1, технічне переоснащення – 1,4, перевід неохороняємих залізничних переїздів в розряд охороняємих: 0,5 млн грн/переїзд.

При встановленні вартості заходів з реконструкції ділянки залізниці враховувалась складність перевлаштування плану лінії.

Локально розміщені криві, радіус яких $R < 1200$ м, а довжини прямих з обох сторін кривої мають достатню довжину для розміщення збільшеного радіуса та перехідної кривої. Вартість перевлаштування таких кривих визначена з використанням нормативів питомих капіталовкладень, що наведені на рисунку 5.10 в залежності від середніх робочих відміток

профілю.

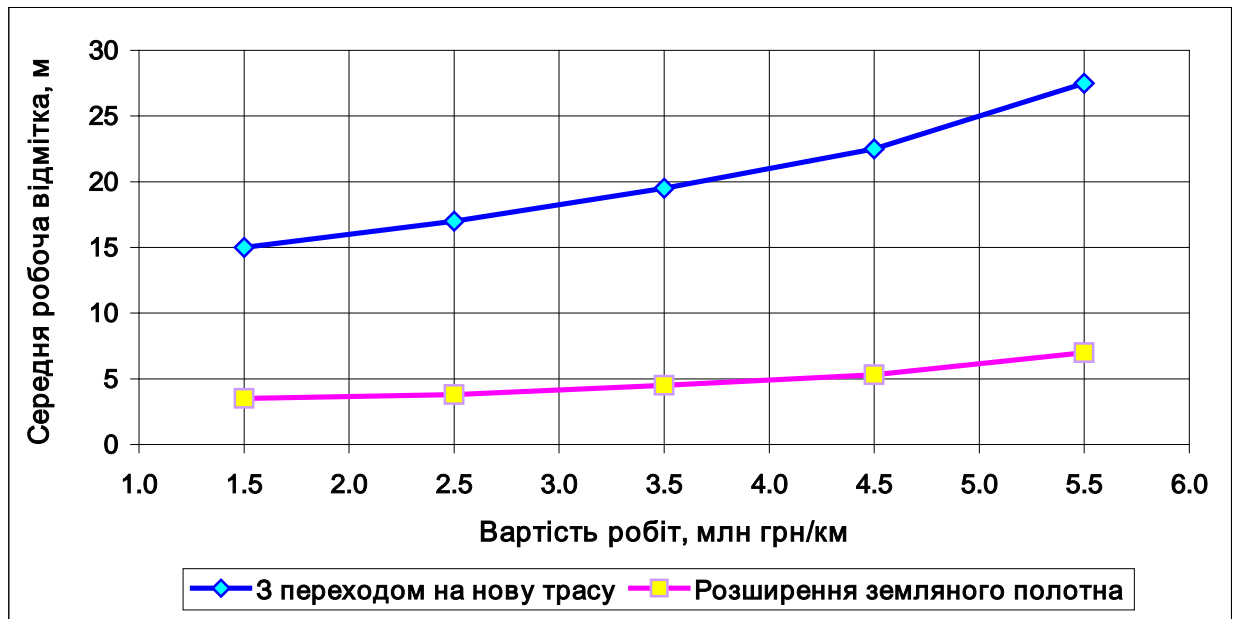


Рисунок 5.10 – Нормативи на перевлаштування дільниці залізниці, віднесені на 1 км довжини в млн грн/км

У вартість робіт включені такі роботи як відсіпання земляного полотна, установка опор контактної мережі, монтаж контактної мережі, перенесення АБ, укладання верхньої будови колії.

Криві, радіус яких $R \geq 1200$ м, але довжина перехідних кривих недостатня для розміщення відводу підвищення зовнішньої рейки 1 мм на 1,5 пог. м. При цьому величина зміщення рейко-шпальної решітки в результаті влаштування перехідної кривої перевищує 0,2 м. Такі криві потребують розширення земляного полотна, вартість якого також визначена з використанням нормативів питомих капіталовкладень, що наведені на рисунку 5.9.

Ділянки суміжних кривих, які мають недостатню довжину прямих вставок для розміщення проектного радіуса. На таких ділянках виникають різні способи комплексного перевлаштування траси в залежності від багатьох факторів: рівень максимальної швидкості, направлення кривих, величина кута повороту, бар'єрні місця тощо. Дана група кривих викликає необхідність перевлаштування траси на значній довжині, яка в кожній групі

визначається індивідуально. Вартість перевлаштування також визначалась з використанням програми RWPlan і методики, що передбачає урахування відповідних робіт з перебудови кривої [100]. У програмі передбачено три види критеріїв: «сума модулів зсувів», «сума квадратів зсувів», «сума витрат на виконання робіт». Перші два критерії є математичними, вони гарантують мінімум робіт на виконання рихтування. Критерій у вигляді суми витрат вимагає знання економічних показників для відповідних робіт і дозволяє відшукати економічно виправдане рішення. За наявності економічної інформації слід сформулювати свої коефіцієнти для цього критерію. За відсутності такої інформації можна використовувати ті, які пропонуються в програмі [66].

Вартість по кожному варіанту, була розрахована за формулою (2.5), яка враховує витрати на зміщення осі існуючої колії, витрати відповідно на перекладання верхньої будови колії, перенесення контактної мережі, кабелів СЦБ, об'єм і вартість баласту й ґрунту для розширення існуючого земляного полотна та ґрунту для відсіпання земляного полотна на новій трасі. Алгоритм розрахунку витрат наведено на рисунку 5.11

Алгоритм оцінки витрат

Витрати (у.о.) на рихтування одного метра колії залежно від зсуву S (м)

+ x S + x S x S Створити свою формулу

Зсув (см), за якого вже використовується перекладання колії

Вартість (у.о.) перекладання одного метра колії

Зсув (см), при якому потрібно переносити контактну мережу та СЦБ

Вартість (у.о.) переносу 1 м контактної мережі та СЦБ

- витрати (у.о.) на метр куб. баласту при зсувах більше мм

середній висоті баластної призми і ширині по верху, см

Спрощений розрахунок додаткових витрат на земляне полотно

- витрати (у.о.) на метр куб. земполотна при зсувах > мм

і середній робочій відмітці см

Ширина основної площадки нового земляного полотна, см

Зсув (м), за якого влаштовується нове земполотно

Мінімальне розширення, см Середня косогірність 1:

Файл відміток та узбіч Задати

Витрати (у.о.) на метр куб. насипу - Мінімальне узбіччя, м

 віймки - Нормальне узбіччя, м

Прочитати Зберегти Прийняти

Рисунок 5.11 – Алгоритм розрахунку на перебудову кривої

На рис. 5.12 показано, як за даними дистанції колії на рихтування кривої в певному діапазоні зсувів отримати формулу для оцінки витрат.

Отримання формули для оцінки витрат на рихтування

Вкажіть інформацію, яку ви маєте

відомо за якого рихтування буде мінімум витрат і є 2 значення витрат-рихтувань

відомо 3 значення рихтувань (мм) і відповідні їм витрати (у.о.)

відомо більше 3-х значень рихтувань (мм) і витрат (у.о.)

Величина рихтувань, мм, за яких витрати мінімальні

Кількість відомих значень рихтувань і відповідних їм витрат

N	S, мм	Z теор.	
1	60	0.5	0.50039
2	150	0.8	0.80035
3	250	1.2	1.20031

Розрахунок Готово

Рисунок 5.12 – Апроксимація значень витрат на рихтування кривої

Дослідження питання щодо вартості робіт в залежності від зміщення осі існуючої колії в кривих показав, що витрати, як і зміщення осі колії, збільшуються в залежності від максимального рівня швидкості і можуть бути описані поліномом другого ступеню (рисунок 5.13, 5.14).

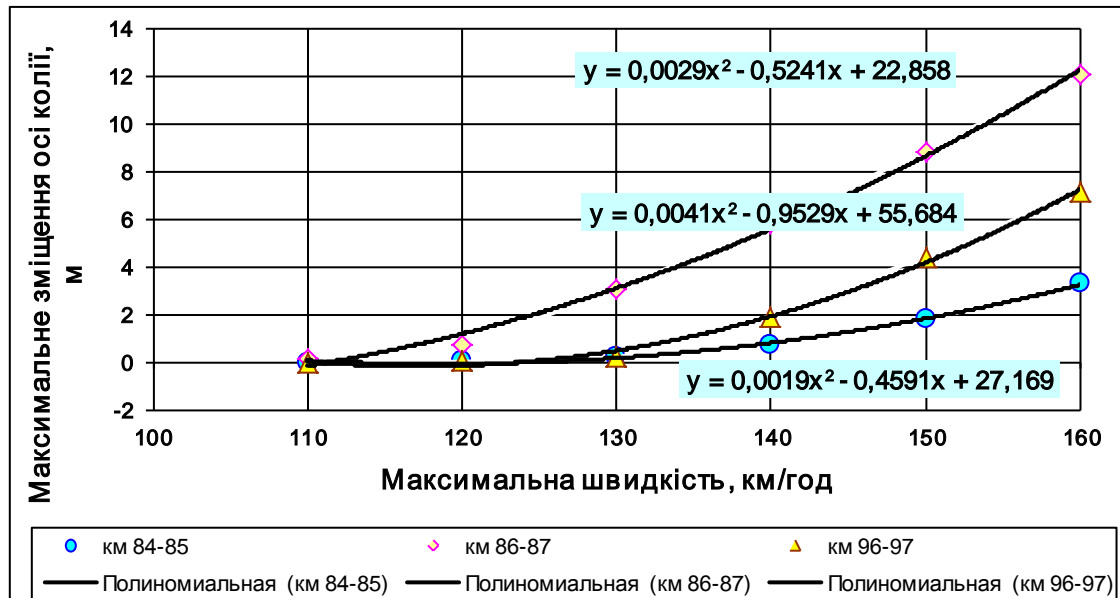


Рисунок 5.13 – Максимальне зміщення вісі колії в кривих радіусом 1101 м (км 84-85), 830 м (км 86-87) і 882 м (км 96-97) в залежності від рівня максимальної швидкості

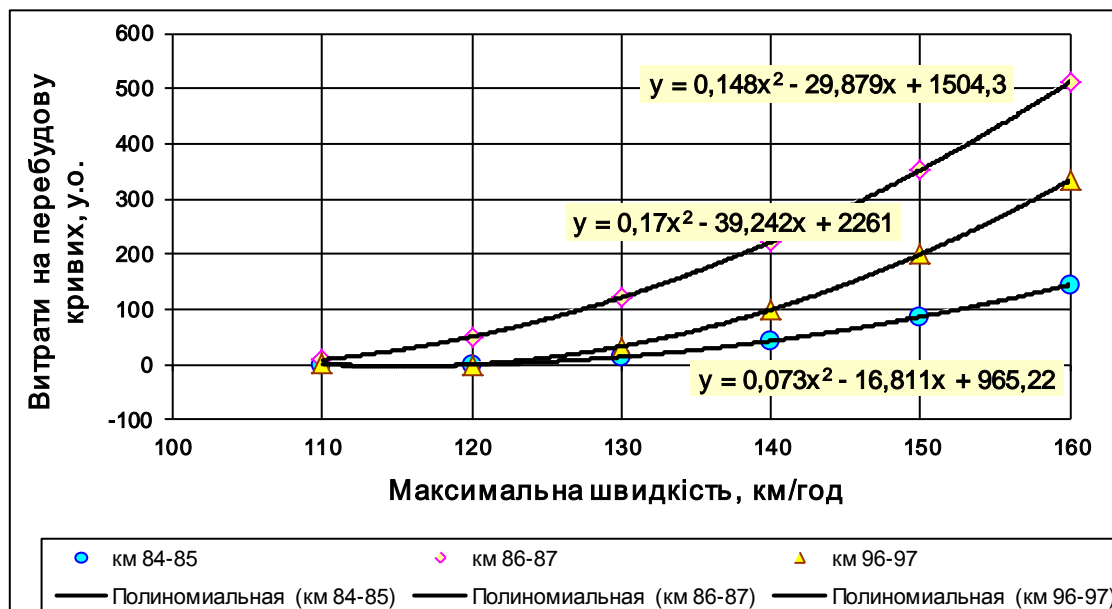


Рисунок 5.14 – Витрати на перебудову кривих радіусом 1101 м (км 84-85), 830 м (км 86-87) і 882 м (км 96-97) в залежності від рівня максимальної швидкості

На рисунку 5.15 наведено приклад перебудови кривої на км 84-85 з радіуса 1101 метри в криву радіусом 1500 метрів при зміщенні осі колії до 3,305 метри, а також обсяги й вартість робіт (рисунок 5.16).

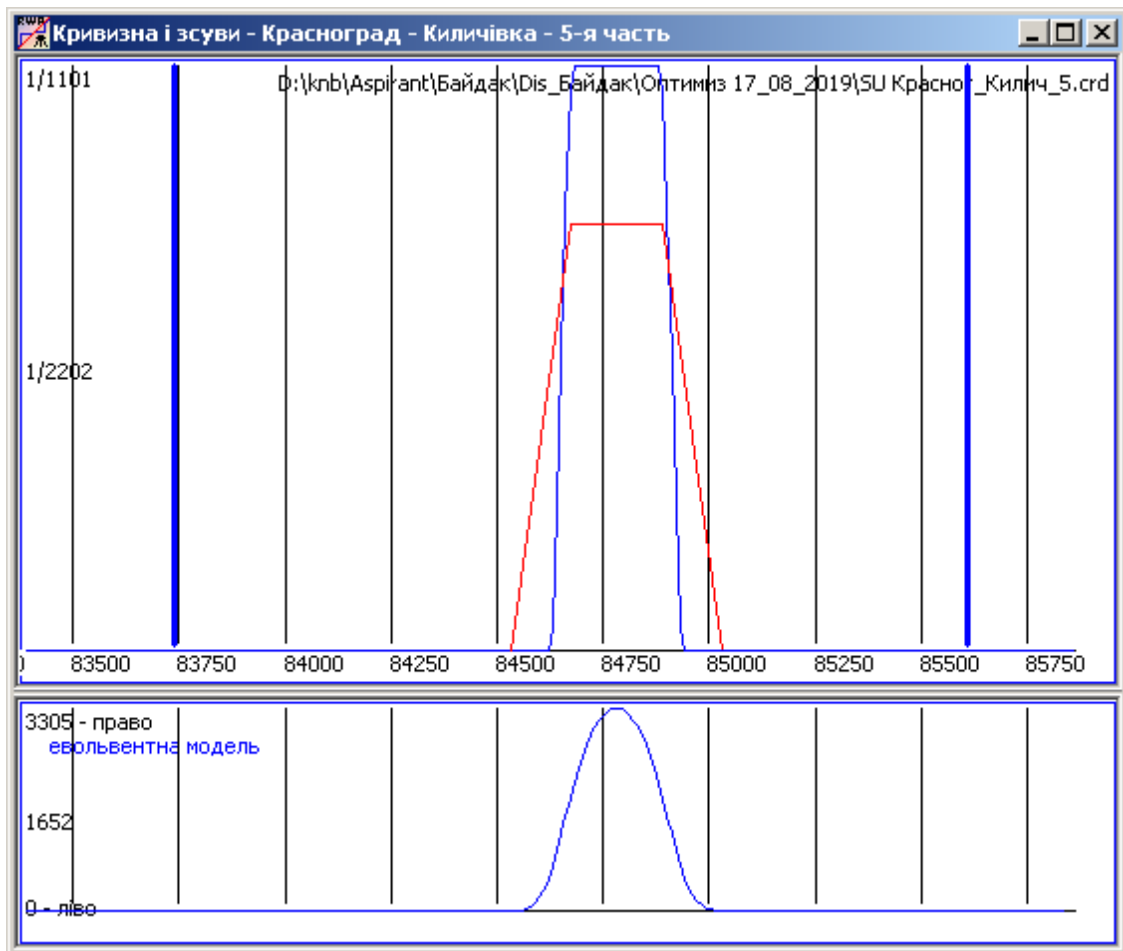


Рисунок 5.15 – Графіки кривизни і зсувів кривої на ділянці км 84-85

Орієнтовні об'єми робіт	
Вартість	140 556
Довжина (м) рихтувань:	
до 60 мм	2 030
до 120 мм	20
до 250 мм	40
> 250 мм	141
Довжина (м) перекладання	210
Довжина (м) перебудови СЦБ и к. м.	351
Об'єм (м куб.):	
баласту, що додається	829
грунту, що додається	3 825
нового земполотна	0

Рисунок 5.16 – Обсяги й вартість робіт з перебудови кривої

З використанням програми MoveRW були виконані тягові розрахунки для існуючого (рисунок 5.17) й проектного плану і профілю (рисунок 5.18).

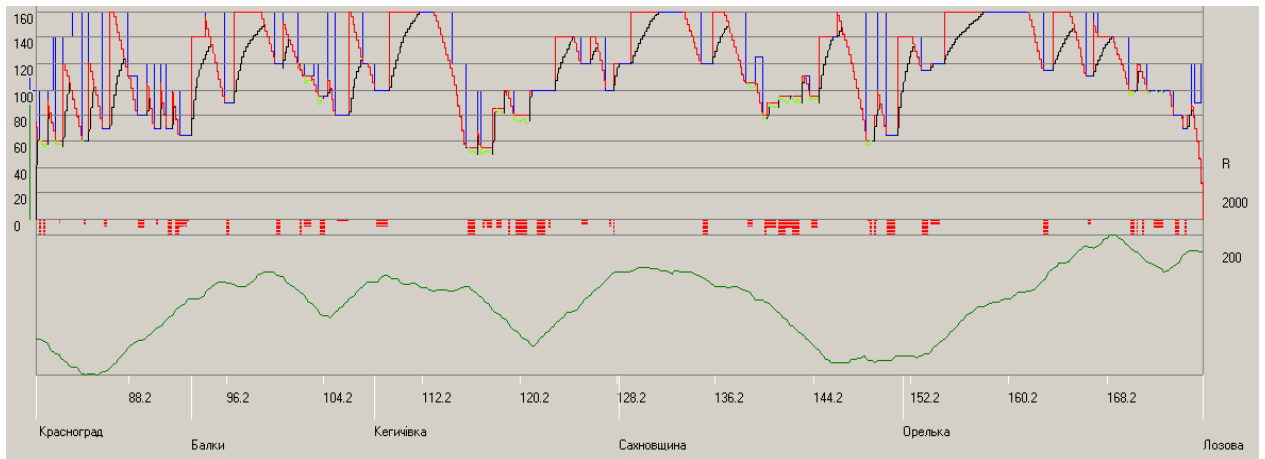


Рисунок 5.17 – Крива швидкості на ділянці Красноград – Лозова (існуючий план і профіль)

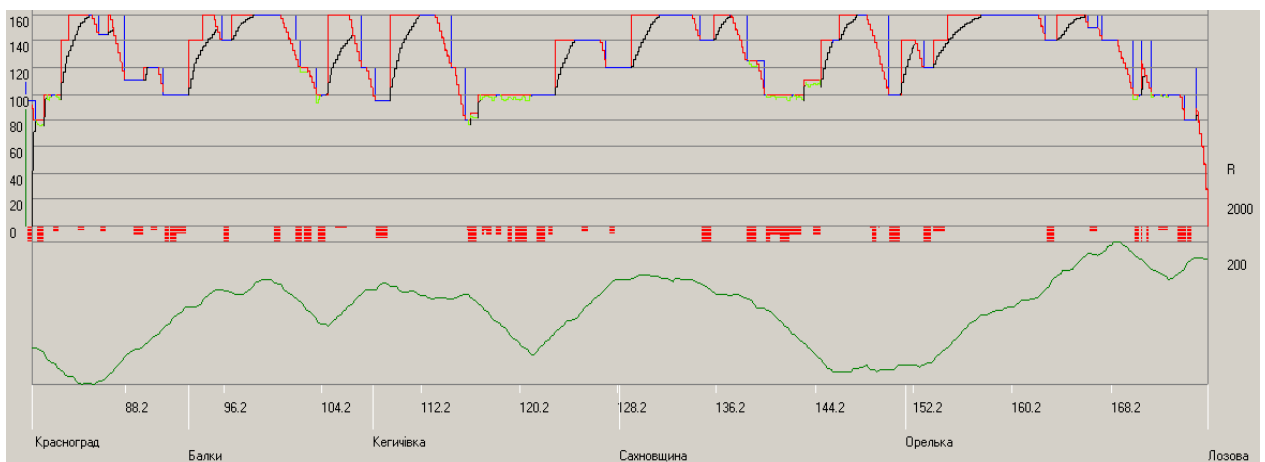


Рисунок 5.18 – Крива швидкості на ділянці Красноград – Лозова (проектний план і профіль)

Аналіз результатів тягових розрахунків і кривих швидкостей надає можливість встановити причину обмеження рівня швидкості: за крутизною відводу підвищення i_v , по непогашеному прискоренню α_{np} , по зміні непогашеного прискорення в часі ψ та по швидкості підйому колеса по відводу підвищення f (табл. С4) для подальшого планування відповідних заходів.

За вищевикладеною методикою були визначені для кожного перегону ділянки Красноград – Лозова відповідні параметри плану для існуючого й

проектного стану залізниці (додаток Г, таблиця Г.1 і Г.2), значення параметрів кривих за різними вихідними даними зйомки кривих (таблиця Г.3), а також вартості щодо проведення заходів для підвищення швидкостей руху поїздів, які були використані в подальшому для оптимізації параметрів плану залізниці.

5.7 Перебудова плану лінії як задача векторної оптимізації

На початковому етапі приймемо, що

$$\Delta t(U) = \sum_{\omega \in U} \Delta t(\omega),$$

де $\Delta t(\omega)$ – скорочення часу руху від зняття обмеження по одному об'єкту ω

$$\Delta t(\omega) = T(U = \{\}) - T(U = \omega), \quad (5.11)$$

де $T(U)$ – час руху по ділянці, отриманий за результатами тягових розрахунків при знятті обмежень з об'єктів, що утворюють підмножину U .

Тепер можна сформулювати наступну задачу: визначити підмножину $U \subseteq \Omega$, щоб мало місце

$$\begin{cases} K(U) \rightarrow \min, \\ \Delta t(U) \geq \Delta T, \end{cases}$$

$$\text{де } K(U) = \sum_{\omega \in U} C_0(\omega), \quad \Delta t(U) = \sum_{\omega \in U} \Delta t(\omega).$$

Для рішення цієї задачі скористаємося методом, запропонованим проф. А. А. Босовим [101]. Розв'язком буде підмножина $U(\mu)$

$$U(\mu) = \{\omega \in \Omega : K(U) - \mu \Delta t(\omega) \leq 0\},$$

де μ – невизначений множник.

Для кожного об'єкта ω визначається співвідношення $\frac{K(\omega)}{\Delta t(\omega)}$.

Формується множина Ω' , що містить у собі елементи множини Ω ,

упорядковані за зростанням відношення $\frac{K(\omega)}{\Delta t(\omega)}$. Шукана підмножина

визначається як

$$U(\mu) = \left\{ \omega \in \Omega' : \frac{K(\omega)}{\Delta t(\omega)} \leq \mu \right\}. \quad (5.12)$$

Множник μ керує, на якому об'єкті множини Ω' необхідно зупинитися при формуванні підмножини U , і визначається з нерівності $\sum_{\omega \in U(\mu)} \Delta t(\omega) \geq \Delta T$.

Вихідні дані до вирішення задачі наведені в додатку Г, а програма для виконання розрахунків – в додатку Д. Результати рішення задачі для ділянки «Красноград – Кегичівка» подані в текстовому (таблиця 5.4) і графічному вигляді (рисунок 5.19).

Таблиця 5.4 – Результати розрахунків за умови, що функція $\Delta t(\omega)$ є напівадитивною знизу

15

172 509 140556 175495 2349 158 230 75 480 220119 104927 1916 1938 414 256
12 36 12 24 12 36 24 0 24 24 6 0 12 6 66

Вартість реконструкції $K(U)$, тис. у.о.	Скорочення часу $\Delta t(U)$, с	Набір об'єктів, що підлягають реконструкції, U
1	2	3
0,256	66	15
0,414	96	15, 6
0,644	126	15, 6, 7
1,153	156	15, 6, 7, 2
1,325	168	15, 6, 7, 2, 1
1,805	186	15, 6, 7, 2, 1, 9
2,101	198	15, 6, 7, 2, 1, 9, 3
2,711	222	15, 6, 7, 2, 1, 9, 3, 4
3,396	240	15, 6, 7, 2, 1, 9, 3, 4, 10
3,809	240	15, 6, 7, 2, 1, 9, 3, 4, 10, 14
5,747	246	15, 6, 7, 2, 1, 9, 3, 4, 10, 14, 13
8,096	252	15, 6, 7, 2, 1, 9, 3, 4, 10, 14, 13, 5
8,171	252	15, 6, 7, 2, 1, 9, 3, 4, 10, 14, 13, 5, 8
8,632	252	15, 6, 7, 2, 1, 9, 3, 4, 10, 14, 13, 5, 8, 11
10,548	252	15, 6, 7, 2, 1, 9, 3, 4, 10, 14, 13, 5, 8, 11, 12

Функцію $\Delta t(\omega)$, визначену за формулою (5.11), можна вважати напівадитивною знизу. Позначимо її як Δt_n , тоді правильна нерівність

$$\sum_{\omega \in U} \Delta t_n(\omega) < \Delta t(U),$$

де $\Delta t(U)$ – скорочення часу від реконструкції об'єктів підмножини U ; визначене за результатами тягових розрахунків.

Аналогічно можна визначити функцію скорочення часу руху, що буде *напівадитивною зверху*

$$\sum_{\omega \in U} \Delta t_s(\omega) > \Delta t(U),$$

де $\Delta t_s(\omega) = T(U = \Omega \setminus \omega) - T(U = \Omega)$.

З урахуванням уведення нових підходів *про напівадитивність функцій*, можна одержати рішення задачі 2 для розглянутого прикладу з використанням функції скорочення часу як *напівадитивної зверху*. Результати розрахунку подані в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Результати розрахунків за умови, що функція $\Delta t(\omega)$ є напівадитивною зверху

15
 172 509 140556 175495 2349 158 230 75 480 220119 104927 1916 1938 414 256
 6 30 6 18 0 36 24 0 12 12 0 0 0 0 60

Вартість реконструкції $K(U)$, тис. у.о.	Скорочення часу $\Delta t(U)$, с	Набір об'єктів, що підлягають реконструкції, U
1	2	3
0,158	36	6
0,414	96	6, 15
0,644	126	6, 15, 7
1,153	156	6, 15, 7, 2
1,449	174	6, 15, 7, 2, 3
1,929	186	6, 15, 7, 2, 3, 9
2,101	198	6, 15, 7, 2, 3, 9, 1
2,711	222	6, 15, 7, 2, 3, 9, 1, 4
3,395	240	6, 15, 7, 2, 3, 9, 1, 4, 10
5,744	246	6, 15, 7, 2, 3, 9, 1, 4, 10, 5
5,819	246	6, 15, 7, 2, 3, 9, 1, 4, 10, 5, 8
6,233	252	6, 15, 7, 2, 3, 9, 1, 4, 10, 5, 8, 14
6,694	252	6, 15, 7, 2, 3, 9, 1, 4, 10, 5, 8, 14, 11
8,61	252	6, 15, 7, 2, 3, 9, 1, 4, 10, 5, 8, 14, 11, 12
10,548	252	6, 15, 7, 2, 3, 9, 1, 4, 10, 5, 8, 14, 11, 12, 13

Таблиця 5.6 – Результати розрахунків способом «по-новому» при корегуванні параметрів кривих у межах основної площадки земляного полотна

Вартість реконструкції $K(U)$, тис. у.о.	Скорочення часу $\Delta t(U)$, с	Набір об'єктів, що підлягають реконструкції, U
1	2	3
0.158	36	6
0.256	66	15
0.414	96	15, 6
0.644	126	15, 6, 7
1.153	156	15, 6, 7, 2
1.325	168	15, 6, 7, 2, 1
1.449	174	6, 15, 7, 2, 3
1.805	186	15, 6, 7, 2, 1, 9
2.105	198	15, 6, 7, 2, 1, 9, 3
2.711	222	15, 6, 7, 2, 1, 9, 3, 4
3.395	240	15, 6, 7, 2, 1, 9, 3, 4, 10
5.744	246	6, 15, 7, 2, 3, 9, 1, 4, 10, 5
6.233	252	6, 15, 7, 2, 3, 9, 1, 4, 10, 5, 8, 14

Слід зазначити, що на всіх 15-ти кривих на ділянці Красноград-Кегичівка виконані роботи з рихтування в межах існуючого земляного полотна. За результатами розрахунків на рисунку 5.19 наведена залежність скорочення часу руху від виділених коштів на рихтування кривих.

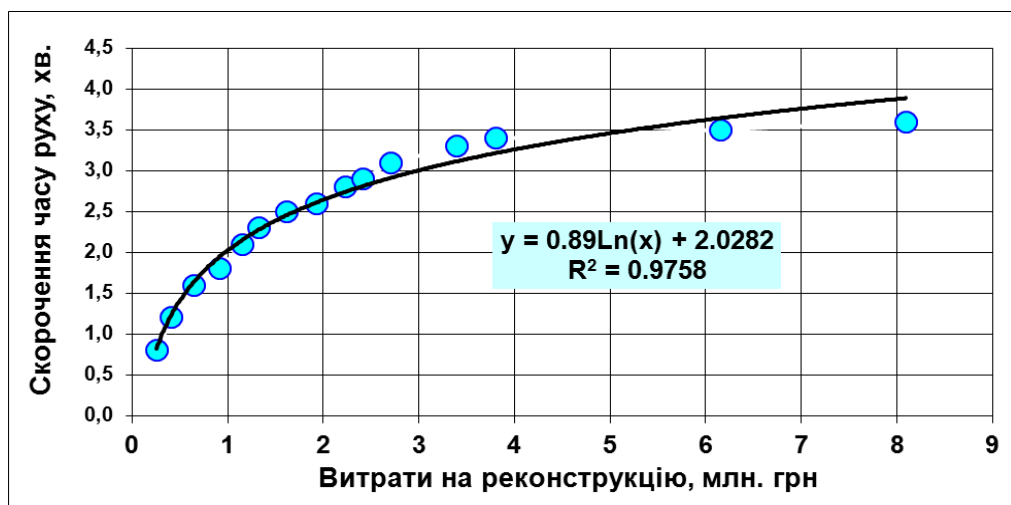


Рисунок 5.19 – Залежність скорочення часу руху від виділених коштів на рихтування кривих

Таким чином, користуючись графіком, можна визначити найбільш ефективні об'єкти відповідно до виділеної суми інвестицій. Наприклад, на реконструкцію виділено 1,5 тис. у.о. Відповідно до графіка на рис. 5.19 скорочення часу руху на ділянці Красноград-Кегичівка довжиною 29 км складе близько 3 хв. Відповідно до таблиці Г.4 встановлюємо, що це криві № 6, км 90,308; № 15, км 105,088; № 7, км 91,349; № 2, км 82,275; № 3, км 84,437 і відповідна вартість робіт на їх перебудову.

Грунтуючись на вищевикладеному, остаточний алгоритм рішення задачі буде таким.

1. Задається множина Ω – перелік об'єктів можливої реконструкції з відповідними рівнями швидкостей і вартістю переходу $K(\omega)$ та необхідне скорочення часу ходу ΔT_0 .

2. Виконуються тягові розрахунки для одержання значень функцій $\Delta t_n(\omega)$ і $\Delta t_s(\omega)$; кількість розрахунків $2 * m$, де m – кількість об'єктів.

3. Розв'язується задача з функцією $\Delta t_n(\omega)$. У результаті одержуємо підмножину $U_n \subseteq \Omega$, для якої уточнюється скорочення часу руху $\Delta t(U_n)$ тяговими розрахунками.

4. Виконується операція $U_n = U_n \setminus \omega_k$, де ω_k – останній елемент підмножини U_n . Для нового значення U_n за тяговими розрахунками визначається величина $\Delta t(U_n)$. Пункт 4 повторюється доти, поки правильна нерівність $\Delta t(U_n) \geq \Delta T$.

5. Розв'язується задача з функцією $\Delta t_s(\omega)$. Для результату рішення – підмножини $U_s \subseteq \Omega$ – тяговими розрахунками визначається скорочення часу руху $\Delta t(U_s)$.

6. Поки не виконається нерівність $\Delta t(U_s) \geq \Delta T$, виконується операція $U_s = U_s / \omega_j$, де ω_j – елемент множини Ω' , що йде за останнім елементом у підмножині U_s .

7. Як остаточне рішення вибирається те з двох, вартість об'єктів якого

мінімальна

$$U = \begin{cases} U_n, & K(U_n) < K(U_e), \\ U_e, & K(U_e) < K(U_n). \end{cases}$$

Необхідність у виконанні пунктів 4 і 6 випливає з властивостей *напівадитивних функцій*, тому що для $\forall U \subseteq \Omega$ будуть справедливі такі нерівності

$$\sum_{\omega \in U} \Delta t_n(\omega) \geq \Delta t(U),$$

$$\sum_{\omega \in U} \Delta t_e(\omega) \leq \Delta t(U).$$

Основні витрати часу при машинному рішенні розглянутих задач припадають на виконання тягових розрахунків. При переборі усіх варіантів їх необхідно виконати $2^m - 1$ раз, де m – кількість об'єктів. При використанні розглянутого алгоритму кількість тягових розрахунків буде залежати від збіжності процесів у пунктах 4 і 6, у найбільш несприятливому випадку загальна кількість складе $3m + 1$ раз. У такий спосіб буде досягнуте скорочення часу розрахунків, не менше ніж у $\frac{2^m - 1}{3m + 1}$ раз.

Важливо відзначити, що при використанні запропонованого алгоритму, по-перше, час розрахунку лінійно залежить від кількості об'єктів, і по-друге, при їхньому збільшенні буде спостерігатися тенденція наближення кількості розрахунків до величини $2m + 2$. Зазначені переваги дозволяють застосовувати розглянуту методика для одержання швидкого рішення для ділянки з декількома десятками взаємовпливових об'єктів обмеження швидкості руху.

Щоб мати можливість підібрати оптимальне співвідношення між скороченням часу руху і необхідними для цього засобами для всіх можливих ΔT , можлива така зміна розглянутого алгоритму:

1. Задається множина Ω – перелік об'єктів можливої реконструкції з відповідними рівнями швидкостей і вартістю переходу $K(\omega)$. Задається необхідне скорочення часу ходу ΔT_0 .

2. Виконуються тягові розрахунки для одержання значень функцій $\Delta t_n(\omega)$ і $\Delta t_g(\omega)$, кількість розрахунків $2 * m$, де m – кількість об'єктів.

3. Розв'язується задача з функцією $\Delta t_n(\omega)$ для $\Delta t(U_n) \in (\Delta t(U = \{ \}); \Delta t(U = \Omega)]$ й уточнюється $\Delta t(U_n)$ тяговими розрахунками. Результатом є множина A , елемент якої складається з набору об'єктів U , скорочення часу $\Delta t(U)$ і їхньої вартості $K(U)$, причому елементи множини A упорядковані за $\Delta t(U)$ і $K(U)$.

4. Формується множина B , аналогічно множині A , але з використанням функції $\Delta t_g(\omega)$.

5. Формується множина $C = A \cup B$ і упорядковується за величиною $\Delta t(U)$.

6. З множини C виключаються i -ті елементи, що не задовольняють умову $K(U_{i-1}) < K(U_i) < K(U_{i+1})$. Сформована множина є остаточним результатом.

При перебудові кривих з метою збільшення радіусів роботи значно ускладнюються у зв'язку з необхідністю переміщенням осі колії на нову трасу і вартість стрімко зростає. Наприклад, перебудова кривої № 5 з радіусу 1101 до 1506 дозволяє реалізувати максимальну швидкість 160 км/год. (див. додаток Г) при витратах 140556 у.о., кривої №6 з радіуса 830 на 1128 м дозволяє підвищити швидкість до 135 км/год при витратах 175495 у.о., кривої №12 з радіуса 882 м на 1148 м забезпечить швидкість 125 км/год при витратах на реконструкцію 220119 у.о., кривої №13 з радіуса 1094 на радіус 1235 дозволяє підвищити швидкість до 140 км/год. Розглядались саме ці криві тому, що вони є одинокими (незалежними від сусідніх кривих), ці криві були запропоновані Південною залізницею до перебудови напередодні «Євро-2012». Використання вище викладеної методики дозволило отримати дані щодо скорочення часу руху в залежності від вартість робіт з реконструкції плану залізниці (таблиця 5.7, рисуну 5.20).

Таблиця 5.7 – Результати розрахунків способом «по-новому» при корегуванні параметрів кривих в тому числі з переходом на нову трасу

Вартість реконструкції $K(U)$, тис. у.о.	Скорочення часу $\Delta t(U)$, с	Набір об'єктів, що підлягають реконструкції, U
1	2	3
0,256	66	15
0,414	96	15, 6
0,644	126	15, 6, 7
1,153	156	15, 6, 7, 2
1,325	168	15, 6, 7, 2, 1
1,805	186	15, 6, 7, 2, 1, 9
4,157	192	15, 6, 7, 2, 1, 9, 14, 13
6,506	198	15, 6, 7, 2, 1, 9, 14, 13, 5
177,789	210	15, 6, 7, 2, 1, 9, 7, 14, 4
182,076	222	15, 6, 7, 2, 1, 9, 14, 13, 5, 7, 4
397,908	228	15, 6, 7, 2, 1, 9, 7, 14, 4, 10
401,762	234	15, 6, 7, 2, 1, 9, 7, 14, 4, 10, 12, 13
402,195	240	15, 6, 7, 2, 1, 9, 14, 13, 5, 7, 4, 10
542,318	246	15, 6, 7, 2, 1, 9, 7, 14, 4, 10, 12, 13, 3
542,751	252	15, 6, 7, 2, 1, 9, 14, 13, 5, 8, 4, 10, 3

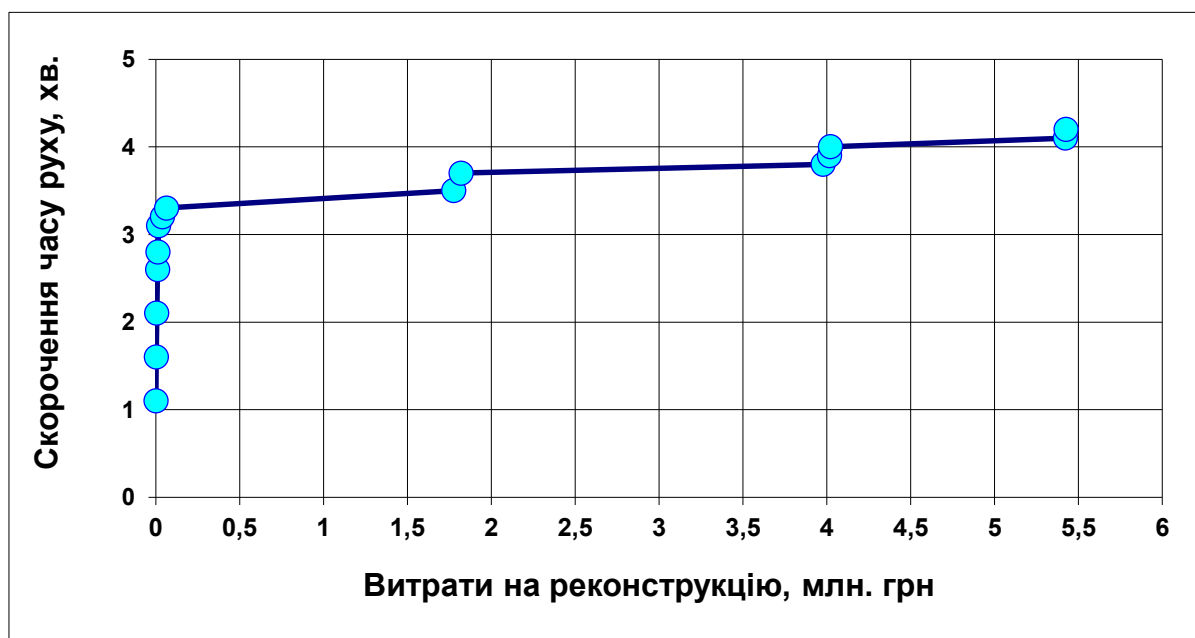


Рисунок 5.20 – Залежність скорочення часу руху від виділених коштів на рихтування й перебудову кривих

Як впливає з порівняння рис. 5.19 і 5.20 практично однакового скорочення часу руху на ділянці Красноград – Кегичівка (4 хв.) можна досягти виконання робіт з корегування параметрів кривих на існуючій трасі і перебудовою окремих кривих з виносом колії на нову трасу для збільшення радіусів кривих. Витрати у другому випадку зростають майже на два порядки.

З використанням запропонованої методики аналогічного роду задачі були вирішені й на інших перегонах ділянки Красноград –Лозова регіональної філії «Південна залізниця» та на ділянках П'ятихатки – Дніпро й Красноград – Новомосковськ регіональної філії «Придніпровська залізниця» при встановленні першочергових перегонів для модернізації й усунення бар'єрних місць з метою підвищення швидкості руху поїздів, що підтверджено відповідними актами.

Наукові підходи й методики, розроблені й використані автором під час досліджень викладені в працях [46, 58, 60, 69], обговорювались на міжнародних конференціях [106–114] і отримали схвалення.

5.8 Висновки до розділу 5

1. Проведений аналіз плану на експлуатованих залізницях підтвердив необхідність розробки методики перебудови кривих з визначенням обсягів і вартості робіт для підвищення швидкості руху поїздів.

2. При проектуванні ремонтів колії можна досягти істотного виграшу в часі руху поїздів тільки за рахунок корегування параметрів плану лінії з переходом в нове проектне положення, яке передбачає перебудову (рихтування) в межах основної площадки існуючого земляного полотна.

3. Підвищення швидкості до 160 км/год при зміщенні осі колії в межах смуги відведення не дають істотного ефекту в порівнянні з рихтуванням колії в межах основної площадки земляного полотна. Витрати на перебудову кривих в цьому випадку окупаються за межами нормативного терміну.

4. При розмежуванні вантажного й пасажирського руху й спеціалізації напрямків для перевезень змінюються швидкості руху, параметри поїздопотоків, що викликає необхідність в корегуванні параметрів кривих при реконструкції плану лінії.

5. При проектуванні ремонтів колії можна досягнути суттєвого виграшу в часі руху за рахунок виконання вимог ЦП-0287 з виправлення кривих у плані та відновлення проектних радіусів, тобто встановлювати колію при машинізованому поточному утриманні й ремонтних роботах в проектне положення.

6. При наявності обмежень швидкості приблизно з однаковими показниками (рівень швидкості, довжина, ухил поздовжнього профілю тощо) перевагу в плануванні робіт слід віддавати тим бар'єрним місцям, які розташовані на вантажонапружених напрямках. Це пояснюється тим, що ефект від зняття обмеження пропорційний кількості поїздів.

7. При наявності бар'єрних місць з різним рівнем обмеження швидкості й довжини перевагу слід віддавати при інших рівних умовах усуненню ділянок з рівнем обмеження 15 км/год, потім 25 і 40 км/год., так як ефект на 1 км/год зростання швидкості збільшується при підвищенні з 15 до 25 км/год в 2-2,5 рази у порівнянні з підвищенням швидкості з 25 до 40 км/год, та приблизно в 1,5 рази при підвищенні з 40 до 60 км/год у порівнянні з діапазоном швидкостей з 25 до 40 км/год.

8. При наявності ділянок обмеження швидкості різної довжини при інших рівних умовах слід віддавати перевагу тим, які мають більшу довжину ділянок. Так, при знятті обмеження довжиною 5000 м у порівнянні з 2000 м збільшується в середньому в 1.5...2,5 рази, причому більше значення відноситься до діапазону швидкостей 15-25 км/год, менше в діапазоні 40-60 км/год.

9. При наявності ділянок обмеження швидкості, що розташовані на різних ухилах поздовжнього профілю при інших рівних умовах слід віддавати перевагу тим, які розташовані на ухилах $\pm 3\%$, тобто поїзд

проходить ділянку в тяговому режимі. Якщо ділянка знаходиться на крутих підйомах, то ефект знижується, так як поїзд може не вийти на максимальну допустиму швидкість, на крутих спусках поїзд рухається в режимі регульовального гальмування і ефект також знижується.

10. Розроблена методика на рівні інженерного розрахунку дозволяє отримати попередні висновки щодо економічного ефекту від перебудови кривих з встановленням раціональних параметрів для усунення обмеження швидкості руху поїздів.

11. Різні методи оптимальної перебудови існуючої лінії для підвищення швидкості руху поїздів, які використовувались раніше, припускають, що критерій оптимізації адитивний, тобто складається із суми ефекту, що отримується на кожній ділянці. Однак запропоновані різними авторами способи розподілу лінії на локальні ділянки припускають, що ділянки оптимізації є незалежними одна від одної за швидкістю руху поїздів, тобто наявність обмежень швидкості в межах даної ділянки не впливає на рівень швидкості на сусідніх з ним ділянках ліворуч і праворуч. Критерій оптимізації в таких задачах приймається адитивним. До недоліків такого підходу слід віднести те, що призначення незалежних ділянок оптимізації робиться по кривій швидкості пасажирського поїзда $v(s)$, положення якої не є постійним, тому що залежить від параметрів самого поїзда, напрямку руху й інших факторів.

12. Запропонований в дисертації новий метод вибору оптимальної стратегії реконструкції ділянок залізничної лінії транспортних коридорів базується на принципово іншому підході, що виключає розподіл лінії на незалежні ділянки оптимізації, тому що алгоритм оптимізації містить, крім математичних методів, виконання тягових розрахунків з використанням реальних даних (файлів) про поздовжній профіль, план лінії й обмеження швидкості.

13. Новий метод оптимізації базується на використанні неадитивної функції скорочення часу руху від набору об'єктів, що підлягають

реконструкції. Ефект у процедурі оптимізації досягається завдяки введенню в розгляд нових напівадитивних (знизу і зверху) функцій, що скорочує час оптимізації в $(2^m - 1)/(3m + 1)$ раз у порівнянні з прямим перебором варіантів.

14. Новий метод дозволяє як вирішувати задачі по вибору оптимальної стратегії реконструкції об'єктів при заданих рівнях максимальної швидкості, так і знаходити раціональну швидкість при оптимізації на кожній ділянці за встановленим критерієм. Використання тягових розрахунків як складової методу оптимізації дозволило як основні критерії розглядати широке коло функцій корисності, таких як скорочення часу руху поїзда, зменшення витрат електроенергії, економії експлуатаційних витрат на рух поїзда.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, в якому на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішена важлива науково-технічна задача встановлення раціональних параметрів залізничних кривих на напрямках швидкісного руху поїздів, що буде сприяти реалізації державної програми, визначеної в Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року. Отримані результати, висновки і практичні рекомендації в сукупності мають суттєве значення для залізничного транспорту і полягають у наступному:

1. На основі аналізу існуючих наукових підходів, показана наявність певних недоліків в системі розв'язання задачі впровадження швидкісного руху. Підвищення швидкості розглядалось при суміщеному русі вантажних і пасажирських поїздів без оцінки можливостей спеціалізації напрямків.

2. На основних напрямках міжнародних транспортних коридорів, які проходять територією України, без перебудови плану і розмежування вантажного й пасажирського руху не завжди можливо дотриматись вимог встановлених до залізниць міжнародного значення, насамперед, максимальної швидкості руху.

3. В умовах українських залізниць проблема швидкості в двох третинах випадків пов'язана не з радіусом, а з довжиною перехідних кривих і прямих вставок між суміжними кривими. Тому при виборі способу реконструкції кривих ділянок колії для їх приведення до раціональних параметрів необхідно враховувати не лише безпеку руху, комфортабельність їзди і оптимальну роботу колії, а й вартість виконання робіт в умовах обмеженого фінансування.

4. На достовірність параметрів плану лінії, а отже й на рівень максимально допустимої швидкості, впливають вихідні дані отримані різними способами зйомки кривих, кожний з яких має свої як позитивні так і негативні якості. Запропонована залежність дозволяє досліджувати вплив допусків в утриманні кривих на величину радіуса кругової кривої і рівень допустимої швидкості руху.

5. При встановленні способів реконструкції кривих ділянок колії для їх

приведення до раціональних параметрів пропонується порівнювати такі варіанти реконструкції плану: корегування параметрів кривих з допустимими зсувами осі колії у межах основної площадки земляного полотна; зміна існуючих параметрів кривих із зміщенням вісі колії в межах смуги відведення; на складних ділянках плану лінії – зі зміщенням вісі колії до 15 метрів. Можлива реалізація максимальної швидкості 160 км/год по варіантам коливається від 5 до 42 %.

6. Дослідження вартості робіт в залежності від зміщення осі існуючої колії в кривих показало, що витрати, як і зміщення осі колії, збільшуються в залежності від рівня швидкості і можуть бути описані поліномом другого ступеню.

7. За результатами моделювання і експериментальних досліджень встановлено, що при збільшенні радіуса кривої до 1500-1600 м, що дозволяє реалізувати максимальну швидкість 160 км/год, забезпечується більш високий рівень безпеки руху поїздів через зменшення коефіцієнту горизонтальної динаміки колії, а максимальна бокова сила відносно кривої радіусом 1000 м зменшується вдвічі, що позитивно впливає на зменшення зносу колійної інфраструктури.

8. Розроблений метод визначення раціональних параметрів кривих враховує наявний стан колійної інфраструктури, тип і характеристики існуючого і перспективного рухомого складу, обмежене інвестування проектів і життєвий цикл роботи залізничної колії. Застосування розробленого метода дає можливість збільшити швидкість на перегонах і станціях на 18...25 % та скоротити питомі витрати електроенергії на тягу поїздів на 10-15 кВт·год/км, що сприяє виконанню державного завдання з економії енергоресурсів.

9. На підставі проведених досліджень розроблено практичні рекомендації щодо корегування параметрів існуючих кривих, які дозволяють реалізувати максимальну швидкість 160 км/год і скоротити час руху поїздів в середньому на 0,1 хв./км. Результати роботи реалізовано при впровадженні прискореного руху пасажирських поїздів на ділянках напрямків Київ – Дніпро та Київ – Донецьк, що підтверджено відповідними актами регіональних філій «Придніпровська залізниця» і «Південна залізниця».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. Схвалено Кабінетом Міністрів України від 30.05.2018/ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/news/28581.html>]
2. Програма оновлення рухомого складу ПАТ «Укрзалізниця» на період до 2021 року (проект). – Київ, 2016. – 66 с.
3. Транспортна стратегія України на період до 2020 року (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 № 2174-р. – Київ, 2010. – 32 с.
4. Аналітичні матеріали щодо виконання основних показників роботи АТ «Укрзалізниця» та її регіональних філій у співставлених умовах за даними статистичної звітності грудень, січень-грудень 2018 р. /ЦЧУ. – К., 2018. – 65 с.
5. Аналітична записка до Концепції Державної цільової програми розвитку пасажирських перевезень на залізничному транспорті України до 2020 року. – Київ : Київдіпротранс, 2010. – 39 с.
6. Теоретичні основи впровадження високошвидкісного руху поїздів в Україні: монографія / М. Б. Курган, Д. М. Курган; Дніпротр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро, 2016. – 283 с.
7. Курган М. Б. Наукові основи перебудови існуючих залізниць України для впровадження швидкісного руху поїздів: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.06. Дніпропетровськ, 2004. - 515 с.
8. Гусак М. А. Підвищення ефективності роботи залізничної колії при спеціалізації напрямків для вантажних і пасажирських перевезень: дис....канд. техн. наук:05.22.06. Дніпропетровськ, 2012. - 182 с.
9. Кірпа Г. М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему : монографія / Г. М. Кірпа. – 2-ге вид., переробл. і допов. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 248 с.

10. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії / М. Б. Курган, А. М. Орловський, О. М. Патласов, В. В. Циганенко, Д. М. Курган: ЦП-0236: Затв. наказом Укрзалізниці від 14.12.2010 №778-Ц. – К., 2010. – 52 с.

11. Науково-технічне забезпечення залізничного сполучення Україна – Євросоюз: монографія / М. Б. Курган, Д. М. Курган // Дніпротр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро, Вид-во ПФ «Стандарт-Сервіс». – 2018. – 268 с. ISBN 978-617-7382-13-2

12. Железнодорожный путь и подвижной состав для высоких скоростей движения / А. Ф. Золотарский, А. Д. Вершинский, О. П. Ершков и др.; Под ред. М. А. Чернышова. – М.: Транспорт, 1964. – 272 с.

13. Чернышов М. А. О смягчении продольных профилей, улучшении плана и спрямлении трассы / Железнодорожный транспорт. – М., 1950, №7.

14. Сурменев И. А. Смягчение кривых на зарубежных железных дорогах / Бюллетень технико-экономической информации МПС. Вып. 5, 1956

15. Джгамадзе О. В. Опыт спрямления трассы на железных дорогах США в кн. «Из зарубежного опыта проектирования железных дорог», под ред. проф. В.Е. Еврейскова. Новосибирск, 1959.

16. Джгамадзе О. В., Реутский А. П. О целесообразности спрямления линии на отдельных участках эксплуатируемых железных дорог /Труды НИИЖТ. Новосибирск, 1960, вып. 21/

17. Черномордик Г. И. Смягчение кривых малого радиуса /Железнодорожный транспорт. М., 1955, № 8.

18. Иоаннисян А. И. Улучшение трассы существующих железных дорог. – М.: Транспорт, 1972. – 176 с.

19. Евграфов В. И. К вопросу введения скоростного движения поездов на существующих магистралях: дис. ... канд. техн. наук: №430. Днепропетровск, 1968. – 185 с.

20. Курган Н. Б. Вопросы реконструкции трассы существующих железных дорог: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.04. Москва, 1976. - 165 с.

21. Яковлев Б. В. Определение минимального радиуса кривых при проектировании двухпутных грузовых магистралей в сложных топографических условиях / Б. В. Яковлев, Н. Б. Курган, Д. К. Яценко // Меж. сб. науч. труд. УЭМИИТ, вып. 73. – Свердловск, 1984. – С. 37-46.

22. Фришман М. А., Климов В. И., Понырков В. И. Экспериментальные исследования горизонтальных ускорений при движении по переходным кривым // Путь и путевое хозяйство. – 1973. – №7. – С. 32-34.

23. Высокоскоростное пассажирское движение (на железных дорогах) / под ред. Н. В. Колодяжного. – М.: Транспорт, 1976. – 415 с.

24. Вериго М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М.: Транспорт. 1986. – 559 с.

25. Даніленко Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. ЦП-0117 / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2004. – 64 с.

26. Даніленко Е. І. Залізнична колія / Е. І. Даніленко // Підручник для вищих навчальних закладів. Київ, Інпрес. – 2010. Том 2 – 456 с.

27. Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії. Підручник для вищих навчальних закладів в 2-х томах: / Е. І. Даніленко, В. М. Молчанов, М. Б. Курган, В. Д. Бойко, В. М. Твердомет, О. А. Олійник, О. О. Сорока. За ред. д.т.н., проф. Е. І. Даніленка. – К.: «Хай-Тек Прес», 2019. ISBN 978-966-910-034-4. – 344 с.

28. Косарчук В. В. Сучасні методи зміцнення і підвищення зносостійкості пар тертя / Косарчук В. В., Кульбовський І. І., Агарков О. В. // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2015. – Випуск 31. – 263-268 с.

29. Вербицкий В.Г. Влияние поверхности кочення на колебания та стійкість динамічної системи колесо-рейка / В. Г. Вербицкий, О. Ю. Дорошенко, В. О. Демченко // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2013. – Вип. 23. – С. 5-13.

30. Некоторые результаты опытов с длинносоставными пассажирскими поездами / Е. П. Блохин, В. Н. Захаров, С. Г. Крюков, Е. Л. Стамблер // Динамика, нагруженность и надежность подвижного состава: Межвузовский сб. науч. тр. ДИИТ. – Днепропетровск, – 1985. – С. 3-12.
31. Вершинский С. В., Данилов В. Н, Челноков И. И. Динамика вагона / Под ред. С. В. Вершинского. М., Транспорт, 1978. – 352 с.
32. Данович В. Д. Пространственные колебания вагона на инерционном основании: дис... д-ра техн. наук: 05.05.01 / ДИИТ. – Днепропетровск, 1982. – 465 с.
33. Лазарян В. А. Динамика транспортных средств: Избр. тр. – К.: Наук. думка, 1985. – 528 с.
34. Мямлин С. В. Моделирование динамики рельсовых экипажей / С. В. Мямлин. – Д. : Новая идеология, 2002. – 240 с/
35. Радченко Н. А. Криволинейное движение рельсовых транспортных средств. – Киев: Наук. думка, 1988. – 213 с.
36. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств / Под ред. В. Ф. Ушкалова. – К.: Наук. думка, 1989. – 240 с.
37. Петренко В. Д. Аналіз стійкості земляного полотна для реалізації умов його безпеки при підвищенні швидкості руху / В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін, В. П. Купрій // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2015. – № 9. – С. 76–85.
38. Петренко В. Д. Estimation of Subgrade Strengthening Influence Using Soilcement Elements/ V. Petrenko, O. Tiutkin, I. Sviatko // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2016. – N 4(64). – С. 161–168.

39. Даниленко Э. И., Кутах А. П., Тараненко С. Д. Стрелочные переводы железных дорог Украины (Технология производства, эксплуатация в пути, расчеты и проектирование). – К.: КИТ, 2001. – 296 с.
40. Волошко Ю. Д., Орловський А. Н. Как работают стрелочные переводы под поездами. – М.: Транспорт, 1987. – 120 с.
41. Шахунянц Г. М. Устройство железнодорожного пути. – М.: Трансжелдориздат, 1944. – Т. 3. – 484 с.
42. Певзнер В. О., Канарская Л. А., Лопухов В. П. Учет влияния эксплуатационных факторов при повышении скорости движения в кривых // Сб. науч. тр. ВНИИЖТ / Под ред. О. П. Ершкова. – М.: Транспорт, 1988. – С. 26-33.
43. Курган Д. М. Визначення впливу стану кривих залізничної колії на допустимі швидкості руху поїздів: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06. Київ, 2001. - 178 с.
44. Босов А. А. Формирование вариантов рациональной сети линий высокоскоростного движения поездов в Украин / А. А. Босов, Г. Н. Кирпа: монография. – Д.: Из-во ДНУЖТ, 2004. – 144 с.
45. Курган М. Б. Передумови впровадження прискореного руху поїздів на напрямку Куми-Дніпропетровськ / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // Українські залізниці, №10(16), 2014, с. 56-64.
46. 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» К.: ДЕТУТ, 2012. – Вип. 21. - С. 57-63.
47. Мацубара К. Методы укладки и выправки пути на прямых и кривых участках и обеспечение безопасности движения поездов с высокими скоростями (120 км/ч и более) // Ежемесячный Бюл. Международной ассоциации железнодорожных конгрессов. – 1961. – №12. – С. 1-64.

48. Тиль А. Методы укладки и выправки пути на прямых и кривых участках пути и обеспечение безопасности движения поездов с высокими скоростями (120 км/ч и более) // Ежемесячный Бюл. Международной ассоциации железнодорожных конгрессов. – 1962, –№5. – С. 14-74.

49. Baluch H. Optimierung von Gleisverziehungen im Gleisbogenbereich. // Eisenbahningenieur. – 1984. – №2 (35).– S. 64-68.

50. Бирман Ф. Теоретическое и экспериментальное решение проблем пути для высоких скоростей движения поездов. Ежемес. бюл. Межд. асоц. ж.д. конгрессов. 1969. №1. С. 23-52.

51. Maria Baluch. Dobor wartosci parametrow kinematycznych w projektowaniu modernizacji linii kolejowych // Centrum NaukowoTechniczne Kolejnictwa. Problemy Kolejnictwa. Zeszut 119.– Warszawa. – 1995.

52. Концепція державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки. – К., 2004. – 43 с.

53. Чернышов В.М. На скоростных трассах // Путь и путевое хозяйство, 1988, №10. – С.45-47.

54. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України. ЦП-0287 / А. Бабенко, Г. Линник, К. Мойсеєнко, О. Патласов, В. Яковлев. – Київ, 2015. – 45 с.

55. Курган М. Б. Умови підвищення безпеки руху поїздів в кривих ділянках залізничної колії /М.Б. Курган, С.Ю. Байдак, О.Ф. Лужицький // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2014. – №8. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2014. – С. 41-49.

56. Курган Н.Б. Основные требования к выбору радиуса кривой при проектировании высокоскоростной магистрали / Н.Б. Курган, С.Ю. Байдак, Н.П. Хмелевская // Сб. науч. тр. «Проектирование развития региональной сети железных дорог» / под. ред. В.С. Шварцфельда. – Хабаровск: из-во ДВГУПС, – Вып. 3, 2015. – С. 195-207.

57. Куриляк І.В. Прискорений рух спонукає до дій / Українські залізниці, 2015.

58. Босов А. А. Оцінка економічної ефективності усунення обмежень швидкості руху поїздів, пов'язаних із станом залізничної колії / А. А. Босов, М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Випуск 41. Дніпропетровськ, 2012. – С. 106-115.

59. Певзнер В. О. Выбор рациональных скоростей движения // Железнодорожный транспорт. – 2000. – №3. – С. 47-53.

60. Курган Н. Б. Определение объемов работ для снятия ограничений скорости, связанных с планом линии / Н. Б. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевская // Проектирование развития региональной сети железных дорог/ Сборник трудов/ под. ред. В. С. Шварцфельда. – Хабаровск: Изд.ДВГУПС - Вып. 2, 2014. – С. 52-62.

61. Американская железнодорожная энциклопедия. М.: Транспорт. 1959. 416 с.

62. Курган М. Підготовка колії для підвищення швидкості руху поїздів / М. Курган, Д. Курган, Н. Хмелевська // Українська залізниця. - № 9-10 (51-52), 2017. – С. 14-21.

63. Положення з проведення польових, вишукувальних та проектних робіт при модернізації, капітальному ремонті колії та укладанні стрілочних переводів на залізобетонних брусах. ЦП-0128. К.: ТОВ “Швидкий рух”, 2005. – 40 с.

64. Корженевич И. П. Оценка достоверности основных параметров железнодорожных кривых при установлении по ним допускаемой скорости движения поездов / И. П. Корженевич, Н. Б. Курган, Д. Н. Курган, Н. Г. Ренгач // Будівництво. Зб. наук. праць. Вип.10 Дніпропетровськ, 2002. – С. 28-34.

65. Проценко А. И., Фишер В. А. Ошибки измерения кривизны на железнодорожных кривых по способу Гоникберга и влияние этих ошибок на

точность определения параметров кривых / Труды НИИЖТа, вып. 184. – С.40-50.

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

67. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії (зі змінами та доповненнями у відповідності до наказу від 01.12.2004 р. №917-ЦЗ). – К., 2005. – 48 с. (ЦП/0020).

68. Дослідження параметрів залізничної колії у плані за різними методами зйомки / М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // Наука та прогрес транспорту. – 2018. – № 2 (74). – С. 77-86.

69. Розробка рекомендацій з встановлення швидкостей руху поїздів в кривих на напрямках пасажирського, суміщеного й вантажного руху / за договором № 56/2012-ЦТех-160/12-ЦЮ від 15.08.2012, № ДР 0113U002080. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ. – 92 с.

70. Правила технічної експлуатації залізниць України. Затв. наказом Міністерства транспорту України від 20 грудня 1996 р. № 411. Із змінами і доповненнями, внесеними наказами Міністерства транспорту України від 8 червня 1998 року № 226, від 23 липня 1999 року № 386, від 19 березня 2002 року № 179, від 10 грудня 2003 року № 962.

71. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Залізничі колії 1520 мм. Норми проектування. ДБН В.2.3-19:2018. – К.: Мінрегіон, 2018. - 129 с.

72. Урахування показників плавності й комфортабельності їзди при проектуванні залізниць/ С. Ю. Байдак, М. О. Гаврилов, О. Ф. Лужицький / 78 Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» «Збірник наукових праць

Українського державного університету залізничного транспорту», Харків, 2016 р. - С. 94.

73. Дослідження параметрів залізничної колії в плані за різними методами зйомки / М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська Н. П. // 78 Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (17.05–18.05.2018), Дніпро. – С. 197-198.

74. Вериго М. Ф. Резервы повышения технических скоростей / М. Ф. Вериго // Железнодорожный транспорт, №10, 1986. – С. 17-19.

75. Юрковський Є. Інноваційні технології діагностики та обслуговування інфраструктури / Є. Юрковський, В. Яковлев // Українські залізниці, №5, 2013. – С.18-20.

76. Інструкція про порядок складання технічного паспорта дистанції колії, звітів про колійне господарство і про захисні лісонасадження. ЦП-ЦЧУ-0186. Затв. наказом Укрзалізниці від 24.12.2007 №622-Ц. – К., 2008. – 168 с.

77. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії. ЦП-0267 / О. М. Патласов, В. В.Рибкін, Ю. В. Палейчук, С. О. Соломаха, П. В. Панченко. – Київ : 2012. – 25 с.

78. Дюнин А. К. Аналитический метод проектирования переустройства железнодорожного пути в плане / А. К. Дюнин, А. И. Проценко – Новосибирск: НИИЖТ, 1967. – 226 с.

79. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП-0269) / Е. І. Даниленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган, В. О. Яковлев, Д. М. Курган та ін. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 456 с.

80. Курган Н. Б. Критерии определения допустимой скорости движения поездов и комфортабельность езды // Зб. наук. праць Київського

ун-ту економіки і технологій трансп.: Серія “Транспортні системи і технології”. -Вип.4.- К.: КУЕТТ, 2003.- С. 22-31.

81. Каменский В. Б. Содержание железнодорожного пути в кривых. – М.: Транспорт, 1987. –188 с.

82. Сопряжения кривых и особенности движения подвижного состава по ним / Под ред. д-ра техн. наук О. П. Ершкова – М.: Транспорт, – 1973. – 96 с. – (Тр. ЦНИИ МПС; Вып. 500).

83. Определение возвышения наружных рельсов в кривых по фактическим скоростям движения поездов /А. Н. Орловский, В. В. Цыганенко, Л. Я. Воробейчик, А. М. Патласов // Залізничний транспорт України. – 1999. – №4. – С. 10-12.

84. Мишин В. В. Оптимальное возвышение в кривых / Путь и путевое хозяйство. – 2009. - №3. – С. 4-6.

85. Бабенко А. І. Встановлені допустимі швидкості на складних ділянках плану залізниці з урахуванням комфортабельності їзди / А. І. Бабенко, Д. М. Курган, М. М. Черняков //Збірник наук. праць Державного економіко-технологічного ун-ту трансп. «Транспортні системи і технології». К.: ДЕГУТ, Вип.21, 2012. - с. 9-15.

86. Курган М. Б. Методика визначення допустимих швидкостей руху поїздів на ділянках складного плану залізниці / М. Б. 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.

87. Simulation model of transport system of poland as a tool for developing sustainable transport / Marianna Jacyna, Mariusz Wasiak, Konrad Lewczuk, Michał Kłodawski; *Archives of Transport*, 31(3), 23-35.

88. Данович В. Д. Математическая модель взаимодействия пути и пассажирского вагона при движении по участкам произвольной кривизны // Транспорт: Сб. научн. тр. ДИИТа. Вып. 8 – Днепропетровск. 2001. с. 124 – 138.

89. Курган М. Б. Застосування математичної моделі просторових

коливань пасажирського вагона для вирішення задач реконструкції плану залізничної колії // Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. Щорічний науково-виробничий журнал. – Львів, 2004, №11. – С. 128-135.

90. Желнин Г. Г., Молодилов В. А., Певзнер В. О. и др. Динамические качества и воздействие на путь скоростных электровозов ЧС4, ЧС2м, ВЛ40, тепловоза ТЭ109 и электровоза ВЛ8 с модернизированной экипажной частью / Труды ЦНИИ МПС, вып. 542. – М.: Транспорт, 1975. – с. 4 – 78.

91. Певзнер В. О., Шестаков В. Н., Карцев В. Я. Как устанавливают допускаемые скорости // Путь и путевое хозяйство, 2002. – №10. – С. 26-29.

92. Певзнер В. О., Карцев В. Я. Устройство пути в кривых: возвышение и отводы // Путь и путевое хозяйство. – 2001. – №11. – С. 10-13.

93. Корженевич И.П. Определение плавности и комфортабельности езды в кривых на участках скоростного движения / И. П. Корженевич, Н. Б. Курган., Д. Н. Курган // Материалы науч.-техн. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта. – Екатеринбург: УрГУПС, 2003. – С. 431- 439.

94. Проведення динаміко-міцнісних випробувань колії на залізобетонних шпалах з пружним скріпленням типу КПП, рейками УІС60 та розробка рекомендацій по встановленню швидкостей руху поїздів по ній: Звіт про НДР / ДНУЗТ. № ДР 0102U003579. – Дніпропетровськ, 2003. – 124 с.

95. Дослідження впливу стану залізничної колії в плані на плавність і безпеку руху поїздів / М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – №14. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2017. С- 94-101.

96. Ершков О. П. Исследование жесткости железнодорожного пути и ее влияние на работу рельсов в кривых участках. Труды ВНИИЖТа. 1963. Вып. 264, – 152с.

97. Вирішення задачі оптимальної перебудови ділянки для організації швидкісного руху поїздів / А. А. Босов, І. П. Корженевич, М. Б. Курган,

Д. М. Курган // Транспорт: Зб. наук. пр. ДШТУ. – Д. – 2002. – Вип.12. – С. 43-49.

98. Босов А. А. Назначение этапности мероприятий в путевом хозяйстве по повышению скоростей движения поездов / А. А. Босов, В. В. Рыбкин, Н. Б. Курган, В. И. Харлан // Наука и транспорт: Вестн. Белорус. гос. ун-та трансп. – Гомель: Из-во БелГУТ, 2002. – №2(5). – С. 32-38.

99. Раціоналізація перебудови кривих в плані при підвищенні швидкостей руху поїздів / В. В. Рибкін, М. Б. Курган, Д. М. Курган, В. І. Харлан // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ, 2003. – Вип.2. – С. 120-126.

100. Курган М. Б. Розробка метода оптимальної перебудови ділянки залізниці для організації швидкісного руху поїздів / Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ, 2003. – Вип.1. – С. 66-73.

101. Босов А. А. Применение функций множества в инженерных и экономических задачах // Транспорт: Зб. наук. пр. ДШТУ. – Дніпропетровськ, 2002. – Вип.12. – С. 20-29.

102. Проведення досліджень та оцінка економічної ефективності усунення обмеження швидкості за параметрами і станом залізничної колії / за договором № 78/2011-ЦТех-142/2011-ЦЮ від 12.09.201, № ДР 0111U00890. Дніпропетровськ: ДНУЗТ. – 164 с.

103. Курган М. Б. Економічна ефективність від усунення обмежень швидкості руху поїздів, що зумовлені простроченням ремонтів / М. Б. Курган, О. С. Маркова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 19. – С. 84–87.

104. Курган М. Б. Прогнозування втрат залізниці від дії обмежень швидкості руху поїздів / М. Б. Курган, О. С. Чернишова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – Вип. 37.

105. Пропозиції ДП «Придніпровська залізниця» по організації

швидкісного руху Київ-Дніпропетровськ. Дільниця Дніпропетровськ-Новомосковськ-Куми. – Д., 2011. – 35 с.

106. Спеціалізація залізничних напрямків як засіб надійності роботи залізничної колії / М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак // 6-я науково-практична міжнародна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті». – Харків. – УкрДУЗТ. – 2017. - С. 201-203.

107. Про підготовку інфраструктури до впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // 78 Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (17.05–18.05.2018), Дніпро. – С. 219-220.

108. Сучасні технології при перебудові кривих на напрямках швидкісного руху поїздів / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // Тези 72 Міжнародної наук.-практ. конф. «Проблеми та Перспективи розвитку залізничного транспорту». – Д., ДПТ. – 2012. – С. 169-170.

109. Визначення допустимих швидкостей руху поїздів на складних ділянках план / М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // Развитие научной школы транспортной механики. Международная научно-техническая конференция.– Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2013. – С. 49-50.

110. Характеристики швидкісного руху поїздів / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак // Проблеми механіки залізничного транспорту : Безпека руху, динаміка міцність рухомого складу та енергозбереження. XIII Міжнародна конференція. Тези доповідей. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2012. – С. 74-75.

111. Влияние на износ рельсов параметров устройства пути / М. Б. Курган, М. А. Гусак, С. Ю. Байдак // Проблеми механіки залізничного транспорту: Безпека руху, динаміка міцність рухомого складу та енергозбереження. XIII Міжнародна конференція. Тези доповідей. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2012. – С. 75-76.

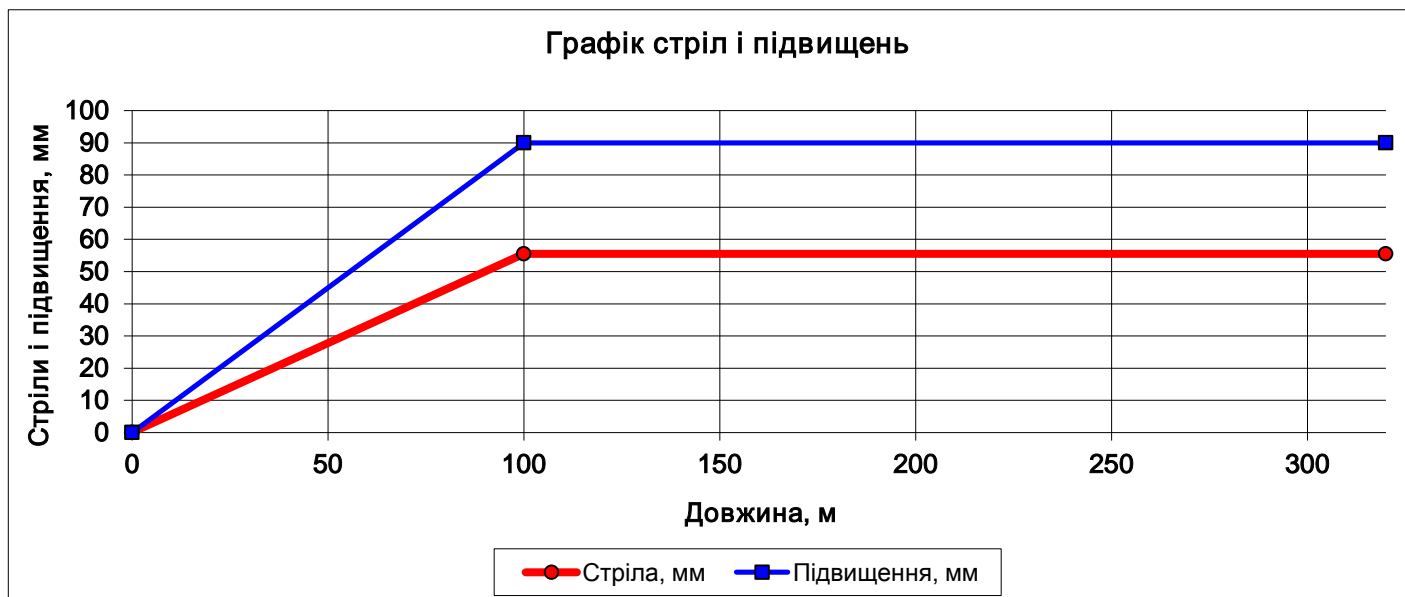
112. Оцінка комфортабельності їзди при реконструкції плану й профілю залізниці / В. І. Харлан, С. Ю. Байдак, М. М. Черняков // Проблеми взаємодії колії та рухомого складу: праці МНПК присвячені 100-річчю проф. М. А. Фрішмана. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2013. - С. 59-60.

113. Визначення раціональних параметрів залізничних кривих для заданого рівня максимальної швидкості / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // Проблеми взаємодії колії та рухомого складу: праці МНПК присвячені 100-річчю професора М, А. Фрішмана. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2013. – С. 87-88.

114. Оцінка економічної ефективності усунення обмежень швидкості / М. Б. Курган, М. А. Гусак, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості: Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції (Воловець, 10 червня – 13 червня 2015 р.) – Д.: ДНУЗТ, 2015. – С. 77.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ ШВИДКОСТІ РУХУ



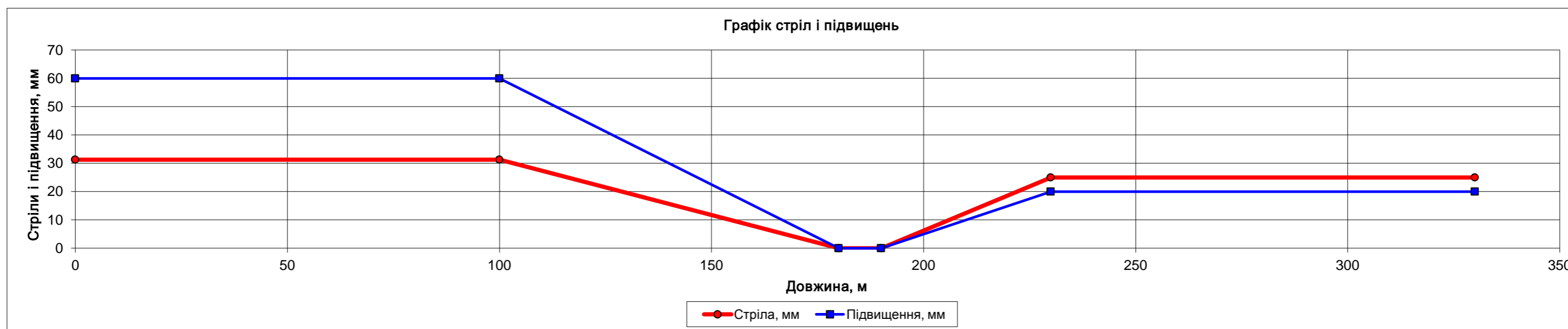
Перехідна крива		Кругова крива	
Довжина перехідної кривої, м	100	Радіус кругової кривої, м	900
		Підвищення, мм	90

Ухил відводу підвищення	0,900
Параметр С, м ²	90000

Максимальні швидкості

Швидкість по (ів)	140	Швидкість по (αнп)	121
Швидкість по (Ψ)	151		

Допустима швидкість (максимальна, кратно км/год)	5	120
--	---	-----

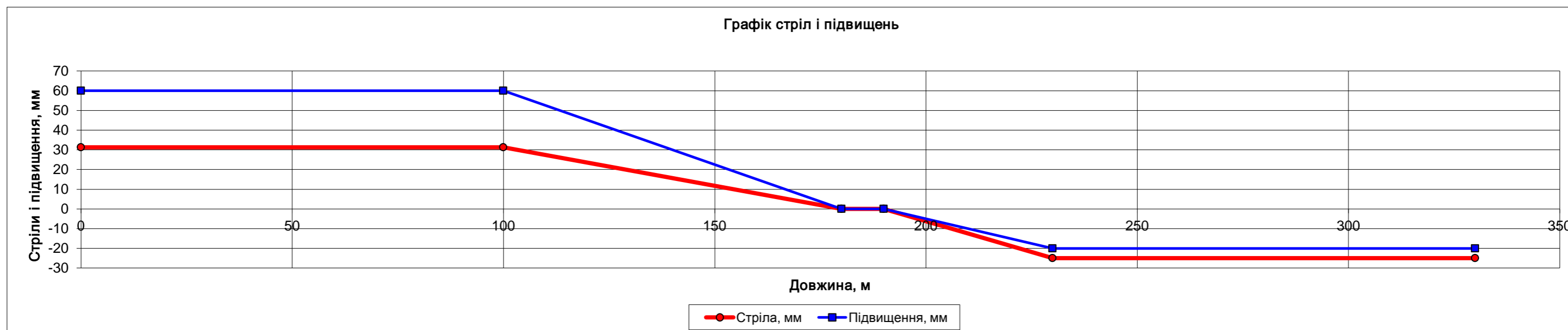


Кругова крива першої кривої		2-а перехідна першої кривої		Пряма вставка		1-а перехідна другої кривої		Кругова крива другої кривої	
Радіус кругової кривої, м	1600	Довжина перехідної кривої, м	80	Довжина прямої вставки, м	10	Довжина перехідної кривої, м	40	Радіус кругової кривої, м	2000
Підвищення, мм	60							Підвищення, мм	20

Ухил відводу підвищення	0,75	Параметр Σi	1,25	Ухил відводу підвищення	0,5
Параметр С, м ²	128000	Параметр Сприв, м ²	49231	Параметр С, м ²	80000
		Параметр Сrip, м ²	80000		

Швидкість по ($\alpha_{нп}$)	149	Швидкість по (i_v)	140	Швидкість з формули (Д.1)	119	Швидкість по (i_v)	160	Швидкість по ($\alpha_{нп}$)	146
		Швидкість по (Ψ)	170	Швидкість з формули (Д.2)	114	Швидкість по (Ψ)	139		

Допустима швидкість (максимальна, кратно 5 км/год)	115
--	-----

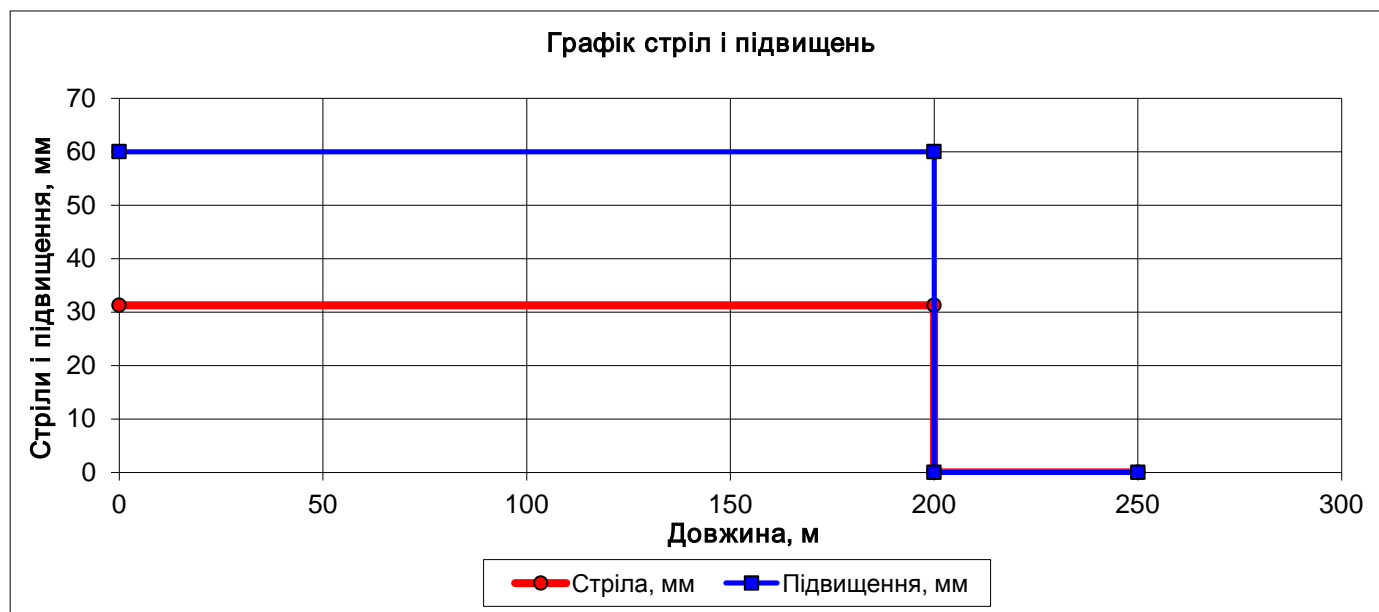


Кругова крива першої кривої		2-а перехідна першої кривої		Пряма вставка		1-а перехідна другої кривої		Кругова крива другої кривої	
Радіус кругової кривої, м	1600	Довжина перехідної кривої, м	80	Довжина прямої вставки, м	10	Довжина перехідної кривої, м	40	Радіус кругової кривої, м	2000
Підвищення, мм	60							Підвищення, мм	20

Ухил відводу підвищення	0,75	Параметр Σi	1,25	Ухил відводу підвищення	0,5
Параметр С, м ²	128000	Параметр Сприв, м ²	49231	Параметр С, м ²	80000
		Параметр Сrip, м ²	80000		

Швидкість по ($\alpha_{нп}$)	149	Швидкість по (i_v)	140	Швидкість з формули (Д.1)	119	Швидкість по (i_v)	160	Швидкість по ($\alpha_{нп}$)	146
		Швидкість по (Ψ)	170	Швидкість з формули (Д.2)	114	Швидкість по (Ψ)	139		

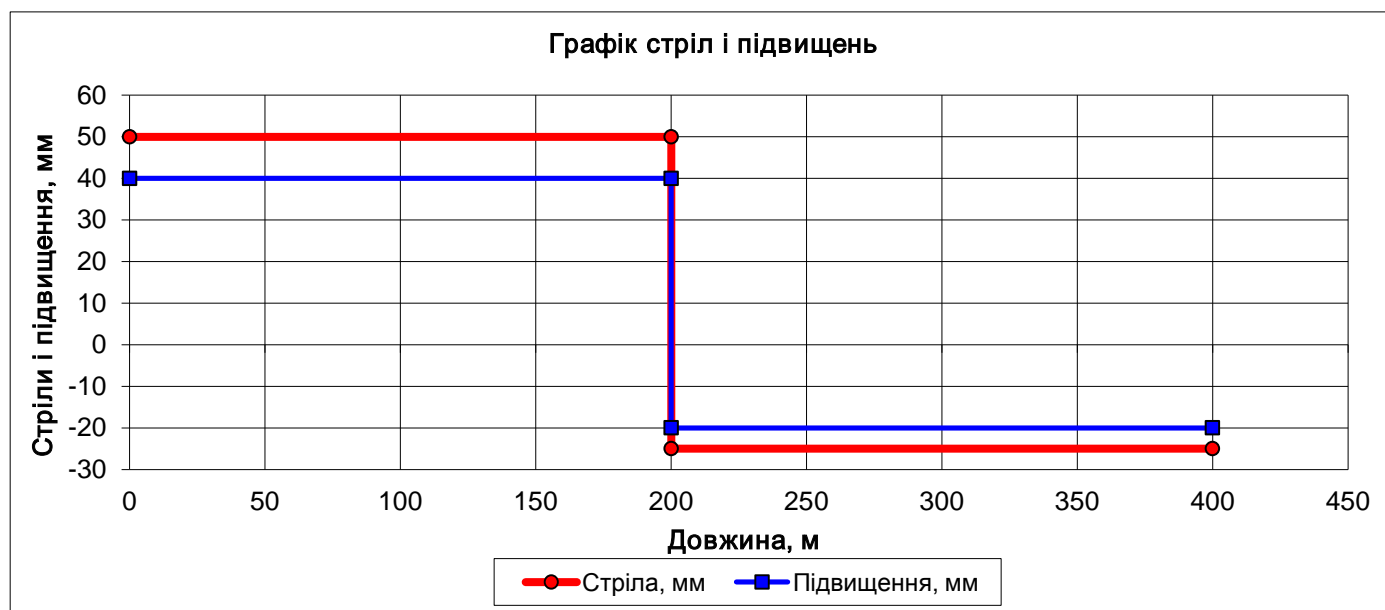
Допустима швидкість (максимальна, кратно 5 км/год)	115
--	-----



Кругова крива першої кривої		Пряма вставка
Радіус кругової кривої, м	1600	
Підвищення, мм	60	

Швидкість по (Д.3)	126
Швидкість по (Д.4)	106

Допустима швидкість (максимальна, кратно 5 км/год)	105
--	-----

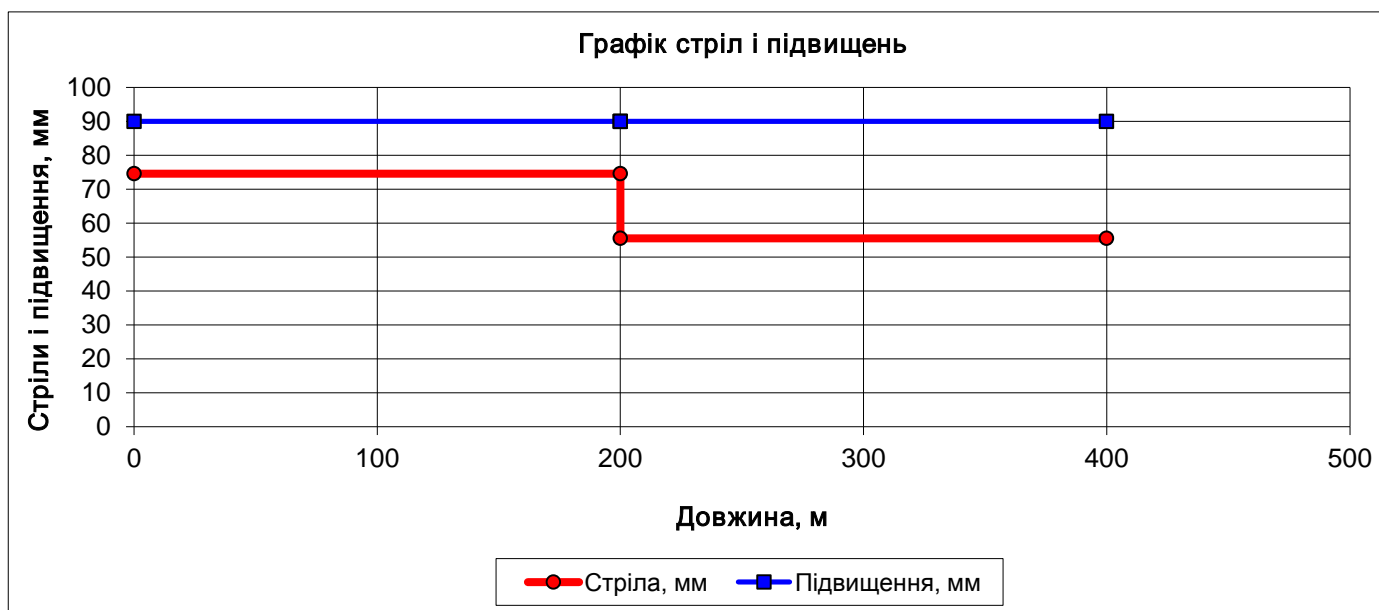


Перша кругова крива		Друга кругова крива	
Радіус кругової кривої, м	1000	Радіус кругової кривої, м	2000
Підвищення, мм	40	Підвищення, мм	20

Rприв, м	667
Минимальный радиус	1000

Швидкість по (Д.3)	91
Швидкість по (Д.5)	96
Швидкість по (Д.6)	84

Допустима швидкість (максимальна, кратно 5 км/год)	85
--	----

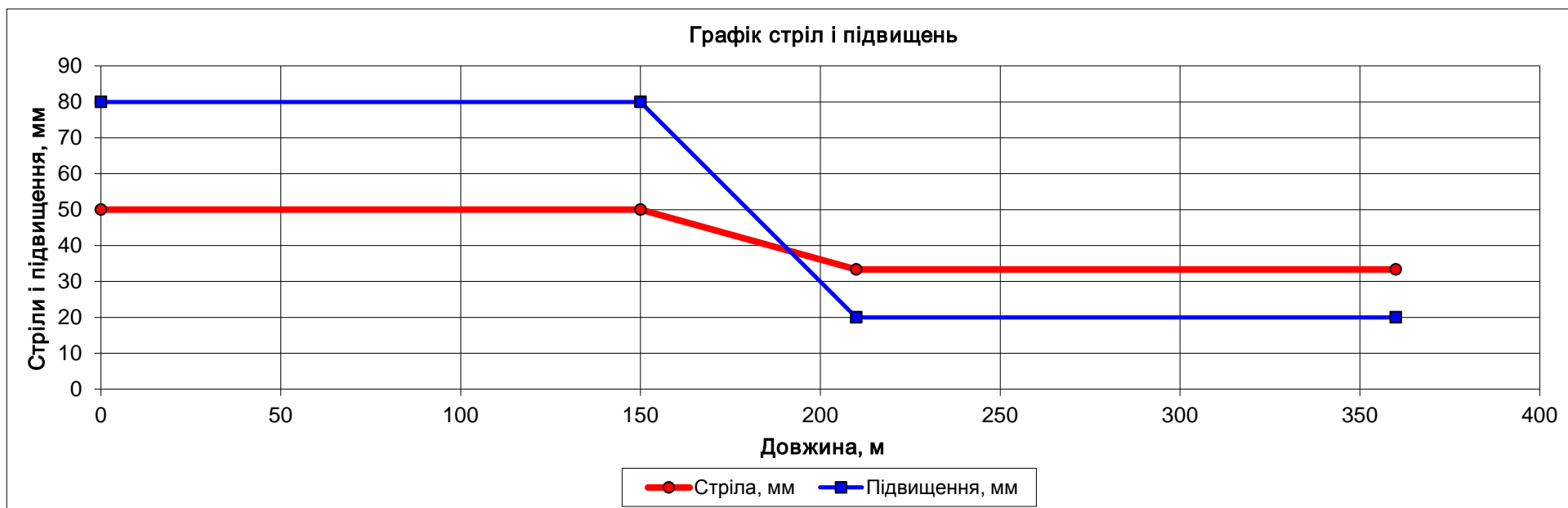


Перша кругова крива		Друга кругова крива	
Радіус кругової кривої, м	670	Радіус кругової кривої, м	900
Підвищення, мм	90	Підвищення, мм	90

1/R	1/	2622
Минимальный радиус		670

Швидкість по (Д.3)	91
Швидкість по (Д.7)	85

Допустима швидкість (максимальна, кратно 5 км/год)	85
--	----



Перша кругова крива		Перехідна крива		Друга кругова крива	
Радіус кругової кривої, м	1000	Довжина перехідної кривої, м	60	Радіус кругової кривої, м	1500
Підвищення, мм	80			Підвищення, мм	20

Ухил відводу підвищення	1
-------------------------	---

Швидкість по (α_{np})	124	Швидкість по (i_v)	140	Швидкість по (α_{np})	126
		Швидкість по (Ψ)	199		

Допустима швидкість (максимальна, кратно 5 км/год)	125
--	-----

ДОДАТОК Б
ВИЗНАЧЕННЯ ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

ЕКОНОМІЯ ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ЛОКОМОТИВА 2ТЕ116

Маса рухомого складу 3000 тонн

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=50$ м

Економія витрат палива, кг					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	13,8	25,1	31,7	34,6
i=-6	0	16,7	29,8	37,1	40,3
i=-4	0	21,0	36,6	44,9	48,4
i=-2	0	26,4	45,2	54,6	58,3
i=0	0	23,1	39,1	47,2	50,6
i=2	0	19,5	33,5	40,8	44,1
i=4	0	8,9	22,4	29,8	33,0
i=6	0	0	10,4	17,6	21,0
i=8	0	0	1,7	8,8	12,0

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	18,53	33,46	41,94	45,73
i=-6	0	22,37	39,77	49,15	53,31
i=-4	0	28,18	48,86	59,63	64,05
i=-2	0	35,46	60,26	72,45	77,21
i=0	0	30,83	51,69	62,04	66,30
i=2	0	25,69	43,40	52,41	56,35
i=4	0	11,4	28,01	36,98	40,69
i=6	0	0	12,62	21,18	25,01
i=8	0	0	2,08	10,21	13,69

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,36	1,31	2,8	3,96
i=-6	0	0,36	1,33	2,82	3,96
i=-4	0	0,41	1,42	2,89	4,09
i=-2	0	0,48	1,52	2,83	4,32
i=0	0	0,58	1,74	3,10	4,82
i=2	0	0,90	2,32	3,75	5,5
i=4	0	0,74	2,31	3,78	5,53
i=6	0	0	1,24	2,69	4,44
i=8	0	0	0,22	1,66	3,40

Довжина бар'єрного місця $L_{бм} = 100$ м

Економія витрат палива, кг					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	13,8	25,1	31,7	34,4
i=-6	0	16,7	29,8	37,1	40
i=-4	0	21	36,6	44,9	48,7
i=-2	0	26,4	45,2	54,6	58,5
i=0	0	23	39	47,1	50,5
i=2	0	19,5	33,3	40,7	44
i=4	0	8,9	22,3	29,6	33
i=6	0	0	10,2	17,5	21
i=8	0	0	1,7	8,8	12

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	18,53	33,46	41,94	45,4
i=-6	0	22,37	39,77	49,15	52,95
i=-4	0	28,18	48,86	59,63	64,45
i=-2	0	35,43	60,23	72,42	77,46
i=0	0	30,77	51,55	61,87	66,15
i=2	0	25,62	43,2	52,31	56,23
i=4	0	11,39	27,95	36,71	40,56
i=6	0	0	12,39	20,93	24,98
i=8	0	0	2,09	10,19	13,66

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,37	1,35	2,9	3,94
i=-6	0	0,37	1,37	2,91	3,92
i=-4	0	0,42	1,46	2,99	4,43
i=-2	0	0,49	1,55	2,9	4,69
i=0	0	0,59	1,78	3,17	4,97
i=2	0	0,91	2,36	3,83	5,65
i=4	0	0,74	2,34	3,85	5,67
i=6	0	0	1,26	2,75	4,57
i=8	0	0	0,22	1,7	3,51

Довжина бар'єрного місця $L_{бм} = 500$ м

Економія витрат палива, кг					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	13,8	25,1	31,7	34,4
i=-6	0	16,7	29,8	37,1	40
i=-4	0	21	36,6	44,9	48,7
i=-2	0	26,2	44,9	54,3	58,3
i=0	0	22,6	38,2	46,1	49,4
i=2	0	19,1	32,7	39,9	43,1
i=4	0	9	22	29,3	32,6
i=6	0	0	10,3	17,6	21,1
i=8	0	0	1,8	8,9	12,1

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	18,53	33,46	41,94	45,4
i=-6	0	22,37	39,77	49,15	52,95
i=-4	0	28,18	48,86	59,63	64,45
i=-2	0	35,14	59,94	72,13	77,17
i=0	0	30,15	50,45	60,49	64,63
i=2	0	25	42,16	50,98	54,76
i=4	0	11,39	27,3	35,96	39,68
i=6	0	0	12,42	20,77	24,6
i=8	0	0	2,18	10,02	13,36

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,48	1,7	3,72	5,09
i=-6	0	0,49	1,72	3,74	5,06
i=-4	0	0,53	1,8	3,76	5,73
i=-2	0	0,59	1,85	3,56	5,99
i=0	0	0,69	2,08	3,83	6,27
i=2	0	1,01	2,65	4,48	6,94
i=4	0	0,8	2,59	4,46	6,92
i=6	0	0	1,41	3,27	5,73
i=8	0	0	0,26	2,1	4,55

Довжина бар'єрного місця $L_{бм} = 2000$ м

Економія витрат палива, кг					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	13,8	25,1	31,7	34,4
i=-6	0	16,7	29,8	37,1	40
i=-4	0	21	36,6	44,9	48,7
i=-2	0	25,4	44,1	53,5	57,5
i=0	0	20,9	35,2	42,5	45,5
i=2	0	17,5	30	36,7	39,7
i=4	0	8,9	21	27,9	31,1
i=6	0	0	10,6	17,7	21,2
i=8	0	0	2,1	9,1	12,4

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	18,53	33,46	41,94	45,4
i=-6	0	22,37	39,77	49,15	52,95
i=-4	0	28,18	48,86	59,63	64,45
i=-2	0	34,05	58,85	71,04	76,08
i=0	0	27,81	46,3	55,33	58,95
i=2	0	22,66	38,08	45,98	49,23
i=4	0	11,17	25,36	33,04	36,23
i=6	0	0	12,33	19,7	23,11
i=8	0	0	2,42	9,29	12,14

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,9	3,02	6,83	9,39
i=-6	0	0,91	3,04	6,84	9,32
i=-4	0	0,94	3,05	6,61	10,58
i=-2	0	0,97	2,98	6,03	10,87
i=0	0	1,06	3,2	6,31	11,15
i=2	0	1,39	3,77	6,94	11,8
i=4	0	0,99	3,52	6,74	11,6
i=6	0	0	2	5,21	10,07
i=8	0	0	0,4	3,59	8,44

Довжина бар'єрного місця $L_{бм} = 5000$ м

Економія витрат палива, кг					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	13,8	25,1	31,7	34,4
i=-6	0	16,7	29,8	37,1	40
i=-4	0	21	36,6	44,9	48,7
i=-2	0	23,8	42,5	51,9	55,9
i=0	0	17,6	29,4	35,2	37,5
i=2	0	14,3	24,8	30,4	33
i=4	0	8,9	19,1	25,2	28,3
i=6	0	0	12	18,6	22,2
i=8	0	0	3,8	10,5	14,2

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	18,53	33,46	41,94	45,4
i=-6	0	22,37	39,77	49,15	52,95
i=-4	0	28,18	48,87	59,65	64,45
i=-2	0	31,87	56,67	68,86	73,9
i=0	0	23,14	38	45	47,59
i=2	0	18,1	30,18	36,05	38,32
i=4	0	10,8	21,6	27,3	29,53
i=6	0	0	13,09	18,56	20,98
i=8	0	0	4,34	9,2	11,11

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	1,75	5,65	13,03	18
i=-6	0	1,76	5,67	13,05	17,83
i=-4	0	1,74	5,47	12,13	20,28
i=-2	0	1,72	5,23	10,98	20,64
i=0	0	1,81	5,45	11,26	20,9
i=2	0	2,12	5,98	11,84	21,5
i=4	0	1,39	5,39	11,3	20,96
i=6	0	0	3,22	9,13	18,79
i=8	0	0	0,75	6,65	16,31

Маса рухомого складу 4000 тонн

Довжина бар'єрного місця Лбм =50 м

Економія витрат палива, кг					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	15,5	28,4	36,1	39,60
i=-6	0	19,2	34,6	43,4	47,30
i=-4	0	25,2	44,2	54,5	58,70
i=-2	0	34,4	58,4	70,4	75,10
i=0	0	29,2	49,1	59,3	63,80
i=2	0	19,1	36,8	46,5	50,80
i=4	0	0,3	18,7	28,5	32,90
i=6	0	0	2,9	12,5	17,00
i=8	0	0	0	4,3	8,50

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	20,75	37,92	47,91	52,38
i=-6	0	25,85	46,1	57,55	62,50
i=-4	0	33,86	59,04	72,38	77,73
i=-2	0	46,08	77,83	93,38	99,41
i=0	0	38,96	64,82	77,7	83,27
i=2	0	24,75	47	58,93	64,05
i=4	0	0,43	23,12	34,92	39,96
i=6	0	0	3,54	14,88	19,85
i=8	0	0	0	5,03	9,63

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,37	1,36	2,89	4,07
i=-6	0	0,38	1,4	2,94	4,10
i=-4	0	0,43	1,53	3,07	4,31
i=-2	0	0,54	1,71	3,11	4,66
i=0	0	0,74	2,14	3,64	5,44
i=2	0	1,29	3,03	4,64	6,47
i=4	0	0,02	1,85	3,48	5,32
i=6	0	0	0,28	1,9	3,74
i=8	0	0	0	0,76	2,60

Довжина бар'єрного місця Лбм =100 м

Економія витрат палива, кг					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	15,5	28,4	36,1	39,8
i=-6	0	19,2	34,6	43,4	47,5
i=-4	0	25,2	44,2	54,5	58,5
i=-2	0	34,3	58,3	70,3	74,7
i=0	0	29,2	49,0	59,2	63,6
i=2	0	19,1	36,8	46,4	50,6
i=4	0	0,4	18,6	28,4	32,9
i=6	0	0,0	2,7	12,8	17,0
i=8	0	0,0	0,0	4,0	8,2

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	20,8	37,9	47,9	52,6
i=-6	0	25,9	46,1	57,6	62,8
i=-4	0	33,9	59,0	72,4	77,4
i=-2	0	46,1	77,8	93,3	98,9
i=0	0	38,9	64,6	77,5	83,0
i=2	0	24,7	47,0	58,8	63,8
i=4	0	0,6	22,9	34,7	39,9
i=6	0	0,0	3,3	15,2	19,8
i=8	0	0,0	0,0	4,6	9,2

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,4	1,4	3,0	4,4
i=-6	0	0,4	1,4	3,0	4,4
i=-4	0	0,5	1,6	3,2	4,3
i=-2	0	0,6	1,7	3,2	4,6
i=0	0	0,8	2,2	3,7	5,6
i=2	0	1,3	3,1	4,7	6,6
i=4	0	0,0	1,9	3,5	5,5
i=6	0	0,0	0,3	1,9	3,9
i=8	0	0,0	0,0	0,8	2,7

Довжина бар'єрного місця $L_{бм} = 500$ м

Економія витрат палива, кг					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	15,5	28,4	36,1	39,8
i=-6	0	19,2	34,6	43,4	47,5
i=-4	0	25,2	44,2	54,5	58,5
i=-2	0	34,1	58,1	70,1	74,4
i=0	0	28,6	48,0	57,9	62,2
i=2	0	18,7	36,1	45,4	49,6
i=4	0	0,6	18,5	28,4	32,7
i=6	0	0,0	3,0	12,8	17,3
i=8	0	0,0	0,0	4,1	8,4

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	20,8	37,9	47,9	52,6
i=-6	0	25,9	46,1	57,6	62,8
i=-4	0	33,9	59,0	72,4	77,4
i=-2	0	45,7	77,5	93,0	98,5
i=0	0	38,1	63,2	75,8	81,1
i=2	0	24,2	46,0	57,3	62,2
i=4	0	0,8	22,7	34,4	39,3
i=6	0	0,0	3,6	14,9	19,8
i=8	0	0,0	0,0	4,6	9,0

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,5	1,8	3,8	5,7
i=-6	0	0,5	1,8	3,9	5,7
i=-4	0	0,6	1,9	3,9	5,4
i=-2	0	0,6	2,0	3,9	5,7
i=0	0	0,9	2,5	4,4	6,9
i=2	0	1,4	3,3	5,4	7,9
i=4	0	0,1	2,1	4,1	6,6
i=6	0	0,0	0,3	2,3	4,9
i=8	0	0,0	0,0	1,0	3,6

Довжина бар'єрного місця $L_{бм} = 2000$ м

Економія витрат палива, кг					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	15,5	28,4	36,1	39,8
i=-6	0	19,2	34,6	43,4	47,5
i=-4	0	25,2	44,2	54,5	58,5
i=-2	0	33,2	57,3	69,2	73,6
i=0	0	26,5	44,2	53,3	57,1
i=2	0	17,5	33,5	42,2	46,2
i=4	0	1,8	18,9	28,3	32,5
i=6	0	0,0	4,0	13,8	18,0
i=8	0	0,0	0,0	4,5	9,0

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	20,8	37,9	47,9	52,6	20,8
i=-6	25,9	46,1	57,6	62,8	25,9
i=-4	33,9	59,0	72,4	77,4	33,9
i=-2	44,6	76,3	91,9	97,4	44,6
i=0	35,1	57,9	69,1	73,8	35,1
i=2	22,3	41,8	52,0	56,3	22,3
i=4	2,2	22,7	33,1	37,3	2,2
i=6	0,0	4,8	15,2	19,1	0,0
i=8	0,0	0,0	4,6	8,3	0,0

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,9	3,1	6,9	10,5
i=-6	0	0,9	3,1	7,0	10,5
i=-4	0	1,0	3,2	6,8	9,6
i=-2	0	1,0	3,2	6,3	10,0
i=0	0	1,2	3,6	6,9	11,8
i=2	0	1,7	4,4	7,7	12,7
i=4	0	0,1	2,7	6,1	11,1
i=6	0	0,0	0,5	3,8	8,8
i=8	0	0,0	0,0	1,8	6,8

Довжина бар'єрного місця $L_{\text{бм}} = 5000 \text{ м}$

Економія витрат палива, кг					
	0	15,5	28,4	36,1	39,8
i=-8	0	19,2	34,6	43,4	47,5
i=-6	0	25,2	44,2	54,5	58,5
i=-4	0	31,5	55,5	67,5	71,8
i=-2	0	22,2	36,7	43,9	46,9
i=0	0	15,2	28,5	35,8	39,2
i=2	0	4,6	20,2	28,5	32,4
i=4	0	0,0	7,7	16,9	21,3
i=6	0	0,0	0,0	6,1	10,7
i=8	0	15,5	28,4	36,1	39,8

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	20,8	37,9	47,9	52,6
i=-6	0	25,9	46,1	57,6	62,8
i=-4	0	33,9	59,0	72,4	77,4
i=-2	0	42,2	74,0	89,5	95,1
i=0	0	29,1	47,2	55,9	59,2
i=2	0	18,9	34,0	41,6	44,6
i=4	0	5,8	23,3	31,0	33,9
i=6	0	0,0	9,4	17,2	19,9
i=8	0	0,0	0,0	5,4	7,6

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	1,8	5,7	13,1	20,1
i=-6	0	1,8	5,7	13,2	20,2
i=-4	0	1,8	5,6	12,3	18,1
i=-2	0	1,8	5,4	11,3	18,4
i=0	0	2,0	5,9	11,8	21,5
i=2	0	2,3	6,4	12,5	22,2
i=4	0	0,4	4,1	10,2	20,0
i=6	0	0,0	0,8	6,9	16,7
i=8	0	0,0	0,0	3,6	13,3

Маса рухомого складу 5000 тонн

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=50$ м

Економія витрат палива, кг					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	16,9	31,1	39,7	43,8
i=-6	0	21,2	38,6	48,6	53,0
i=-4	0	28,8	50,8	62,8	67,9
i=-2	0	42,1	71,0	85,6	91,3
i=0	0	34,3	57,4	69,6	75,0
i=2	0	14,4	36,1	48,1	53,5
i=4	0	0,0	13,4	25,8	31,5
i=6	0	0,0	0,0	7,9	13,1
i=8	0	0,0	0,0	0,9	6,1

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	22,6	41,3	52,5	57,8
i=-6	0	28,4	51,4	64,4	70,0
i=-4	0	38,6	67,8	83,2	89,8
i=-2	0	56,5	94,7	113,6	120,8
i=0	0	45,6	75,5	90,9	97,5
i=2	0	18,5	45,6	60,4	66,8
i=4	0	0,0	16,5	31,5	38,0
i=6	0	0,0	0,0	9,3	15,1
i=8	0	0,0	0,0	1,0	6,6

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,4	1,4	3,0	4,2
i=-6	0	0,4	1,5	3,0	4,2
i=-4	0	0,5	1,6	3,2	4,5
i=-2	0	0,6	1,9	3,4	5,0
i=0	0	1,0	2,6	4,3	6,2
i=2	0	1,0	3,1	4,8	6,8
i=4	0	0,0	1,1	2,9	4,8
i=6	0	0,0	0,0	1,2	3,1
i=8	0	0,0	0,0	0,2	2,2

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=100$ м

Економія витрат палива, кг					
	0	16,9	31,1	39,7	43,5
i=-8	0	21,2	38,6	48,6	53,4
i=-6	0	28,8	50,8	62,8	67,5
i=-4	0	42,1	71,0	85,5	90,8
i=-2	0	34,3	57,3	69,4	74,8
i=0	0	14,2	35,9	48,1	53,3
i=2	0	0,0	13,2	26,1	31,3
i=4	0	0,0	0,0	7,9	13,4
i=6	0	0,0	0,0	0,9	6,1
i=8	0	16,9	31,1	39,7	43,5

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	22,6	41,3	52,5	57,4
i=-6	0	28,4	51,4	64,4	70,5
i=-4	0	38,6	67,8	83,2	89,2
i=-2	0	56,4	94,7	113,5	120,2
i=0	0	45,5	75,3	90,7	97,2
i=2	0	18,3	45,4	60,3	66,5
i=4	0	0,0	16,3	31,8	37,8
i=6	0	0,0	0,0	9,3	15,4
i=8	0	0,0	0,0	1,0	6,6

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,4	1,4	3,1	4,2
i=-6	0	0,4	1,5	3,1	4,6
i=-4	0	0,5	1,7	3,3	4,4
i=-2	0	0,6	1,9	3,5	4,9
i=0	0	1,0	2,7	4,4	6,3
i=2	0	1,0	3,1	4,9	6,9
i=4	0	0,0	1,1	3,0	5,0
i=6	0	0,0	0,0	1,2	3,2
i=8	0	0,0	0,0	0,2	2,3

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=500$ м

Економія витрат палива, кг					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	16,9	31,1	39,7	43,5
i=-6	0	21,2	38,6	48,6	53,4
i=-4	0	28,8	50,8	62,8	67,5
i=-2	0	41,8	70,8	85,3	90,5
i=0	0	33,6	56,1	67,9	73,1
i=2	0	14,3	35,5	47,3	52,6
i=4	0	0,0	13,7	26,2	31,5
i=6	0	0,0	0,0	8,1	13,6
i=8	0	0,0	0,0	0,9	6,2

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	22,6	41,3	52,5	57,4
i=-6	0	28,4	51,4	64,4	70,5
i=-4	0	38,6	67,8	83,2	89,2
i=-2	0	56,1	94,4	113,2	119,9
i=0	0	44,6	73,6	88,5	94,8
i=2	0	18,4	44,8	59,0	65,2
i=4	0	0,0	16,9	31,7	37,5
i=6	0	0,0	0,0	9,4	15,3
i=8	0	0,0	0,0	0,9	6,3

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,5	1,8	3,9	5,3
i=-6	0	0,5	1,8	4,0	5,9
i=-4	0	0,6	2,0	4,1	5,6
i=-2	0	0,7	2,2	4,1	6,0
i=0	0	1,1	3,0	5,0	7,6
i=2	0	1,0	3,3	5,5	8,1
i=4	0	0,0	1,2	3,4	6,1
i=6	0	0,0	0,0	1,5	4,1
i=8	0	0,0	0,0	0,3	3,0

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=2000$ м

Економія витрат палива, кг					
	80	60	40	25	15
i=-8	16,9	31,1	39,7	43,5	16,9
i=-6	21,2	38,6	48,6	53,4	21,2
i=-4	28,8	50,8	62,8	67,5	28,8
i=-2	40,9	69,8	84,4	89,6	40,9
i=0	30,9	51,5	62,2	66,9	30,9
i=2	14,6	34,0	45,1	50,0	14,6
i=4	0,0	15,3	27,2	32,5	0,0
i=6	0,0	0,0	9,2	14,4	0,0
i=8	0,0	0,0	1,0	6,5	0,0

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	22,6	41,3	52,5	57,4
i=-6	0	28,4	51,4	64,4	70,5
i=-4	0	38,6	67,8	83,2	89,2
i=-2	0	54,9	93,1	111,9	118,6
i=0	0	40,9	67,1	80,4	85,9
i=2	0	18,6	42,1	55,0	60,4
i=4	0	0,0	18,6	31,9	37,2
i=6	0	0,0	0,0	10,0	14,8
i=8	0	0,0	0,0	0,9	5,5

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,9	3,1	7,0	9,6
i=-6	0	0,9	3,2	7,1	10,7
i=-4	0	1,0	3,2	6,9	9,8
i=-2	0	1,1	3,4	6,6	10,3
i=0	0	1,5	4,1	7,5	12,5
i=2	0	1,2	4,3	7,8	12,8
i=4	0	0,0	1,6	5,2	10,2
i=6	0	0,0	0,0	2,5	7,6
i=8	0	0,0	0,0	0,4	5,6

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=5000$ м

Економія витрат палива, кг					
	0	15,5	28,4	36,1	39,8
i=-8	0	16,9	31,1	39,7	43,5
i=-6	0	21,2	38,6	48,6	53,4
i=-4	0	28,8	50,9	62,8	67,5
i=-2	0	39,1	68,0	82,5	87,8
i=0	0	25,7	42,2	50,8	54,4
i=2	0	15,2	31,3	40,5	44,8
i=4	0	0,0	19,8	30,6	35,4
i=6	0	0,0	0,7	13,3	18,8
i=8	0	0,0	0,0	1,6	7,5

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	22,6	41,3	52,5	57,4
i=-6	0	28,4	51,4	64,4	70,5
i=-4	0	38,6	67,8	83,2	89,2
i=-2	0	52,4	90,6	109,5	116,1
i=0	0	33,6	54,1	64,2	68,1
i=2	0	19,1	37,3	46,9	50,7
i=4	0	0,0	23,7	34,0	37,5
i=6	0	0,0	0,8	13,8	17,3
i=8	0	0,0	0,0	1,3	4,4

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	1,8	5,7	13,2	18,2
i=-6	0	1,8	5,8	13,3	20,3
i=-4	0	1,8	5,7	12,5	18,3
i=-2	0	1,8	5,6	11,5	18,7
i=0	0	2,2	6,4	12,5	22,3
i=2	0	1,6	6,1	12,3	22,1
i=4	0	0,0	2,5	8,8	18,6
i=6	0	0,0	0,1	4,7	14,5
i=8	0	0,0	0,0	0,9	10,8

ЕКОНОМІЯ ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ЛОКОМОТИВА ВЛ80

Маса рухомого складу 3000 тонн

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=50$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	81,7	150,4	185,1	198,4
i=-6	0	93,4	169,1	206,5	222,0
i=-4	0	109,1	193,4	235,5	251,1
i=-2	0	126,9	220,1	265,8	283,7
i=0	0	113,3	195,7	235,9	253,1
i=2	0	104,3	180,3	218,2	234,1
i=4	0	96,2	166,8	202,8	217,8
i=6	0	71,5	138,8	173,6	189,0
i=8	0	38,7	104,5	137,6	152,2

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	22,77	41,38	50,54	53,97
i=-6	0	26,02	46,52	56,39	60,44
i=-4	0	30,41	53,25	64,38	68,41
i=-2	0	35,35	60,57	72,64	77,29
i=0	0	31,26	53,19	63,54	67,87
i=2	0	28,37	48,09	57,52	61,34
i=4	0	25,49	43,25	51,81	55,19
i=6	0	18,21	34,6	42,51	45,84
i=8	0	9,77	25,45	32,55	35,47

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,33	1,21	2,66	3,82
i=-6	0	0,34	1,21	2,65	3,79
i=-4	0	0,36	1,23	2,63	3,83
i=-2	0	0,39	1,23	2,45	3,95
i=0	0	0,41	1,27	2,51	4,24
i=2	0	0,45	1,34	2,61	4,37
i=4	0	0,54	1,49	2,81	4,60
i=6	0	0,55	1,52	2,9	4,74
i=8	0	0,29	1,28	2,72	4,62

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=100$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	0	81,7	150,4	185,1	197,8
i=-8	0	93,4	169,1	206,5	222,6
i=-6	0	109,1	193,4	235,5	250,4
i=-4	0	126,8	220,0	265,7	282,0
i=-2	0	113,1	195,3	235,5	252,5
i=0	0	104,2	180,0	217,8	233,7
i=2	0	96,0	166,6	202,5	217,5
i=4	0	70,6	138,6	174,3	188,8
i=6	0	38,7	104,4	137,5	152,1
i=8	0	81,7	150,4	185,1	197,8

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	22,8	41,4	50,5	53,9
i=-6	0	26,0	46,5	56,4	60,6
i=-4	0	30,4	53,3	64,4	68,2
i=-2	0	35,3	60,5	72,6	76,8
i=0	0	31,2	53,1	63,4	67,7
i=2	0	28,3	48,0	57,4	61,2
i=4	0	25,4	43,1	51,7	55,0
i=6	0	17,9	34,5	42,6	45,7
i=8	0	9,8	25,4	32,5	35,4

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,3	1,3	2,8	3,8
i=-6	0	0,3	1,3	2,8	4,1
i=-4	0	0,4	1,3	2,7	3,8
i=-2	0	0,4	1,3	2,5	3,9
i=0	0	0,4	1,3	2,6	4,4
i=2	0	0,5	1,4	2,7	4,5
i=4	0	0,6	1,5	2,9	4,8
i=6	0	0,6	1,6	3,0	4,9
i=8	0	0,3	1,3	2,8	4,8

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=500$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	81,7	150,4	185,1	197,8
i=-6	0	93,4	169,1	206,5	222,6
i=-4	0	109,1	193,4	235,5	250,4
i=-2	0	126,0	219,2	265,0	281,2
i=0	0	111,3	191,9	231,3	247,8
i=2	0	102,6	177,1	214,3	229,9
i=4	0	94,7	164,3	199,8	214,5
i=6	0	70,2	137,5	172,8	186,7
i=8	0	38,4	103,7	136,7	151,4

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	22,8	41,4	50,5	53,9
i=-6	0	26,0	46,5	56,4	60,6
i=-4	0	30,4	53,3	64,4	68,2
i=-2	0	35,1	60,3	72,4	76,6
i=0	0	30,6	52,0	62,1	66,3
i=2	0	27,7	46,9	56,1	59,8
i=4	0	24,8	42,1	50,4	53,6
i=6	0	17,6	33,7	41,5	44,3
i=8	0	9,5	24,7	31,5	34,3

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,5	1,6	3,6	5,0
i=-6	0	0,5	1,6	3,6	5,4
i=-4	0	0,5	1,6	3,5	4,9
i=-2	0	0,5	1,6	3,2	5,0
i=0	0	0,5	1,6	3,2	5,7
i=2	0	0,6	1,7	3,4	5,8
i=4	0	0,7	1,8	3,5	6,1
i=6	0	0,6	1,8	3,6	6,2
i=8	0	0,4	1,6	3,4	6,0

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=2000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	81,7	150,4	185,1	197,8
i=-6	0	93,4	169,1	206,5	222,6
i=-4	0	109,1	193,4	235,5	250,4
i=-2	0	123,2	216,4	262,2	278,4
i=0	0	104,2	179,3	215,4	230,4
i=2	0	96,6	166,5	201,2	215,7
i=4	0	89,7	155,6	189,4	203,5
i=6	0	67,3	132,2	165,4	180,6
i=8	0	37,6	101,2	134,0	149,6

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	22,8	41,4	50,5	53,9
i=-6	0	26,0	46,5	56,4	60,6
i=-4	0	30,4	53,3	64,4	68,2
i=-2	0	34,3	59,5	71,6	75,8
i=0	0	28,4	48,1	57,2	60,9
i=2	0	25,5	43,0	51,2	54,4
i=4	0	22,6	38,2	45,5	48,2
i=6	0	15,9	30,4	36,9	39,6
i=8	0	8,6	22,1	27,9	30,4

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,9	2,9	6,7	9,3
i=-6	0	0,9	2,9	6,7	10,2
i=-4	0	0,9	2,9	6,4	9,2
i=-2	0	0,9	2,7	5,7	9,2
i=0	0	0,9	2,7	5,7	10,6
i=2	0	0,9	2,8	5,8	10,7
i=4	0	1,0	3,0	6,0	10,9
i=6	0	1,0	2,9	6,0	11,0
i=8	0	0,6	2,5	5,7	10,7

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=5000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	0	15,5	28,4	36,1	39,8
i=-8	0	81,7	150,4	185,1	197,8
i=-6	0	93,4	169,1	206,5	222,6
i=-4	0	109,1	193,4	235,5	250,4
i=-2	0	117,5	210,7	256,5	272,7
i=0	0	90,2	154,0	183,8	195,5
i=2	0	84,5	145,2	175,0	187,2
i=4	0	79,6	138,3	168,6	181,5
i=6	0	62,2	120,9	153,6	168,2
i=8	0	35,9	96,8	129,5	145,8

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	22,8	41,4	50,5	53,9
i=-6	0	26,0	46,5	56,4	60,6
i=-4	0	30,4	53,3	64,4	68,2
i=-2	0	32,7	57,9	70,0	74,2
i=0	0	24,0	40,2	47,4	50,1
i=2	0	21,1	35,1	41,3	43,6
i=4	0	18,2	30,3	35,6	37,4
i=6	0	12,7	23,5	28,5	30,2
i=8	0	6,9	17,0	21,1	22,5

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	1,7	5,6	12,9	17,9
i=-6	0	1,7	5,6	12,9	19,9
i=-4	0	1,7	5,3	11,9	17,7
i=-2	0	1,6	4,9	10,6	17,7
i=0	0	1,7	5,0	10,7	20,3
i=2	0	1,7	5,1	10,8	20,4
i=4	0	1,8	5,2	11,0	20,7
i=6	0	1,6	5,0	10,9	20,6
i=8	0	1,0	4,4	10,3	20,1

Маса рухомого складу 4000 тонн

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=50$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	95,9	177,8	219,8	236,3
i=-6	0	112,0	205,0	251,4	269,8
i=-4	0	135,9	241,7	294,0	314,6
i=-2	0	166,9	287,1	347,0	369,7
i=0	0	147,9	254,0	306,1	327,8
i=2	0	134,4	232,0	280,9	301,3
i=4	0	101,4	194,1	239,5	260,1
i=6	0	48,1	137,4	181,6	201,1
i=8	0	14,0	98,5	142,8	162,1

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	26,7	48,9	60,0	64,3
i=-6	0	31,2	56,4	68,7	73,4
i=-4	0	37,9	66,5	80,4	85,7
i=-2	0	46,5	79,0	94,9	100,7
i=0	0	40,8	68,9	82,3	87,7
i=2	0	36,3	61,4	73,4	78,2
i=4	0	26,2	49,2	59,8	64,4
i=6	0	12,3	33,8	43,5	47,5
i=8	0	3,5	22,7	31,5	35,0

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,35	1,26	2,75	3,93
i=-6	0	0,35	1,26	2,75	3,92
i=-4	0	0,38	1,3	2,76	4,01
i=-2	0	0,42	1,33	2,63	4,19
i=0	0	0,47	1,42	2,76	4,58
i=2	0	0,57	1,6	3,02	4,88
i=4	0	0,66	1,76	3,27	5,21
i=6	0	0,3	1,45	3,1	5,16
i=8	0	0,1	1,46	3,45	5,76

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=100$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	0	81,7	150,4	185,1	197,8
i=-8	0	95,9	177,8	219,8	234,9
i=-6	0	112,0	205,0	251,4	268,3
i=-4	0	135,9	241,7	294,0	312,8
i=-2	0	166,8	287,0	346,9	367,7
i=0	0	147,6	253,4	305,6	327,0
i=2	0	134,1	231,7	280,4	300,8
i=4	0	101,3	192,9	240,0	258,8
i=6	0	48,0	136,1	182,6	202,1
i=8	0	12,6	99,9	141,3	160,6

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	26,7	48,9	60,0	63,9
i=-6	0	31,2	56,4	68,7	73,0
i=-4	0	37,9	66,5	80,4	85,3
i=-2	0	46,5	79,0	94,8	100,2
i=0	0	40,7	68,7	82,1	87,5
i=2	0	36,2	61,3	73,2	78,0
i=4	0	26,1	48,9	59,8	64,0
i=6	0	12,3	33,4	43,7	47,7
i=8	0	3,1	23,0	31,0	34,4

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,4	1,3	2,8	3,9
i=-6	0	0,4	1,3	2,8	3,9
i=-4	0	0,4	1,3	2,9	4,0
i=-2	0	0,4	1,4	2,7	4,1
i=0	0	0,5	1,5	2,8	4,7
i=2	0	0,6	1,6	3,1	5,0
i=4	0	0,7	1,8	3,3	5,4
i=6	0	0,3	1,5	3,2	5,3
i=8	0	0,1	1,5	3,5	5,9

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=500$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	95,9	177,8	219,8	234,9
i=-6	0	112,0	205,0	251,4	268,3
i=-4	0	135,9	241,7	294,0	312,8
i=-2	0	166,0	286,2	346,1	366,9
i=0	0	145,2	249,0	300,1	321,0
i=2	0	132,0	228,0	275,9	295,9
i=4	0	99,3	190,4	237,2	255,3
i=6	0	46,5	134,8	180,9	199,7
i=8	0	12,6	99,3	140,6	160,0

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	26,7	48,9	60,0	63,9
i=-6	0	31,2	56,4	68,7	73,0
i=-4	0	37,9	66,5	80,4	85,3
i=-2	0	46,3	78,8	94,6	100,0
i=0	0	39,9	67,4	80,4	85,6
i=2	0	35,4	59,9	71,5	76,2
i=4	0	25,3	47,7	58,4	62,2
i=6	0	11,7	32,6	42,5	46,1
i=8	0	3,0	22,4	30,0	33,2

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,5	1,7	3,7	5,1
i=-6	0	0,5	1,7	3,7	5,0
i=-4	0	0,5	1,7	3,6	5,1
i=-2	0	0,5	1,7	3,4	5,3
i=0	0	0,6	1,8	3,5	6,0
i=2	0	0,7	1,9	3,8	6,3
i=4	0	0,8	2,1	4,0	6,6
i=6	0	0,4	1,7	3,8	6,6
i=8	0	0,1	1,7	4,1	7,1

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=2000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	95,9	177,8	219,8	234,9
i=-6	0	112,0	205,0	251,4	268,3
i=-4	0	135,9	241,7	294,0	312,8
i=-2	0	162,9	283,1	343,0	363,8
i=0	0	136,1	232,7	279,5	298,3
i=2	0	124,2	214,2	258,9	277,4
i=4	0	94,7	181,3	226,0	243,6
i=6	0	45,5	130,7	174,7	194,4
i=8	0	12,9	96,4	138,9	158,6

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	26,7	48,9	60,0	63,9
i=-6	0	31,2	56,4	68,7	73,0
i=-4	0	37,9	66,5	80,4	85,3
i=-2	0	45,4	77,9	93,7	99,1
i=0	0	37,0	62,2	74,0	78,6
i=2	0	32,5	54,8	65,1	69,1
i=4	0	23,2	43,3	52,9	56,1
i=6	0	10,8	29,5	38,0	41,3
i=8	0	2,9	19,7	26,4	29,0

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,9	3,0	6,8	9,4
i=-6	0	0,9	3,0	6,8	9,3
i=-4	0	0,9	2,9	6,5	9,3
i=-2	0	0,9	2,8	5,8	9,5
i=0	0	1,0	2,9	6,0	10,9
i=2	0	1,1	3,1	6,2	11,2
i=4	0	1,1	3,2	6,4	11,5
i=6	0	0,5	2,7	6,1	11,2
i=8	0	0,2	2,5	6,3	11,7

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=5000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	0	15,5	28,4	36,1	39,8
i=-8	0	95,9	177,8	219,8	234,9
i=-6	0	112,0	205,0	251,4	268,3
i=-4	0	136,0	241,7	294,0	312,8
i=-2	0	156,7	276,9	336,9	357,6
i=0	0	117,9	199,9	238,4	252,9
i=2	0	108,6	186,6	225,0	240,6
i=4	0	86,2	163,3	203,4	219,3
i=6	0	44,4	123,7	165,6	185,1
i=8	0	13,5	94,3	135,3	156,5

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	26,7	48,9	60,0	63,9
i=-6	0	31,2	56,4	68,7	73,0
i=-4	0	37,9	66,5	80,4	85,3
i=-2	0	43,6	76,2	92,0	97,4
i=0	0	31,3	52,0	61,3	64,5
i=2	0	26,8	44,5	52,4	55,1
i=4	0	19,1	34,8	41,7	43,7
i=6	0	9,3	23,8	29,8	31,9
i=8	0	2,6	15,3	19,3	20,8

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	1,7	5,6	13,0	18,0
i=-6	0	1,7	5,6	13,0	17,8
i=-4	0	1,7	5,4	12,0	17,8
i=-2	0	1,7	5,0	10,8	17,9
i=0	0	1,7	5,1	10,9	20,7
i=2	0	1,8	5,3	11,2	21,0
i=4	0	1,7	5,3	11,2	21,1
i=6	0	0,9	4,6	10,6	20,6
i=8	0	0,3	4,1	10,6	20,8

маса рухомого складу 5000 тонн

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=50$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	107,1	200,8	248,6	267,5
i=-6	0	128,3	235,8	288,9	310,8
i=-4	0	159,8	285,2	347,2	371,7
i=-2	0	205,9	353,4	425,8	453,8
i=0	0	181,1	310,5	373,7	400,0
i=2	0	159,6	278,0	336,8	361,5
i=4	0	81,9	196,8	253,3	277,9
i=6	0	22,1	131,0	184,4	208,3
i=8	0	0,0	72,2	127,1	151,0

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	29,8	55,2	67,8	72,7
i=-6	0	35,7	64,9	78,9	84,6
i=-4	0	44,5	78,5	94,9	101,2
i=-2	0	57,4	97,3	116,4	123,7
i=0	0	49,8	84,0	100,2	106,7
i=2	0	42,4	72,5	86,7	92,5
i=4	0	21,2	49,6	62,5	67,9
i=6	0	5,6	31,0	41,9	46,5
i=8	0	0,0	13,0	22,5	26,3

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,35	1,29	2,81	4,02
i=-6	0	0,35	1,3	2,83	4,03
i=-4	0	0,39	1,37	2,89	4,17
i=-2	0	0,45	1,43	2,8	4,42
i=0	0	0,53	1,59	3,04	4,94
i=2	0	0,79	1,98	3,56	5,55
i=4	0	0,46	1,71	3,45	5,58
i=6	0	0,14	1,65	3,81	6,25
i=8	0	0	2,53	5,88	9,14

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=100$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	0	81,7	150,4	185,1	197,8
i=-8	0	107,1	200,8	248,6	268,2
i=-6	0	128,3	235,8	288,9	309,1
i=-4	0	159,8	285,2	347,2	373,6
i=-2	0	205,8	353,3	425,7	451,6
i=0	0	180,7	309,8	372,8	399,1
i=2	0	159,4	277,4	335,9	360,5
i=4	0	81,9	195,5	253,9	276,5
i=6	0	22,1	129,5	185,6	208,1
i=8	0	0,0	72,6	127,2	151,1

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	29,8	55,2	67,8	72,9
i=-6	0	35,7	64,9	78,9	84,1
i=-4	0	44,5	78,5	94,9	101,7
i=-2	0	57,4	97,3	116,4	123,1
i=0	0	49,7	83,8	99,9	106,4
i=2	0	42,3	72,3	86,4	92,1
i=4	0	21,2	49,2	62,6	67,4
i=6	0	5,5	30,6	42,2	46,3
i=8	0	0,0	13,1	22,4	26,3

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,4	1,3	2,9	4,3
i=-6	0	0,4	1,3	2,9	4,0
i=-4	0	0,4	1,4	3,0	4,5
i=-2	0	0,5	1,5	2,9	4,3
i=0	0	0,5	1,6	3,1	5,1
i=2	0	0,8	2,0	3,6	5,7
i=4	0	0,5	1,7	3,5	5,7
i=6	0	0,1	1,7	3,9	6,4
i=8	0	0,0	2,5	5,9	9,3

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=500$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	107,1	200,8	248,6	268,2
i=-6	0	128,3	235,8	288,9	309,1
i=-4	0	159,8	285,2	347,2	373,6
i=-2	0	204,9	352,4	424,8	450,7
i=0	0	177,7	304,4	366,1	391,7
i=2	0	156,8	272,9	330,4	354,4
i=4	0	80,3	193,7	251,4	273,6
i=6	0	20,8	128,8	184,4	206,8
i=8	0	0,0	73,2	127,5	152,0

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	29,8	55,2	67,8	72,9
i=-6	0	35,7	64,9	78,9	84,1
i=-4	0	44,5	78,5	94,9	101,7
i=-2	0	57,1	97,1	116,1	122,9
i=0	0	48,7	82,1	97,8	104,1
i=2	0	41,3	70,6	84,3	89,8
i=4	0	20,5	48,2	61,2	65,8
i=6	0	5,1	29,9	41,0	45,0
i=8	0	0,0	12,9	21,9	25,6

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,5	1,7	3,7	5,6
i=-6	0	0,5	1,7	3,7	5,1
i=-4	0	0,5	1,8	3,8	5,8
i=-2	0	0,6	1,8	3,5	5,5
i=0	0	0,6	1,9	3,8	6,4
i=2	0	0,9	2,3	4,3	7,0
i=4	0	0,5	2,0	4,1	7,0
i=6	0	0,2	1,9	4,5	7,6
i=8	0	0,0	2,7	6,4	10,4

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=2000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	107,1	200,8	248,6	268,2
i=-6	0	128,3	235,8	288,9	309,1
i=-4	0	159,8	285,2	347,2	373,6
i=-2	0	201,5	349,1	421,4	447,3
i=0	0	166,5	284,3	340,8	363,8
i=2	0	147,3	256,5	310,1	332,4
i=4	0	78,9	185,9	240,7	262,2
i=6	0	21,6	125,4	178,6	202,2
i=8	0	0,0	74,0	128,3	153,2

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	29,8	55,2	67,8	72,9
i=-6	0	35,7	64,9	78,9	84,1
i=-4	0	44,5	78,5	94,9	101,7
i=-2	0	56,2	96,1	115,2	121,9
i=0	0	45,2	75,8	89,9	95,5
i=2	0	37,8	64,5	76,7	81,4
i=4	0	19,5	44,2	55,6	59,5
i=6	0	5,1	27,1	36,4	40,0
i=8	0	0,0	12,0	19,6	22,6

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,9	3,0	6,8	10,5
i=-6	0	0,9	3,0	6,9	9,4
i=-4	0	0,9	3,0	6,6	10,7
i=-2	0	0,9	2,9	6,0	9,7
i=0	0	1,0	3,1	6,3	11,3
i=2	0	1,3	3,4	6,8	11,9
i=4	0	0,8	3,0	6,5	11,7
i=6	0	0,2	2,7	6,6	12,2
i=8	0	0,0	3,2	8,2	14,5

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=5000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	0	15,5	28,4	36,1	39,8
i=-8	0	107,1	200,8	248,6	268,2
i=-6	0	128,3	235,8	288,9	309,1
i=-4	0	159,9	285,2	347,2	373,6
i=-2	0	194,8	342,4	414,7	440,6
i=0	0	144,2	243,9	290,2	308,0
i=2	0	128,8	223,5	269,4	288,2
i=4	0	76,4	173,5	222,4	242,1
i=6	0	24,8	119,9	171,4	193,6
i=8	0	0,0	77,2	132,5	159,0

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	29,8	55,2	67,8	72,9
i=-6	0	35,7	64,9	78,9	84,1
i=-4	0	44,6	78,5	94,9	101,7
i=-2	0	54,3	94,2	113,3	120,0
i=0	0	38,1	63,2	74,3	78,2
i=2	0	31,0	52,3	61,4	64,6
i=4	0	17,4	37,1	45,3	47,6
i=6	0	5,4	21,8	28,5	30,2
i=8	0	0,0	10,6	15,9	17,5

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	1,7	5,6	13,0	20,1
i=-6	0	1,8	5,6	13,1	17,9
i=-4	0	1,7	5,4	12,1	20,4
i=-2	0	1,7	5,1	11,0	18,2
i=0	0	1,8	5,3	11,2	21,0
i=2	0	2,0	5,7	11,7	21,6
i=4	0	1,2	4,9	11,1	21,2
i=6	0	0,4	4,4	11,0	21,3
i=8	0	0,0	4,1	11,7	22,8

ЕКОНОМІЯ ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ЛОКОМОТИВА ДЕ1.

Маса рухомого складу 3000 тонн

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=50$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	74,1	130,8	161,4	174,5
i=-6	0	83,9	146,4	180,1	193,8
i=-4	0	95,9	166,4	203,5	218,9
i=-2	0	108,2	186,7	227,9	244,8
i=0	0	94,6	163,3	200,1	218,2
i=2	0	84,6	147,2	184,3	203,0
i=4	0	75,0	132,2	169,2	189,2
i=6	0	62,7	115,1	152,5	174,8
i=8	0	44,0	93,7	134,2	159,7

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	24,25	42,52	51,45	54,92
i=-6	0	27,45	47,56	57,42	61,02
i=-4	0	31,39	54,07	64,94	68,98
i=-2	0	35,44	60,7	72,73	77,17
i=0	0	31,4	53,29	63,46	67,77
i=2	0	28,62	48,24	57,64	61,37
i=4	0	26,16	43,73	52,16	55,49
i=6	0	23,32	39,11	46,62	49,70
i=8	0	16,93	30,8	37,52	40,28

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,33	1,22	2,68	3,85
i=-6	0	0,33	1,21	2,66	3,81
i=-4	0	0,35	1,23	2,65	3,86
i=-2	0	0,37	1,22	2,46	3,98
i=0	0	0,38	1,26	2,52	4,28
i=2	0	0,4	1,32	2,63	4,42
i=4	0	0,44	1,43	2,81	4,64
i=6	0	0,54	1,64	3,12	5,03
i=8	0	0,52	1,77	3,4	5,42

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=100$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	0	81,7	150,4	185,1	197,8
i=-8	0	74,1	130,8	161,4	174,1
i=-6	0	83,9	146,4	180,1	195,3
i=-4	0	95,9	166,4	203,5	218,2
i=-2	0	108,2	186,6	227,8	243,1
i=0	0	94,4	162,9	199,8	217,8
i=2	0	84,3	147,0	184,1	202,9
i=4	0	74,7	131,9	169,1	189,3
i=6	0	62,4	114,8	152,5	175,2
i=8	0	42,8	94,6	133,5	160,3

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	24,3	42,5	51,5	54,8
i=-6	0	27,5	47,6	57,4	61,4
i=-4	0	31,4	54,1	64,9	68,9
i=-2	0	35,4	60,7	72,7	76,7
i=0	0	31,3	53,2	63,3	67,6
i=2	0	28,6	48,1	57,5	61,2
i=4	0	26,1	43,6	52,0	55,3
i=6	0	23,3	39,0	46,5	49,5
i=8	0	16,6	31,0	37,1	40,1

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,3	1,3	2,8	3,8
i=-6	0	0,3	1,3	2,8	4,1
i=-4	0	0,4	1,3	2,7	3,8
i=-2	0	0,4	1,3	2,5	3,9
i=0	0	0,4	1,3	2,6	4,4
i=2	0	0,4	1,4	2,7	4,6
i=4	0	0,5	1,5	2,9	4,8
i=6	0	0,6	1,7	3,2	5,2
i=8	0	0,5	1,8	3,5	5,6

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=500$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	74,1	130,8	161,4	174,1
i=-6	0	83,9	146,4	180,1	195,3
i=-4	0	95,9	166,4	203,5	218,2
i=-2	0	107,5	186,0	227,1	242,4
i=0	0	92,3	159,8	196,4	214,3
i=2	0	82,0	144,2	182,0	201,6
i=4	0	72,1	129,4	168,1	190,1
i=6	0	59,6	112,6	152,8	178,1
i=8	0	40,7	94,1	136,4	166,0

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	24,3	42,5	51,5	54,8
i=-6	0	27,5	47,6	57,4	61,4
i=-4	0	31,4	54,1	64,9	68,9
i=-2	0	35,2	60,5	72,5	76,5
i=0	0	30,8	52,1	62,0	66,2
i=2	0	28,0	47,1	56,2	59,8
i=4	0	25,5	42,6	50,7	53,9
i=6	0	22,7	38,0	45,1	48,1
i=8	0	16,1	30,2	36,0	38,7

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,5	1,6	3,6	5,0
i=-6	0	0,5	1,6	3,6	5,4
i=-4	0	0,5	1,6	3,5	4,9
i=-2	0	0,5	1,6	3,2	5,0
i=0	0	0,5	1,6	3,3	5,7
i=2	0	0,5	1,7	3,4	5,9
i=4	0	0,6	1,8	3,5	6,1
i=6	0	0,7	2,0	3,9	6,5
i=8	0	0,6	2,1	4,1	6,9

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=2000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	74,1	130,8	161,4	174,1
i=-6	0	83,9	146,4	180,1	195,3
i=-4	0	95,9	166,4	203,5	218,2
i=-2	0	105,0	183,5	224,6	239,9
i=0	0	84,6	148,2	183,6	201,5
i=2	0	73,4	133,7	173,8	196,6
i=4	0	62,5	120,1	164,6	193,1
i=6	0	49,0	104,4	154,0	188,9
i=8	0	32,5	90,6	146,0	188,2

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	24,3	42,5	51,5	54,8
i=-6	0	27,5	47,6	57,4	61,4
i=-4	0	31,4	54,1	64,9	68,9
i=-2	0	34,4	59,7	71,7	75,7
i=0	0	28,5	48,2	57,1	60,7
i=2	0	25,8	43,1	51,3	54,4
i=4	0	23,3	38,6	45,8	48,5
i=6	0	20,5	34,0	40,2	42,7
i=8	0	14,3	26,7	31,7	33,7

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,9	2,9	6,7	9,3
i=-6	0	0,9	2,9	6,7	10,3
i=-4	0	0,9	2,9	6,4	9,2
i=-2	0	0,9	2,7	5,7	9,3
i=0	0	0,9	2,7	5,7	10,6
i=2	0	0,9	2,8	5,8	10,7
i=4	0	0,9	2,9	6,0	11,0
i=6	0	1,0	3,1	6,3	11,4
i=8	0	0,9	3,2	6,5	11,7

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=5000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	74,1	130,8	161,4	174,1
i=-6	0	83,9	146,4	180,1	195,3
i=-4	0	95,9	166,4	203,5	218,2
i=-2	0	100,0	178,4	219,6	234,9
i=0	0	69,1	125,0	158,1	175,7
i=2	0	56,0	112,7	157,6	186,7
i=4	0	43,3	101,4	157,7	199,0
i=6	0	27,9	88,0	156,3	210,8
i=8	0	17,2	84,4	166,2	234,4

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	24,3	42,5	51,5	54,8
i=-6	0	27,5	47,6	57,4	61,4
i=-4	0	31,4	54,1	64,9	68,9
i=-2	0	32,8	58,1	70,1	74,1
i=0	0	24,1	40,3	47,3	49,9
i=2	0	21,3	35,3	41,5	43,6
i=4	0	18,8	30,7	36,0	37,7
i=6	0	16,0	26,1	30,4	31,9
i=8	0	11,0	20,0	23,2	24,2

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	1,7	5,6	12,9	17,9
i=-6	0	1,7	5,6	12,9	19,9
i=-4	0	1,7	5,3	11,9	17,7
i=-2	0	1,6	4,9	10,6	17,7
i=0	0	1,6	5,0	10,7	20,4
i=2	0	1,6	5,0	10,8	20,5
i=4	0	1,7	5,1	11,0	20,7
i=6	0	1,8	5,4	11,3	21,1
i=8	0	1,6	5,3	11,4	21,3

Маса рухомого складу 4000 тонн

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=50$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	88,4	155,4	192,2	207,6
i=-6	0	101,8	178,1	218,7	236,7
i=-4	0	120,4	207,9	254,6	274,6
i=-2	0	142,5	243,3	296,8	318,9
i=0	0	123,2	211,5	259,4	282,0
i=2	0	108,4	187,7	235,1	259,6
i=4	0	90,0	160,6	207,7	234,1
i=6	0	58,1	125,3	177,4	208,9
i=8	0	28,9	97,6	164,0	204,5

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	29,0	50,5	61,3	65,3
i=-6	0	33,3	57,9	69,7	74,5
i=-4	0	39,4	67,6	81,2	86,6
i=-2	0	46,7	79,1	94,8	100,6
i=0	0	41,0	69,1	82,3	87,6
i=2	0	37,0	61,9	73,7	78,4
i=4	0	32,7	54,5	64,7	68,7
i=6	0	21,6	40,5	49,4	53,1
i=8	0	10,3	24,5	31,9	34,7

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,3	1,3	2,8	4,0
i=-6	0	0,3	1,3	2,8	3,9
i=-4	0	0,4	1,3	2,8	4,1
i=-2	0	0,4	1,3	2,7	4,2
i=0	0	0,4	1,4	2,8	4,6
i=2	0	0,5	1,6	3,0	4,9
i=4	0	0,6	1,9	3,5	5,5
i=6	0	0,6	2,1	4,0	6,2
i=8	0	0,5	2,8	5,3	7,9

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=100$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	0	81,7	150,4	185,1	197,8
i=-8	0	101,8	178,1	218,7	235,2
i=-6	0	120,4	207,9	254,6	273,0
i=-4	0	142,4	243,2	296,7	316,9
i=-2	0	122,8	210,9	258,9	281,4
i=0	0	108,0	187,3	234,9	259,4
i=2	0	89,6	160,2	207,6	234,2
i=4	0	56,9	125,1	177,6	209,5
i=6	0	27,6	98,8	163,2	204,8
i=8	0	101,8	178,1	218,7	235,2

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	33,3	57,9	69,7	74,1
i=-6	0	39,4	67,6	81,2	86,1
i=-4	0	46,6	79,1	94,7	100,1
i=-2	0	40,9	69,0	82,1	87,4
i=0	0	36,9	61,8	73,5	78,2
i=2	0	32,6	54,4	64,5	68,5
i=4	0	21,3	40,4	49,2	52,8
i=6	0	9,8	24,7	31,3	34,3
i=8	0	33,3	57,9	69,7	74,1

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,4	1,3	2,9	3,9
i=-6	0	0,4	1,4	2,9	4,0
i=-4	0	0,4	1,4	2,7	4,2
i=-2	0	0,4	1,4	2,9	4,8
i=0	0	0,5	1,6	3,1	5,1
i=2	0	0,6	1,9	3,6	5,7
i=4	0	0,6	2,1	4,0	6,3
i=6	0	0,5	2,8	5,4	8,1
i=8	0	0,4	1,3	2,9	3,9

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=500$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	88,4	155,4	192,2	207,0
i=-6	0	101,8	178,1	218,7	235,2
i=-4	0	120,4	207,9	254,6	273,0
i=-2	0	141,7	242,4	296,0	316,2
i=0	0	120,1	206,9	254,5	277,0
i=2	0	105,0	183,7	232,1	257,7
i=4	0	86,3	157,0	206,4	235,3
i=6	0	54,6	124,0	179,5	214,8
i=8	0	26,5	99,9	168,7	214,8

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	29,0	50,5	61,3	65,2
i=-6	0	33,3	57,9	69,7	74,1
i=-4	0	39,4	67,6	81,2	86,1
i=-2	0	46,4	78,9	94,5	99,9
i=0	0	40,1	67,6	80,4	85,5
i=2	0	36,2	60,4	71,8	76,4
i=4	0	31,9	53,0	62,8	66,6
i=6	0	20,7	39,3	47,8	51,1
i=8	0	9,5	24,0	30,2	33,1

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,5	1,6	3,7	5,1
i=-6	0	0,5	1,7	3,7	5,0
i=-4	0	0,5	1,7	3,7	5,1
i=-2	0	0,5	1,7	3,4	5,3
i=0	0	0,5	1,7	3,5	6,1
i=2	0	0,6	1,9	3,8	6,4
i=4	0	0,7	2,2	4,2	7,0
i=6	0	0,7	2,4	4,7	7,6
i=8	0	0,6	3,1	6,0	9,3

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=2000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	88,4	155,4	192,2	207,0
i=-6	0	101,8	178,1	218,7	235,2
i=-4	0	120,4	207,9	254,6	273,0
i=-2	0	138,9	239,7	293,2	313,5
i=0	0	110,1	191,9	237,9	260,2
i=2	0	93,8	170,1	221,6	251,4
i=4	0	73,8	144,9	202,0	239,3
i=6	0	47,1	119,6	187,7	235,9
i=8	0	23,1	103,2	189,6	252,6

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	29,0	50,5	61,3	65,2
i=-6	0	33,3	57,9	69,7	74,1
i=-4	0	39,4	67,6	81,2	86,1
i=-2	0	45,5	78,0	93,6	99,0
i=0	0	37,2	62,5	74,1	78,5
i=2	0	33,3	55,3	65,4	69,4
i=4	0	29,0	47,9	56,4	59,6
i=6	0	18,9	35,3	42,5	45,3
i=8	0	8,5	20,9	26,2	28,4

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,9	3,0	6,8	9,4
i=-6	0	0,9	3,0	6,8	9,3
i=-4	0	0,9	2,9	6,5	9,4
i=-2	0	0,9	2,8	5,9	9,5
i=0	0	0,9	2,9	6,0	11,0
i=2	0	1,0	3,0	6,2	11,3
i=4	0	1,1	3,3	6,7	11,9
i=6	0	1,0	3,4	7,1	12,4
i=8	0	0,8	4,0	8,2	13,9

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=5000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	0	15,5	28,4	36,1	39,8
i=-8	0	88,4	155,4	192,2	207,0
i=-6	0	101,8	178,1	218,7	235,2
i=-4	0	120,4	207,9	254,6	273,0
i=-2	0	133,5	234,2	287,7	308,0
i=0	0	90,0	161,8	204,7	226,8
i=2	0	71,2	142,9	200,6	238,7
i=4	0	48,7	120,9	194,0	248,4
i=6	0	30,9	110,5	204,8	278,5
i=8	0	17,3	110,8	232,1	329,8

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	29,0	50,5	61,3	65,2
i=-6	0	33,3	57,9	69,7	74,1
i=-4	0	39,4	67,6	81,2	86,1
i=-2	0	43,8	76,2	91,9	97,2
i=0	0	31,5	52,2	61,3	64,4
i=2	0	27,5	45,0	52,7	55,3
i=4	0	23,2	37,7	43,8	45,7
i=6	0	15,0	27,0	32,1	33,6
i=8	0	6,7	15,2	18,6	19,8

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	1,7	5,6	13,0	18,0
i=-6	0	1,7	5,6	13,0	17,8
i=-4	0	1,7	5,4	12,0	17,9
i=-2	0	1,6	5,0	10,8	18,0
i=0	0	1,7	5,1	11,0	20,7
i=2	0	1,7	5,3	11,2	21,0
i=4	0	1,8	5,6	11,7	21,6
i=6	0	1,6	5,5	11,8	22,0
i=8	0	1,1	5,7	12,5	23,0

Маса рухомого складу 5000 тонн

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=50$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	99,8	176,3	218,0	235,4
i=-6	0	117,4	205,2	253,0	273,4
i=-4	0	142,6	246,6	301,5	325,2
i=-2	0	175,7	299,4	364,2	391,4
i=0	0	151,1	257,4	316,0	343,5
i=2	0	129,3	222,8	279,8	309,7
i=4	0	87,8	172,1	232,0	266,2
i=6	0	40,5	125,7	200,2	246,0
i=8	0	0,0	111,6	234,3	307,8

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	32,7	57,3	69,5	74,1
i=-6	0	38,4	66,7	80,7	86,1
i=-4	0	46,7	80,2	96,2	102,5
i=-2	0	57,6	97,4	116,3	123,5
i=0	0	50,4	84,3	100,3	106,7
i=2	0	44,8	74,2	88,0	93,5
i=4	0	32,6	57,6	69,3	73,9
i=6	0	14,3	33,6	42,9	46,8
i=8	0	0,0	12,7	22,1	25,9

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,35	1,29	2,83	4,05
i=-6	0	0,35	1,3	2,85	4,07
i=-4	0	0,38	1,37	2,91	4,21
i=-2	0	0,43	1,43	2,84	4,47
i=0	0	0,48	1,58	3,08	5,01
i=2	0	0,59	1,87	3,54	5,60
i=4	0	0,71	2,3	4,27	6,55
i=6	0	0,55	2,98	5,63	8,38
i=8	0	0	3,23	7,76	12,16

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=100$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	0	81,7	150,4	185,1	197,8
i=-8	0	99,8	176,3	218,0	236,9
i=-6	0	117,4	205,2	253,0	271,7
i=-4	0	142,6	246,6	301,5	326,2
i=-2	0	175,7	299,3	364,1	389,3
i=0	0	150,7	256,8	315,3	342,8
i=2	0	128,9	222,4	279,4	309,4
i=4	0	86,5	171,7	231,9	266,4
i=6	0	39,2	125,0	201,8	246,9
i=8	0	0,0	112,1	236,8	310,9

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	32,7	57,3	69,5	74,5
i=-6	0	38,4	66,7	80,7	85,7
i=-4	0	46,7	80,2	96,2	102,7
i=-2	0	57,5	97,4	116,3	123,0
i=0	0	50,3	84,1	100,1	106,4
i=2	0	44,7	74,0	87,7	93,2
i=4	0	32,2	57,4	69,0	73,6
i=6	0	13,8	33,3	43,1	46,6
i=8	0	0,0	12,7	22,6	26,4

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,4	1,3	2,9	4,4
i=-6	0	0,4	1,3	2,9	4,0
i=-4	0	0,4	1,4	3,0	4,6
i=-2	0	0,4	1,5	2,9	4,4
i=0	0	0,5	1,6	3,2	5,2
i=2	0	0,6	1,9	3,6	5,7
i=4	0	0,7	2,3	4,3	6,7
i=6	0	0,5	3,0	5,7	8,5
i=8	0	0,0	3,3	7,8	12,3

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=500$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	99,8	176,3	218,0	236,9
i=-6	0	117,4	205,2	253,0	271,7
i=-4	0	142,6	246,6	301,5	326,2
i=-2	0	174,9	298,5	363,3	388,5
i=0	0	147,4	251,8	309,9	337,3
i=2	0	125,2	217,9	275,9	307,4
i=4	0	83,7	169,1	232,1	269,2
i=6	0	38,4	125,2	206,0	255,8
i=8	0	0,0	115,6	243,5	323,5

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	32,7	57,3	69,5	74,5
i=-6	0	38,4	66,7	80,7	85,7
i=-4	0	46,7	80,2	96,2	102,7
i=-2	0	57,3	97,1	116,1	122,7
i=0	0	49,3	82,4	98,0	104,1
i=2	0	43,8	72,4	85,6	90,9
i=4	0	31,5	56,0	67,3	71,6
i=6	0	13,6	32,3	41,7	45,1
i=8	0	0,0	13,0	22,4	26,2

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,5	1,7	3,8	5,7
i=-6	0	0,5	1,7	3,8	5,2
i=-4	0	0,5	1,8	3,8	5,9
i=-2	0	0,5	1,8	3,6	5,5
i=0	0	0,6	1,9	3,8	6,5
i=2	0	0,7	2,2	4,3	7,0
i=4	0	0,8	2,6	5,0	8,0
i=6	0	0,6	3,3	6,3	9,8
i=8	0	0,0	3,4	8,2	13,3

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=2000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	99,8	176,3	218,0	236,9
i=-6	0	117,4	205,2	253,0	271,7
i=-4	0	142,6	246,6	301,5	326,2
i=-2	0	171,9	295,6	360,4	385,5
i=0	0	135,0	233,3	289,4	316,7
i=2	0	111,3	201,2	263,1	299,7
i=4	0	72,5	159,2	231,9	280,0
i=6	0	34,7	126,5	222,5	289,1
i=8	0	0,0	129,6	272,0	371,8

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	32,7	57,3	69,5	74,5
i=-6	0	38,4	66,7	80,7	85,7
i=-4	0	46,7	80,2	96,2	102,7
i=-2	0	56,3	96,2	115,1	121,8
i=0	0	45,8	76,1	90,1	95,5
i=2	0	40,2	66,1	77,8	82,3
i=4	0	28,7	50,6	60,4	64,1
i=6	0	12,5	28,7	36,6	39,7
i=8	0	0,0	14,3	22,9	25,9

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	0,9	3,0	6,9	10,5
i=-6	0	0,9	3,0	6,9	9,4
i=-4	0	0,9	3,0	6,6	10,7
i=-2	0	0,9	2,9	6,1	9,8
i=0	0	1,0	3,0	6,3	11,3
i=2	0	1,1	3,3	6,8	11,9
i=4	0	1,1	3,7	7,4	12,8
i=6	0	0,8	4,1	8,5	14,4
i=8	0	0,0	3,8	9,6	17,0

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=5000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	0	15,5	28,4	36,1	39,8
i=-8	0	99,8	176,3	218,0	236,9
i=-6	0	117,4	205,2	253,0	271,7
i=-4	0	142,6	246,6	301,5	326,2
i=-2	0	166,0	289,6	354,4	379,6
i=0	0	110,3	196,3	248,6	275,5
i=2	0	83,5	167,8	237,5	284,2
i=4	0	50,5	140,0	233,3	301,9
i=6	0	27,9	131,8	258,2	356,9
i=8	0	0,0	159,6	329,2	469,0

Економія витрат мех роботи, ткм					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	32,7	57,3	69,5	74,5
i=-6	0	38,4	66,7	80,7	85,7
i=-4	0	46,7	80,2	96,2	102,7
i=-2	0	54,4	94,3	113,2	119,9
i=0	0	38,7	63,5	74,4	78,2
i=2	0	33,1	53,5	62,2	65,0
i=4	0	23,3	40,0	47,0	49,0
i=6	0	10,5	22,6	27,8	29,6
i=8	0	0,0	17,1	23,9	25,6

Економія часу руху, хв.					
	80	60	40	25	15
i=-8	0	1,7	5,6	13,1	20,1
i=-6	0	1,7	5,6	13,1	17,9
i=-4	0	1,7	5,4	12,2	20,4
i=-2	0	1,7	5,1	11,0	18,2
i=0	0	1,7	5,3	11,2	21,1
i=2	0	1,8	5,6	11,7	21,7
i=4	0	1,8	5,8	12,2	22,4
i=6	0	1,2	5,9	12,9	23,5
i=8	0	0,0	4,8	12,5	24,6

ЕКОНОМІЯ ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ЛОКОМОТИВА ДСЗ.

Маса рухомого складу 1000 тонн
Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=50$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	127,0	151,3	163,4	167,6
i=-6	0	140,5	166,6	179,1	183,8
i=-4	0	141,9	168,0	180,6	185,1
i=-2	0	130,6	153,9	165,8	170,4
i=0	0	122,3	144,3	154,8	159,4
i=2	0	113,8	134,6	144,6	148,8
i=4	0	105,3	124,7	134,3	138,2
i=6	0	92,9	107,8	115,6	118,7
i=8	0	51,0	66,0	73,3	76,3

Економія витрат мех роботи, ткм					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	39,35	46,81	50,49	51,73
i=-6	0	43,54	51,53	55,32	56,74
i=-4	0	43,98	51,98	55,8	57,16
i=-2	0	40,47	47,61	51,2	52,56
i=0	0	37,91	44,61	47,76	49,12
i=2	0	35,31	41,63	44,59	45,82
i=4	0	32,69	38,54	41,36	42,47
i=6	0	28,88	33,32	35,58	36,41
i=8	0	15,85	20,28	22,34	23,14

Економія часу руху, хв.					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	0,78	1,42	2,33	3,02
i=-6	0	0,8	1,44	2,31	3,06
i=-4	0	0,86	1,51	2,39	3,13
i=-2	0	0,87	1,51	2,33	3,18
i=0	0	0,92	1,58	2,4	3,52
i=2	0	0,99	1,65	2,5	3,62
i=4	0	1,09	1,78	2,64	3,78
i=6	0	1,25	1,97	2,85	4,01
i=8	0	1,33	2,07	2,97	4,14

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=100$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	127,0	151,3	163,4	166,8
i=-6	0	140,5	166,6	179,1	184,2
i=-4	0	141,7	167,8	180,5	185,8
i=-2	0	130,2	153,5	165,4	169,0
i=0	0	121,9	143,9	154,4	158,9
i=2	0	113,6	134,1	144,1	148,3
i=4	0	104,9	124,2	133,7	137,6
i=6	0	92,3	107,2	114,9	118,2
i=8	0	50,5	65,3	72,7	75,7

Економія витрат мех роботи, ткм					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	39,4	46,8	50,5	51,5
i=-6	0	43,5	51,5	55,3	56,9
i=-4	0	43,9	51,9	55,8	57,4
i=-2	0	40,3	47,5	51,1	52,2
i=0	0	37,8	44,5	47,6	49,0
i=2	0	35,3	41,5	44,5	45,7
i=4	0	32,6	38,4	41,2	42,3
i=6	0	28,7	33,1	35,4	36,3
i=8	0	15,7	20,1	22,2	22,9

Економія часу руху, хв.					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	0,8	1,5	2,4	3,0
i=-6	0	0,8	1,5	2,4	3,5
i=-4	0	0,9	1,6	2,5	3,5
i=-2	0	0,9	1,6	2,4	3,1
i=0	0	1,0	1,6	2,5	3,7
i=2	0	1,0	1,7	2,6	3,8
i=4	0	1,1	1,8	2,7	3,9
i=6	0	1,3	2,0	2,9	4,2
i=8	0	1,4	2,1	3,1	4,3

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=500$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	127,0	151,3	163,4	166,8
i=-6	0	140,5	166,6	179,1	184,2
i=-4	0	140,3	166,5	179,1	184,5
i=-2	0	126,8	149,4	161,2	164,9
i=0	0	118,5	139,8	149,8	154,2
i=2	0	110,3	130,1	139,7	143,7
i=4	0	101,6	120,2	129,3	133,0
i=6	0	87,8	101,1	108,3	111,4
i=8	0	45,8	60,9	67,5	70,8

Економія витрат мех роботи, ткм					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	39,4	46,8	50,5	51,5
i=-6	0	43,5	51,5	55,3	56,9
i=-4	0	43,5	51,5	55,3	56,9
i=-2	0	39,3	46,2	49,8	50,9
i=0	0	36,7	43,2	46,2	47,5
i=2	0	34,2	40,2	43,0	44,2
i=4	0	31,5	37,1	39,8	40,8
i=6	0	27,3	31,2	33,2	34,0
i=8	0	14,2	18,6	20,4	21,3

Економія часу руху, хв.					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	1,0	1,9	3,3	4,1
i=-6	0	1,0	1,9	3,3	4,9
i=-4	0	1,1	2,0	3,3	5,0
i=-2	0	1,1	2,0	3,2	4,2
i=0	0	1,2	2,0	3,3	5,1
i=2	0	1,2	2,1	3,3	5,2
i=4	0	1,3	2,2	3,5	5,3
i=6	0	1,5	2,4	3,7	5,6
i=8	0	1,5	2,5	3,8	5,7

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=2000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	127,0	151,3	163,4	166,8
i=-6	0	140,5	166,6	179,1	184,2
i=-4	0	135,1	161,3	173,9	179,2
i=-2	0	114,1	133,8	145,7	149,3
i=0	0	105,9	124,4	132,8	136,3
i=2	0	97,7	114,8	122,9	126,1
i=4	0	89,0	105,1	112,9	115,9
i=6	0	66,3	77,4	82,7	85,5
i=8	0	30,2	42,0	47,7	50,4

Економія витрат мех роботи, ткм					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	39,4	46,8	50,5	51,5
i=-6	0	43,5	51,5	55,3	56,9
i=-4	0	41,9	49,9	53,7	55,3
i=-2	0	35,4	41,4	45,0	46,1
i=0	0	32,8	38,4	40,9	41,9
i=2	0	30,3	35,4	37,7	38,6
i=4	0	27,6	32,3	34,4	35,2
i=6	0	20,6	23,7	25,0	25,6
i=8	0	9,3	12,5	13,8	14,4

Економія часу руху, хв.					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	1,8	3,6	6,6	8,3
i=-6	0	1,8	3,5	6,4	10,1
i=-4	0	1,9	3,6	6,4	10,2
i=-2	0	1,9	3,5	6,0	8,4
i=0	0	1,9	3,5	6,1	10,3
i=2	0	2,0	3,6	6,2	10,4
i=4	0	2,1	3,7	6,3	10,6
i=6	0	2,2	3,9	6,5	10,8
i=8	0	2,2	3,9	6,6	10,9

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=5000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	127,0	151,3	163,4	166,8
i=-6	0	140,5	166,6	179,1	184,2
i=-4	0	124,7	150,8	163,4	168,8
i=-2	0	88,7	102,7	114,5	118,2
i=0	0	80,6	93,6	98,8	100,5
i=2	0	72,5	84,3	89,4	91,1
i=4	0	59,9	65,9	67,9	68,5
i=6	0	22,3	27,6	30,8	31,3
i=8	0	-3,8	3,3	6,0	7,5

Економія витрат мех роботи, ткм					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	39,4	46,8	50,5	51,5
i=-6	0	43,5	51,5	55,3	56,9
i=-4	0	38,7	46,7	50,5	52,1
i=-2	0	27,5	31,7	35,3	36,4
i=0	0	24,9	28,8	30,2	30,6
i=2	0	22,4	25,7	27,0	27,3
i=4	0	18,5	19,8	20,0	19,9
i=6	0	6,8	7,8	8,2	8,0
i=8	0	-1,5	-0,1	0,0	0,0

Економія часу руху, хв.					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	3,5	6,9	13,3	16,8
i=-6	0	3,4	6,7	12,7	20,6
i=-4	0	3,5	6,8	12,7	20,7
i=-2	0	3,4	6,5	11,7	16,6
i=0	0	3,4	6,5	11,8	20,8
i=2	0	3,5	6,6	11,9	20,9
i=4	0	3,6	6,7	12,0	21,1
i=6	0	3,7	6,8	12,2	21,2
i=8	0	3,6	6,8	12,1	21,2

ЕКОНОМІЯ ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ЛОКОМОТИВА ЧС7.

Маса рухомого складу 1000 тонн
Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=50$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	65,5	93,8	113,7	122,5
i=-6	0	70,8	101,2	122,3	131,5
i=-4	0	72,8	105,1	127,1	136,7
i=-2	0	73,1	105,9	129,0	139,1
i=0	0	76,9	113,5	138,5	151,5
i=2	0	81,5	122,2	150,7	165,6
i=4	0	87,2	132,8	164,9	182,1
i=6	0	94,7	146,0	182,2	201,8
i=8	0	104,6	162,6	203,4	225,7

Економія витрат мех роботи, ткм					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	43,95	51,66	55,67	57,06
i=-6	0	47,64	55,92	60,22	61,63
i=-4	0	47,26	55,69	59,79	61,12
i=-2	0	43,53	51,18	55	56,37
i=0	0	41,03	48,19	51,55	52,98
i=2	0	38,67	45,19	48,47	49,67
i=4	0	36,17	42,31	45,26	46,51
i=6	0	33,84	39,49	42,28	43,38
i=8	0	31,37	36,43	38,9	40,08

Економія часу руху, хв.					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	0,75	1,4	2,31	2,99
i=-6	0	0,77	1,42	2,28	3,02
i=-4	0	0,81	1,47	2,35	3,08
i=-2	0	0,81	1,46	2,28	3,12
i=0	0	0,85	1,51	2,34	3,44
i=2	0	0,89	1,57	2,41	3,52
i=4	0	0,94	1,65	2,51	3,63
i=6	0	1,01	1,76	2,63	3,77
i=8	0	1,12	1,9	2,81	3,96

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=100$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	65,5	93,8	113,7	123,8
i=-6	0	70,8	101,2	122,3	129,9
i=-4	0	72,8	105,0	127,1	135,0
i=-2	0	73,0	105,8	128,8	140,7
i=0	0	77,1	113,8	138,9	151,9
i=2	0	81,9	122,8	151,6	166,5
i=4	0	87,7	133,7	166,0	183,8
i=6	0	95,4	147,5	184,2	204,2
i=8	0	105,7	164,5	205,5	228,8

Економія витрат мех роботи, ткм					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	44,0	51,7	55,7	57,1
i=-6	0	47,6	55,9	60,2	61,3
i=-4	0	47,2	55,6	59,7	60,8
i=-2	0	43,4	51,0	54,8	56,3
i=0	0	40,9	48,0	51,4	52,8
i=2	0	38,5	45,1	48,3	49,5
i=4	0	36,1	42,2	45,1	46,3
i=6	0	33,7	39,3	42,1	43,2
i=8	0	31,2	36,3	38,8	39,9

Економія часу руху, хв.					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	0,8	1,5	2,4	3,4
i=-6	0	0,8	1,5	2,4	3,0
i=-4	0	0,8	1,5	2,4	3,0
i=-2	0	0,8	1,5	2,4	3,5
i=0	0	0,9	1,6	2,4	3,6
i=2	0	0,9	1,6	2,5	3,7
i=4	0	1,0	1,7	2,6	3,8
i=6	0	1,0	1,8	2,7	3,9
i=8	0	1,1	2,0	2,9	4,1

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=500$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	65,5	93,8	113,7	123,8
i=-6	0	70,8	101,2	122,3	129,9
i=-4	0	72,4	104,6	126,6	134,5
i=-2	0	72,6	104,6	127,5	139,4
i=0	0	78,5	115,8	141,3	154,6
i=2	0	85,2	128,0	158,5	174,7
i=4	0	92,8	142,2	177,5	197,5
i=6	0	102,4	159,2	200,1	223,3
i=8	0	114,5	179,4	225,9	253,3

Економія витрат мех роботи, ткм					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	44,0	51,7	55,7	57,1
i=-6	0	47,6	55,9	60,2	61,3
i=-4	0	46,7	55,1	59,2	60,3
i=-2	0	42,3	49,6	53,4	54,9
i=0	0	39,8	46,6	49,8	51,2
i=2	0	37,4	43,7	46,7	47,9
i=4	0	34,9	40,8	43,6	44,7
i=6	0	32,6	37,9	40,6	41,6
i=8	0	30,1	34,9	37,2	38,3

Економія часу руху, хв.					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	1,0	1,9	3,3	4,8
i=-6	0	1,0	1,9	3,2	4,1
i=-4	0	1,1	2,0	3,3	4,1
i=-2	0	1,0	1,9	3,1	4,9
i=0	0	1,1	2,0	3,2	5,0
i=2	0	1,1	2,0	3,3	5,1
i=4	0	1,2	2,1	3,4	5,2
i=6	0	1,2	2,2	3,5	5,3
i=8	0	1,3	2,4	3,7	5,5

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=2000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	65,5	93,8	113,7	123,8
i=-6	0	70,8	101,2	122,3	129,9
i=-4	0	70,7	102,9	124,9	132,8
i=-2	0	70,8	100,2	122,8	134,7
i=0	0	83,7	123,5	150,6	164,9
i=2	0	97,4	147,8	184,7	205,4
i=4	0	112,0	174,0	220,5	248,7
i=6	0	128,6	203,1	260,0	294,9
i=8	0	147,7	235,5	302,6	345,5

Економія витрат мех роботи, ткм					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	44,0	51,7	55,7	57,1
i=-6	0	47,6	55,9	60,2	61,3
i=-4	0	44,8	53,3	57,3	58,4
i=-2	0	38,0	44,4	48,1	49,6
i=0	0	35,5	41,4	44,0	45,1
i=2	0	33,1	38,4	40,9	41,8
i=4	0	30,6	35,5	37,8	38,6
i=6	0	28,3	32,7	34,8	35,5
i=8	0	25,8	29,6	31,4	32,2

Економія часу руху, хв.					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	1,8	3,6	6,6	10,0
i=-6	0	1,8	3,5	6,4	8,3
i=-4	0	1,8	3,5	6,4	8,3
i=-2	0	1,8	3,4	6,0	10,2
i=0	0	1,8	3,5	6,0	10,3
i=2	0	1,9	3,5	6,1	10,3
i=4	0	1,9	3,6	6,2	10,4
i=6	0	2,0	3,7	6,3	10,6
i=8	0	2,1	3,9	6,5	10,8

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=5000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	65,5	93,8	113,7	123,8
i=-6	0	70,8	101,2	122,3	129,9
i=-4	0	67,3	99,5	121,6	129,5
i=-2	0	67,3	91,3	113,3	125,2
i=0	0	94,1	138,8	169,1	185,5
i=2	0	121,8	187,3	236,9	266,9
i=4	0	150,4	237,7	306,4	351,1
i=6	0	180,9	291,0	379,6	438,3
i=8	0	213,9	347,3	454,6	528,1

Економія витрат мех роботи, ткм					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	44,0	51,7	55,7	57,1
i=-6	0	47,6	55,9	60,2	61,3
i=-4	0	41,1	49,5	53,6	54,6
i=-2	0	29,4	33,9	37,5	39,0
i=0	0	26,9	30,9	32,4	32,9
i=2	0	24,5	28,0	29,4	29,6
i=4	0	22,1	25,1	26,2	26,4
i=6	0	19,7	22,2	23,2	23,3
i=8	0	17,2	18,9	18,4	18,1

Економія часу руху, хв.					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	3,4	6,9	13,3	20,5
i=-6	0	3,4	6,7	12,7	16,7
i=-4	0	3,4	6,8	12,7	16,7
i=-2	0	3,3	6,4	11,7	20,7
i=0	0	3,3	6,5	11,7	20,8
i=2	0	3,4	6,5	11,8	20,8
i=4	0	3,4	6,6	11,9	20,9
i=6	0	3,5	6,7	12,0	21,1
i=8	0	3,6	6,9	12,2	21,3

ЕКОНОМІЯ ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ЛОКОМОТИВА ТЕП70.

Маса рухомого складу 1000 тонн
Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=50$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	27,5	33,3	36,5	37,7
i=-6	0	33,1	39,6	42,9	44,2
i=-4	0	34,6	41,1	44,6	45,8
i=-2	0	29,3	33,5	36,3	37,3
i=0	0	13,4	17,5	20,0	21,1
i=2	0	9,3	13,9	16,6	17,8
i=4	0	7,9	12,9	15,8	17,1
i=6	0	6,7	12,6	15,7	17,1
i=8	0	2,4	8,4	11,5	13,0

Економія витрат мех роботи, ткм					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	33,6	40,3	43,8	45,1
i=-6	0	40,4	47,8	51,6	53,0
i=-4	0	41,9	49,5	53,3	54,6
i=-2	0	35,0	39,6	42,5	43,6
i=0	0	14,8	19,1	21,7	22,8
i=2	0	9,6	14,3	17,0	18,2
i=4	0	8,0	13,0	16,0	17,2
i=6	0	6,9	13,0	16,1	17,4
i=8	0	2,4	8,4	11,5	12,9

Економія часу руху, хв.					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	1,0	1,8	2,7	3,4
i=-6	0	1,1	1,9	2,8	3,5
i=-4	0	1,3	2,1	3,0	3,8
i=-2	0	1,5	2,3	3,2	4,0
i=0	0	1,7	2,6	3,4	4,6
i=2	0	1,6	2,4	3,3	4,5
i=4	0	1,3	2,2	3,1	4,2
i=6	0	0,9	1,8	2,7	3,8
i=8	0	0,4	1,3	2,2	3,4

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=100$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	27,5	33,3	36,5	37,5
i=-6	0	33,1	39,6	42,9	44,1
i=-4	0	34,5	41,1	44,5	45,6
i=-2	0	29,2	33,4	36,1	37,0
i=0	0	13,2	17,3	19,9	21,0
i=2	0	9,2	13,8	16,4	17,7
i=4	0	7,9	12,9	15,8	17,0
i=6	0	6,7	12,5	15,8	17,2
i=8	0	2,4	8,4	11,5	12,9

Економія витрат мех роботи, ткм					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	33,6	40,3	43,8	44,9
i=-6	0	40,4	47,8	51,6	52,8
i=-4	0	41,9	49,4	53,2	54,4
i=-2	0	34,9	39,4	42,3	43,2
i=0	0	14,7	18,9	21,5	22,6
i=2	0	9,5	14,1	16,8	18,0
i=4	0	8,0	13,1	15,9	17,1
i=6	0	7,0	12,8	16,1	17,4
i=8	0	2,4	8,4	11,5	12,7

Економія часу руху, хв.					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	1,0	1,8	2,8	3,3
i=-6	0	1,1	1,9	2,9	3,5
i=-4	0	1,3	2,1	3,1	3,7
i=-2	0	1,5	2,4	3,3	4,0
i=0	0	1,7	2,6	3,5	4,7
i=2	0	1,6	2,5	3,4	4,6
i=4	0	1,3	2,2	3,2	4,4
i=6	0	0,9	1,8	2,8	4,0
i=8	0	0,4	1,3	2,3	3,5

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=500$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	27,5	33,3	36,5	37,5
i=-6	0	33,1	39,6	42,9	44,1
i=-4	0	34,1	40,7	44,2	45,2
i=-2	0	27,8	31,8	34,5	35,3
i=0	0	11,9	15,8	18,2	19,3
i=2	0	8,3	12,7	15,3	16,4
i=4	0	7,4	12,2	15,1	16,3
i=6	0	6,6	12,3	15,5	16,9
i=8	0	2,4	8,3	11,4	12,8

Економія витрат мех роботи, ткм					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	33,6	40,3	43,8	44,9
i=-6	0	40,4	47,8	51,6	52,8
i=-4	0	41,4	48,9	52,8	53,9
i=-2	0	33,1	37,4	40,3	41,1
i=0	0	12,9	16,9	19,3	20,4
i=2	0	8,3	12,7	15,3	16,3
i=4	0	7,3	12,1	14,8	16,0
i=6	0	6,7	12,4	15,5	16,8
i=8	0	2,4	8,1	11,0	12,2

Економія часу руху, хв.					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	1,2	2,2	3,7	4,5
i=-6	0	1,3	2,3	3,7	4,6
i=-4	0	1,5	2,6	3,9	4,8
i=-2	0	1,7	2,7	4,0	5,1
i=0	0	1,9	3,0	4,3	6,1
i=2	0	1,7	2,8	4,1	6,0
i=4	0	1,4	2,5	3,8	5,7
i=6	0	1,0	2,1	3,4	5,3
i=8	0	0,4	1,6	2,9	4,8

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=2000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	27,5	33,3	36,5	37,5
i=-6	0	33,1	39,6	42,9	44,1
i=-4	0	32,7	39,3	42,7	43,7
i=-2	0	21,5	24,2	26,5	27,3
i=0	0	6,7	9,9	11,9	12,7
i=2	0	5,0	8,7	10,9	11,9
i=4	0	5,6	9,8	12,3	13,5
i=6	0	6,1	11,3	14,5	15,7
i=8	0	2,5	8,0	10,9	12,5

Економія витрат мех роботи, ткм					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	33,6	40,3	43,8	44,9
i=-6	0	40,4	47,8	51,6	52,8
i=-4	0	39,7	47,2	51,0	52,1
i=-2	0	25,2	27,9	30,4	31,2
i=0	0	6,3	9,3	11,3	11,9
i=2	0	3,8	7,2	9,2	10,0
i=4	0	4,7	8,5	10,6	11,5
i=6	0	5,8	10,5	13,2	14,0
i=8	0	2,3	7,1	9,3	10,4

Економія часу руху, хв.					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	2,1	3,9	7,0	8,7
i=-6	0	2,1	3,9	6,9	8,8
i=-4	0	2,3	4,2	7,0	9,0
i=-2	0	2,4	4,2	6,8	9,2
i=0	0	2,6	4,4	7,0	11,3
i=2	0	2,3	4,2	6,8	11,1
i=4	0	1,9	3,8	6,4	10,7
i=6	0	1,3	3,2	5,8	10,1
i=8	0	0,5	2,5	5,1	9,4

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=5000$ м

Економія витрат ел енергії, кВт-год					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	27,5	33,3	36,5	37,5
i=-6	0	33,1	39,5	42,1	42,9
i=-4	0	26,9	30,5	32,8	33,6
i=-2	0	7,0	7,9	10,2	10,9
i=0	0	-3,8	-2,3	-1,2	-0,8
i=2	0	-2,0	0,2	1,8	2,4
i=4	0	1,7	4,7	6,7	7,6
i=6	0	5,1	9,6	12,3	13,6
i=8	0	2,6	7,5	10,3	11,8

Економія витрат мех роботи, ткм					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	33,6	40,3	43,8	44,9
i=-6	0	40,4	47,7	50,5	51,4
i=-4	0	32,4	36,2	38,7	39,4
i=-2	0	7,1	7,7	10,2	10,9
i=0	0	-7,1	-6,2	-5,5	-5,4
i=2	0	-5,5	-4,2	-3,3	-3,2
i=4	0	-0,8	0,8	1,9	2,1
i=6	0	3,9	6,9	8,4	8,8
i=8	0	2,1	5,1	6,3	6,7

Економія часу руху, хв.					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	3,7	7,2	13,7	17,1
i=-6	0	3,7	7,2	13,2	17,2
i=-4	0	3,9	7,4	13,3	17,3
i=-2	0	3,9	7,1	12,4	17,4
i=0	0	3,9	7,2	12,5	21,5
i=2	0	3,5	6,8	12,1	21,2
i=4	0	2,8	6,2	11,5	20,6
i=6	0	2,0	5,3	10,7	19,7
i=8	0	0,8	4,2	9,6	18,7

ЕКОНОМІЯ ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОПОЇЗДА ЕР2

Маса рухомого складу 454 тонни
Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=50$ м

Економія витрат палива, кг					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	51,7	62,7	68,2	70,3
i=-6	0	60,8	72,4	78,2	80,4
i=-4	0	56,0	67,1	72,6	74,7
i=-2	0	51,6	61,8	67,2	69,2
i=0	0	48,2	57,9	62,8	64,9
i=2	0	44,4	53,6	58,4	60,6
i=4	0	38,5	47,2	51,6	53,6
i=6	0	30,2	38,9	43,3	45,3
i=8	0	27,5	36,2	40,5	42,5

Економія витрат мех роботи					
	120	60	40	25	15
i=-6	0	16,8	20,29	21,97	22,58
i=-4	0	19,71	23,39	25,15	25,79
i=-2	0	18,23	21,73	23,41	24,00
i=0	0	16,91	20,13	21,75	22,32
i=2	0	15,84	18,91	20,38	20,98
i=4	0	14,78	17,67	19,08	19,67
i=6	0	13,07	15,76	17,02	17,56
i=8	0	10,28	12,97	14,21	14,73
i=-8	0	9,25	11,88	13,09	13,59

Економія часу руху					
	120	60	40	25	15
i=-6	0	0,61	1,04	1,63	2,09
i=-4	0	0,65	1,08	1,64	2,13
i=-2	0	0,67	1,08	1,64	2,13
i=0	0	0,68	1,07	1,59	2,14
i=2	0	0,71	1,11	1,62	2,32
i=4	0	0,77	1,16	1,68	2,37
i=6	0	0,87	1,26	1,78	2,47
i=8	0	0,82	1,2	1,71	2,40
i=-8	0	0,7	1,07	1,57	2,27

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=100$ м

Економія витрат палива, кг					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	51,7	62,7	68,2	70,6
i=-6	0	60,8	72,4	78,3	80,2
i=-4	0	55,9	67,0	72,5	74,9
i=-2	0	51,5	61,6	67,0	69,3
i=0	0	48,0	57,7	62,6	64,7
i=2	0	44,2	53,5	58,2	60,3
i=4	0	38,3	46,8	51,2	53,2
i=6	0	30,0	38,6	43,2	45,2
i=8	0	27,6	36,0	40,4	42,4

Економія витрат мех роботи					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	16,8	20,3	22,0	22,7
i=-6	0	19,7	23,4	25,2	25,7
i=-4	0	18,2	21,7	23,4	24,1
i=-2	0	16,9	20,1	21,7	22,4
i=0	0	15,8	18,8	20,3	20,9
i=2	0	14,7	17,6	19,0	19,6
i=4	0	13,0	15,6	16,9	17,4
i=6	0	10,2	12,9	14,2	14,7
i=8	0	9,3	11,8	13,0	13,5

Економія часу руху					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	0,6	1,1	1,7	2,4
i=-6	0	0,7	1,1	1,7	2,1
i=-4	0	0,7	1,1	1,7	2,5
i=-2	0	0,7	1,1	1,7	2,5
i=0	0	0,7	1,2	1,7	2,5
i=2	0	0,8	1,2	1,8	2,5
i=4	0	0,9	1,3	1,9	2,6
i=6	0	0,8	1,2	1,8	2,6
i=8	0	0,7	1,1	1,7	2,4

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=500$ м

Економія витрат палива, кг					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	51,7	62,7	68,2	70,6
i=-6	0	61,2	72,8	78,6	80,5
i=-4	0	55,2	66,3	71,8	74,1
i=-2	0	49,9	59,7	65,2	67,5
i=0	0	46,4	55,7	60,5	62,5
i=2	0	42,6	51,6	56,2	58,3
i=4	0	36,1	44,5	49,0	51,0
i=6	0	28,4	36,9	41,2	43,3
i=8	0	26,2	34,5	38,9	41,0

Економія витрат мех роботи					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	16,8	20,3	22,0	22,7
i=-6	0	19,9	23,5	25,3	25,9
i=-4	0	18,0	21,5	23,2	23,8
i=-2	0	16,3	19,5	21,1	21,8
i=0	0	15,3	18,2	19,6	20,2
i=2	0	14,2	17,0	18,3	18,9
i=4	0	12,3	14,9	16,1	16,6
i=6	0	9,7	12,3	13,4	13,9
i=8	0	8,8	11,3	12,4	12,9

Економія часу руху					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	0,9	1,5	2,6	3,8
i=-6	0	0,9	1,6	2,6	3,3
i=-4	0	0,9	1,6	2,6	3,8
i=-2	0	0,9	1,5	2,4	3,9
i=0	0	0,9	1,6	2,5	3,9
i=2	0	1,0	1,6	2,5	3,9
i=4	0	1,1	1,7	2,6	4,0
i=6	0	1,0	1,6	2,5	4,0
i=8	0	0,9	1,5	2,4	3,8

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=2000$ м

Економія витрат палива, кг					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	51,7	62,7	68,2	70,6
i=-6	0	62,6	74,2	80,1	81,9
i=-4	0	52,4	63,5	69,0	71,4
i=-2	0	43,8	52,4	58,2	60,5
i=0	0	40,3	48,5	52,7	54,3
i=2	0	36,5	44,5	48,6	50,5
i=4	0	28,3	35,7	40,0	41,9
i=6	0	22,1	29,9	34,1	36,2
i=8	0	21,1	29,0	33,5	36,0

Економія витрат мех роботи					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	16,8	20,3	22,0	22,7
i=-6	0	20,3	24,0	25,7	26,3
i=-4	0	17,1	20,6	22,3	22,9
i=-2	0	14,4	17,1	18,9	19,5
i=0	0	13,4	15,9	17,1	17,5
i=2	0	12,3	14,7	15,7	16,2
i=4	0	9,9	11,9	13,0	13,3
i=6	0	7,7	9,8	10,7	11,1
i=8	0	7,1	9,2	10,1	10,5

Економія часу руху					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	1,7	3,2	5,9	9,0
i=-6	0	1,7	3,2	5,8	7,5
i=-4	0	1,7	3,1	5,6	9,1
i=-2	0	1,7	3,0	5,3	9,1
i=0	0	1,7	3,1	5,3	9,1
i=2	0	1,7	3,1	5,4	9,2
i=4	0	1,8	3,2	5,5	9,3
i=6	0	1,7	3,1	5,3	9,2
i=8	0	1,6	2,9	5,2	9,0

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=5000$ м

Економія витрат палива, кг					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	51,7	62,7	68,2	70,6
i=-6	0	65,5	77,1	82,9	84,8
i=-4	0	46,8	57,9	63,5	65,8
i=-2	0	31,8	37,7	44,3	46,6
i=0	0	28,2	34,1	37,0	38,0
i=2	0	24,3	30,3	33,5	35,1
i=4	0	11,8	17,3	20,9	22,7
i=6	0	9,0	15,2	19,3	21,6
i=8	0	10,8	17,7	22,1	25,1

Економія витрат мех роботи					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	16,8	20,3	22,0	22,7
i=-6	0	21,2	24,9	26,6	27,2
i=-4	0	15,3	18,8	20,5	21,2
i=-2	0	10,6	12,5	14,4	15,1
i=0	0	9,5	11,2	11,9	12,1
i=2	0	8,5	10,0	10,6	10,8
i=4	0	4,6	5,8	6,3	6,4
i=6	0	3,4	4,6	5,1	5,2
i=8	0	3,6	4,9	5,3	5,4

Економія часу руху					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	3,3	6,5	12,6	19,5
i=-6	0	3,3	6,4	12,1	15,9
i=-4	0	3,2	6,2	11,6	19,6
i=-2	0	3,2	6,0	11,0	19,7
i=0	0	3,2	6,1	11,0	19,6
i=2	0	3,2	6,1	11,1	19,7
i=4	0	3,3	6,2	11,1	19,7
i=6	0	3,1	6,0	10,9	19,5
i=8	0	2,9	5,7	10,7	19,3

ЕКОНОМІЯ ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОПОЇЗДА ЕР9

Маса рухомого складу 483 тонни
Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=50$ м

Економія витрат палива, кг					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	72,1	88,5	97,6	100,8
i=-6	0	83,7	100,8	110,3	113,8
i=-4	0	77,1	93,6	102,6	105,8
i=-2	0	71,0	86,2	95,0	98,3
i=0	0	66,1	80,8	89,1	92,9
i=2	0	61,0	75,4	83,5	87,5
i=4	0	55,3	69,2	77,3	81,3
i=6	0	44,0	57,2	65,4	69,4
i=8	0	39,8	53,2	61,3	65,6

Економія витрат мех роботи					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	18,21	21,93	23,76	24,34
i=-6	0	21,07	24,97	26,88	27,54
i=-4	0	19,55	23,28	25,09	25,66
i=-2	0	18,18	21,6	23,35	23,92
i=0	0	17,12	20,36	21,95	22,59
i=2	0	16,04	19,16	20,66	21,30
i=4	0	14,92	17,89	19,34	19,94
i=6	0	12,45	15,19	16,58	17,14
i=8	0	10,91	13,61	14,92	15,51

Економія часу руху					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	0,58	1,01	1,59	1,99
i=-6	0	0,63	1,04	1,6	2,03
i=-4	0	0,63	1,04	1,58	2,02
i=-2	0	0,64	1,03	1,53	2,01
i=0	0	0,66	1,05	1,55	2,24
i=2	0	0,7	1,09	1,58	2,27
i=4	0	0,76	1,14	1,63	2,32
i=6	0	0,82	1,19	1,68	2,37
i=8	0	0,74	1,1	1,59	2,27

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=100$ м

Економія витрат палива, кг					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	72,1	88,5	97,6	101,5
i=-6	0	84,3	101,4	110,9	114,9
i=-4	0	76,0	92,4	101,5	105,2
i=-2	0	68,5	83,2	92,2	95,9
i=0	0	63,6	78,0	86,0	89,8
i=2	0	58,6	72,7	81,0	85,0
i=4	0	52,9	66,8	75,3	79,5
i=6	0	41,1	54,8	63,5	67,9
i=8	0	37,5	51,7	60,4	65,2

Економія витрат мех роботи					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	18,2	21,9	23,8	24,5
i=-6	0	21,2	25,1	27,0	27,8
i=-4	0	19,3	23,0	24,8	25,5
i=-2	0	17,6	20,9	22,7	23,3
i=0	0	16,5	19,6	21,1	21,8
i=2	0	15,4	18,4	19,9	20,4
i=4	0	14,3	17,2	18,5	19,1
i=6	0	11,7	14,4	15,7	16,2
i=8	0	10,3	12,9	14,1	14,6

Економія часу руху					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	0,8	1,5	2,6	3,6
i=-6	0	0,9	1,5	2,5	3,6
i=-4	0	0,9	1,5	2,5	3,6
i=-2	0	0,9	1,5	2,4	3,6
i=0	0	0,9	1,5	2,4	3,8
i=2	0	0,9	1,5	2,4	3,8
i=4	0	1,0	1,6	2,5	3,9
i=6	0	1,0	1,6	2,5	3,9
i=8	0	0,9	1,5	2,4	3,8

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=500$ м

Економія витрат палива, кг					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	72,1	88,5	97,6	101,5
i=-6	0	84,3	101,4	110,9	114,9
i=-4	0	76,0	92,4	101,5	105,2
i=-2	0	68,5	83,2	92,2	95,9
i=0	0	63,6	78,0	86,0	89,8
i=2	0	58,6	72,7	81,0	85,0
i=4	0	52,9	66,8	75,3	79,5
i=6	0	41,1	54,8	63,5	67,9
i=8	0	37,5	51,7	60,4	65,2

Економія витрат мех роботи					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	18,2	21,9	23,8	24,5
i=-6	0	21,2	25,1	27,0	27,8
i=-4	0	19,3	23,0	24,8	25,5
i=-2	0	17,6	20,9	22,7	23,3
i=0	0	16,5	19,6	21,1	21,8
i=2	0	15,4	18,4	19,9	20,4
i=4	0	14,3	17,2	18,5	19,1
i=6	0	11,7	14,4	15,7	16,2
i=8	0	10,3	12,9	14,1	14,6

Економія часу руху					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	0,8	1,5	2,6	3,6
i=-6	0	0,9	1,5	2,5	3,6
i=-4	0	0,9	1,5	2,5	3,6
i=-2	0	0,9	1,5	2,4	3,6
i=0	0	0,9	1,5	2,4	3,8
i=2	0	0,9	1,5	2,4	3,8
i=4	0	1,0	1,6	2,5	3,9
i=6	0	1,0	1,6	2,5	3,9
i=8	0	0,9	1,5	2,4	3,8

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=2000$ м

Економія витрат палива, кг					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	72,1	88,5	97,6	101,5
i=-6	0	86,2	103,4	112,8	116,9
i=-4	0	72,1	88,5	97,6	101,3
i=-2	0	60,1	72,9	82,5	86,2
i=0	0	55,3	68,5	75,9	79,4
i=2	0	50,4	64,0	72,4	76,7
i=4	0	44,7	58,9	68,2	73,4
i=6	0	32,3	46,8	57,1	63,1
i=8	0	31,0	46,5	57,9	64,8

Економія витрат мех роботи					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	18,2	21,9	23,8	24,5
i=-6	0	21,7	25,6	27,5	28,3
i=-4	0	18,3	22,1	23,9	24,5
i=-2	0	15,5	18,4	20,3	21,0
i=0	0	14,5	17,2	18,4	18,9
i=2	0	13,4	15,9	17,1	17,6
i=4	0	12,3	14,7	15,8	16,2
i=6	0	9,4	11,6	12,6	13,0
i=8	0	8,3	10,4	11,5	11,8

Економія часу руху					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	1,6	3,2	5,9	8,6
i=-6	0	1,7	3,1	5,7	8,6
i=-4	0	1,7	3,1	5,6	8,6
i=-2	0	1,6	3,0	5,2	8,6
i=0	0	1,6	3,0	5,2	9,0
i=2	0	1,7	3,0	5,3	9,1
i=4	0	1,7	3,1	5,3	9,1
i=6	0	1,8	3,1	5,4	9,2
i=8	0	1,6	3,0	5,2	9,0

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=5000$ м

Економія витрат палива, кг					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	72,1	88,5	97,6	101,5
i=-6	0	90,2	107,4	116,8	120,8
i=-4	0	64,3	80,8	89,9	93,6
i=-2	0	43,4	52,4	63,0	66,8
i=0	0	38,7	49,5	55,7	58,6
i=2	0	33,9	46,6	55,3	60,2
i=4	0	26,8	40,6	51,2	58,1
i=6	0	13,8	30,3	43,5	52,5
i=8	0	17,0	35,6	51,7	62,8

Економія витрат мех роботи					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	18,2	21,9	23,8	24,5
i=-6	0	22,7	26,6	28,5	29,2
i=-4	0	16,5	20,2	22,0	22,7
i=-2	0	11,5	13,4	15,6	16,2
i=0	0	10,4	12,2	12,9	13,2
i=2	0	9,3	11,0	11,7	11,9
i=4	0	7,8	9,2	9,6	9,8
i=6	0	4,5	5,8	6,3	6,4
i=8	0	4,2	5,3	5,8	5,9

Економія часу руху					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	3,3	6,5	12,5	18,6
i=-6	0	3,3	6,4	12,0	18,5
i=-4	0	3,2	6,2	11,6	18,6
i=-2	0	3,1	6,0	10,9	18,6
i=0	0	3,1	6,0	10,9	19,5
i=2	0	3,2	6,0	11,0	19,6
i=4	0	3,2	6,1	11,0	19,6
i=6	0	3,2	6,1	11,0	19,6
i=8	0	3,0	5,9	10,8	19,4

ЕКОНОМІЯ ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА ДР1

Маса рухомого складу 290 тонн
Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=50$ м

Економія витрат палива, кг					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	8,6	10,4	11,4	11,8
i=-6	0	10,3	12,3	13,4	13,8
i=-4	0	9,4	11,3	12,3	12,8
i=-2	0	8,7	10,4	11,5	11,9
i=0	0	7,9	9,6	10,6	11,0
i=2	0	7,2	8,8	9,8	10,2
i=4	0	6,1	7,5	8,4	8,8
i=6	0	3,3	4,7	5,6	6,1
i=8	0	3,1	4,6	5,5	6,0

Економія витрат мех роботи					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	10,3	12,3	13,3	13,7
i=-6	0	12,4	14,5	15,6	16,1
i=-4	0	11,4	13,5	14,5	14,9
i=-2	0	10,5	12,5	13,4	13,8
i=0	0	9,8	11,6	12,5	12,9
i=2	0	9,0	10,7	11,5	11,9
i=4	0	7,9	9,3	10,0	10,3
i=6	0	4,6	5,8	6,6	6,9
i=8	0	3,8	5,1	5,8	6,2

Економія часу руху					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	0,6	1,1	1,7	2,0
i=-6	0	0,7	1,2	1,7	2,1
i=-4	0	0,8	1,2	1,7	2,2
i=-2	0	0,8	1,3	1,8	2,2
i=0	0	0,9	1,4	1,8	2,4
i=2	0	1,0	1,5	2,0	2,5
i=4	0	1,1	1,7	2,2	2,7
i=6	0	1,2	1,8	2,3	2,8
i=8	0	1,1	1,7	2,1	2,7

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=100$ м

Економія витрат палива, кг					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	8,6	10,4	11,4	11,7
i=-6	0	10,3	12,3	13,4	13,9
i=-4	0	9,4	11,3	12,3	12,8
i=-2	0	8,6	10,4	11,4	11,9
i=0	0	7,9	9,6	10,5	11,0
i=2	0	7,2	8,8	9,7	10,2
i=4	0	6,1	7,4	8,3	8,8
i=6	0	3,3	4,7	5,6	6,1
i=8	0	3,1	4,6	5,5	6,0

Економія витрат мех роботи					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	10,3	12,3	13,3	13,6
i=-6	0	12,4	14,6	15,6	16,2
i=-4	0	11,4	13,5	14,5	15,0
i=-2	0	10,5	12,4	13,4	13,8
i=0	0	9,8	11,5	12,4	12,8
i=2	0	9,0	10,6	11,5	11,8
i=4	0	7,9	9,2	10,0	10,3
i=6	0	4,5	5,8	6,5	6,8
i=8	0	3,8	5,1	5,8	6,1

Економія часу руху					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	0,7	1,2	1,8	2,1
i=-6	0	0,8	1,2	1,8	2,4
i=-4	0	0,8	1,3	1,8	2,4
i=-2	0	0,8	1,3	1,8	2,5
i=0	0	0,9	1,4	1,9	2,6
i=2	0	1,0	1,5	2,0	2,7
i=4	0	1,2	1,7	2,2	2,9
i=6	0	1,3	1,8	2,3	3,0
i=8	0	1,1	1,7	2,2	2,8

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=500$ м

Економія витрат палива, кг					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	8,6	10,4	11,4	11,7
i=-6	0	10,3	12,3	13,4	14,0
i=-4	0	9,2	11,1	12,2	12,7
i=-2	0	8,4	10,1	11,1	11,6
i=0	0	7,6	9,2	10,2	10,6
i=2	0	6,9	8,5	9,4	9,9
i=4	0	5,7	7,0	7,9	8,4
i=6	0	3,0	4,4	5,4	5,9
i=8	0	2,9	4,5	5,4	5,9

Економія витрат мех роботи					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	10,3	12,3	13,3	13,6
i=-6	0	12,4	14,6	15,7	16,2
i=-4	0	11,3	13,3	14,4	14,8
i=-2	0	10,2	12,0	13,0	13,4
i=0	0	9,4	11,1	12,0	12,4
i=2	0	8,6	10,2	11,0	11,4
i=4	0	7,4	8,7	9,3	9,6
i=6	0	4,1	5,3	6,0	6,3
i=8	0	3,4	4,7	5,4	5,6

Економія часу руху					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	0,9	1,6	2,6	3,2
i=-6	0	1,0	1,7	2,6	3,8
i=-4	0	1,0	1,7	2,6	3,9
i=-2	0	1,0	1,7	2,6	3,9
i=0	0	1,1	1,8	2,7	4,0
i=2	0	1,2	1,9	2,8	4,1
i=4	0	1,4	2,1	3,0	4,3
i=6	0	1,4	2,2	3,1	4,4
i=8	0	1,3	2,1	3,0	4,2

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=2000$ м

Економія витрат палива, кг					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	8,6	10,4	11,4	11,7
i=-6	0	10,6	12,6	13,7	14,2
i=-4	0	8,8	10,7	11,7	12,2
i=-2	0	7,3	8,8	9,9	10,4
i=0	0	6,6	8,1	8,9	9,3
i=2	0	5,9	7,4	8,3	8,8
i=4	0	4,2	5,5	6,4	7,0
i=6	0	1,9	3,3	4,4	5,1
i=8	0	2,2	3,8	5,1	5,8

Економія витрат мех роботи					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	10,3	12,3	13,3	13,6
i=-6	0	12,7	14,9	16,0	16,5
i=-4	0	10,7	12,8	13,8	14,3
i=-2	0	9,0	10,5	11,6	12,0
i=0	0	8,2	9,6	10,4	10,6
i=2	0	7,4	8,7	9,4	9,6
i=4	0	5,6	6,5	7,0	7,2
i=6	0	2,6	3,5	4,0	4,2
i=8	0	2,3	3,3	3,8	4,0

Економія часу руху					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	1,7	3,3	6,0	7,5
i=-6	0	1,8	3,3	5,8	9,3
i=-4	0	1,7	3,2	5,5	9,3
i=-2	0	1,8	3,2	5,4	9,4
i=0	0	1,8	3,3	5,5	9,2
i=2	0	1,9	3,4	5,7	9,3
i=4	0	2,1	3,6	5,8	9,5
i=6	0	2,1	3,6	5,9	9,5
i=8	0	1,9	3,5	5,7	9,3

Довжина бар'єрного місця $L_{бм}=5000$ м

Економія витрат палива, кг					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	8,6	10,4	11,4	11,7
i=-6	0	11,1	13,1	14,2	14,7
i=-4	0	7,8	9,7	10,7	11,3
i=-2	0	5,3	6,2	7,5	8,0
i=0	0	4,6	5,7	6,4	6,7
i=2	0	3,8	4,8	5,6	6,1
i=4	0	1,0	2,3	3,3	4,1
i=6	0	-0,4	1,1	2,5	3,4
i=8	0	0,6	2,5	4,2	5,4

Економія витрат мех роботи					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	10,3	12,3	13,3	13,6
i=-6	0	13,3	15,5	16,6	17,1
i=-4	0	9,6	11,6	12,6	13,1
i=-2	0	6,5	7,5	8,7	9,2
i=0	0	5,8	6,7	7,1	7,2
i=2	0	4,8	5,3	5,5	5,5
i=4	0	1,6	1,9	2,0	2,1
i=6	0	-0,6	-0,3	-0,1	-0,1
i=8	0	-0,2	0,2	0,4	0,4

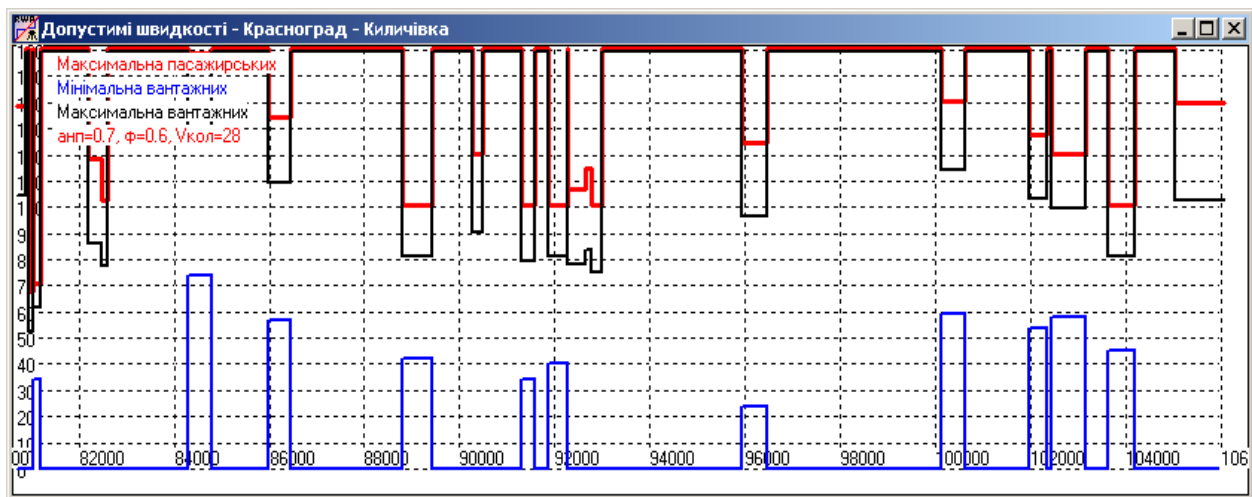
Економія часу руху					
	120	60	40	25	15
i=-8	0	3,3	6,6	12,6	16,2
i=-6	0	3,4	6,5	12,1	20,1
i=-4	0	3,3	6,3	11,6	20,1
i=-2	0	3,3	6,2	11,1	20,2
i=0	0	3,3	6,3	11,2	19,7
i=2	0	3,4	6,4	11,4	19,8
i=4	0	3,6	6,5	11,5	19,9
i=6	0	3,5	6,5	11,4	19,9
i=8	0	3,2	6,2	11,1	19,6

ДОДАТОК В
ВІДОМІСТЬ ПРЯМИХ І КРИВИХ. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

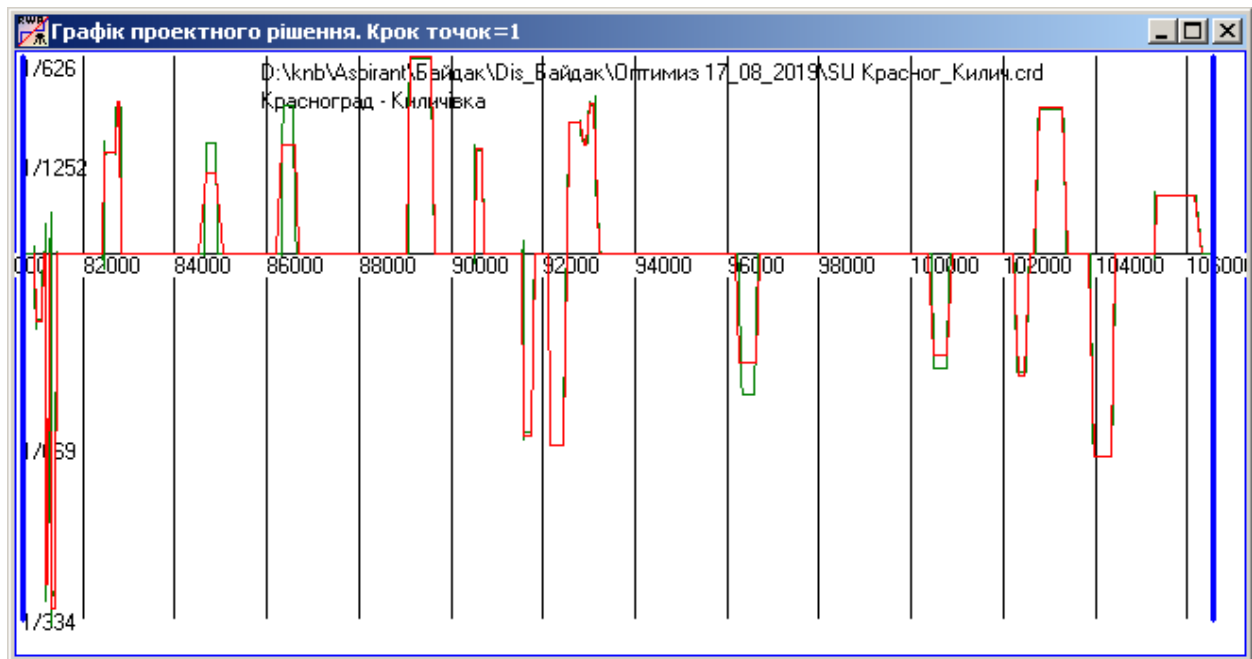
Таблица В.1 – Відомість прямих і кривих на ділянці Красноград – Кегичівка

№	кривая/ прямая	правая/ левая	L	R	K	h	i	Угол поворота элемента		Kс	Угол поворота кривой/ Дирекционный угол прямой		Пикетаж начала элемента			Пикетаж конца элемента			Скорость пассажирск их, км/ч	Скорости грузовых, км/ч		
			м	м	м	мм	%	град	мин	м	град	мин	км	пк	"+"	км	пк	"+"	max	min	max	
			40				0	0	36.7			80	9	36.79	80	9	76.79					
1	кривая	левая		1875	122.789	25		3	45.1	202.789	4		58.5	80	9	76.79	81	0	99.57	138	0	105
			40				0.6	0	36.7					81	0	99.57	81	1	39.58			
	прямая				35.256						355		1.5	81	1	39.58	81	1	74.83			
			20				2.2	1	31.4					81	1	74.83	81	1	94.83			
2	кривая	левая		376	44.882	45		6	50.4	94.882	10		38.9	81	1	94.83	81	2	39.71	67	0	53
			30				1.5	2	17.1					81	2	39.71	81	2	69.71			
	прямая				18.135						344		22.6	81	2	69.71	81	2	87.85			
			40				2.2	3	16.4					81	2	87.85	81	3	27.85			
3	кривая	левая		350	56.089	90		9	10.9	146.089	16		32.9	81	3	27.85	81	3	83.94	70	34	62
			50				1.8	4	5.6					81	3	83.94	81	4	33.94			
	прямая				996.972						327		49.7	81	4	33.94	82	4	30.91			
			40				0.8	0	56.6					82	4	30.91	82	4	70.91			
4	кривая	правая		1215	241.301	30		11	22.7	291.301	19		37.1	82	4	70.91	82	7	12.21	118	0	87
			20				0.8	1	10.5					82	7	12.21	82	7	32.21			
				815	67.077	45		4	42.9	117.077				82	7	32.21	82	7	99.29	102	0	78
			40				1.1	1	24.4					82	7	99.29	82	8	39.29			
	прямая				1694.647						347		26.8	82	8	39.29	84	5	33.94			
			140				0.7	2	39.8					84	5	33.94	84	6	73.93			
5	кривая	правая		1506	215.634	95		8	12.2	495.634	13		31.8	84	6	73.93	84	8	89.57	158	74	131
			140				0.7	2	39.8					84	8	89.57	85	0	29.57			
	прямая				1183.629						0		58.6	85	0	29.57	86	2	13.2			
			120				0.7	3	2.9					86	2	13.2	86	3	33.2			
6	кривая	правая		1128	255.088	85		12	57.4	495.088	19		3.1	86	3	33.2	86	5	88.29	134	57	110
			120				0.7	3	2.9					86	5	88.29	86	7	8.28			
	прямая				2328.684						20		1.7	86	7	8.28	89	0	36.97			
			90				0.9	4	7.1					89	0	36.97	89	1	26.97			
7	кривая	правая		626	418.035	85		38	15.7	618.035	47		24.8	89	1	26.97	89	5	45	100	42	82
			110				0.8	5	2					89	5	45	89	6	55			
	прямая				841.705						67		26.6	89	6	55	90	4	96.71			
			40				1	0	59					90	4	96.71	90	5	36.71			
8	кривая	правая		1166	128.853	40		6	19.9	228.853	8		47.3	90	5	36.71	90	6	65.56	120	0	91
			60				0.7	1	28.4					90	6	65.56	90	7	25.56			
	прямая				808.449						76		13.9	90	7	25.56	91	5	34.01			
			50				1.4	2	5.8					91	5	34.01	91	5	84.01			
9	кривая	левая		683	145.755	70		12	13.6	275.755	17		40.8	91	5	84.01	91	7	29.77	100	34	80
			80				0.9	3	21.3					91	7	29.77	91	8	9.77			
	прямая				285.653						58		33.1	91	8	9.77	92	0	95.42			
			70				1.1	3	5.2					92	0	95.42	92	1	65.42			
10	кривая	левая		649.8	266.761	80		23	31.3	406.761	29		41.6	92	1	65.42	92	4	32.18	100	40	82
			70				1.1	3	5.2					92	4	32.18	92	5	2.18			
	прямая				3.827						28		51.5	92	5	2.18	92	5	6.01			
			50				0.7	1	31.1					92	5	6.01	92	5	56.01			
11	кривая	правая		943	254.96	35		15	29.5	344.96	39		7.1	92	5	56.01	92	8	10.97	106	0	79

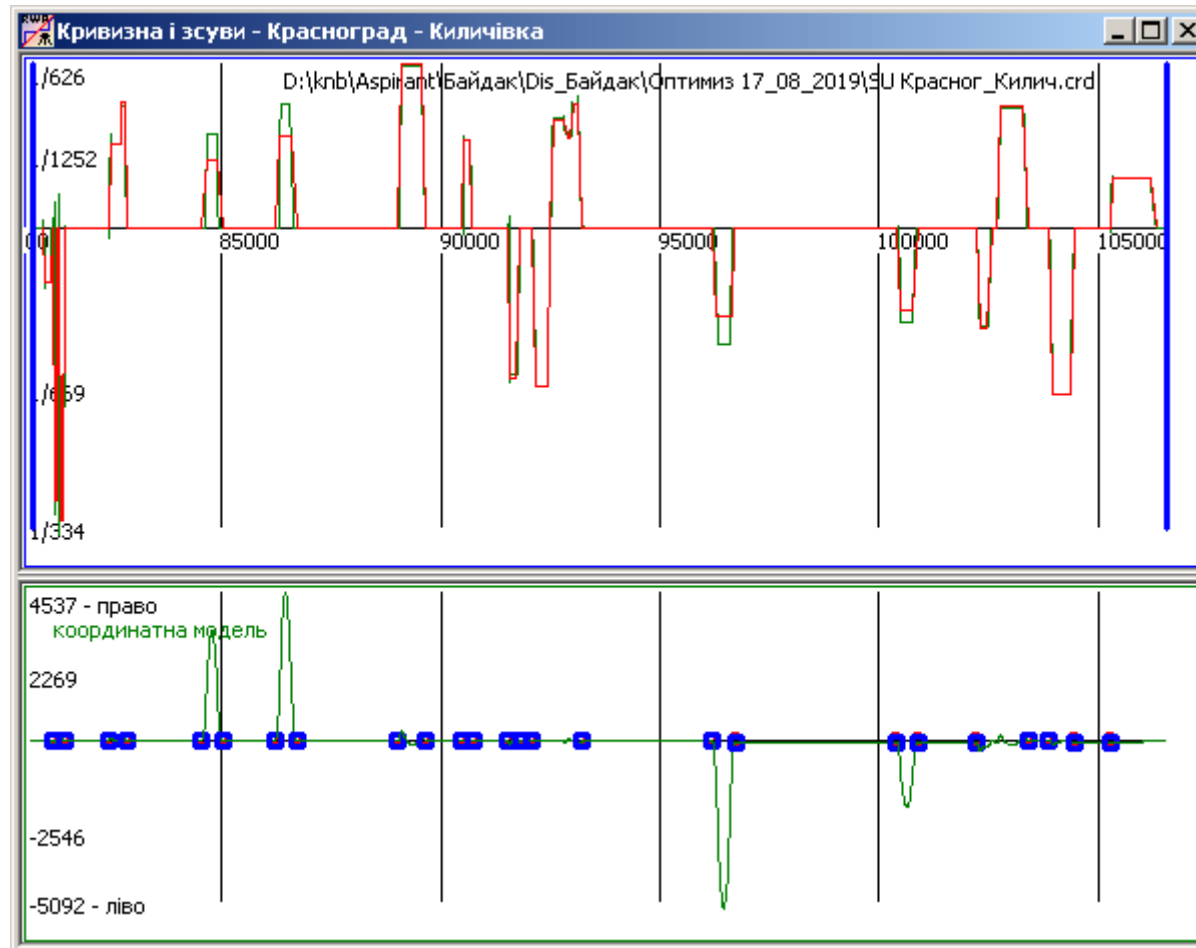
Таблиця В.2 – Допустимі швидкості руху на ділянці Красноград – Кегичівка



Таблиця В.3 – Графік проектного рішення



Таблиця В4 – Графіки кривизни й зсувів на ділянці Красноград – Кегичівка



ДОДАТОК Г
ВИЗНАЧЕННЯ ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Таблиця Г. 1 – Існуючий план ділянки Красноград – Кегичівка

Тип елемента	КМ начала элемента	Длина, м	Радиус, м	Возвышение, мм	*	Скорость, км/ч
прямая	80.2	764.69				
переходная		0				
круговая лево	80.965	166.24	1912	20	}	105
переходная		20				
прямая	81.131	63.24				
переходная		0				
круговая лево	81.194	70.86	382	20	}	60
переходная		29				
прямая	81.265	49.5				
переходная		0				
круговая лево	81.315	106.46	367	25	}	60
переходная		42				
прямая	81.421	1039.46				
переходная		0				
круговая право	82.46	167.58	1221	40	}	60
переходная		14.06				
круговая право	82.628	103.01	838	40	}	
переходная		20				
прямая	82.731	1830.63				
переходная		40				
круговая право	84.562	260.28	1101	100	}	60
переходная		40				
прямая	84.822	1417.2				
переходная		40				
круговая право	86.239	275.54	830	80	}	70
переходная		83				
прямая	86.515	2482.03				
переходная		40				
круговая право	88.997	523.11	632	70	}	80
переходная		82				
прямая	89.52	913.03				
переходная		0				
круговая право	90.433	180.8	1180	35	}	70
переходная		56				
прямая	90.614	860.09				
переходная		0				
круговая лево	91.474	215.53	700	35	}	70
переходная		64				
прямая	91.689	357.96				
переходная		70				
круговая лево	92.047	337.33	650	95	}	100
переходная		70				
прямая	92.385	64.35				
переходная		58.7				
круговая право	92.449	287.06	939	55	}	
переходная		0				
круговая право	92.736	167.74	1066	55	}	65
переходная		0				
круговая право	92.904	162.81	831	55	}	
переходная		0				
круговая право	93.067	57.84	2460	55	}	
переходная		68.12				

прямая	93.124	3068.59				
переходная		90				
круговая лево	96.193	344.77	882	90	}	100
переходная		71				
прямая	96.538	3841.51				
переходная		50				
круговая лево	100.379	332.95	1094	50	}	120
переходная		84				
прямая	100.712	1460.85				
переходная		70				
круговая лево	102.173	261.85	1049	65	}	120
переходная		84				
прямая	102.435	207.15				
переходная		80				
круговая право	102.642	604.07	850	85	}	110
переходная		86				
прямая	103.246	585.88				
переходная		80				
круговая лево	103.832	477.85	616	80	}	95
переходная		101				
прямая	104.31	903.33				
переходная		0				
круговая право	105.213	945.88	2104	30	}	80
переходная		136				
прямая	106.159	2313.57				
переходная		80				
круговая право	108.473	900.13	845	100	}	100
переходная		161				
прямая	109.373	6476.41				

Таблица Г.2 – Проектный план ділянки Красноград – Кегичівка

Тип элемента	КМ начала элемента	Длина, м	Радиус, м	Возвышение, мм	*	орость, км
прямая	80.2	191				
переходная		60				
круговая лево	80.391	165.76	580	60	}	90
переходная		60				
прямая	80.557	401.38				
переходная		20				
круговая правс	80.958	34.38	600	30	}	75
переходная		20				
прямая	80.993	136.61				
переходная		55				
круговая лево	81.129	142.33	440	65	}	80
переходная		55				
прямая	81.271	64.8				
переходная		35				
круговая лево	81.336	129.91	1015	35	}	110
переходная		35				
прямая	81.466	1098.79				
переходная		100				
круговая правс	82.565	166.67	1115	80	}	120
переходная		0				
круговая правс	82.732	126.04	980	75	}	
переходная		100				
прямая	82.858	1780.29				
переходная		100				
круговая правс	84.638	298.77	1620	70	}	140
переходная		100				
прямая	84.937	1419.32				
переходная		100				
круговая правс	86.356	299.76	1175	95	}	120
переходная		100				
прямая	86.656	2501				
переходная		90				
круговая правс	89.157	436.93	637	85	}	100
переходная		90				
прямая	89.594	963.44				
переходная		100				
круговая правс	90.557	166.9	1275	60	}	130
переходная		100				
прямая	90.724	875.55				
переходная		90				
круговая лево	91.6	200.74	760	65	}	105
переходная		90				
прямая	91.8	413.21				
переходная		90				
круговая лево	92.214	253.1	690	80	}	100
переходная		90				
прямая	92.467	90				
переходная		90				
круговая правс	92.557	273.14	925	75	}	
переходная		0				
круговая правс	92.83	190.45	1037	75	}	110
переходная		0				
круговая правс	93.02	164.03	825	80	}	
переходная		90				
прямая	93.184	3151.96				
переходная		90				

прямая	96.676	3828.55				
переходная		140				
круговая лево	100.505	185.52	1405	80	}	145
переходная		140				
круговая лево	100.69	165.94	1723	75	}	
переходная		140				
прямая	100.856	1463.14				
переходная		100				
круговая лево	102.319	265.02	1285	75	}	120
переходная		100				
прямая	102.584	234.53				
переходная		100				
круговая правс	102.819	528.88	850	70	}	110
переходная		100				
прямая	103.348	680.9				
переходная		140				
круговая лево	104.029	223.07	608	90	}	
переходная		0				
круговая лево	104.252	26.57	608	90	}	100
переходная		0				
круговая лево	104.278	153.81	608	90	}	
переходная		140				
прямая	104.432	950.45				
переходная		110				
круговая правс	105.382	871.21	2090	40	}	160
переходная		110				
прямая	106.254	2430.61				
переходная		135				
круговая правс	108.684	179.25	895	80	}	115
переходная		135				
круговая правс	108.864	644.71	840	85	}	
переходная		135				
прямая	109.508	6609.46				

Таблиця Г.3 – Значення параметрів кривих на ділянці Красноград – Лозова
за різними вихідними даними перебудови кривих

Найменування параметрів	Значення параметрів кривих		
	з існуючого профілю	з нового профілю	після оптимізації
	км 84-85		
Радіус R , м	1101	1620	1537
Довжина кривої K , м	260,28	298,77	167,50
Довжина перехідних l_1, l_2 , м	40, 40	100, 100	110, 120
Підвищення зовнішньої рейки h , мм	100	70	70
Максимальна допустима швидкість V , км/год. і причина обмеження	60 по $i_g=2,5\%$	140 по $i_g=0,7\%$	150 по $\alpha_{nn}=0,7 \text{ м/с}^2$
Причина обмеження при збільшенні швидкості			$\psi=185/189$ $f=160/160$
	км 86-87		
Радіус R , м	830	1175	1190
Довжина кривої K , м	275,54	239,76	162,50
Довжина перехідних l_1, l_2 , м	40, 83	100, 100	130, 150
Підвищення зовнішньої рейки h , мм	80	95	90
Максимальна допустима швидкість V , км/год. і причина обмеження	70 по $i_g=2,0\%$	120 по $i_g=0,95\%$	139 по $\alpha_{nn}=0,7 \text{ м/с}^2$
Причина обмеження при збільшенні швидкості			$\psi=180/188$ $f=140/160$
	км 96-97		
Радіус R , м	532	1120	1134
Довжина кривої K , м	344,77	339,81	247,00
Довжина перехідних l_1, l_2 , м	90, 71	90, 90	100, 110
Підвищення зовнішньої рейки h , мм	90	70	70
Максимальна допустима швидкість V , км/год. і причина обмеження	90 по $R=532$	120 по $i_g=0,78\%$	129 по $\alpha_{nn}=0,7 \text{ м/с}^2$
Причина обмеження при збільшенні швидкості			$\psi=161/166$ $f=140/160$
	км 100-101		
Радіус R , м	1094	1405/1723	1405
Довжина кривої K , м	332,95	185,52/165,94	193,72
Довжина перехідних l_1, l_2 , м	50, 84	140, 140, 140	110, 150
Підвищення зовнішньої рейки h , мм	50	80, 75	65
Максимальна допустима швидкість V , км/год. і причина обмеження	120 по $R=1094$	140 по $R=1405$	141 по $\alpha_{nn}=0,7 \text{ м/с}^2$

Причина обмеження при збільшенні швидкості*			$\psi = 179/195$ $f = 160/160$
	км 163-164		
Радіус R , м	1036	1055	1108
Довжина кривої K , м	419,62	334,20	236,14
Довжина перехідних l_1, l_2 , м	90, 91	115, 115	120, 100
Підвищення зовнішньої рейки h , мм	50	85	70
Максимальна допустима швидкість V , км/год. і причина обмеження	115 по $R=1036$	120 по $i_g=0,74\%$	127 по $\alpha_{nn}=0,7 \text{ м/с}^2$
Причина обмеження при збільшенні швидкості*			$\psi = 168/160$ $f = 160/140$

* по крутизні відводу підвищення i_g , по непогашеному прискоренню α_{nn} , по зміні непогашеного прискорення в часі ψ , по швидкості підйому колеса по відводу підвищення f

У таблиці Г.3 наведено вихідні дані плану лінії Красноград – Лозова взятих з існуючого поздовжнього профілю, з проектного профілю після проведення модернізації залізниці і за даними паспортів кривих, отриманими із служби колії регіональної філії «Південна залізниця».

Як випливає з аналізу табл. Г.3 параметри кривих (радіус, довжина, підвищення зовнішньої рейки, довжина перехідних кривих за різними джерелами відрізняються. Встановлена максимально допустима швидкість для руху поїздів теж різна.

Таблица Г.4 – Вартості робіт з корегування параметрів кривих на ділянці
Красноград – Кегичівка

№	правая/ левая	L	R	K	h	i	Kс	Угол поворота кривой/ Дирекционный угол прямой		Пикетаж начала элемента			Пикетаж конца элемента			Скорость пассажирск их, км/ч	Затраты, у.е
		м	м	м	мм	%	м	град	мин	км	пк	"+"	км	пк	"+"		
		40				0				80	9	36.79	80	9	76.79		
1	левая		1875	122.789	25		202.789	4	58.5	80	9	76.79	81	0	99.57	138	63
		40				0.6				81	0	99.57	81	1	39.58		
		20				2.2				81	1	74.83	81	1	94.83		
2	левая		376	44.882	45		94.882	10	38.9	81	1	94.83	81	2	39.71	67	24
		30				1.5				81	2	39.71	81	2	69.71		
		40				2.2				81	2	87.85	81	3	27.85		
3	левая		350	56.089	90		146.089	16	32.9	81	3	27.85	81	3	83.94	70	172
		50				1.8				81	3	83.94	81	4	33.94		
		40				0.8				82	4	30.91	82	4	70.91		
4	правая		1215	241.301	30		291.301	19	37.1	82	4	70.91	82	7	12.21	118	337
		20				0.8				82	7	12.21	82	7	32.21		
			815	67.077	45		117.077			82	7	32.21	82	7	99.29	102	272
		40				1.1				82	7	99.29	82	8	39.29		
		140				0.7				84	5	33.94	84	6	73.93		
5	правая		1506	215.634	95		495.634	13	31.8	84	6	73.93	84	8	89.57	158	140556
		140				0.7				84	8	89.57	85	0	29.57		
		120				0.7				86	2	13.2	86	3	33.2		
6	правая		1128	255.088	85		495.088	19	3.1	86	3	33.2	86	5	88.29	134	175495
		120				0.7				86	5	88.29	86	7	8.28		
		90				0.9				89	0	36.97	89	1	26.97		
7	правая		626	418.035	85		618.035	47	24.8	89	1	26.97	89	5	45	100	2349
		110				0.8				89	5	45	89	6	55		
		40				1				90	4	96.71	90	5	36.71		
8	правая		1166	128.853	40		228.853	8	47.3	90	5	36.71	90	6	65.56	120	158
		60				0.7				90	6	65.56	90	7	25.56		
		50				1.4				91	5	34.01	91	5	84.01		
9	левая		683	145.755	70		275.755	17	40.8	91	5	84.01	91	7	29.77	100	230
		80				0.9				91	7	29.77	91	8	9.77		
		70				1.1				92	0	95.42	92	1	65.42		
10	левая		649.8	266.761	80		406.761	29	41.6	92	1	65.42	92	4	32.18	100	75
		70				1.1				92	4	32.18	92	5	2.18		
		50				0.7				92	5	6.01	92	5	56.01		
11	правая		943	254.96	35		344.96	39	7.1	92	5	56.01	92	8	10.97	106	480
		80				0.1				92	8	10.97	92	8	90.97		
			1132	44.634	30		124.634			92	8	90.97	92	9	35.6	114	
		80				0.1				92	9	35.6	93	0	15.6		
			824	97.279	40		247.279			93	0	15.6	93	1	12.88	100	
		110				0.4				93	1	12.88	93	2	22.88		
		80				0.7				96	1	83.28	96	2	63.28		
12	левая		1148	369.05	55		529.05	22	24.7	96	2	63.28	96	6	32.33	124	220119
		80				0.7				96	6	32.33	96	7	12.33		
		120				0.7				100	3	80.85	100	5	0.85		
13	левая		1235	255.911	85		495.911	17	26.4	100	5	0.85	100	7	56.76	140	104927
		120				0.7				100	7	56.76	100	8	76.76		
		120				0.7				102	1	99.18	102	3	19.18		
14	левая		1026	137.029	85		377.029	14	21.2	102	3	19.18	102	4	56.21	127	1916
		120				0.7				102	4	56.21	102	5	76.21		
		120				0.8				102	6	66.34	102	7	86.34		
15	правая		843	479.662	100		719.662	40	45.4	102	7	86.34	103	2	66	120	1938
		120				0.8				103	2	66	103	3	86		
		90				1				103	8	70.02	103	9	60.02		
16	левая		615	382.223	90		572.223	44	27.6	103	9	60.02	104	3	42.24	100	414
		100				0.9				104	3	42.24	104	4	42.24		
		40				0.4				105	2	75.71	105	3	15.7		
17	правая		2103	855.56	15		1035.56	25	45.7	105	3	15.7	106	1	71.26	139	256
		140				0.1				106	1	71.26	106	3	11.27		

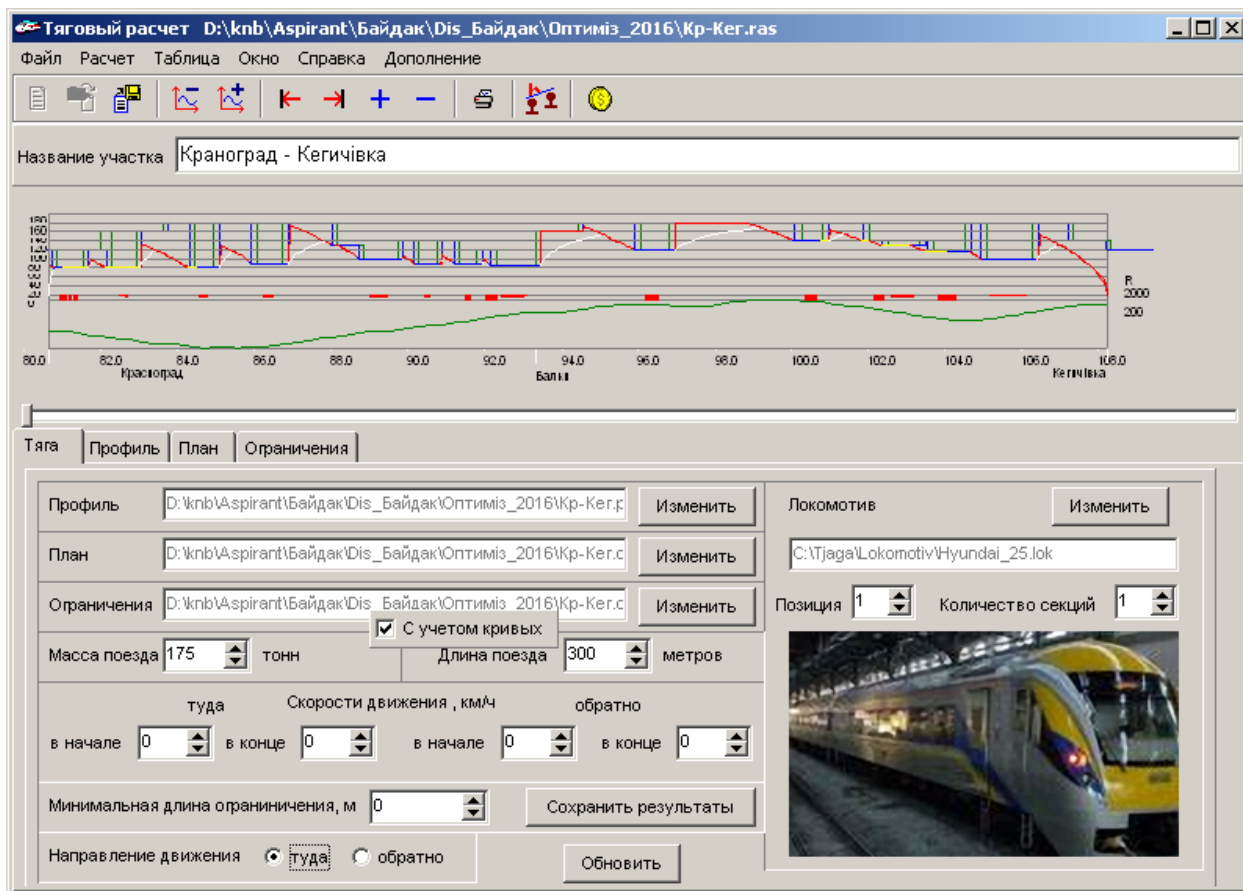
Примечание:

1. Файл D:\knb\Aspirant\Байдак\Dis_Байдак\Оптимиз 17_08_2019\SU Красног_Килич.crd
D:\knb\Aspirant\Байдак\Dis_Байдак\Оптимиз 17_08_2019\SU Красног_Килич.crd)
2. Пикет начала съемки: км 80 пк 6 + 95, пикет начала проекта: км 80 пк 9 + 36.79
3. В качестве K записаны чистые длины круговых кривых, в качестве Kс записаны чистые длины круговых кривых с полной длиной конечных и половинами промежуточных переходных кривых
4. Пикет конца проекта: км 106 пк 3 + 11.27

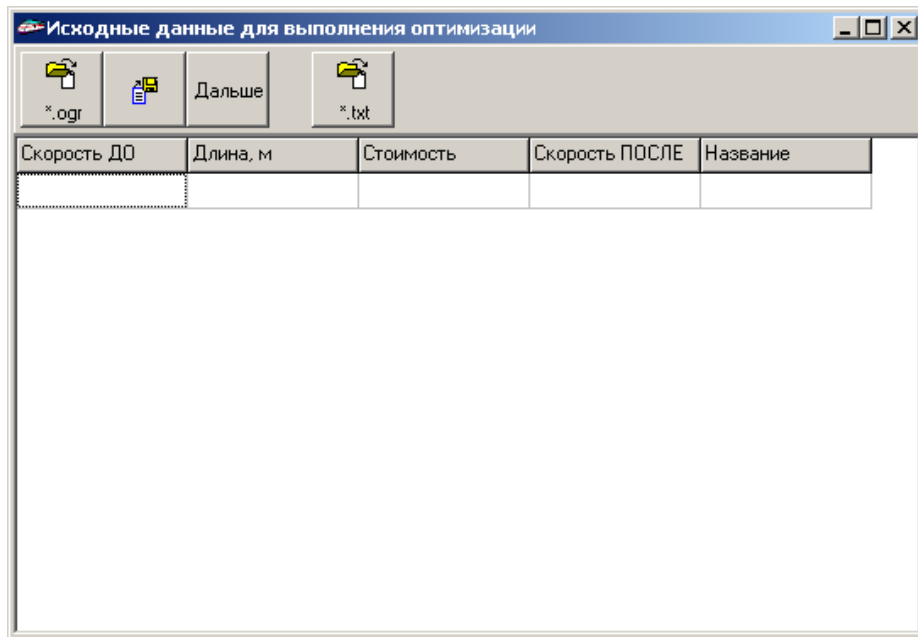
ДОДАТОК Д
РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ ВАРТОСТІ ПЕРЕБУДОВИ

Опис програми Tablica_last.exe

1. Завантажити програму Tablica_last.exe
2. Файл\Відкрити розрахунковий файл з розширенням *.ras, наприклад, Кранс-Кегич.рас)



3. В меню выбрать значок «Доллар»/ З'явиться таблица «Вихідні дані для виконання оптимізації»



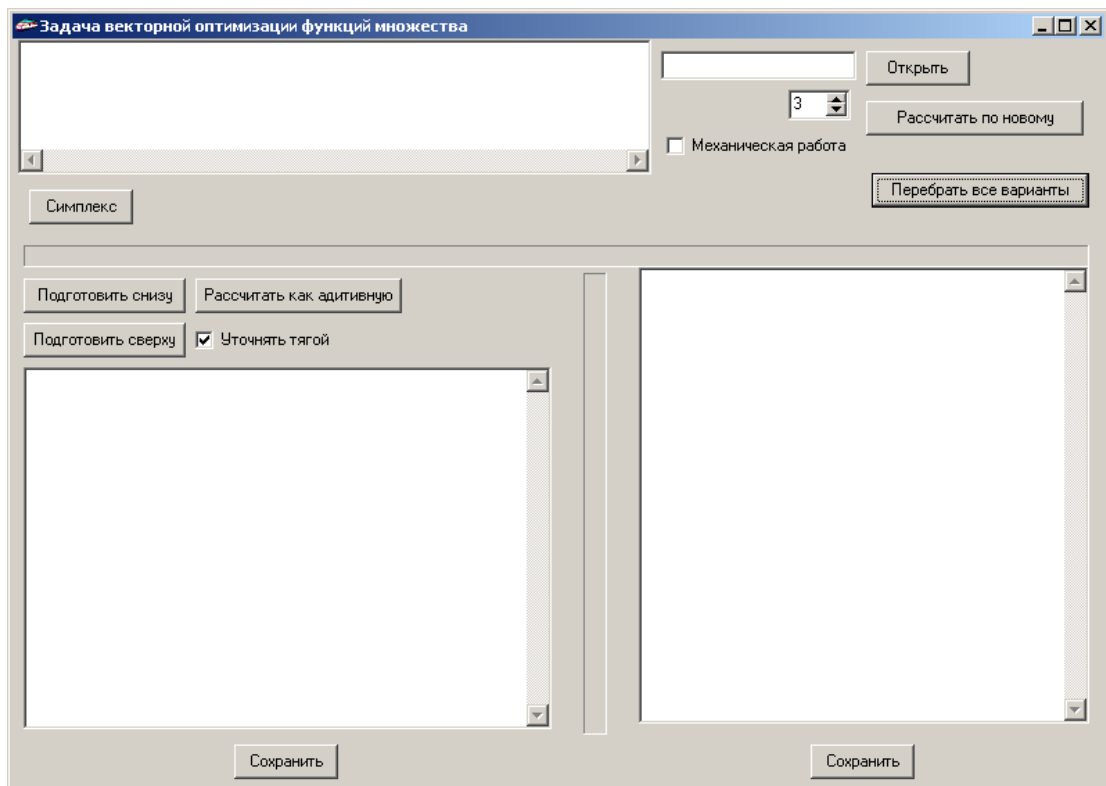
4. В таблицю «Вихідні дані для оптимізації» ввести файл обмеження швидкостей з тягових розрахунків до проведення реконструкції ділянки (наприклад, Красн-Кегич.ogr)

Скорость ДО	Длина, м	Стоимость	Скорость ПОСЛЕ	Название
100	675			
60	671			
100	479			
140	250			
60	650			
140	700			
160	812			
60	510			
160	1128			
70	650			
160	1450			
110	697			
80	853			

5. Заповнити стовпці таблиці: вартість робіт з перебудови кожного локального об'єкту і відповідна цим витратам очікувана максимальна швидкість. В назві вказати бар'єрне місце: станція, крива, переїзд тощо. Після чого зберегти файл, наприклад, Красн-Кегич.txt.

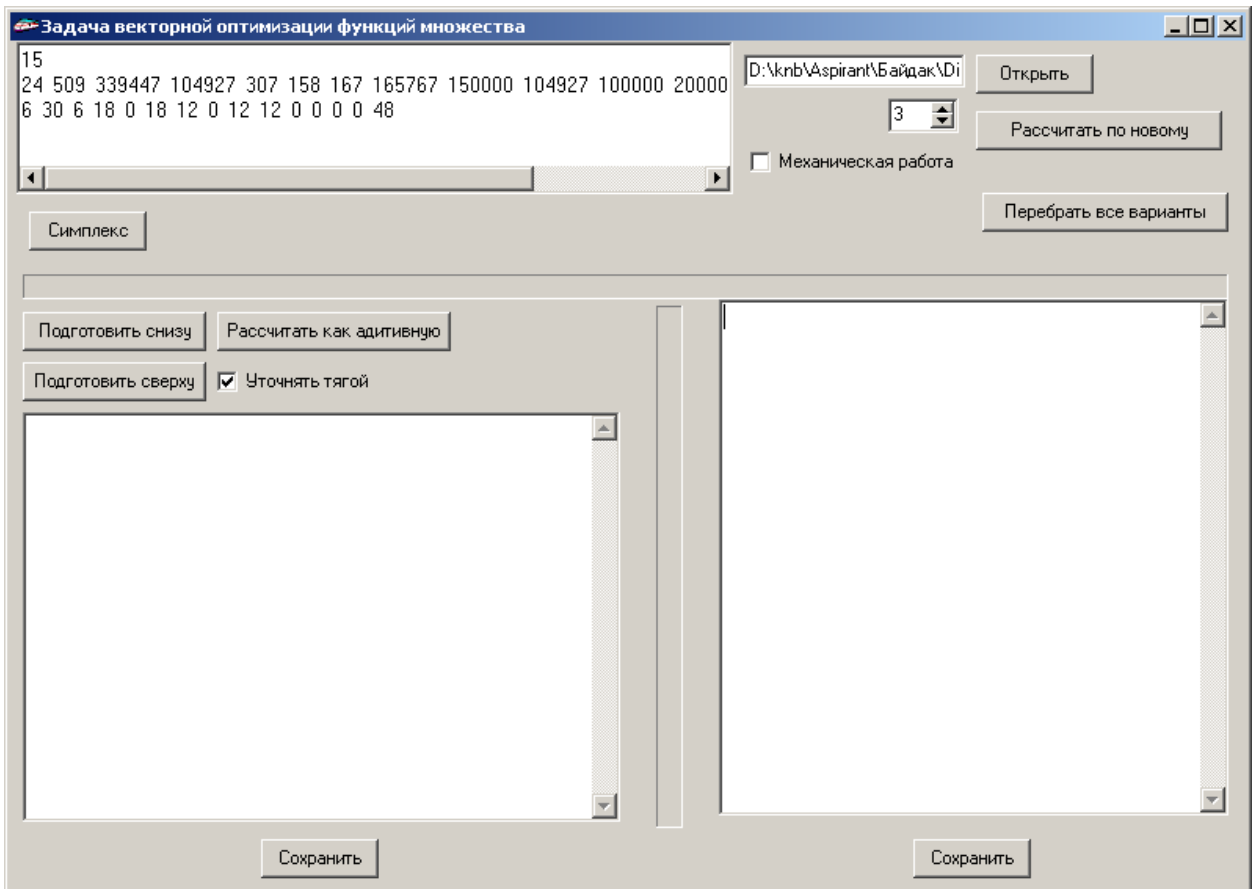
Скорость ДО	Длина, м	Стоимость	Скорость ПОСЛЕ	Название
100	675			
60	671	24	70	кр 80,875
100	479			
140	250			
60	650	509	102	кр 82,275
140	700			
160	812			
60	510	339447	150	кр 84,437
160	1128			
70	650	104927	140	кр 86,075
160	1450			
110	697			
80	853	307	90	кр 88,872

6. Після створення файлу перейти в меню по кнопці «Далі». Якщо файл був створений раніше, то спочатку його вибрати по кнопці „ім’я.txt”, а потім повернутись до кнопки «Далі». З’явиться вікно представлено нижче.

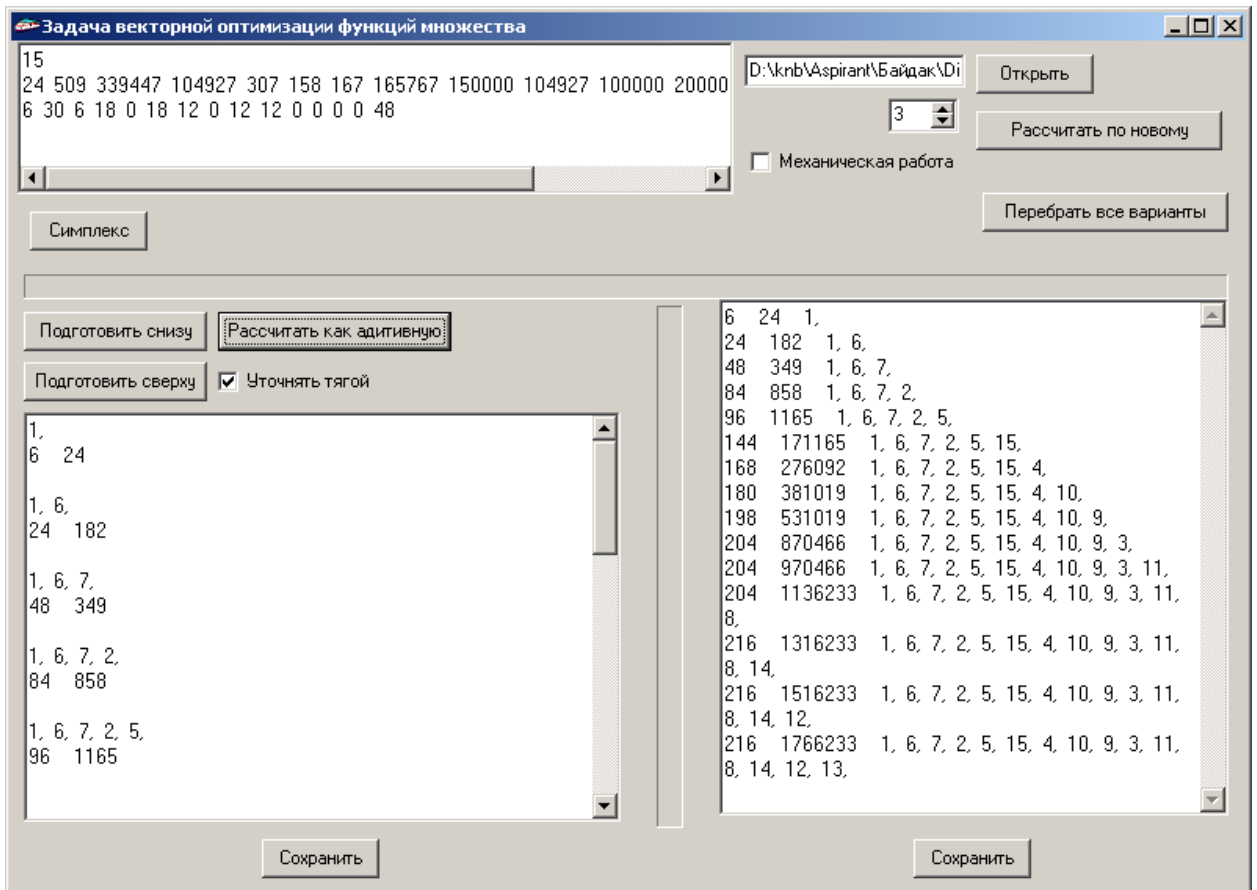


7. В правой части «Відкрити» выбирается файл, який був створений раніше (в прикладі Красн-Кегич.txt).

8. У верхньому вікні з'явиться число, що відповідає кількості об'єктів (в прикладі 15), потім рядок вартостей і під ним рядок - скорочення часу в секундах при перебудові кожного з об'єктів.



9. В лівій частині меню натиснути кнопку «Підготувати знизу» і розрахувати як адитивну.

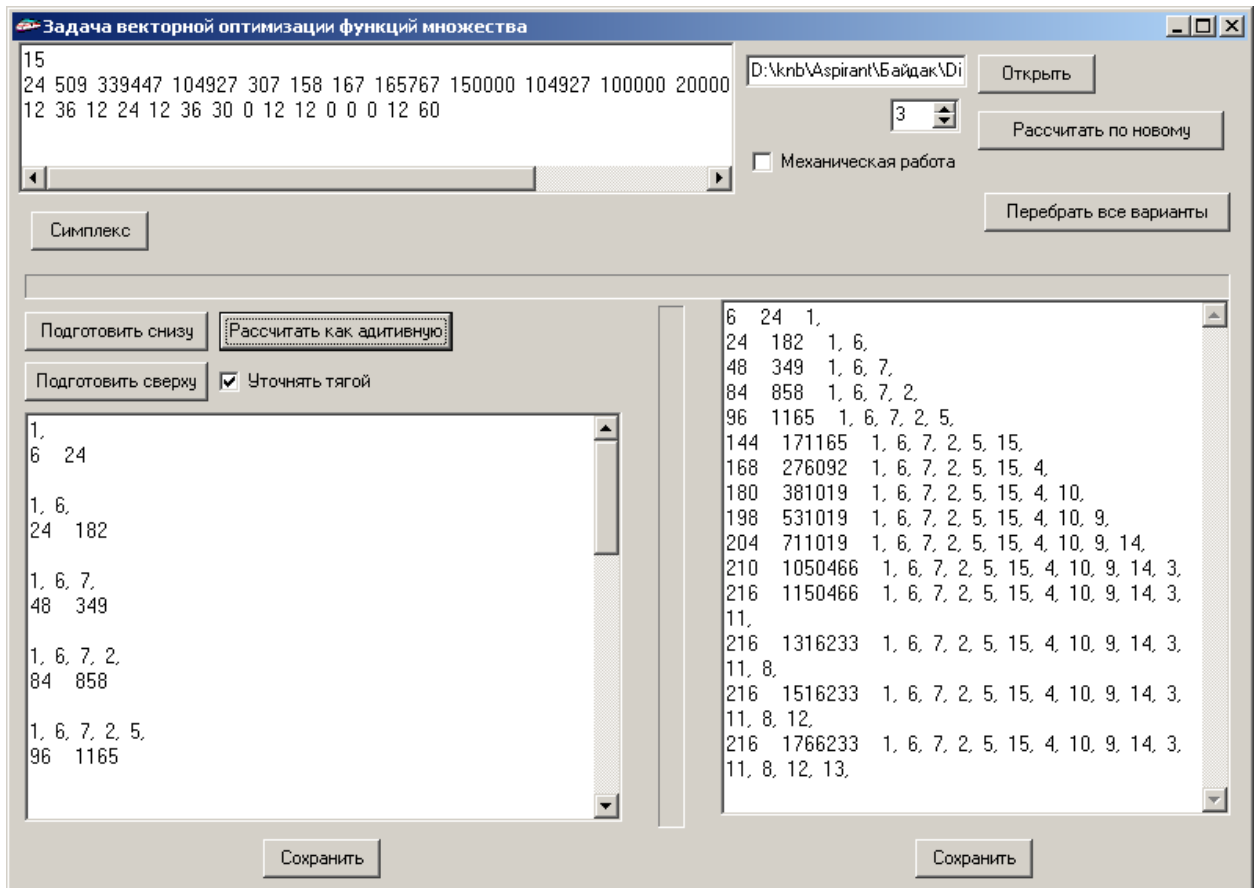


В правому вікні: 1-ша колонка – скорочення часу руху $\Delta t, c$

2-га колонка – витрати на реконструктивні заходи, $K_{тис}$ грн .

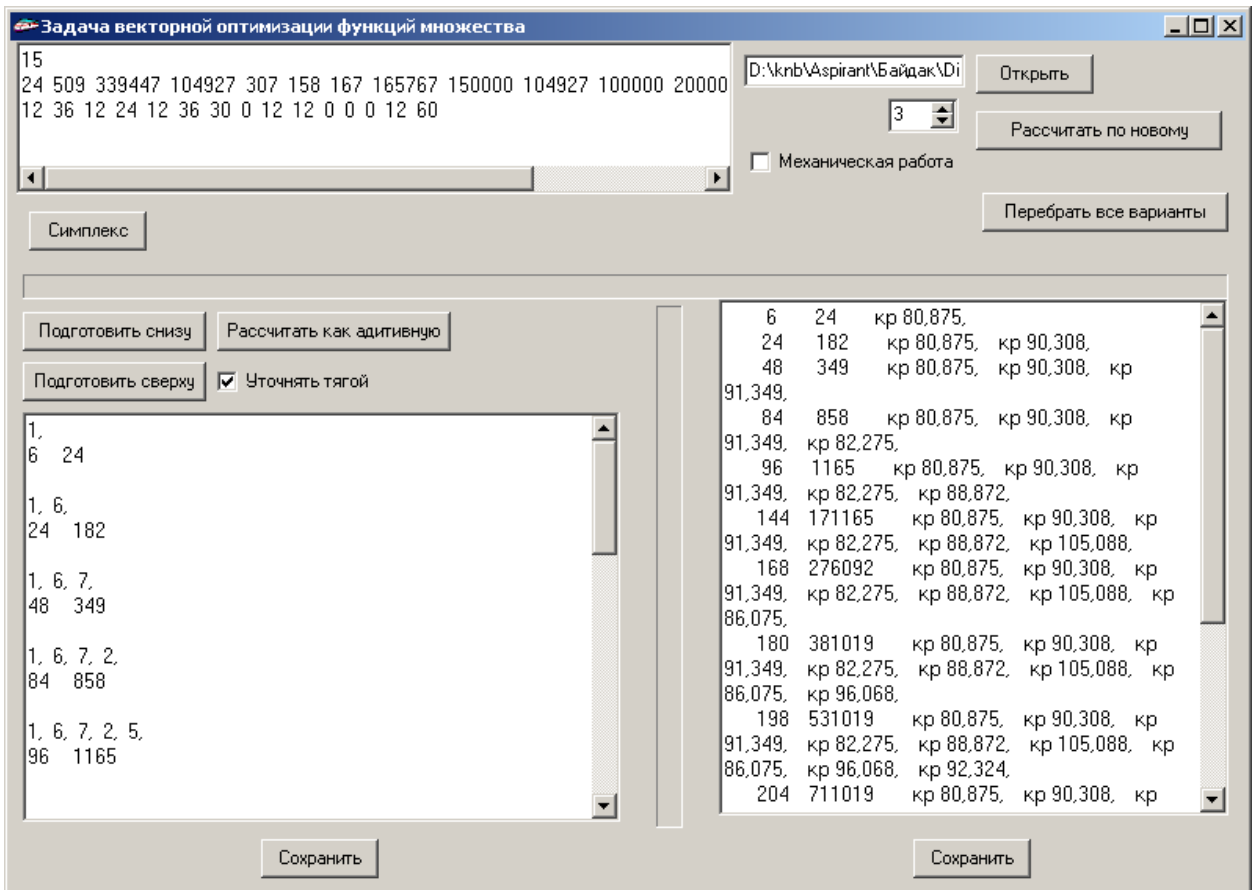
3-тя колонка – номери локальних об'єктів.

10. В лівій частині меню натиснути кнопку «Підготувати зверху» і розрахувати як адитивну.

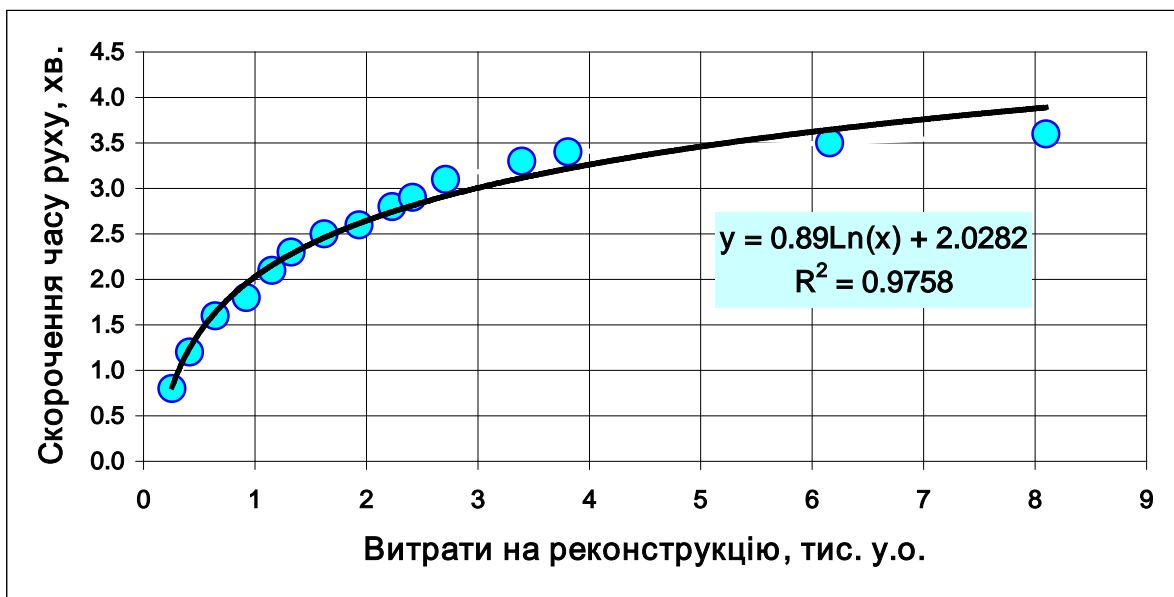


11. Одним зі способів рішення є перебір усіх можливих варіантів U з визначенням для кожного з них параметра Δt в процесі тягових розрахунків. У такий спосіб кількість переборів складе $2^m - 1$, де m - кількість розглянутих об'єктів. Процес «Перебрати всі варіанти» тривалий і може зайняти багато годин в залежності від кількості локальних об'єктів на ділянці.

Тому рекомендується вибрати команду «Розрахувати по-новому». В нижньому правому вікні з'являться результати, які можна зберегти, наприклад, @.txt.



12. Збережений раніше файл @.txt передається в Excel для побудови графіка скорочення часу руху по ділянці в залежності від коштів, що виділяються на реконструкцію (див. рис.). З цього графіку знаходяться конкретні локальні об'єкти (криві, шляхопроводи, переїзди, станції тощо), які можуть бути включені в реконструкцію залізниці.



13. Програма Tablica last.exe надає можливість провести оптимізацію з вибором раціональних параметрів кривих. На відміну від відомих підходів до вирішення таких задач перебудову кривих неможна оцінювати тільки як технічні об'єкти. Довжина таких об'єктів невелика, а скорочення часу руху мізерне. В той же час їхній вплив на швидкість проходження поїзда по близько розташованим кривим суттєвий, що враховується виконанням тягових розрахунків паралельно з процедурою оптимізації.

ДОДАТОК Е
АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Головний інженер – перший заступник
директора регіональної філії

«Південна залізниця», канд. техн. наук

Ю. Л. Тулей

«17» серпень 2019 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Байдака Сергія Юрієвича
на тему: «Рациональні параметри кривих для впровадження
швидкісного руху поїздів»

На основі результатів дисертаційної роботи Байдака С.Ю. розроблено рекомендації стосовно допустимих швидкостей руху і параметрів кривих, які обмежують швидкість руху поїздів 140-160 км/год на напрямку Полтава-Красноград-Лозова.

Запропоновані наукові підходи до вирішення поставлених завдань дозволяють встановлювати раціональні параметри кривих на перегонах і станціях, визначати першочергові ділянки для перебудови кривих при обмеженому інвестуванні, що дає можливість на 15-25 км/год збільшити маршрутну швидкість пасажирських поїздів. Розроблені рекомендації прийнято до розгляду з метою впровадження в колійному господарстві регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця».

Перший заступник начальника
служби колії регіональної філії
«Південна залізниця»



О.Л. Заровний

«17» серпень 2019 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. директора регіональної філії

«Придніпровська залізниця»

АТ «Укрзалізниця»

С.О. Гавриленко

«21» 01 2020р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Байдака Сергія Юрійовича
на тему: «Рациональні параметри кривих для впровадження
швидкісного руху поїздів»

На основі результатів дисертаційної роботи Байдака С.Ю. розроблено рекомендації стосовно допустимих швидкостей руху і параметрів кривих, які обмежують швидкість руху поїздів 140-160 км/год на напрямках П'ятихатки – Дніпро та Красноград – Новомосковськ.

Запропоновані наукові підходи до вирішення поставлених завдань дозволяють встановлювати раціональні параметри кривих на перегонах і станціях, визначати першочергові ділянки для перебудови кривих при обмеженому інвестуванні, що дає можливість на 15-25 км/год збільшити маршрутну швидкість пасажирських поїздів. Розроблені рекомендації прийнято до розгляду з метою впровадження в колійному господарстві регіональної філії «Придніпровська залізниця» АТ «Укрзалізниця».

Начальник служби колії
регіональної філії
«Придніпровська залізниця»

С.В. Іванчак

«21» 01 2020 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор Дніпровського
національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна,
д.т.н., професор



Б. Є. Боднар

2020 р.

використання результатів дисертаційної роботи
Байдака Сергія Юрійовича на тему «Раціональні параметри кривих для
впровадження швидкісного руху поїздів»

Цей акт складений про те, що у навчальному процесі, який ведеться в університеті, прийнято до використання наукові та практичні результати, викладені в дисертації Байдака С. Ю.:

1. Метод визначення раціональних параметрів кривих, для забезпечення підвищення швидкості руху поїздів на існуючих залізничних лініях та при проектуванні нових залізниць (дисципліни «Проектування реконструкції залізниць» «Вишукування та проектування високошвидкісних магістралей» для здобувачів освітнього ступеня магістра спеціальності 273 «Залізничний транспорт»).

2. Критерії оцінки параметрів плану лінії, отриманих різними способами зйомки кривих (дисципліни «Сучасні методи зйомки та розрахунки плану колії», «Сучасні інформаційні технології в проектуванні та будівництві доріг» для здобувачів освітнього ступеня магістра спеціальності 273 «Залізничний транспорт»).

Завідувач кафедри
«Проектування і будівництво доріг»,
д.т.н., професор

М. Б. Курган