

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ННІ «ДНІПРОВСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНФРАСТРУКТУРИ І ТРАНСПОРТУ»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ННІ «ДНІПРОВСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНФРАСТРУКТУРИ І ТРАНСПОРТУ»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ХМЕЛЕВСЬКА НЕЛЯ ПЕТРІВНА

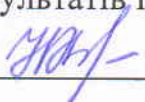
УДК 625.14.089.4:656.22(043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ

**ІННОВАЦІЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ПЛАНУ КОЛІЇ ПІД ЄВРОПЕЙСЬКІ
НОРМИ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ ПОЇЗДІВ
275 ОП «Транспортні технології на залізничному та промисловому транспорті»,
галузь знань 27 «Транспорт»**

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

 Хмелевська Н.П.

Науковий керівник: Курган Микола Борисович,
доктор технічних наук, професор

Дніпро – 2025

АНОТАЦІЯ

Хмелевська Н.П. Інновації реконструкції плану колії під європейські норми для впровадження швидкісного руху поїздів – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 ОП «Транспортні технології на залізничному та промисловому транспорті» – Український державний університет науки і технологій, Дніпро, 2025.

Дисертація присвячена дослідженню процесу реконструкції плану під європейську залізничну колію при організації швидкісного руху поїздів в Україні. Нове знання базується на таких наукових підходах як всебічне й детальне вивчення різних аспектів інноваційної діяльності, що надало можливість підвищити інтегрованість української і європейської транспортних систем та рекомендувати заходи з організації швидкісного руху поїздів в Україні.

В роботі систематизовано наукові підходи до вивчення проблеми, вітчизняний і закордонний досвід впровадження інноваційних технологій при реконструкції залізниць. Показано, що перехід на інвестиційно-інноваційний етап розвитку економіки, вступ до СОТ, набуття асоційованого членства у Європейському Союзі потребує кардинальних змін у стратегії подальшого розвитку залізниць України, переведення її на інноваційний шлях розвитку. Специфічні умови експлуатації українських залізниць у порівнянні із західноєвропейськими, характеризуються значно більшим обсягом перевізної роботи, більшою інтенсивністю руху і масою поїздів, більш високими осьовими навантаженнями від рухомого складу. Збільшення пропускної спроможності та впровадження швидкісного руху на українських залізницях набагато складніше завдання, ніж на західноєвропейських коліях, потребує кардинальних змін у стратегії подальшого розвитку залізниць України, переведення її на інноваційний шлях розвитку.

Складний стан вітчизняної інноваційної та високотехнологічної складової транспортної галузі пояснюється недостатнім рівнем інвестування, що призвело до стрімкого старіння рухомого складу та транспортної інфраструктури, невідповідності технічного і технологічного рівня вітчизняного транспорту європейським вимогам.

На прикладі реалізації інфраструктурних проєктів «Євроколія Мостиська-Львів», «Євроколія Львів – Рава-Руська – Варшава» і «Євроколія Ужгород-Чоп» досліджено доцільність укладання залізничних колій європейського стандарту як складової інноваційної діяльності. Показано, що продовження європейської колії від кордонів Європи на територію України сприятиме підвищенню інтероперабельності, дозволить істотно економити час і буде сприяти збільшенню поїздопотoku між країнами.

Укладання суміщеної колії не потребує улаштування окремого земляного полотна, що можна віднести до переваг цього способу організації руху поїздів. Однак застосування суміщеної колії потребує розв'язок і обходів роздільних пунктів через необхідність укладання стрілочних переводів нормальної 1520 мм і європейської 1435 мм колій, що призводить до зниження швидкості руху поїздів при проходженні станцій.

При укладання нової траси шириною колії 1435 мм й впровадженні високошвидкісного руху поїздів виникають питання вибору положення траси, обґрунтуванню таких основних параметрів як радіуси кривих і довжини перехідних кривих. На основі проведеного дослідження рекомендується мінімально допустиме значення радіусу встановлювати диференційовано залежно від максимальної швидкості руху з урахуванням спеціалізації напрямів перевезення пасажирів.

Для встановлення оптимального положення траси нової HSR європейського стандарту, яка розглядається в Україні на перспективу, на базі алгоритмів випадкового пошуку розроблено та реалізовано новий метод автоматичного проєктування траси. Застосування автоматичного проєктування траси дозволяє до

10 % знизити приведені витрати та уникнути нераціональних проектувань.

Оскільки збільшення швидкості ставить підвищені вимоги до якості обслуговування залізничної колії, проведення робіт з виправки й утримання кривих, необхідні нові інноваційні підходи до розрахунків проектних параметрів плану та встановлення максимально допустимої швидкості руху поїздів, сучасні підходи до діагностування та обслуговування інфраструктури.

Допущення, що були прийняті раніше і слабо впливали на показники руху поїздів при швидкостях до 120 км/год, потребують зміни або відповідного корегування при швидкостях 161-200 км/год і більше, тобто виникла необхідність у застосуванні системного підходу у дослідженні інноваційних процесів пов'язаних з підготовкою залізничної колії для впровадження швидкісного руху поїздів. В роботі показано, що спеціалізація залізничних напрямків є перспективним напрямом розвитку залізничного транспорту, який дозволяє підвищити ефективність, безпеку та конкурентоспроможність галузі.

Зв'язок між надійністю утримання залізничних кривих та інноваційними технологіями дуже тісний і має значний вплив на безпеку руху, ефективність та економічність залізничних перевезень. Встановлено, що різні види кривих (одинокі, сполучені, суміжні) мають свої особливості з точки зору динамічних навантажень, зносу колії та вимог до обслуговування, а застосування інноваційних технологій дозволяє більш ефективно їх утримувати. Враховуючи запропоновану в дисертації класифікацію ділянок плану лінії була запропонована пріоритетність перебудови з використанням методу аналізу ієрархій (MAI).

Як впливає з проведеного дослідження, найбільш значущими за ступенем важливості факторами є радіус кривої (48,7%), далі поділяють між собою пріоритети: перехідні криві (20,4%) й підвищення зовнішньої рейки (15,9%). Найменш вагомими є вимоги до складових кривих (4,1%) і співпадіння вертикальних кривих з кривими в плані (3,1%). Чим більший радіус, тим менші відцентрові сили діють на транспортний засіб, що забезпечує стабільність та

зменшує ризик аварій.

Особливу складність представляє задача оптимізації ділянок з обмеженнями швидкості руху. Комплексний підхід до вирішення цієї проблеми передбачає розгляд залізничної лінії як системи, де зміна одного параметра впливає на інші. Наприклад, зменшення радіуса кривої може призвести до зниження допустимої швидкості, що, в свою чергу, позначиться на загальному часі проходження поїзда. Для отримання достовірних результатів запропоновано проводити детальні розрахунки з використанням спеціалізованого програмного забезпечення, яке дозволяє моделювати різні сценарії експлуатації залізничної лінії.

Щоб показати інноваційні технології при оптимізації плану залізниці, запровадження яких в Україні дозволить забезпечити більш високий рівень безпеки, плавності й комфортабельності їзди, в роботі застосована система автоматизованого проєктування (САПР) розроблена в Українському державному університеті науки і технологій, яка включає програмні продукти MoveRW (тягові розрахунки) і RWPlan (виправлення і проєктування плану залізничної колії). Інноваційний підхід передбачає можливість застосування різних способів зйомки плану лінії і, що дуже важливо, розрахунки виконувати не окремих кривих, а ділянок довжиною в перегін чи декілька перегонів з оптимізацією проєктного плану за різними критеріями з забезпеченням максимально встановленої швидкості.

Запропонований алгоритм і технологія виконання розрахунків з використанням САПР реалізована на напрямках Гребінка – Полтава – Лозова, П'ятихатки – Дніпро, Львів – Красне, що дозволяє вирішувати науково-прикладну задачу оптимізації процесу виправлення кривих в плані з відновленням проєктних радіусів чи збільшенням радіусів кривих що передбачається нормативним документом ЦП-0287 «Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України».

З використанням запропонованого алгоритму була проведена оптимізація плану реконструкції лінії Львів – Одеса і побудовані графіки зміни чистого

дисконтованого доходу. Встановлено, що при кількості пасажирських поїздів 6 пар/добу досягається беззбитковість на 11-му році (занадто повільне повернення коштів), при 8 пар/добу беззбитковість на 7-му році (привабливо при державному дисконті 6%) і при 10 пар/добу беззбитковість вже на 6-му році (дуже привабливий проєкт).

Комплексний підхід до оптимізації плану виправлення на кількох перегонах забезпечує зниження обсягів робіт на 15-20%, покращення якості робіт за рахунок збільшення точності виконання розрахунків з геометрії колії на 20-25%, зниження експлуатаційних витрат та збільшення терміну служби колії – на 10-15%.

Ключові слова: інноваційні технології, конструкція залізничної колії, план залізниці, земляне полотно, штучні споруди, комп'ютерне модулювання, оптимізація кривих, швидкісний рух, система автоматизованого проєктування, логістика перевезень.

ABSTRACT

Khmelevska N.P. Innovations in the reconstruction of the track plan according to European standards for the implementation of high-speed train traffic – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 275 Transport technologies (by type). – Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, 2025.

The dissertation is devoted to the study of the reconstruction process of the railway alignment for the European track gauge during the organization of high-speed train traffic in Ukraine. The new knowledge is based on such scientific approaches as comprehensive and detailed analysis of various aspects of innovative activity, which made it possible to improve the interoperability between the Ukrainian and European transport systems and to recommend measures for organizing high-speed rail traffic in Ukraine.

The study systematizes scientific approaches to the problem, domestic and foreign experience in implementing innovative technologies in railway reconstruction. It is shown that the transition to an investment-innovation stage of economic development, accession to the WTO, and obtaining associated membership in the European Union require fundamental changes in the strategy for further railway development in Ukraine, transitioning it to an innovative development path. The specific conditions of Ukrainian railways compared to Western European ones are characterized by significantly higher transport volumes, traffic intensity, train weight, and axle loads. Increasing throughput and introducing high-speed traffic on Ukrainian railways is a much more complex task than on Western European railways and requires fundamental strategic changes.

The challenging state of the national innovative and high-tech transport sector is due to insufficient investment, leading to the rapid aging of rolling stock and infrastructure and the mismatch of domestic transport technology levels with European requirements.

Based on the implementation of infrastructure projects such as “Eurotrack Mostyska–Lviv,” “Eurotrack Lviv–Rava-Ruska–Warsaw,” and “Eurotrack Uzhhorod–Chop,” the feasibility of laying European standard tracks as part of innovation was studied. Extending the European gauge into Ukraine will enhance interoperability, significantly reduce travel time, and increase train flow between countries.

Laying a dual gauge track does not require separate earthworks, which is a significant advantage. However, its application requires complex track-switching solutions at junctions due to the need to install both 1520 mm (Ukrainian) and 1435 mm (European) turnouts, resulting in reduced train speeds at stations.

When constructing a new 1435 mm track and implementing high-speed train movement, issues arise related to route alignment and justifying key parameters such as curve radii and transition curve lengths. Based on the research, it is recommended to define the minimum allowable radius differentially depending on the maximum speed and passenger transport specialization.

To determine the optimal alignment of a future European-standard HSR (High-Speed Railway) in Ukraine, a new method of automatic route design based on random search algorithms was developed. Using automatic alignment design can reduce equivalent costs by up to 10% and avoid inefficient projects.

Since increased speed imposes higher demands on track maintenance quality, especially for curves, new innovative approaches are needed for design parameter calculations, determining maximum permissible speeds, and modern infrastructure diagnostics and maintenance.

Assumptions previously made and which had minimal effect on train operation at speeds up to 120 km/h need revision or adjustment for speeds of 161–200 km/h or higher. A systematic approach is therefore required to research the innovative processes associated with preparing railways for high-speed trains. The work shows that railway route specialization is a promising direction that enhances efficiency, safety, and competitiveness.

There is a strong correlation between the reliability of curve maintenance and innovative technologies, significantly affecting safety, efficiency, and cost-effectiveness. It is found that different curve types (simple, compound, reverse) have unique dynamic load, wear, and maintenance characteristics.

Applying innovative technologies enables more efficient maintenance. Using the classification of track segments proposed in the dissertation, priorities for reconstruction were set using the Analytic Hierarchy Process (AHP).

According to the study, the most significant factor is curve radius (48,7%), followed by: transition curves (20,4%) and cant (15,9%). The least important are curve composition (4,1%) and vertical-horizontal curve overlap (3,1%). The larger the radius, the lower the centrifugal forces acting on the vehicle, ensuring stability and reduced accident risk.

A particular challenge is optimizing speed-restricted segments. A comprehensive solution considers the railway line as a system, where changes in one parameter affect others. For example, reducing curve radius decreases allowable speed, affecting overall travel time. Reliable results require detailed calculations using specialized software that simulates different operational scenarios.

To showcase innovative railway plan optimization technologies, which would enhance safety, smoothness, and comfort in Ukraine, the study employs a Computer-Aided Design (CAD) system developed at the Ukrainian State University of Science and Technology. It includes software like MoveRW (traction calculations) and RWPlan (rail plan adjustment and design). This innovative approach allows route surveying in various ways and performs calculations not for individual curves but for entire segments, optimizing by multiple criteria to ensure maximum allowable speed. The proposed algorithm was implemented on the Hrebinka–Poltava–Lozova, Piatykhvatky–Dnipro, and Lviv–Krasne lines, solving the practical scientific task of optimizing curve correction by restoring or increasing radii in accordance with regulatory document CP-0287.

Using the proposed algorithm, optimization was performed on the Lviv–Odesa line, and net present value graphs were constructed. It was found that with six train pairs per

day, the breakeven point is reached in year 11 (slow ROI), with eight pairs in year 7 (attractive under a 6% state discount), and with ten pairs in year 6 (very attractive project).

A comprehensive optimization across multiple segments reduces work volume by 15–20%, improves accuracy by 20–25%, cuts operational costs, and extends track lifespan by 10–15%.

Keywords: innovative technologies, railway track design, railway plan, earthwork, artificial structures, computer modulation, curve optimization, high-speed traffic, automated design system, transportation logistics.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати

1. Курган М. Б., Курган Д. М., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П., Новік Р. Б. Зниження інтенсивності розладів залізничної колії за рахунок удосконалення параметрів плану лінії під час паспортизації кривих / Наука та прогрес транспорту, 2021. 6(96), 53–64. <https://doi.org/10.15802/stp2021/257933> (Фахове видання)
2. Dmytro Kurhan, Mykola Kurhan, Nelya Hmelevska Development of the High-Speed Running of Trains in Ukraine for Integration with the International Railway Network / Acta Polytechnica Hungarica 2022. 19(3). p. 207-218. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.19.3.2022.3.16>. (Scopus)
3. Mykola Kurhan, Dmytro Kurhan, Marina Husak, Nelya Hmelevska Increasing the Efficiency of the Railway Operation in the Specialization of Directions for Freight and Passenger Transportation / Acta Polytechnica Hungarica 2022. 19(3). p. 231–244. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.19.3.2022.3.18>. (Scopus)
4. Kurhan M., Kurhan D., Hmelevska N Maintenance Reliability of Railway Curves Using Their Design Parameters / Acta Polytechnica Hungarica. 2022. 19(6). p. 115–127 DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.19.6.2022.6.9> (Scopus)
5. Kurhan M., Kurhan D., Husak M., Hmelevska N. Determination of the type and the length for the transition curves on the directions of high-speed train operation / Acta Technica Jaurinensis. 2022. 15(2). p. 117-124. DOI: <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00658>. (Scopus)
6. Kurhan M., Kurhan D., Hmelevska, N/ Innovative Approaches to Railway Track Alignment Optimization, in Curved Sections / Acta Polytechnica Hungarica. 2024. Vol. 21(1). p. 207-220. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.21.1.2024.1.13> (Scopus)
7. Kurhan, M., Fischer Sz., Tiutkin, O., Kurhan, D., Hmelevska, N. (2024) “Development of High-Speed Railway Network in Europe: A Case Study of Ukraine”, Periodica Polytechnica Transportation Engineering, Vol. 52(2), pp. 151–158. DOI:

<https://doi.org/10.3311/PPtr.23464> (Scopus)

8. М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, М. А. Гусак, Р. Б. Новік, Н.П. Хмелевська Підвищення ефективності вантажних і пасажирських перевезень на напрямках з паралельними ходами / Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. «Транспортні системи та технології перевезень». Вип. 25. 2023 р.- С. 47-59. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2023/284494> **(Фахове видання)**

9. М. Б. Курган, О. Ф. Лужицький, Р. В. Іванов, Н.П. Хмелевська, В. С. Хмелевський / Впровадження інноваційних технологій під час модернізації наявних переїздів для організації швидкісного руху поїздів Наука та прогрес транспорту, 2024, № 1 (105). – С.62-83. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2024/303191> **(Фахове видання)**

10. М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак, Р. Б. Новік, П. Хмелевська Обґрунтування доцільності перебудови однієї з колій двоколійної ділянки на колію європейського стандарту (1435 мм). Збірник наукових праць УкрДУЗТ, 2024, вип. 209, 75-90. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.209.2024.314320> **(Фахове видання)**

11. Н. П. Хмелевська, М. Б. Курган, Д. М. Курган Оптимізація виправлення кривих у плані за допомогою комп'ютерного моделювання для підвищення безпеки руху поїздів. Наука та прогрес транспорту, 2024, № 4(108), 31-45. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2024/318057> **(Фахове видання)**

12. Kurhan M., Kurhan D., Hmelevska N. Enhancing Railway Section Capacity During the Expansion of the European Railway Network / Acta Polytechnica Hungarica, 2025, Vol. 22(4), 159-171. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.22.4.2025.4.10> **(Scopus)**

13. М. Б. Курган, Д. М. Курган, Н. П. Хмелевська, Д. Л. Ковальський Перспективи впровадження високошвидкісного руху на залізницях України. Наука та прогрес транспорту, 2025, № 1 (109). – 65-76. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2025/325351> **(Фахове видання).**

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

14. Kurhan M., Kurhan D., Husak M., Hmelevska N. Perspectives of High-Speed Train Traffic in Ukraine at the Stage of Integration with the European Network / Proceedings of 25th International Scientific Conference. Transport Means. 2021, pp. 47-52. URL: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/01b86768-a7e1-4542-8be1-58d34087a10a/content> (Scopus-тези)

15. Курган, М. Б. Інноваційні технології для впровадження швидкісного руху поїздів в Україні / М.Б. Курган, С.Ю. Байдак, Н.П. Хмелевська // Матеріали 81 Міжнародної науково-практичної конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». Дніпро, 22–23 квітня 2021. – С. 156-158.

URL: https://ndch.diit.edu.ua/upload/2020.01.16/81_International_SP_Conference_PPRTD.pdf (тези конференції)

16. Курган, М. Б. Практичні роботи з перебудови плану залізниць для підвищення швидкості руху / М.Б. Курган, С.Ю. Байдак, М.А. Гусак, Н.П. Хмелевська // Матеріали 81 Міжнародної науково-практичної конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». Дніпро, 22–23 квітня 2021. – С. 171-173. URL: https://ndch.diit.edu.ua/upload/2020.01.16/81_International_SP_Conference_PPRTD.pdf (тези конференції)

17. Курган М. Надійність утримання залізничних кривих за їх проектними параметрами / М. Курган М., Д. Курган Д., Н. Хмелевська // 9-та Міжнародна науково-технічна конференція «Трансбуд-2021». м. Харків, 17-18 листопада, 2021. – С. 46-48. URL: http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/Theses_2021_with_title_10.11.pdf (тези конференції)

18. Kurhan M., Kurhan D., Husak M., Hmelevska N. Innovative Technologies for the Introduction of High-Speed Train Operation (on the Example of Track Maintenance in the Plan) / Proceedings of 26th International Scientific Conference. Transport Means

2022. р. 372–377. URL: <https://www.researchgate.net/publication/365475888> (Scopus-тези)

19. Курган М.Б., Лужицький О.Ф., Хмелевська Н.П. Улаштування ділянок змінної жорсткості у місцях сполучення моста з насипом / Курган М.Б., Лужицький О.Ф., Хмелевська Н.П. Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика» / за заг. ред. О. Л. Тютюкіна м. Дніпро, 19-20 жовтня 2022 р. - С. 23-25. URL: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/10ce9728-c4a7-4b6e-b4ea-81b3e34e5e84/content> (тези конференції)

20. Гусак М.А. Визначення раціональних маршрутів для підвищення рівня організації перевезень та управління логістичними системами / М.А. Гусак М.А., Р.Б. Новік Н.П. Хмелевська, А.О. Мунтян // Всеукраїнська наукова конференція «Логістика і транспортна безпека: проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів, загроз. м. Дніпро, 28 жовтня 2022 року, - С. 32-36. URL: <https://crust.ust.edu.ua/items/d14091d2-3ae9-4cd2-b87e-c811ec8f4984> (тези конференції)

21. Хмелевська Н.П., Курган М.Б. Інноваційні технології при реконструкції існуючих залізниць для впровадження швидкісного руху поїздів / Н.П. Хмелевська, М.Б. Курган М.Б. // Технічні науки в Україні: сучасні тенденції розвитку: Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції. м. Київ, 17–18 листопада 2022 р. – С. 239-241. URL: <https://drive.google.com/drive/folders/16JWYy4TsvzHgSgzNqfzpfTjQrKhQZCgH> (тези конференції)

22. Хмелевська Н.П., Курган М.Б. Інноваційні технології виправки залізничних кривих в плані для підвищення безпеки, плавності й комфортабельності їзди / Н.П. Хмелевська, М.Б. Курган М.Б. // Матеріали Міжнародної мультидисциплінарної науково-практичної інтернет-конференції молодих дослідників, здобувачів вищої освіти та науковців «Сучасна наука: інновації та перспективи». м. Київ, 6-7 квітня 2023.- С. 125-128. URL:

https://files.duit.edu.ua/uploads/%D0%A1%D0%B0%D0%B9%D1%82/3_%D0%9D%D0%90%D0%A3%D0%9A%D0%90/conferences/international-scientific-and-practical-conferences/modern-science-innovations-and-perspectives.pdf **(тези конференції)**

23. Курган, М. Інноваційні технології виправки залізничних кривих в плані / М. Курган, Д. Курган, Н. Хмелевська Матеріали 82 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» м. Дніпро, 20-21 квітня 2023, - С. 217-218. URL: <https://crust.ust.edu.ua/items/5e7920f8-37fc-4d0a-a40a-937dbc803d4e> **(тези конференції)**

24. Курган Д. Вплив ділянки змінної жорсткості на моделювання взаємодії колії і рухомого складу в зоні мостів і переїздів / Д. Курган, Н. Хмелевська Матеріали 82 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» м. Дніпро, 20-21 квітня 2023. - С. 345-347. URL: <https://crust.ust.edu.ua/items/5e7920f8-37fc-4d0a-a40a-937dbc803d4e> **(тези конференції)**

25. Kurhan M., Kurhan D., Hmelevska, N. Analysis of Feasibility for Implementing European Standard Railway Tracks in Ukraine / Proceedings of 27th International Scientific Conference. Transport Means 2023. Part II. p. 605-610. URL: <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034> **(Scopus-тези)**

26. Хмелевська Н.П., Курган М.Б. Інноваційний підхід до впровадження суміщеного руху пасажирських і вантажних поїздів на високошвидкісній залізниці. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців «Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології» 29-30 листопада 2023 р., м. Київ Частина 1. – С. 232-237. URL: https://files.duit.edu.ua/uploads/%D0%A1%D0%B0%D0%B9%D1%82/3_%D0%9D%D0%90%D0%A3%D0%9A%D0%90/conferences/international-scientific-and-practical-conferences/transport-infrastructure-and-technologies-1.pdf **(тези конференції)**

27. Kurhan M., Kurhan D. Hmelevska N. A Systematic Approach to Designing High-Speed Railway Track: European Perspective / Proceedings of 28th International Scientific Conference. Transport Means 2024, pp.47-51. URL: <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2024> (Scopus-тези)

28. Fischer, S., Kurhan, D., Kurhan, M. Hmelevska, N Analysis of stress-strain state changes in railway tracks during transition to European gauge / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2024, 1348(1), 012029, DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012029> (Scopus-тези)

29. Курган М.Б., Хмелевська Н.П. Вплив інноваційних технологій на ремонт і обслуговування залізничної колії в кривих / М.Б. Курган, Н.П. Хмелевська // Тези доповідей 10-ї міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті». Харків, УкрДУЗТ, 20-22 листопада 2024 р. – С. 34-36. URL: <https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2024/09/tezi-transbud-2024-2.pdf> (тези конференції)

30. Kurhan M., Fischer S., Kurhan D., Hmelevska N. Assessment of combined high-speed passenger and freight train movement to mitigate environmental impact / VI International Conference "Essays of mining science and practice", November 6-8, 2024, Dnipro, Ukraine. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1491/1/012023> (Scopus-тези)

Внесок здобувачки в наукові публікації, що написані у співавторстві: у фахових статтях [1] і [2] обирала напрями модернізації залізниці та проводила аналіз результатів паспортизації кривих, у роботах [3] - [5], [12] виконувала збір і аналіз статистичних даних щодо сучасного стану інфраструктури, оцінювала технічну і нормативну сумісність української мережі за європейськими стандартами та вплив спеціалізації напрямків на пропускну спроможність, аналізувала можливості підвищення провізної спроможності окремих ділянок залізничної мережі під час її реконструкції відповідно до стандартів європейської колії. У статтях [6] і [9] здійснювала математичне моделювання і чисельний аналіз,

вивчала вплив варіації параметрів на плавність та безпеку руху, а також формувала пропозиції щодо підвищення ефективності реконструкції плану лінії. У роботах [7], [8], [13] проводила математичне обґрунтування доцільності розділення пасажирських і вантажних потоків при впровадженні високошвидкісного руху. У статті [10] аналізувала варіанти впровадження колії європейського стандарту (1435 мм), а також оцінювала вплив такого рішення на експлуатаційну ефективність та взаємодію з наявною інфраструктурою. В роботі [11] проводила моделювання різних сценаріїв виправки кривих, аналізувала вплив зміни параметрів на плавність і безпеку руху, а також брала участь у розробці рекомендацій для впровадження автоматизованих підходів до геометричного корегування траси.

В тезах конференцій [14]–[30] здобувачка визначала мету і постановку завдань, висвітлювала впровадження інноваційних технологій у проєктуванні й реконструкції інфраструктури для швидкісного руху, виконувала моделювання змін напружено-деформованого стану колії при переході на колію європейського зразка, досліджувала вплив інноваційних технологій на ремонт і технічне обслуговування колії в кривих, брала участь у підготовці технічного аналізу інноваційних рішень, визначенні етапів їх реалізації та у підготовці аналітичних висновків.

ЗМІСТ

ВСТУП	21
1 ВІТЧИЗНЯНИЙ І ЗАКОРДОННИЙ ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЦЬ	30
1.1 Аналіз останніх досліджень та публікацій щодо інновацій реконструкції плану залізничної колії під європейський стандарт та впровадження швидкісного руху поїздів	30
1.1.1 Перехід на інвестиційно-інноваційний етап розвитку	30
1.1.2 Досвід використання суміщеної колії 1435/1520 мм	33
1.1.3 Огляд інноваційних технологій з реконструкції плану залізниць	39
1.1.4 Загальні положення про інновації	45
1.2 Міжнародна оцінка участі України в інноваційних процесах	46
1.3 Огляд передумов впровадження швидкісного руху поїздів в Україні	48
1.3.1 Аналіз проблемних питань на залізничному транспорті України	48
1.3.2 Створення високошвидкісних магістралей в Україні за європейським стандартом (1435 мм).....	53
Висновки до розділу 1	55
2 ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЙ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СТАНДАРТУ ЯК СКЛАДОВА ІННОВАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ	57
2.1 Основні вимоги до проектування високошвидкісної магістралі за європейським стандартом	57
2.1.1 Передісторія створення проєктів ВШМ в Україні	57
2.1.2 Обґрунтування мінімального значення радіусу кривих на ВШМ типу І.....	61
2.1.3 Обґрунтування мінімального значення радіусу кривих на ВШМ типу ІІ	63
2.1.4 Визначення довжини перехідних кривих на напрямках впровадження швидкісного руху поїздів	66
2.2 Системний підхід до проєктування високошвидкісних магістралей в	

Україні на новій трасі	68
2.2.1 Будівництво ВШМ для інтеграції України з Європейським Союзом ...	68
2.2.2 Застосування системи автоматизованого проектування (САПР)	73
2.2.3 Вибір варіантів положення траси високошвидкісної магістралі	76
2.2.4 Метод встановлення оптимальної траси ВШМ	78
2.3 Спеціалізація залізничних напрямків як складова інноваційної діяльності	86
Висновки до розділу 2	90
3.МЕТОДИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РЕКОНСТРУКЦІ ПЛАНУ ЗАЛІЗНИЦЬ	93
3.1 Зв'язок між надійністю утримання залізничних кривих та інноваційними технологіями	93
3.1.1 Проектні параметри залізничних кривих у плані	93
3.1.2 Геометричні параметри колії в кривих і динамічне навантаження	94
3.1.3. Зв'язок між видом кривих (одинокі, сполучені, суміжні) і інноваційними технологіями, пов'язаними з їх утриманням	96
3.1.4. Зв'язок між інноваційними технологіями й оцінками надійності утримання кривих	97
3.2 Підвищення працездатності залізничної колії за рахунок мінімізації зносу рейок в кривих	100
3.2.1 Обстеження кривих на різних ділянках залізниць	100
3.2.2 Алгоритм дослідження зносу колії по довжині кривої	103
3.3 Оптимізація параметрів плану колії з метою зниження розладів при паспортизації кривих	107
3.4 Пріоритетність перебудови плану лінії з використанням методу аналізу ієрархій (MAI)	108
3.4.1 Класифікація ділянок перебудови плану лінії	108
3.4.2 Вимоги до контролю за станом кривих	110
Висновки до розділу 3	118
4.ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНУ ЗАЛІЗНИЦІ НА КІЛЬКОХ ПЕРЕГОНАХ	119

4.1 Реконструкція плану залізниці з використанням системи автоматизованого проєктування.....	119
4.1.1 Функціональні можливості складових САПР.....	119
4.1.2 Алгоритм розрахункової послідовності при оптимізації довгих ділянок плану.....	121
4.2 Приклад розрахунків за алгоритмом оптимізації.....	127
4.3 Оцінка пропозицій перебудови кривих для впровадження швидкісного руху на лінії Львів – Одеса за новою методикою.....	131
Висновки до розділу 4.....	142
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	145
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	148
ДОДАТОК А Список публікацій за темою дисертації.....	160
ДОДАТОК Б Довідка про підтвердження участі у виконанні науково-дослідних робіт.....	166
ДОДАТОК В Довідка про підтвердження практичної реалізації розробленої в дисертації методики на ділянці Славгород – Новогупалівка регіональної філії «Придніпровська залізниця».....	167
ДОДАТОК Г Довідка про впровадження в навчальний процес результатів дисертаційних досліджень Хмелевської Н.П.....	168
ДОДАТОК Д Відомість параметрів кривих і швидкостей руху поїздів на ділянці Гребінка – Полтава (існуючий стан).....	169
ДОДАТОК Е Відомість параметрів кривих і швидкостей руху поїздів на ділянці Гребінка – Полтава (після оптимізації).....	175
ДОДАТОК Ж Відомість кривих і прямих на ділянці Полтава – Лозова (існуючий стан).....	180
ДОДАТОК З Відомість кривих і прямих на ділянці Полтава – Лозова (після оптимізації).....	186

ВСТУП

Актуальність теми дослідження зумовлена стратегічними напрямками, визначеними Національною транспортною стратегією України до 2030 року, де окремий розділ присвячено «Інноваційному розвитку транспортної галузі та глобальним інвестиційним проєктам». У цьому документі підкреслюється, що у світовому ринку транспортних послуг ключовими конкурентними перевагами є швидкість, безпека та ефективність перевезень, які безпосередньо залежать від широкого впровадження інновацій та сучасних технологій.

З огляду на те, що залізниці залишаються основними транспортними артеріями, які з'єднують Україну з країнами Європи, Кавказу та Азії, існуюча система перевезень вимагає принципових змін. Підвищення швидкості руху поїздів, скорочення часу доставки вантажів і пасажирів – це необхідні умови інтеграції української залізниці до європейської транспортної системи.

Одним із ключових обмежувальних факторів при впровадженні швидкісного руху є наявність великої кількості кривих ділянок колії. Поки швидкість руху поїздів не перевищувала 120 км/год, проблема реконструкції кривих не була критичною. Однак із підвищенням вимог до швидкості та безпеки, зокрема до стану геометричних параметрів плану колії, ця проблема набуває особливої гостроти. Визначення максимально допустимої швидкості руху на кривих ділянках – це складна інженерна задача, яка потребує урахування багатьох чинників, таких як фактичні геометричні параметри, знос рейок, динамічні характеристики рухомого складу тощо. Від правильності її вирішення залежить ефективність та безпечність функціонування високошвидкісного залізничного транспорту в Україні.

Наукова ідея дисертаційної роботи полягає в розробці та впровадженні інноваційних технологій виправлення кривих у плані із відновленням або збільшенням їх радіусів. Такий підхід узгоджується з вимогами нормативного документа ЦП-0287 «Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-

колійних робіт на залізницях України» та спрямований на досягнення високої якості геометрії колії, необхідної для впровадження швидкісного руху.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, грантами

Дисертаційна робота виконана відповідно до тематики науково-дослідних робіт Українського державного університету науки і технологій (УДУНТ), а саме держбюджетних науково-дослідних робіт (НДР): «Техніко-економічна оцінка варіантів перетину кордонів при зміні ширини залізничної колії (номер державної реєстрації ДР 0120U102980), «Впровадження інноваційних технологій при організації швидкісного руху поїздів в Україні (номер державної реєстрації 0122U200332), «Теоретичне та практичне обґрунтування створення високошвидкісних магістралей в Україні за європейським стандартом (номер державної реєстрації 0124U001036), «Наукове обґрунтування впровадження європейської колії на території України в повоєнний період» (номер державної реєстрації 0124U002477), грантова підтримка Національного фонду досліджень України у межах конкурсу «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди». Результати дослідження щодо моніторингу стану колії в плані були використані в науково-дослідній роботі «Децентралізована система моніторингу стану об'єктів критичної інфраструктури транспорту із інтелектуальним прикриттям» (номер державної реєстрації 0124U000744).

Здобувач була виконавицею робіт у вказаних НДР. Результати її дисертаційної роботи щодо впровадження інноваційних технологій при організації швидкісного руху поїздів в Україні застосовувалися в науково-дослідних роботах.

Метою дисертаційної роботи є розробка науково обґрунтованих підходів та інноваційних рішень для реконструкції залізничної колії за європейським стандартом з метою забезпечення швидкісного руху поїздів в Україні.

Для досягнення поставленої мети у роботі сформульовані та вирішені такі завдання дослідження:

1. Огляд наукових досліджень з застосування інноваційних технологій при

реконструкції залізниць для зменшення енергоресурсів і зносу колійної інфраструктури.

2. На основі розробленої моделі дослідити вплив рухомого складу на колію при різній структурі поїздопотоків і швидкостях руху поїздів, оцінити особливості роботи залізничної колії в кривих при різній інтенсивності руху поїздів.

3. Дослідити доцільність впровадження інноваційних технологій при організації швидкісного руху поїздів в Україні

4. Надати наукове обґрунтування впровадження європейської колії на території України в повоєнний період

5. Надати теоретичне й практичне обґрунтування створення високошвидкісних магістралей в Україні за європейським стандартом.

Об’єктом дослідження є процес впровадження інноваційних технологій при реконструкції плану залізниці.

Предметом дослідження є теоретико-методичні та прикладні засади розвитку інноваційних технологій в колійному господарстві в умовах підвищення швидкості руху поїздів та переходу на європейський стандарт.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі було застосовано комплекс методів дослідження. Метод статистичного аналізу використовувався для оцінювання обсягів і структури залізничних перевезень. З метою виявлення особливостей міжнародних транспортних операцій (зокрема, на маршруті Київ – Ковель – Варшава) був задіяний системний підхід, що включав SWOT-аналіз. Оцінку економічної ефективності реалізації швидкісної магістралі Київ – Львів – Варшава здійснено на основі аналізу «вартість – користь».

Під час дослідження реконструкції плану залізниці оцінка значущості параметрів кривих виконувалась із використанням методу аналізу ієрархій (MAI), що дозволило врахувати їхній вплив на безпеку руху та технічну надійність колійного господарства.

При проєктуванні нових трас залізниць за європейським стандартом

застосовано системний підхід, який включає побудову цифрової моделі місцевості (ЦММ) на основі супутникових даних, визначення раціонального розташування високошвидкісної траси з використанням САПР і методу випадкового пошуку, що не обмежує вибір цільової функції для оптимізації. Пошук оптимальної траси здійснювався з використанням програми Google Earth для попередньої оцінки місцевості. Поверхня обраної ділянки імпортувалась у середовище AutoCAD Civil 3D для створення цифрової моделі рельєфу у випадках, коли відсутня детальна топографічна зйомка.

До експериментальних методів відносились натурні вимірювання стріл вигину в кривих, статистичне опрацювання результатів і спостереження за деформаціями колії в плані та профілі під впливом руху поїздів. Обробку результатів проводили із застосуванням програмного забезпечення Microsoft Excel, Statistica. Розрахунки виконано за допомогою програм MoveRW, RWPlan і DopShvid розроблених на кафедрі «Транспортна інфраструктура» УДУНТ за участю автора.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше розроблено й застосовано інноваційну технологію моделювання для оптимізації виправлення кривих в плані на ділянках великої протяжності, зокрема для перебудовою залізничної колії під європейські норми (1435 мм) з метою підвищення швидкості руху поїздів, яка раніше була відсутня. Ця технологія, на відміну від існуючих підходів, характеризується унікальною інтеграцією:

- системного аналізу взаємодії «колія-рухомий склад» з урахуванням ймовірнісних характеристик руху поїздів;
- інструментів САПР для автоматизованої генерації, візуалізації та комплексного розрахунку множини варіантів плану колії;
- оцінки впливу на динаміку, безпеку, комфорт руху поїздів та експлуатаційні витрати.

Запропонована технологія забезпечила якісно новий рівень ефективності

всього процесу реконструкції колії під європейські норми (1435 мм) з метою впровадження швидкісного руху в Україні.

2. Набули подальшого розвитку наукові підходи до комплексної оцінки стану залізничної колії в плані та визначення її геометричних параметрів, що дозволило уточнити допустимі швидкості руху в кривих. Відмінність від існуючих методів полягає в детальному врахуванні наявного стану колійної інфраструктури, адаптації до змін у структурі поїздопотoku за умов відокремлення пасажирського та вантажного руху, а також розширенні сфери застосування для сучасного рухомого складу. Розроблена методика, що враховує динамічні характеристики різних типів поїздів, є актуальною та практично значущою для підвищення ефективності проектування та експлуатації.

3. Набули подальшого розвитку підходи визначення пріоритетності перебудови бар'єрних місць залізничної ділянки шляхом застосування методу аналізу ієрархій (MAI) для класифікації причин обмежень швидкості в кривих, що дозволяє більш детально враховувати вплив параметрів плану колії у порівнянні з існуючими методами.

На відміну від існуючих досліджень, які, як правило, аналізували окремі параметри впливу, рідко поєднуючи їх у системну модель для комплексної пріоритизації; зосереджувалися на якісній, а не кількісній оцінці значущості факторів; не враховували комплексно взаємозв'язок впливу геометричних параметрів на динаміку, безпеку та надійність колії в умовах швидкісного руху та переходу на європейський стандарт запропонований підхід дозволив розробити новий, об'єктивний метод класифікації об'єктів реконструкції та визначення пріоритетності їхньої перебудови, що є ключовим для оптимізації інвестиційних рішень.

Застосування модифікованого методу аналізу ієрархій (MAI) дозволило кількісно оцінити ступінь важливості окремих геометричних параметрів кривих (радіус кривої – 48,7%, параметри перехідних кривих – 20.4%, підвищення

зовнішньої рейки – 15.9%, складові криві – 4.1%, співпадіння вертикальних кривих з кривими в плані – 3.1%) в контексті їхнього впливу на безпеку руху та експлуатаційну надійність колії.

4. Удосконалено методику імовірнісного моделювання потоку поїздів для уточнення параметрів кривих ділянок залізничної колії та визначення умов доцільності підвищення швидкості руху. Це досягнуто за рахунок комплексного врахування стохастичного характеру руху поїздів та їх взаємодії із залізничною інфраструктурою, а також встановлення взаємозв'язку між елементами системи «рухомий склад – колійна інфраструктура» на основі аналізу динамічних навантажень. Запропоноване моделювання, на відміну від існуючих методик, забезпечує більш точну оптимізацію геометрії колії, підвищення безпеки руху та зниження зносу верхньої будови колії.

Практичні результати та рекомендації, такі як *оптимізація плану колії* для швидкісного руху чи *сценарії переходу на європейську колію*, є демонстрацією ефективності та апробацією розроблених наукових положень і методів, які забезпечують принципово інший рівень точності, комплексність аналізу, що раніше не враховувались у такий системний спосіб для подібних завдань.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці науково обґрунтованої методології, яка дозволяє оптимізувати процес реконструкції залізничної колії під європейські норми (1435 мм) для впровадження швидкісного руху поїздів.

1. Розроблений алгоритм розрахунків, реалізований у вигляді спеціалізованого програмного забезпечення, надає ефективний інструмент для оптимізації виправлення кривих у плані. Це дозволяє відновлювати або збільшувати проєктні радіуси, що є ключовим для реалізації швидкісного руху поїздів в Україні. Методика забезпечує практичне застосування відповідно до вимог нормативного документу ЦП-0287 «Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України».

2. Практична реалізація та ефективність методики проілюстрована на конкретних ділянках залізничної мережі України: Гребінка – Полтава – Лозова, П'ятихатки – Дніпро, та Львів – Красне, що підтверджує її універсальність та застосовність для різних умов експлуатації. Оптимізація проектних рішень, виконана з урахуванням економічного критерію (вартості робіт з перевлаштування плану колії), дозволяє здійснювати раціональне планування технічних заходів на об'єктах інфраструктури АТ «Укрзалізниця». Це забезпечує не лише технічну досконалість, але й фінансову ефективність проектів реконструкції.

3. Результати роботи пройшли апробацію на реальній ділянці Славгород – Новогупалівка регіональної філії «Придніпровська залізниця». Аналіз даних з паспортів кривих за період 2017–2021 рр. дозволив виявити та обґрунтувати необхідність корегування існуючих геометричних відхилень, таких як нерівномірне зростання стріл перехідних кривих та перевищення допустимого ухилу крутизни відводу підвищення зовнішньої рейки при швидкості 120 км/год.

4. Результати досліджень і розроблені методики використані під час виконання науково-дослідних робіт відповідно до тематики Українського державного університету науки і технологій, в тому числі НДР за грантової підтримки Національного фонду досліджень України, а також у навчальному процесі під час викладання дисциплін для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт»: «Проектування реконструкції залізниць», «Сучасні методи зйомки кривих та розрахунки плану залізниці»; «Системи автоматизованого проектування залізниць».

Теоретичне значення отриманих результатів полягає в розробці науково-прикладної задачі оптимізації процесу виправлення кривих в плані, що дозволяє враховувати наявність залежних кривих, коли рішення на одній кривій впливає на іншу криву, що досягається паралельно з оптимізацією виконанням тягових розрахунків і врахуванням отриманих результатів для визначення підвищення зовнішньої рейки в кривих, від якого істотно залежать допустимі швидкості руху і

знос рейок в кривих ділянках колії. Вирішено науково-прикладну задачу оптимізації процесу виправлення кривих в плані при оптимізації довгих ділянок (один чи декілька перегонів), що забезпечує зниження обсягів робіт на 15-20%, покращення якості робіт за рахунок збільшення точності виконання розрахунків з геометрії колії на 20-25%, зниження експлуатаційних витрат та збільшення терміну служби колії – на 10-15%.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є одноосібно виконаною працею. Усі наукові результати, викладені у дисертації, отримані авторкою самостійно. Ряд наукових робіт був опублікований у співавторстві з іншими вченими. Слід відмітити, що в цих працях авторкою визначені мета і постановка наукових завдань та виконана їхня практична реалізація за допомогою авторської методики системного підходу в дослідженні інноваційних процесів пов'язаних з перебудовою залізничних колій під європейський стандарт (1435 мм) та технології комп'ютерного моделювання процесу виправлення кривих в плані з метою впровадження швидкісного руху поїздів.

Апробація результатів дисертації. Основі положення та результати дисертаційного дослідження розглянуто й схвалено на таких всеукраїнських та міжнародних науково-практичних і науково-методичних конференціях: 81 Міжнародної науково-практичної конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». (Дніпро, 22–23 квітня 2021), II Міжнародна науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців «Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології» (Київ, 29-30 листопада 2023 р.), 82 Міжнародна науково-практична конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», (Дніпро, 20-21 квітня 2023 р.), II Міжнародна науково-практична конференція «Логістика і транспортна безпека: проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів і загроз» (Дніпро, 09 листопада 2023 р.), Proceedings of 27th International Scientific Conference. Transport Means 2023. Lithuania, TRANSBALTICA 2024: Transportation Science and

Technology - Invitation Letter (Вільнюс, Литва 19-20 вересня 2024 р.), III Міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців «Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології» (Київ, 28-29 листопада 2024 р.), 10-та Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (Харків, 20-22 листопада 2024 р.).

Повністю дисертація доповідалася, обговорювалася і була схвалена на фаховому семінарі кафедри «Транспортна інфраструктура» Українського державного університету науки і технологій за участю рецензентів (Дніпро, 12 червня 2025 р.).

Публікації. За темою дисертації «Інновації реконструкції плану колії під європейські норми для впровадження швидкісного руху поїздів» опубліковано 30 наукових праць, що повно розкривають основний зміст дисертаційної роботи та є апробацією результатів, отриманих при підготовці дисертаційної роботи, з яких 7 фахові статті опубліковані в журналах категорії «Б», 6 статей – у періодичному виданні, що індексується у наукометричній базі Scopus та 17 тез доповідей (з яких 6 індексуються у наукометричній базі Scopus загальні).

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків та списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг – 192 сторінки, з них 127 сторінки основного тексту, 32 рисунки на 28 сторінках, 26 таблиці на 25 сторінках, список використаних джерел з 104 назв на 13 сторінках.

1 ВІТЧИЗНЯНИЙ І ЗАКОРДОННИЙ ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЦЬ

1.1 Аналіз останніх досліджень та публікацій щодо інновацій реконструкції плану залізничної колії під європейський стандарт та впровадження швидкісного руху поїздів

1.1.1 Перехід на інвестиційно-інноваційний етап розвитку

Перехід економіки України до інвестиційно-інноваційної моделі розвитку, набуття членства у Світовій організації торгівлі (СОТ) та статусу асоційованого члена Європейського Союзу вимагає суттєвого перегляду стратегічного курсу розвитку вітчизняних залізниць та орієнтації їх на інноваційний вектор модернізації. У порівнянні з країнами Західної Європи, українські залізниці функціонують в умовах значно більшого навантаження: обсяги перевезень, інтенсивність руху, маса поїздів та осьові навантаження значно перевищують аналогічні показники. У зв'язку з цим реалізація заходів зі збільшення пропускної спроможності колій та організації швидкісного руху є більш складною та потребує системного інноваційного підходу до розвитку галузі [1].

Складне становище інноваційного та високотехнологічного сегменту вітчизняної транспортної галузі зумовлене низьким рівнем інвестиційної активності, обмеженим фінансуванням із державного та місцевих бюджетів, а також відсутністю коштів навіть на просте відтворення основних засобів. Крім того, практично не реалізуються інвестиційні проєкти за механізмами концесій. Такі обставини спричинили швидке зношення рухомого складу та деградацію елементів транспортної інфраструктури, що, своєю чергою, призвело до істотного відставання технічного і технологічного рівня українського транспорту від європейських стандартів. У зв'язку з цим перед АТ «Укрзалізниця» постають стратегічно важливі завдання, пов'язані з оновленням матеріально-технічної бази, впровадженням сучасних технологій діагностики, а також підвищенням ефективності технічного

обслуговування інфраструктурних об'єктів [2].

Питанням інноваційних технологій присвячено багато праць науковців. В даній роботі акцент зроблено на роботи, які безпосередньо стосуються окресленої проблеми в колійному господарстві, тобто інноваційних технологій, що будуть сприяти впровадженню швидкісного руху поїздів.

Значним кроком з впровадження інноваційних технологій на залізницях України стала робота «Будівництво і реконструкція залізничної мережі України для збільшення пропускної здатності та запровадження швидкісного руху поїздів», яка була оцінена Державною премією в галузі науки і техніки» [3].

Залучення інноваційних технологій під час реалізації масштабного комплексного проєкту з будівництва та модернізації залізничної інфраструктури України на основі передових науково-технічних досягнень дало змогу забезпечити активну взаємодію наукових установ, вищих навчальних закладів, галузевих наукових центрів, промислових і транспортних підприємств. Така кооперація сприяла створенню та впровадженню сучасних технологічних рішень і обладнання в рамках нової моделі неформалізованої інноваційної структури – інноваційного кластеру «Оksamитовий шлях» [3].

Однак, перешкодою на шляху до інноваційного розвитку в Україні залишається класична форма організації руху, яка передбачає використання однієї й тієї ж інфраструктури для перевезення як пасажирів, так і вантажів (так званий суміщений рух). Недоліками такого підходу є недостатній комфорт для пасажирів та неможливість застосування нового прогресивного рухомого складу. Можливим розв'язанням цієї проблеми є відокремлення вантажного руху від пасажирського. При цьому напрямки руху визначаються залежно від структури поїздопотоків: категорій і маси поїздів, що курсують, а також їхніх швидкостей [4]. Ці напрямки також відрізняються умовами експлуатації та параметрами плану й поздовжнього профілю, маючи різні можливості для реалізації максимальної швидкості руху: 120-160 км/год для прискореного руху та 161-200 км/год для швидкісного руху. Для

виконання цих завдань автори [5] дослідили інноваційні технології діагностики та обслуговування колійної інфраструктури, а також надали рекомендації щодо подальшого розвитку залізничної інфраструктури шляхом інноваційного вдосконалення науково-технічного потенціалу.

В рамках 6-ї Рамкової програми (FP6) з 2002 по 2006 роки діяв дослідницький проєкт INNOTRACK, що фінансувався Європейською комісією. Він був спрямований на розробку інноваційних рішень для залізничної інфраструктури з метою підвищення ефективності, безпеки та екологічності залізничного транспорту [6].

У науковій праці [7] представлено інноваційний підхід до оцінювання впливу окремих експлуатаційних параметрів на елементи залізничної системи. У працях [8, 9] розглянуто структуру витрат на будівництво залізничної інфраструктури з урахуванням варіативності сценаріїв експлуатації. Формування оптимального транспортного рішення передбачає обґрунтований вибір маршрутів, типу рухомого складу відповідно до характеру вантажів, умов перевезення, технологічних рішень на прикордонних станціях тощо.

У роботі [10] викладено теоретичні засади та емпіричні дані щодо аналізу й моделювання транспортної мережі Польщі, зокрема описано властивості складних типів мереж, таких як Scale Free і Small World, а також наведено характерні параметри для подібних систем.

Більшість європейських держав уже протягом понад тридцяти років успішно вирішують завдання оптимізації пасажирських перевезень завдяки суттєвому підвищенню швидкості поїздів на спеціалізованих швидкісних лініях. Наприклад, у статті [11] проаналізовано вплив обмежень швидкості на додаткове споживання енергії для тяги поїздів. На прикладі маршруту Будапешт – Келенфельд – Хедьєшхалом продемонстровано позитивний ефект від усунення таких обмежень.

У контексті підвищення провізної та пропускної спроможності залізничної мережі, вона розглядається як комплексна система, що включає різноманітні

технічні засоби та споруди, технічний стан яких може бути критичним фактором у забезпеченні необхідного рівня швидкості руху. У праці [12] зазначається, що у британській залізничній системі за останні два десятиліття спостерігалось стрімке зростання вантажних і пасажирських перевезень, що викликало занепокоєння щодо здатності інфраструктури витримувати такі навантаження в довгостроковій перспективі. У відповідь на це було реалізовано низку проєктів з розвитку інфраструктури, спрямованих на підвищення пропускної спроможності та мінімізацію конфліктів між потоками. Зокрема, проаналізовано вплив нових інфраструктурних рішень на експлуатаційні параметри вантажних поїздів у межах розподілу пасажирських і вантажних маршрутів.

1.1.2 Досвід використання суміщеної колії 1435/1520 мм

Географічне розташування України створює сприятливі передумови для інтеграції в міжнародну систему транспортного сполучення між країнами Європи. Через територію України проходять два важливі мультимодальні транспортні коридори, які входять до оновленої Транс'європейської транспортної мережі (TEN- T), що формує основу європейської транспортної інтеграції.

Так, «Середземноморський коридор» (RFC №6) завершується на українсько-угорському кордоні в районі прикордонної станції Захонь. Інший важливий напрям – «Східний коридор» (RFC №9), зокрема його ділянка, що наразі функціонує під назвою «Чесько-Словацький», – закінчується на кордоні Словаччини з Україною, в межах прикордонних станцій Чіерна-над-Тісоу та Матевце. На зазначених прикордонних станціях здійснюється перевантаження вантажів між транспортними засобами різних залізничних систем, а також технічні операції з перестановки візків або колісних пар, що обумовлено різною шириною колії в Україні (1520 мм) та країнах Європейського Союзу (1435 мм). Ці логістичні операції є ключовими для забезпечення безперервності вантажних перевезень між державами з відмінною інфраструктурою залізничного транспорту.

Ширина колії на залізничному транспорті – це один з найважливіших параметрів колійної інфраструктури. У світі існує кілька стандартів ширини колії, і коли на шляху поїзда зустрічаються ділянки з різною шириною колії, необхідно вживати спеціальних заходів – або міняти візки на вагонах, або перевантажувати вантаж чи пересаджувати пасажирів у вагони з відповідною шириною колії. Цю проблему можна також вирішити, поєднавши обидві колії, отримавши подвійну колію. Суміщена (подвійна) колія на відміну від звичайної, складається з трьох або чотирьох рейок. Три рейки можливо використати у ситуації, коли різниця ширини двох колій достатня, щоб вмістити рейку меншої колії у більшу колію, використовуючи одну з рейок як спільну. Наприклад, 1668 та 1435 мм в Іспанії, 1435 та 1067 мм в Австралії та Японії, 1520 та 1067 мм на Сахаліні, 1676 та 1000 мм у Бангладеш.

Для суміщення колій, які мало відрізняються між собою, можливі лише сплетіння, що використовують чотири рейки (рис. 1.1). Саме така ситуація має місце, зокрема, на більшій частині західних кордонів України: різниця між 1435 та 1520 мм становить лише 85 мм.



Рисунок 1.1 – Суміщена колія: європейська й українська

При переході на європейську колію поїзди, що йдуть з України, втрачають значний час при заміні колісних пар або пересадках пасажирів та перевантаженню вантажів на кордонах з Угорщиною, Польщею, Румунією і Словаччиною. Продовження європейської колії від кордонів Європи на територію України сприятиме підвищенню інтегрованості, дозволить істотно економити час і буде сприяти збільшенню поїздопотоку між країнами [13].

В Україні вже є наявний досвід експлуатації залізниці з європейською шириною колії. Зокрема, поїзди, що курсують між Словаччиною та Румунією, рухаються територією України (через Чоп, Батьово, Королево, Дякове) по колії стандарту 1435 мм без потреби заміни колісних пар. Найдовша така ділянка Чоп – Дякове, її протяжність становить 112 км. На сьогодні європейська колія заходить на територію України в трьох прикордонних областях. Найбільш протяжні ділянки комбінованої колії (1520 мм та 1435 мм) розташовані в Закарпатській області – це напрямки Чоп – Батьово – Мукачево (приблизно 40 км, з електрифікацією) та Батьово – Королево – Дякове (близько 80 км). У Волинській області європейська колія простягається від кордону з Польщею до міста Ковель на відстані 64 км. У Львівській області функціонують такі ділянки: Варламова Воля – Мостиська – держкордон (7 км колії 1435 мм і 11,8 км суміщеної колії), Хирів – Старжава – держкордон та Хирів – Нижанковичі (12,9 км європейської та 25,7 км суміщеної колії), а також Рава-Руська – Гребенне (7,1 км колії 1435 мм). Ці ділянки є складовими частинами міжнародних транспортних коридорів, зокрема Критських №3 і №5, а також маршруту Гданськ – Одеса.

Україна запропонувала Словаччині і Румунії перевозити вантажі з однієї країни в іншу через Закарпатську область, використовуючи водночас комбіновану залізницю Халмеу/Дякове – Батьово – Королево – Чоп / Чорна-над-Тисою.

На протязі понад 170 років суміщена рейкова колія експлуатувалась з дерев'яними шпалами та костильним проміжним скріпленням без застосування машин та механізмів для капітального ремонту. При цьому швидкість руху поїздів

дорівнювала 20...40 кілометрів за годину [14].

У нинішніх умовах перспективним може стати проєкт зі з'єднання щонайменше двох існуючих ділянок суміщеної колії з подальшим формуванням інтермодального хабу. Зокрема, можливо реалізувати маршрут європейської колії між Мукачевом та Мостиською (близько 300 км), із будівництвом потужного перевалочного вузла у Львові. Очевидно, що реалізація подібного інфраструктурного проєкту потребує залучення іноземних інвестицій.

Прикладом ефективного логістичного вузла може слугувати словацький термінал «Добра», який відіграє ключову роль у розвитку контейнерних перевезень на п'ятому європейському транспортному коридорі (Італія – Словенія – Угорщина – Словаччина – Україна).

На території України подібний термінал функціонує в Закарпатській області. Ще у 1998 році в Чопі було створено термінал «Карпати», виробничі потужності якого розміщені поблизу вузлової станції Батьово. Втім, у порівнянні зі словацьким аналогом, він поступається за рівнем розвитку та потребує модернізації.

Крім цього, Україна та Польща могли б об'єднати зусилля у створенні спільного інтермодального терміналу для перевалки вантажів, що дозволило б забезпечити надійний і стабільний вантажопотік для їхніх комбінованих залізничних маршрутів.

Згідно з прийнятою транспортною стратегією до 2030 року планується будівництво (розвиток) в Україні європейської колії з Києва до Одеси, Львова, Харкова та Дніпра.

Проблему переходу на європейський стандарт можна вирішувати різними способами: укладання нової траси з шириною колії 1435 мм; розділення існуючої двоколійної ділянки на дві одноколійні з шириною колії 1435 і 1520 мм; заміна існуючої колії на суміщену 1435/1520 мм (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Можливі сценарії при переході на колію європейського стандарту [15]

Кожен з варіантів має свої переваги та недоліки. Орієнтуючись на віддалену перспективу, перевагу потрібно віддавати будівництву нової траси. Така траса одразу буде проєктуватися під високі швидкості руху, за європейськими стандартами і не буде «наслідувати» технічні проблеми існуючих залізничних мереж. Проте такий варіант безумовно є самим дорогим [16].

Одним із прикладів реалізації інфраструктури із суміщеною колією є міжнародний проєкт «Rail Baltica», що з'єднує державний кордон між Польщею та Литвою з містом Каунас. У межах цього проєкту було побудовано нову залізничну колію європейського стандарту шириною 1435 мм, паралельно з якою модернізовано вже наявну лінію з шириною колії 1520 мм [17, 18].

Залізниця «Rail Baltica», є частиною залізничного коридору «North Sea-Baltic», який з'єднує Фінляндію, Естонію, Латвію, Литву, Польщу, Німеччину, Голландію, Бельгію і Люксембург [19]. Довжина коридору «North Sea - Baltic» – 3200 кілометрів (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Залізниця «Rail Baltica» Автор: Ministry of Transport and Communication of the Republic of Latvia -

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:RailBaltica.jpg> Ministry of Transport and Communication of the Republic of Latvia, Attribution,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17550805>

Проект Rail Baltica включено до переліку пріоритетних ініціатив Європейського Союзу та до програми розвитку Транс'європейських транспортних мереж (TEN-T). Його реалізація фінансується на паритетних засадах: 50% витрат покривається з бюджету TEN-T, а решта – з національних бюджетів країн-учасниць.

Основною метою проекту є відновлення прямого залізничного сполучення країн Балтії з загальноєвропейською залізничною мережею, що сприятиме глибшій регіональній інтеграції. Завдяки включенню залізниць Естонії, Латвії та Литви до транспортної системи ЄС очікується підвищення швидкості руху поїздів, зростання

обсягів пасажирських і вантажних перевезень, а також покращення економічних показників у регіоні.

11 квітня 2024 р. на Закарпатті започатковано проєкт будівництва європейської колії Чоп-Ужгород. Ця залізнична ділянка Чоп – Ужгород є частиною важливого транспортного коридору, який з'єднує Україну з Європою. Це дасть можливість запустити пряме залізничне сполучення між Ужгородом та Віднем, Братиславою, Кошице, Будапештом, Прагою, Бухарестом, Дрезденом та Белградом.

Ділянка Чоп – Ужгород довжиною близько 40 кілометрів була побудована в кінці 19 століття і потребує модернізації. Пропускна спроможність ділянки обмежена через одноколіїність на більшій частині її протяжності. Ділянка Чоп-Ужгород забезпечує пасажирське та вантажне сполучення між Україною та Словаччиною, Угорщиною та іншими країнами ЄС, а також є популярним маршрутом для туристів, які подорожують до Закарпаття [20].

Завдяки електрифікації та капітальному ремонту колії час в дорозі на ділянці має скоротитися, а пропускна спроможність збільшиться вдвічі після завершення реконструкції [21].

Реалізація проєкту передбачає створення в Ужгороді сучасного транспортного хабу, що забезпечить зручну та швидку пересадку пасажирів між поїздами широкої колії та рухомими складами європейського стандарту. Фінансування будівництва нової євроколії здійснюватиметься за рахунок грантових коштів Європейського Союзу, наданих АТ «Укрзалізниця» в межах програми Connecting Europe Facility.

Будівельні роботи в Ужгороді розпочалися у травні 2024 року, а завершити планують до кінця 2025 року [22].

1.1.3 Огляд інноваційних технологій з реконструкції плану залізниць

Успішний розвиток залізничної галузі неможливий без постійного впровадження новітніх технологій, що підтверджується міжнародним досвідом. В

Україні також використовуються інноваційні рішення під час оновлення плану залізниць, проте рівень технологічного прогресу суттєво поступається передовим практикам країн Європи й Північної Америки.

До сучасних інноваційних рішень, які використовуються під час реконструкції залізничного плану, належать:

- технології супутникової навігації GPS, що забезпечують високу точність прокладання колій, зменшують відхилення від проєктного маршруту та підвищують безпеку перевезень;
- системи автоматизованого контролю за технологічними процесами будівництва й реконструкції, що допомагають підтримувати потрібні параметри трасування та мінімізувати похибки;
- використання лазерного сканування для детального вимірювання характеристик траси, включно з кривизною, що сприяє точному плануванню і виявленню ділянок, які потребують корекції;
- геодезичні технології нового покоління, які дозволяють із високою точністю вимірювати геометрію колії та забезпечувати її якісну корекцію в плані;
- автономна техніка для виправлення кривих, яка дозволяє значно скоротити час і витрати на ремонтні роботи;
- застосування комп'ютерного моделювання залізничної інфраструктури для пошуку оптимальних стратегій корекції кривих у плані та підвищення ефективності робіт.

Усі перелічені інноваційні технології застосовуються в залежності від конкретних умов та завдань. Надійність функціонування залізничного транспорту значною мірою визначається технічним станом колії та її геометричним положенням у плані. У межах цієї роботи основна увага приділяється комп'ютерному моделюванню, що дає змогу обрати найбільш раціональний підхід до виправлення кривих у плані та забезпечити високу точність і ефективність цього процесу.

Щоб отримати точну інформацію щодо плану залізничної колії, необхідно проводити вимірювання параметрів, що характеризують її геометрію. Ці вимірювання поділяють на два типи: глобальні та локальні. Перші визначають розташування елементів у межах загальної географічної системи координат, тоді як другі – встановлюють положення відносно сусідніх елементів (наприклад, рівень підвищення зовнішньої рейки на конкретній ділянці) або відхилення від проєктних значень, які можуть виникати внаслідок деформацій. Методика вимірювання визначає, чи буде отримано глобальні параметри, локальні, або обидва водночас. Як приклад, польські дослідники [23] запропонували інноваційний підхід до визначення осі колії, що базується на використанні приймачів GNSS – Глобальної навігаційної супутникової системи.

Відхилення фактичного плану залізничної лінії від передбачених проєктом параметрів може спричинити обмеження швидкості або навіть перевищення встановлених нормативів. Це негативно позначається на безпеці руху та комфорті пасажирів, а також підвищує сили взаємодії між рухомим складом і елементами колійного господарства. Посилення цих сил призводить до інтенсивнішого зношування рейок, коліс і конструктивних частин як колії, так і поїздів, що підтверджується результатами попередніх досліджень [24].

Наукові досліджень за напрямом вдосконалення параметрів кривих, мінімізації зносу в кривих, перебудови кривих з метою підвищення швидкості продовжуються. Шведські дослідження геометрії колій припадають на 90-ті роки минулого століття. Так, в роботі [25] детально обговорюються проблемні питання, що стосуються вибору радіуса і довжини перехідних кривих, наводиться аналіз діаграм кривизни та кутових діаграм. З урахуванням наявності перешкод оцінюються різні типи перехідних кривих. Показано, як нерівності колії опосередковано впливають на оптимальну довжину перехідних кривих і на рівень максимальної швидкості.

У дисертації [25] представлено науковий підхід який враховує різницю у

вартості будівництва нових трас або залізниць, що підлягають реконструкції, з усуненням перешкод пов'язаних із сполученнями: перехідна крива – кругова крива – перехідна крива. Графіки кривизни та діаграми кутів повороту були використані, щоб визначити, коли поодинокі криві доцільно замінити складовими кривими. Надається визначення найбільш прийнятної довжини перехідних кривих, які дозволяють реалізувати найвищу допустиму швидкість.

Згідно з аналізом, виконаним на залізничних ділянках Індії [26], з часом форма кривої зазнає змін порівняно з початковим проєктним положенням. Основними чинниками цього явища є: по-перше, нерівномірне навантаження на рейки, що виникає в результаті надмірного підвищення зовнішньої рейки на малих швидкостях або його нестачі при великих швидкостях замість проєктної рівноважної; по-друге, вплив значних бічних сил, які створюються вагонами поїздів і тиснуть на рейки. Такі сили спричиняють зміну геометрії кривої: в одних місцях кривизна зменшується, в інших – збільшується, що впливає на радіальне прискорення та знижує плавність руху. Тому для забезпечення безперебійного пересування поїздів необхідно своєчасно виправляти конфігурацію кривих і коригувати їхні геометричні параметри.

На сьогодні актуальною є проблема реконструкції залізничних колій у глобальній системі відліку. Його суть полягає у визначення положення осі залізничних колій у декартовій або місцевій системі координат [27]. Щоб отримати таке представлення осьової лінії колії, в багатьох країнах розроблені методи переважно за допомогою глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS). Точність цього виду вимірювання в сприятливих умовах досягає одного сантиметра. Автори в попередніх роботах описали розроблену ними методологію, а в цій статті представлено метод визначення поправок до виміряних горизонтальних координат GNSS, що враховують наявність підвищення зовнішньої рейки в кривих.

У роботі [28] автори представили технічне рішення, яке спрямоване на

ефективну реконструкцію залізничних кривих з метою підвищення швидкості руху поїздів за умови мінімальних витрат. При цьому особливу увагу приділено забезпеченню комфортності пасажирських перевезень під час проходження поїздів в кривих ділянках колії.

У дослідженні [29] розглянуто спосіб обчислення горизонтальної кривизни залізничної колії, який ґрунтується на аналізі змін кутів нахилу рухомої хорди в межах декартової системи координат. У процесі оцінки було встановлено, що довжина хорди практично не впливає на точність розрахунку кривизни, а отже, не обмежує застосування цієї методики. Разом з тим підкреслюється важливість точного визначення кривизни, особливо на перехідних ділянках колії.

Вихідні дані суттєво впливають на розрахунок допустимих швидкостей руху поїздів. У праці [30] рекомендується використовувати передові геодезичні методики для точного визначення геометричних параметрів колії. В іншому дослідженні [31] зазначено, що питання точного визначення горизонтальної кривизни осі колії досі залишається відкритим. Це пояснюється тим, що попередні розрахунки базувалися на наближених алгоритмах. У зв'язку з цим була розроблена нова методика, яка базується на аналізі змін кута нахилу рухомої хорди. Для використання цього підходу необхідно мати координати контрольних точок у декартовій системі координат для відповідної ділянки залізничної лінії.

Існує значна кількість наукових досліджень, які присвячені вибору типу перехідних кривих у контексті впровадження високошвидкісного залізничного руху. У праці [32] запропоновано новий тип перехідної кривої, спеціально адаптованої до умов експлуатації на сучасних залізницях. У публікації [33] наведено параметри двох видів перехідних кривих, які активно застосовуються в Австрії та Угорщині. Зокрема, відзначено, що угорські нормативи без достатніх підстав обмежують застосування клотоїдних кривих для ділянок із допустимими швидкостями до 120 км/год.

У науковій роботі [34] автори дослідили зміну ширини колії в кривих для

кількох залізничних другорядних і магістральних ліній Угорщини з низьким і високим обсягом перевезень. Розглянуті криві включали перехідні криві (TCs) і кругові криві (CCs), а також, в деяких випадках, цілі криві (ECs). Зміну параметра ширини колії як функцію часу, що минув, аналізували на основі функцій розподілу шляхом обчислення.

Пошуки нових методів зйомки плану лінії й розрахунків виправлення кривих для постановки їх в проєктне положення продовжуються. У дослідженні [35] представлено метод реконструкції існуючої залізниці з обмеженою оптимізацією на основі даних хмари точок. На основі теорії інтелектуальних алгоритмів введено поняття (Particle Swarm Optimization алгоритм (PSO) та представлено метод направленного пошуку. Після отримання даних хмари точок осьової лінії була встановлена цільова функція з умовою обмеження та поєднана з технологією зйомки залізниці. Для одиноких і безперервних кривих, які містять кілька базових одиниць кривої, аналізується складність і час реконструкції. Використовуючи дані вимірювань, проєктування і штучні дані як вхідні, це дослідження продемонструвало придатність, надійність і практичність його застосування.

Аналіз наукових джерел свідчить, що численні методики, запропоновані дослідниками, можуть ефективно застосовуватись для модернізації існуючих залізничних колій, однак їх ефективність часто обмежується специфічними умовами експлуатації. У значній кількості праць – як вітчизняних, так і міжнародних – зосереджено увагу на вдосконаленні геометричних характеристик окремих кривих, таких як радіус, форма перехідної кривої або величина підвищення зовнішньої рейки. Водночас, питання цілісної оптимізації плану лінії на рівні цілого перегону або кілька перегонів залишаються дослідженими недостатньо.

1.1.4 Загальні положення про інновації

Стратегічним напрямом розвитку транспортної системи України в межах науково-технічної політики є досягнення міжнародного рівня за показниками

технічної досконалості та якості транспортних послуг. У цьому контексті першочерговим завданням залізничного сектору виступає розширення дослідницької діяльності, орієнтованої на розробку інноваційних рішень для організації міжнародних перевезень, удосконалення механізмів функціонування транспортної мережі та створення сучасних систем управління, що базуються на новітніх технологіях, зокрема в сфері швидкісного залізничного сполучення [2].

У міжнародних стандартах термін «інновація» трактується як кінцевий результат інноваційної діяльності, втілений у вигляді нового або вдосконаленого продукту, що реалізується на ринку або застосовується у виробництві. Європейська економічна комісія ООН, аналізуючи інновації в залізничній галузі, дійшла висновку, що вони відіграють вирішальну роль у її розвитку, а Європа залишається одним із лідерів у впровадженні технологічних новацій на національному й міжнародному рівнях, як у державному, так і в приватному секторах [36].

У законодавчому полі України інноваційна діяльність врегульована відповідним Законом «Про інноваційну діяльність» [37], який визначає правові, економічні та організаційні засади державного управління цією сферою. Документ окреслює шляхи державної підтримки інновацій, спрямованої на технологічне оновлення економіки країни. Проте ефективність реалізації закладених у ньому механізмів була обмеженою: ще з 2002 року низку ключових положень щодо стимулювання інновацій було призупинено, а згодом і вилучено. Крім того, Податковий кодекс України (2010) не передбачав жодної системної підтримки ані для інноваційної інфраструктури, ані для підприємств, що реалізують інноваційні проекти.

Для забезпечення якісного прогнозування результатів інноваційної діяльності доцільним є використання системного підходу в поєднанні з новітніми інформаційними технологіями. При цьому важливо враховувати, що раніше прийняті технічні допущення, які майже не впливали на динаміку поїздів при швидкостях до 120 км/год, в умовах швидкісного руху (161-200 км/год і більше)

потребують корегування. Вимоги до будівництва та експлуатації залізничної колії для таких швидкостей повинні базуватись на аналізі динамічних характеристик конкретних типів рухомого складу, що перевозить пасажирів, і можуть відрізнятись від загальноприйнятих стандартів. Забезпечення довготривалого та стабільного функціонування залізничної інфраструктури потребує впровадження системи моніторингу, що має передувати етапу глибокої технічної діагностики.

Інноваційна діяльність у транспортній сфері розглядається як інтегральна складова процесів розвитку, що охоплює створення, впровадження й поширення нових технологій, продуктів і форм організації. Саме вона є фундаментом для формування конкурентоспроможності підприємств. Під поняттям «інновація» розуміють не лише новостворені або вдосконалені технічні рішення, продукцію чи послуги, але й ефективні організаційно-технічні підходи у сфері виробництва, управління чи комерційної діяльності, які сприяють суттєвому покращенню якості продукції, технологій або соціальних процесів.

1.2 Міжнародна оцінка участі України в інноваційних процесах

Європейська інтеграція створює нові перспективи для України, посилюючи взаємодію з європейською спільнотою та стимулюючи впровадження вітчизняними інституціями європейських норм і стандартів. Такий напрям розвитку є стратегічно важливим і позитивно впливає на поглиблення партнерських відносин з Європейським Союзом.

На початку XXI століття Україна, разом із глобальною спільнотою, увійшла в період так званої четвертої промислової революції (4ПР). Завершується етап масштабного впровадження інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), а натомість активно розвиваються нові технологічні напрями, які ґрунтуються на цифровій трансформації та взаємозв'язаності. До таких проривних технологій належать штучний інтелект (ШІ), Інтернет речей, обробка великих масивів даних (Big Data), технології блокчейн, роботизація, мобільний зв'язок п'ятого покоління

(5G), адитивне виробництво (3D-друк), дрони, генна інженерія, нанотехнології тощо. В умовах 4ПР особливого значення набуває оцінювання здатності країн до освоєння передових технологій та впровадження пов'язаних з ними як технологічних, так і організаційних інновацій [38].

Україна представлена у низці авторитетних міжнародних рейтингів, які аналізують її інноваційний потенціал і спроможність до технологічного прориву. Серед таких рейтингів – Глобальний індекс інновацій (Global Innovation Index), Індекс інновацій від Bloomberg (Bloomberg Innovation Index), Глобальний індекс конкурентоспроможності талантів (Global Talent Competitiveness Index), а також Європейське інноваційне табло (European Innovation Scoreboard). Окрему увагу привертає Індекс готовності до проривних технологій (Frontier Technologies Readiness Index), розроблений ЮНКТАД у 2021 році, який оцінює здатність країн адаптуватися до новітніх технологічних змін. Ці показники дають уявлення про рівень інноваційної активності та технологічну спроможність України в міжнародному контексті (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Індеси інноваційної спроможності України у 2023 році

Показники	Кількість країн	Провідні країни	Місце України
Глобальний інноваційний індекс ГП (80 показників)	134	Швейцарія, Швеція, США	83
Індекс інновацій Агентства Блумберг ІАБ (7 показників)	60	П. Корея, Німеччина, Фінляндія	53
Глобальний індекс конкурентоспроможності талантів ГІКТ (70 показників)	132	Швейцарія, Сінгапур, США	63
Європейське інноваційне табло ЄІТ (27 показників)	39	Швеція, Фінляндія, Данія	30
Індекс готовності до передових технологій ІГПТ (10 показників)	125	Сінгапур, Швейцарія, США	50

Проведений порівняльний аналіз стану інноваційної системи України

відносно світового рівня на основі міжнародних індексів свідчить, що Україна має високий освітній та науковий потенціал, здатний продукувати різноманітні нововведення у вигляді ідей, наукових розробок, патентів. Серед конкурентних переваг України варто виділити такі:

- відповідно до Глобального індексу конкурентоспроможності - висока ємність ринку, якість вищої, середньої та професійної освіти;
- відповідно до Глобального індексу інновацій основою української інноваційної конкурентоспроможності є людський капітал, тобто знання та навички, якими володіють люди, що дають змогу їм створювати цінність у світовій економічній системі. Його ефективна реалізація і є головною конкурентною перевагою.

Зміна позиції України в рейтингах у 2022-2023 рр. пов'язана з впливом військового конфлікту та економічними викликами, які негативно вплинули на інноваційний потенціал країни. Позиція в 2023 році залишилася незмінною, що свідчить про стабільність в умовах складних обставин, але все ще вказує на необхідність подальшого розвитку в інноваційній сфері.

1.3 Огляд передумов впровадження швидкісного руху поїздів в Україні

1.3.1 Аналіз проблемних питань на залізничному транспорті України

Вигідне, з погляду транспортних перевезень, геополітичне розташування України не використовується сьогодні повною мірою. Міжнародні транспортні коридори, що проходять територією України, не відповідають вимогам МСЗ і ОСЗ, бо не забезпечують швидкість руху вантажних поїздів 100-120 км/год, пасажирських – 160-200 км/год. Основні причини такі:

1. Вичерпані резерви. На сьогодні більшість наявних резервів залізничної інфраструктури фактично вичерпано. Подальше нарощування пропускної спроможності та впровадження швидкісного руху потребують не лише оновлення матеріально-технічної бази, а й переосмислення стратегічного курсу розвитку

галузі. Українським залізницям необхідно перейти на інноваційну модель модернізації, що передбачає широке впровадження технологічних змін.

2. Суміщений вантажний і пасажирський рух. В умовах обмеженої інфраструктурної пропускної здатності на окремих ділянках, одночасне курсування вантажних і пасажирських поїздів стримує розвиток швидкісного сполучення. Наявне перевантаження призводить до зниження ефективності обох видів перевезень. Одним із потенційних шляхів вирішення цієї проблеми є функціональне розмежування потоків [1].

Можливим варіантом вирішення цієї проблеми є відокремлення вантажного руху від пасажирського, впровадження ресурсозберігаючих технологій при розмежуванні вантажного й пасажирського руху. Відокремлення пасажирського руху від вантажного було запропоновано здійснити на залізницях України ще у 2007 р, але й до цього часу остаточно не вирішено.

3. Не реалізована в повному обсязі Програма електрифікації залізниць. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є реалізація Програми електрифікації залізниць України, що дозволить підвищити економічну ефективність залізничного транспорту, зменшити негативний вплив на навколишнє природне середовище, забезпечити високі соціальні стандарти транспортних послуг.

За довжиною мережі залізниць Україна посідає третє місце в Європі (19787 км залізниць, з яких 9 319 км електрифіковано). Рівень електрифікації залізниць України складає 47% колій, що менше, ніж, наприклад, в Австрії – 57% чи в Польщі – 62% [18].

Електрифікація дозволяє значно скоротити витрати на дороге дизельне паливо, спожите магістральними тепловозами. Оскільки Україна, в основному, його імпортує, то питання є подвійно актуальним.

Однак після значного прогресу в цій сфері в 1994-2012 роках, процес істотно сповільнився. З 2013 по 2023 роки планувалося в Україні електрифікувати близько 500 кілометрів залізничних ліній. Найбільші проєкти включають електрифікацію

ділянки Долинська – Миколаїв – Колосівка (184 км), яка планувалася до завершення у 2023 році.

Серед інших значних проєктів електрифікація ділянок:

– Ковель-Ізов-Державний кордон (94 км). Ця ділянка була електрифікована і завершена приблизно у зазначений термін 2016 рік. Це дозволило покращити транспортне сполучення з Польщею та оптимізувати вантажоперевезення;

– Ворожба-Суми (43 км) є важливою частиною транспортної мережі, що з'єднує центральні і північні регіони України;

– Житомир-Новоград-Волинський (87 км). Електрифікація цієї ділянки сприяє покращенню залізничного сполучення у Житомирській області.

Загалом, не всі заплановані проєкти електрифікації було реалізовано у зазначені терміни, що може бути пов'язано з економічними складнощами, війною на сході України та іншими зовнішніми факторами.

Здобувачка досліджувала умови, за яких раціонально впроваджувати електричну тягу замість тепловозної, а також ефективність заміни застарілих електровозів новими. Результати досліджень викладено в роботах [39 - 43].

Реалізація Програми дозволила б підвищити економічну ефективність залізничного транспорту, зменшити негативний вплив на навколишнє природне середовище, забезпечити високі соціальні стандарти транспортних послуг.

4. Знос рухомого складу. Стан інвентарного парку тягового рухомого складу на українських залізницях викликає серйозне занепокоєння, оскільки більшість локомотивів експлуатуються понад допустимі технічні строки. Близько 70% тягових одиниць було виготовлено понад три десятиліття тому, що значно перевищує рекомендований виробником строк служби. Особливо критичною є ситуація з магістральними електровозами: понад 73% з них вже експлуатуються понад встановлений 30-річний граничний термін.

Також спостерігається значне старіння пасажирського рухомого складу – понад третина пасажирських вагонів мають вік, що перевищує 28 років. Одночасно

з цим, розширення електрифікованих ділянок залізниць вимагає нарощування кількості електровозів, зокрема тих, що працюють на змінному струмі. Водночас в Україні повністю відсутні пасажирські електровози двосистемного типу зі швидкістю до 200 км/год, які є необхідною умовою для розвитку швидкісного руху на міжміських маршрутах.

За даними експертів, технічний стан тягового рухомого складу АТ «Укрзалізниця» наближається до критичного (див. рис. 1.4). Наприклад, рівень фізичного зносу електровозів становить близько 90% при середньому віці у 36 років. Ситуація з тепловозами ще складніша: зношення магістральних моделей досягає 99%, а маневрових – 96%. У середньому магістральні тепловози експлуатуються вже понад 24 роки, а маневрові – близько 29 років.

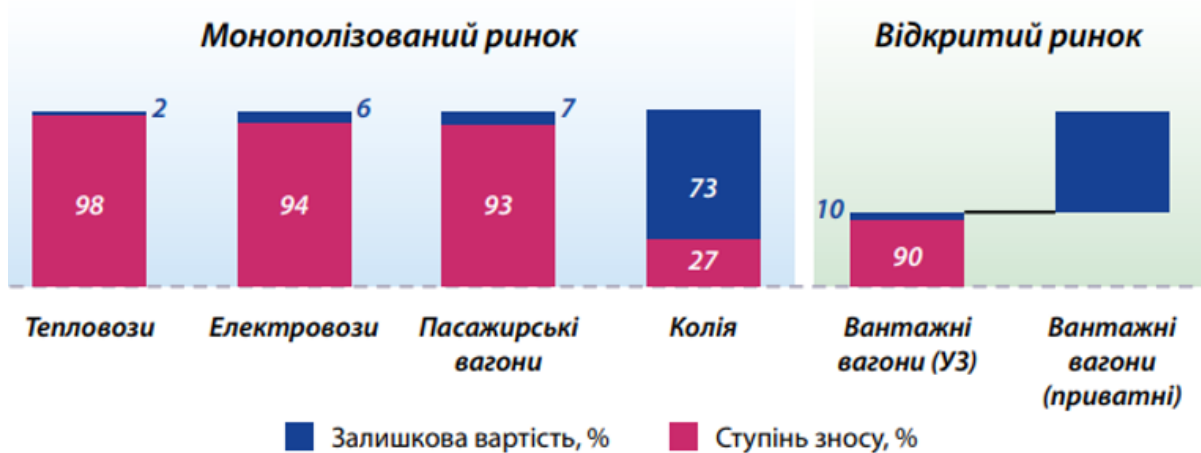


Рисунок 1.4 – Ступінь зносу рухомого складу й колії

Програмою оновлення локомотивного парку залізниць України планувалася повна заміна застарілих вантажних електровозів постійного струму ВЛ8 шляхом придбання нових сучасних електровозів 2ЕЛ4 та ВЛ11/М6, а також розробка пасажирського електровозу подвійного живлення для забезпечення пасажирських перевезень зі швидкістю до 160 км/год.

Для заміни електровозів ВЛ8 і ДЕ1 ВАТ ХК «Луганськтепловоз» поставив 6 магістральних вантажних електровозів постійного струму 2ЕЛ4 потужністю

6400 кВт і конструктивною швидкістю 120 км/год, а для заміни вантажних електровозів ВЛ80 виготовив і поставив 18 електровозів змінного струму 2ЕЛ5 потужністю тривалого режиму 6120 кВт і конструкційною швидкістю 120 км/год.

Крюковські вагонобудівники створили і поставили у 2013 р. міжрегіональні швидкісні двосистемні електропоїзди ЕКр1 «ТАРПАН» (160-200 км/год). Подальші замовлення від Укрзалізниці не поступали й оновлення рухомого складу за участю вітчизняних виробників не відбувається.

Отже, промисловість зможе бути рушієм прискорення економічного розвитку та якісних змін у структурі економіки лише після суттєвої модернізації, виправлення ситуації із зношеністю основних фондів на більше ніж 80 відсотків та впровадження новачій і переходу до виробництва конкурентоспроможних продуктів з високою часткою доданої вартості.

5. Не реалізована Програма високошвидкісного руху поїздів. Щоб вияснити, які повинні бути параметри плану лінії на високошвидкісній залізниці і як вони узгоджується з європейськими нормативами, необхідно продовжити дослідження з обґрунтування параметрів плану лінії при проектуванні високошвидкісної магістралі.

Складна ситуація в інноваційній та високотехнологічній сфері транспортного сектору України обумовлена низьким рівнем інвестування, обмеженим фінансуванням із державного та місцевих бюджетів, а також відсутністю ресурсів для навіть мінімального оновлення основних фондів. Дефіцит капіталовкладень спричинив інтенсивне старіння як рухомого складу, так і елементів транспортної інфраструктури. Це, своєю чергою, призвело до істотного відставання технічного й технологічного рівня українського транспорту від сучасних європейських стандартів. У цьому контексті перед АТ «Укрзалізниця» постають першочергові завдання щодо модернізації матеріально-технічної бази, впровадження новітніх технологій діагностики та обслуговування інфраструктурних об'єктів.

Про темпи і ефективності інноваційного розвитку Укрзалізниці можна судити

за такими ключовими показниками, як обсяг придбаних інноваційних технічних засобів, зростання продуктивності праці, енергоефективність перевізного процесу, а також за інноваційними науково-технічними розробками, які відповідають кращим світовим зразкам.

Світовий досвід свідчить, що без впровадження інновацій неможливий ефективний розвиток залізничного транспорту. Як правило, вони йдуть за такими напрямками, як поліпшення технічних характеристик рухомого складу та колії, контейнеризація вантажів, електрифікація та використання нових джерел енергії, впровадження швидкісного й високошвидкісного руху поїздів, комп'ютерні технології.

Серед першочергових завдань сучасного етапу розвитку транспортної системи України слід виокремити необхідність формування науково обґрунтованих теоретико-методологічних засад і практичних рішень, спрямованих на визначення технічної доцільності та можливостей створення високошвидкісних залізничних магістралей відповідно до європейських стандартів. Ураховуючи, що перехід на європейську ширину колії є довгостроковим процесом, вже нині він має розглядатися як стратегічний пріоритет. Для успішної реалізації цього курсу важливо активно залучати зовнішні інвестиції, зокрема від країн Європейського Союзу, які дедалі більше виявляють зацікавленість у включенні України до своєї економічної та логістичної системи [44].

1.3.2 Створення високошвидкісних магістралей в Україні за європейським стандартом (1435 мм)

Застосування інноваційних технологій дозволить створити високошвидкісні магістралі, які відповідають найвищим світовим стандартам, забезпечать комфорт та безпеку пасажирів, а також сприятимуть розвитку економіки країни.

Відповідно до положень Стратегії розвитку залізничного транспорту України, модернізація наявної інфраструктури та спорудження нових залізничних

ліній передбачені як дворівневий процес. Перший етап орієнтований на впровадження швидкісного залізничного сполучення між Києвом та ключовими обласними центрами. Наступний, другий етап передбачає створення повноцінної мережі високошвидкісних залізниць із техніко-експлуатаційними характеристиками, що дозволятимуть рух поїздів зі швидкістю до 300–350 км/год. Реалізація такого проєкту на території України, зокрема на напрямках Київ – Львів, Київ – Одеса, Київ – Харків та Київ – Дніпро, дозволить сформувати інтегровану систему швидкісного залізничного сполучення. Така мережа стане привабливою як для внутрішніх користувачів, так і для міжнародних пасажирів, що, своєю чергою, сприятиме зростанню обсягів транзитних перевезень на напрямках ЄС – Україна – країни Азії.

На основі проведеного аналізу перспективних завдань, подальшому дослідженню підлягають такі питання:

1. Впровадження в Україні швидкісного (161-200 км/год) руху поїздів, що пов'язано, перш за все, з реконструкцією колійної інфраструктури.

2. Прокладка нової траси європейської колії 1435 мм, яка за своїми параметрами може забезпечити реалізацію високошвидкісного (250-350 км/год) руху поїздів.

По першому питанню. Проведено дослідження наявності передумов щодо впровадження прискореного руху поїздів на напрямку Куми – Дніпро [45, 46]. Запропоновано алгоритм визначення об'ємів робіт для зняття обмежень швидкості, пов'язаних з планом лінії [47], наведена оцінка ефективності перебудови кривих для впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів [48], запропоновано методику визначення допустимих швидкостей руху поїздів на ділянках складного плану залізниці [49].

По другому питанню. За результатами проведених досліджень французькою фірмою «Sistra» довжина високошвидкісної мережі в Україні може скласти більше 3 тис. км. Будівництво нових ліній повинно здійснюватися за параметрами, що

забезпечать рух високошвидкісних експресів з розрахунковою швидкістю 300-350 км/год. Визначенню раціональних параметрів залізничних кривих для заданого рівня максимальної швидкості присвячена робота [50].

Щоб виявити, як параметри плану лінії на високошвидкісній залізниці узгоджується з європейськими нормативами, було проведено дослідження з обґрунтування мінімального радіуса кривих і довжини перехідних кривих при проектуванні високошвидкісної магістралі. Результати досліджень викладено в роботах: [51, 52].

Під час XX Міжнародного економічного форуму у Львові було повідомлено, що в Україні працюють над реалізацією проекту швидкісного сполучення між Києвом та Варшавою шириною колії 1435 мм. А на початку липня 2022 р. під час конференції в Лугано Укрзалізниця представила міжнародним інвесторам ідею побудови високошвидкісної магістралі (ВШМ) за маршрутом Київ – Варшава, яка має забезпечувати швидкість 250-350 км/год.

Висновки до розділу 1

Аналіз наукових джерел свідчить, що запропоновані дослідниками методики реконструкції залізничної інфраструктури мають значний практичний потенціал, однак їх ефективність зазвичай обмежується конкретними умовами експлуатації. У численних вітчизняних і зарубіжних дослідженнях зосереджено увагу на покращенні геометричних характеристик окремих кривих – зокрема, радіуса, перехідних ділянок, параметрів підвищення зовнішньої рейки. Проте питання комплексної оптимізації плану залізничної лінії в межах одного чи кількох перегонів залишається недостатньо опрацьованим.

Україна бере участь у кількох міжнародних рейтингах, які дають оцінку її інноваційному потенціалу та здатності до технологічного розвитку. Зокрема, рівень готовності країни до впровадження передових технологій відображено в Індексі готовності до проривних технологій (Frontier Technologies Readiness Index),

розробленому ЮНКТАД у 2021 році. Порівняльний аналіз стану інноваційної системи України у глобальному контексті засвідчує наявність потужного людського та наукового капіталу, що здатен генерувати інновації у формі ідей, розробок та патентів.

Однак на шляху до повноцінної реалізації інноваційного потенціалу стоять низка структурних бар'єрів. Серед ключових – недосконалість інституційного середовища, включно з політичними, нормативними та бізнес-інструментами. До цього додається недостатній рівень розвитку інфраструктури, зокрема інноваційної, що проявляється у низьких показниках інвестицій у капітал, екологічній нестабільності та обмеженому доступі до сучасних інформаційно-комунікаційних технологій.

З огляду на обмежені фінансові та інституційні можливості держави, пріоритетним напрямом має стати концентрація зусиль на підтримці фундаментальних і прикладних наукових досліджень, які становлять основу для формування інноваційного середовища. Поряд із цим важливо створити ефективну інфраструктуру, здатну забезпечити трансформацію наукових результатів у практичні розробки, що можуть бути комерціалізовані.

Використання інноваційних підходів у сфері створення швидкісної залізничної інфраструктури поступово набирає популярності в Україні. Така діяльність охоплює весь інноваційний цикл – від проведення наукових досліджень і проектно-конструкторських робіт до розробки спеціалізованої техніки та її практичного застосування під час будівництва та експлуатації сучасних залізничних ліній.

Основні матеріали першого розділу опубліковані в працях [4, 5, 13, 16, 24, 39-43, 45-49, 51,52].

2 ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЙ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СТАНДАРТУ ЯК СКЛАДОВА ІННОВАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

2.1 Основні вимоги до проектування високошвидкісної магістралі за європейським стандартом

2.1.1 Передісторія створення проєктів ВШМ в Україні

Перші кроки до реалізації ідеї високошвидкісного залізничного сполучення в Україні були здійснені ще у 2002 році, коли на замовлення АТ «Укрзалізниця» французька інжинірингова компанія «SYSTRA» підготувала техніко-економічне обґрунтування для створення мережі високошвидкісних залізниць. Згідно з проєктом, планувалося побудувати понад 3 тис. км нових залізничних ліній, які відповідали б вимогам щодо забезпечення руху поїздів зі швидкостями не менше 300–350 км/год [53].

Зазначені швидкісні параметри узгоджуються з міжнародною класифікацією ОСЗ, згідно з якою виділяють три категорії ліній: швидкісні – до 200-250 км/год (на нових або реконструйованих трасах), високошвидкісні – 250-300 км/год (на спеціально збудованих ділянках), та надшвидкісні – понад 300 км/год.

Вибір швидкості напряму пов'язаний з геометрією лінії, а саме – з мінімальним допустимим радіусом кривих. Цей параметр залежить не лише від проєктної швидкості, а й від типу поїздів: пасажирських чи вантажних, із допустимим статичним навантаженням на вісь – до 170 кН або 230 кН відповідно.

У країнах, де реалізовано високошвидкісний рух поїздів, нормативи мінімального радіусу кривих різняться (табл. 2.1).

У країнах із розвиненим ВШМ регулювання мінімального радіусу кривих має значні варіації. Як свідчать дані (табл. 2.1), на лініях, де обслуговуються виключно пасажирські перевезення, мінімальні радіуси можуть бути в 1,2–1,4 рази меншими, ніж на суміщених маршрутах із вантажними поїздами. Окремі країни поза Європейським Союзом – Японія, США, Південна Корея, Тайвань, Китай – мають

власні нормативи для ВШМ, які формувалися самостійно або за участі провідних країн (наприклад, вплив Франції на Корею, Японії – на Тайвань, багатостороння інтеграція в КНР).

Таблиця 2.1 – Мінімальні радіуси кривих у різних країнах

Параметри	Країни й максимальні швидкості руху поїздів, км/год									
	Франція		Німеччина			Італія		Іспанія		Бельгія
	300	350	300		350	300	350	300	350	300
Тип руху	Пас.	Пас.	Пас.-вант.	Пас.	Пас.	Пас.-вант.	Пас.-вант.	Пас.	Пас.	Пас.
Максимальна проєктна швидкість, км/год	300	350	300	300	350	300	350	270	350	320
Мінімальний радіус кривих для максимальної швидкості, м	4000	6250	4000	3350	5120	5450	7000	4000	6500	4800

Загалом, можна виокремити три основні моделі організації інфраструктури ВШМ:

- тип І: виділені високошвидкісні колії для пасажирського руху (Франція, Бельгія, Німеччина);
- тип ІІ: поєднання швидкісного й звичайного пасажирського руху (Іспанія, частково Бельгія та Нідерланди);
- тип ІІІ: змішані маршрути – швидкісний, звичайний пасажирський і вантажний рух (Італія, Німеччина, нові ділянки в Іспанії, Франції, Великій Британії).

У Німеччині, наприклад, суміщення різних типів перевезень реалізовано на таких ділянках, як: Ганновер – Вюрцбург (~327 км), Мангейм – Штутгарт (~99 км), Кельн – Рейн/Майн (~180 км). Тут пасажирські поїзди розвивають швидкість до 280 км/год, а вантажні – до 120 км/год.

Водночас у Франції, Іспанії та Великій Британії ВШМ здебільшого орієнтовані на пасажирські перевезення, а вантажний рух або повністю відсутній, або організований окремими маршрутами.

Будівництво високошвидкісних залізничних магістралей (ВШМ) в Україні є стратегічно важливим завданням для розвитку країни та її інтеграції з Європейським Союзом [4]. Стратегія транспортної інфраструктури ЄС, як визначено в Керівних принципах TEN-T [54], зосереджується на покращенні якості транспортної інфраструктури за рахунок нових інвестицій та ефективного використання існуючої інфраструктури з метою покращення доступності, мобільності й безпеки.

З 2000 року ЄС надав 23,7 мільярда євро спільного фінансування для підтримки інвестицій у високошвидкісну залізничну інфраструктуру. У теперішній час в Європі загальна довжина ВШМ складає на 2023 р. близько 15 тис. км з урахуванням того, що деякі лінії знаходяться в процесі будівництва або проектування. Метою ЄС було потроїти кількість кілометрів високошвидкісних залізничних ліній до 2030 року. В той же час Комісія відмічає, в Європі існує мережа національних високошвидкісних ліній, яка побудована без належної міждержавної координації: високошвидкісні лінії, що перетинають національні кордони, не входять до числа національних пріоритетів будівництва, навіть незважаючи на те, що були підписані міжнародні угоди та включено положення до Регламенту TEN-T, які вимагають коридорів основної мережі [55].

Серед актуальних завдань – розроблення науково-практичних підходів до оцінки можливостей будівництва ВШМ в Україні. У цьому напрямі діє спільна ініціатива Європейської комісії та Європейського інвестиційного банку, яка передбачає інтеграцію залізничних мереж України, Молдови та ЄС. Ключовим висновком стало обґрунтування доцільності створення нової інфраструктури колії 1435 мм, яка функціонуватиме паралельно з існуючою мережею 1520 мм. Ця нова мережа передбачає: по-перше, орієнтацію на швидкісні перевезення; по-друге,

етапний розвиток з західного напрямку на східний [56].

Важливими вузловими містами, звідки передбачено запуск міжнародних рейсів, визначено Київ, Львів, Харків та Одесу. Поїзди рухатимуться згідно з новим проектом зі швидкістю до 350 км/год, що значно скоротить час подорожей до столиці та міжрегіональних центрів [5].

Таким чином, розвиток високошвидкісного залізничного сполучення в Україні є не лише технічним викликом, а й ключовим фактором національної економічної модернізації. Подальше дослідження має зосередитися на визначенні оптимальних параметрів планування ВШМ – зокрема, мінімальних радіусів кривих, трасування маршруту та його інтеграції з європейською інфраструктурою.

2.1.2 Обґрунтування мінімального значення радіусу кривих на ВШМ типу I

Метою дослідження є визначення мінімального значення радіуса кругової кривої у плані залежно від рівня максимальної швидкості та типу високошвидкісної магістралі з урахуванням обсягів робіт. При розгляді ВШМ, призначених виключно для швидкісного руху, мінімальний радіус кривої R_{min} можна визначити з формули розрахунку підвищення зовнішньої рейки [57]

$$R_{min}^I = \frac{V_{max}^2}{3,6^2 \left([\alpha_{nn}^{nc}] + \frac{gh}{S} \right)} \quad (2.1)$$

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

α_{nn}^{nc} – непогашене прискорення для пасажирських поїздів ($0,4 \text{ м/с}^2$);

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

h – величина підвищення зовнішньої рейки, мм;

S – відстань між осями рейок відповідно 1500 мм для європейських залізниць та 1600 мм для українських залізниць.

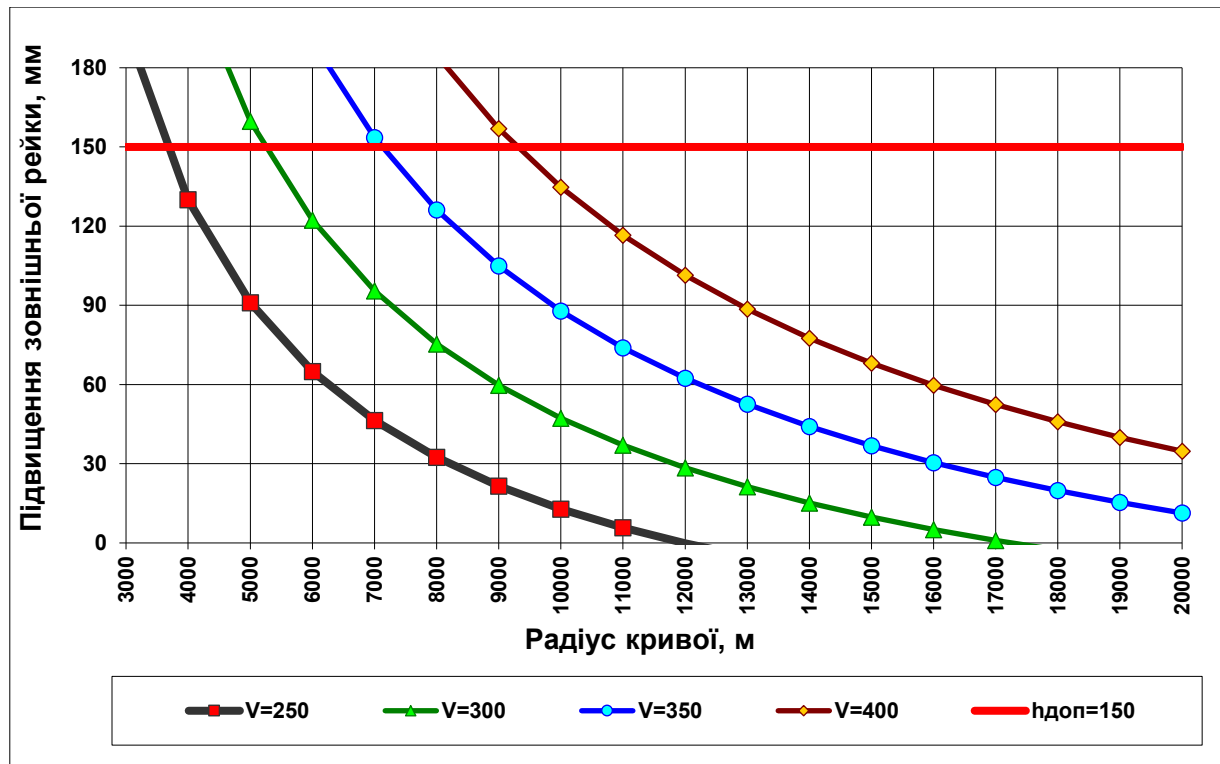


Рисунок 2.1 – Залежність підвищення зовнішньої рейки від радіусу кривої для максимальної швидкості 250-400 км/год (ВШМ тип I)

Графік на рисунку 2.1 відображає залежність величини підвищення зовнішньої рейки від радіуса кривої, побудований за формулою (2.1). На його основі визначено відповідні мінімальні значення радіусів кривих R_{min} , які наведено на рисунку 2.2.

У порівнянні з європейською практикою, зокрема французькою, де максимально допустиме підвищення зовнішньої рейки становить 180 мм незалежно від швидкості руху, в Україні діють жорсткіші обмеження: експлуатаційні норми обмежують цю величину до 150 мм, а при проєктуванні високошвидкісних ліній допускається використання підвищення не більше 140 мм.

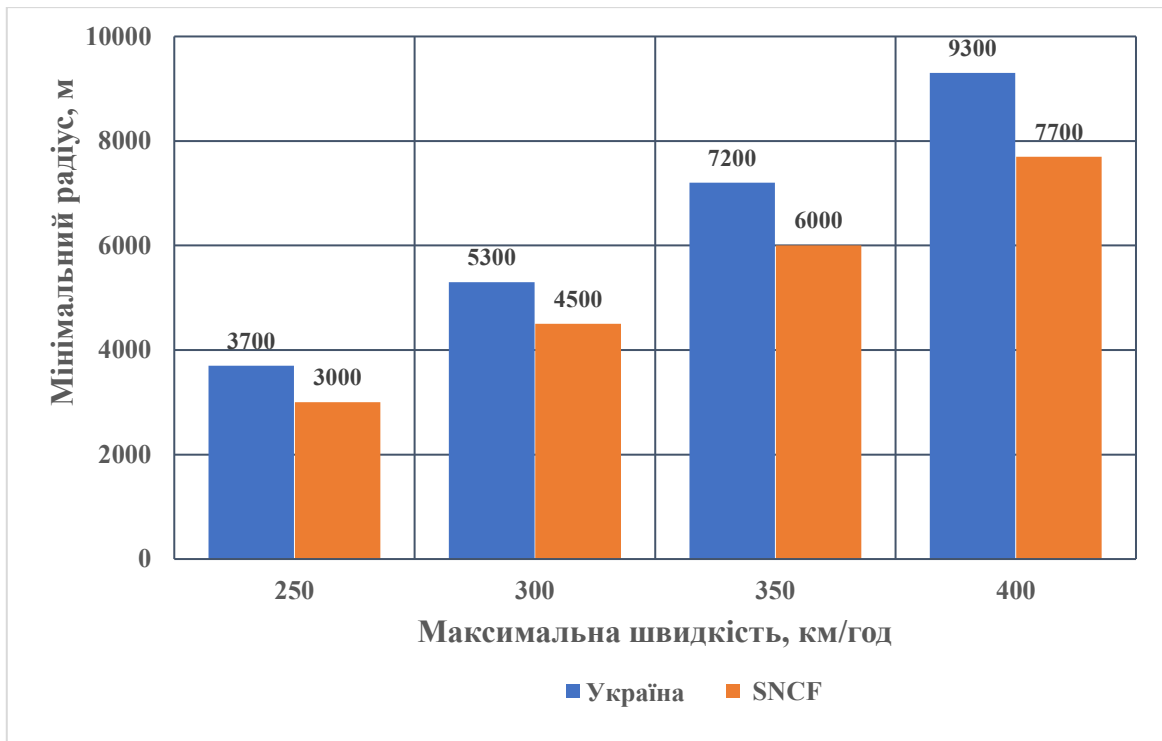


Рисунок 2.2 – Мінімальне значення радіусу кривих в Україні й SNCF
(ВШМ тип I)

2.1.3 Обґрунтування мінімального значення радіусу кривих на ВШМ типу II

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

$$h_{\min} \leq h \leq h_{\max} \quad (2.2)$$

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

де: $A = 11,8$ відповідно для європейських залізниць та $12,5$ для українських залізниць;

$h_{\min}$ – 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}^6 – непогашене прискорення для повільних вантажних поїздів ($-0,3 \text{ м/с}^2$);

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

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

При виконанні умови (2.2) мінімальний радіус кривої для поєднаного руху поїздів (ВШМ тип II) визначається із співвідношення

$$\frac{A \cdot V_{min}^2}{h - E} \leq R \leq \frac{A \cdot V_{max}^2}{h + I}, \quad (2.3)$$

де h – підвищення зовнішньої рейки в кривій, мм.

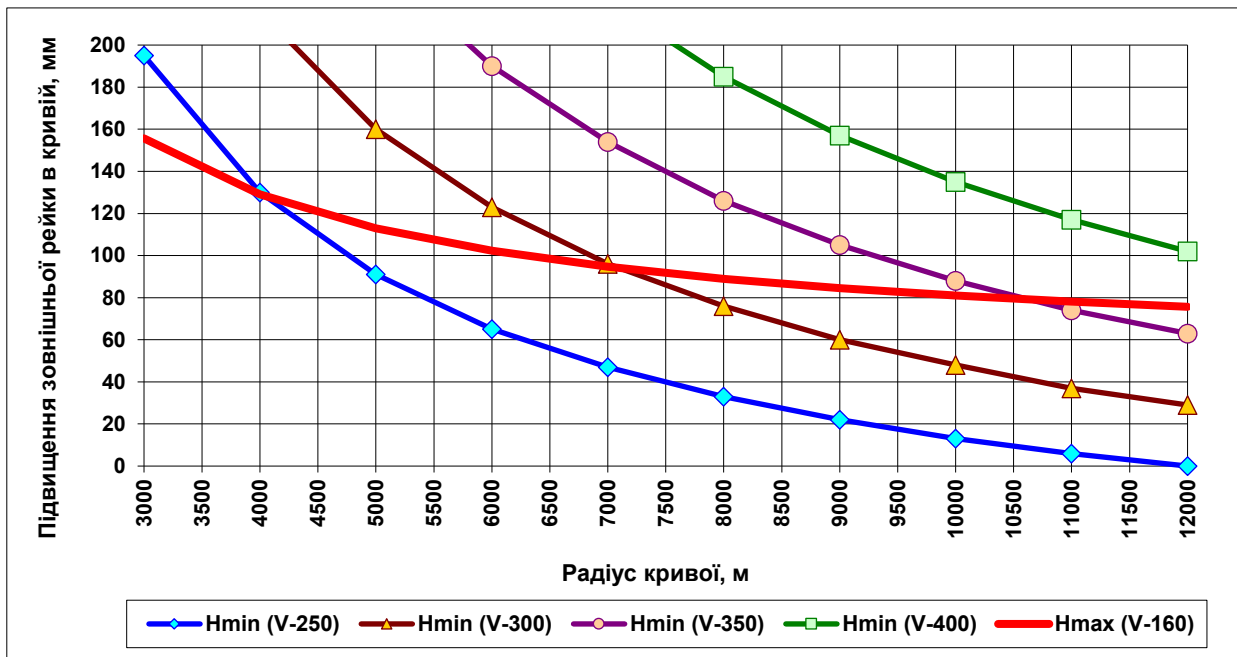


Рисунок 2.3 – Залежність підвищення зовнішньої рейки від радіусу кривої для максимальної швидкості 250-400 км/год (ВШМ тип II)

Для цього прикладу швидкість перспективних вантажних поїздів прийнята на рівні 160 км/год. У випадку, якщо реальна швидкість руху буде нижчою (наприклад, 120 або 140 км/год), це призведе до збільшення мінімального радіуса кривої, необхідного для забезпечення нормативного підвищення (рис 2.4). Такий підхід до прокладання траси залізничної лінії передбачає значне розширення фронту будівельних робіт, що, відповідно, спричинить зростання загальної вартості реалізації проєкту.

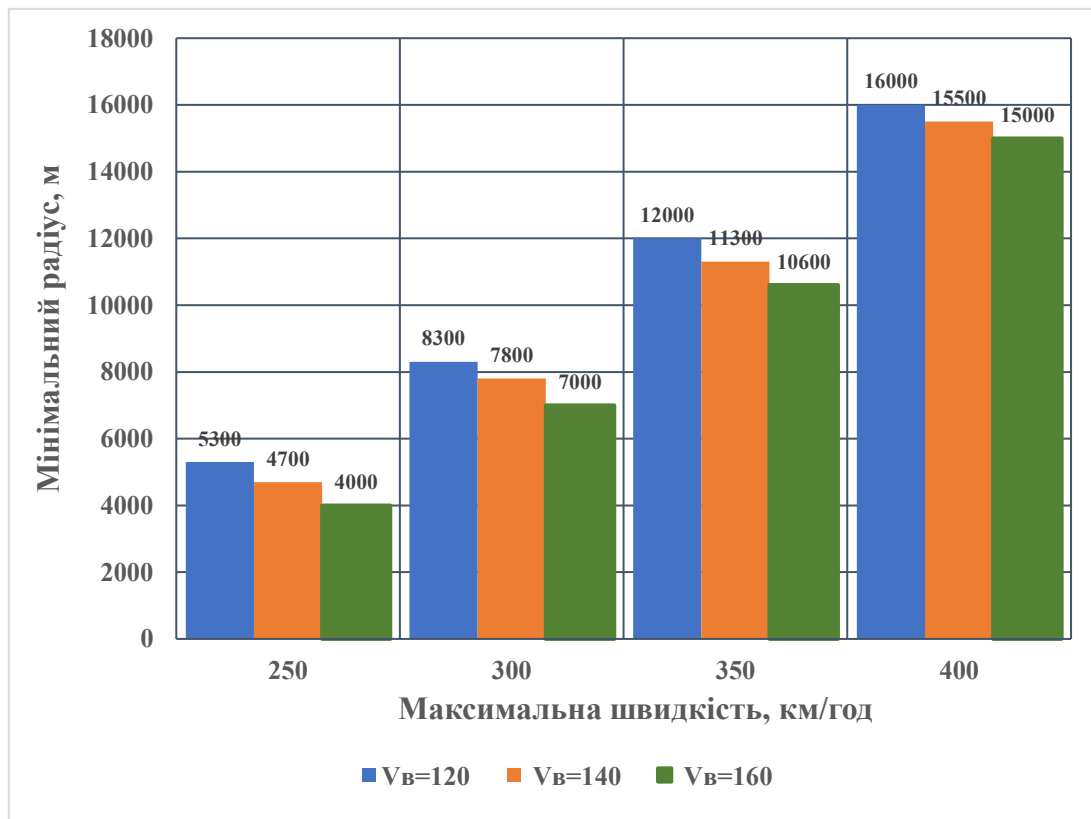


Рисунок 2.4 – Мінімальне значення радіусу кривих для максимальної швидкості пасажирських поїздів 250-400 км/год і вантажних – 120-160 км/год

З проведеного аналізу можна зробити висновок, що поєднання високошвидкісного та вантажного руху на одних і тих самих ділянках залізничної інфраструктури є технологічно недоцільним. Основною перешкодою є обмеження, які виникають при проєктуванні геометричних елементів колії, зокрема у кривих – через неможливість забезпечити оптимальне підвищення зовнішньої рейки без

перевищення нормативних значень дефіциту. У зв'язку з цим доцільно на маршрутах, де планується впровадження високошвидкісного руху, передбачити виключно пасажирське сполучення, що дозволить оптимізувати проєктні параметри та забезпечити належний рівень безпеки, комфорту та ефективності.

2.1.4 Визначення довжини перехідних кривих на напрямках впровадження швидкісного руху поїздів

Для запобігання проблем експлуатаційного і технічного характеру, пов'язаних з можливістю розладів верхньої будови колії, порушень плавності й комфортабельності їзди при впровадженні прискореного руху поїздів доцільна спеціалізація маршрутів пасажирських і вантажних перевезень з урахуванням внутрішніх і міжнародних потреб у перевезеннях [58].

За умовами стійкості, міцності і надійності експлуатації колії й комфортабельності їзди структуру поїздопотoku і розподілення в ній категорії поїздів слід призначати залежно від класифікації напрямків руху поїздів [59].

У зоні перехідних кривих швидкість руху поїздів обмежується допустимою швидкістю підйому колеса по відводу підвищення зовнішньої рейки f_v , непогашеним прискоренням $\alpha_{\text{нп}}$ і швидкістю його зміни в часі ψ . А довжина перехідної кривої встановлюється за умови забезпечення:

– відводу підвищення зовнішньої рейки, що визначається швидкістю підйому колеса по відводу зовнішньої рейки f_v за формулою (2.4) – умова 1;

$$l = \frac{h \cdot V_{\text{max}}}{3,6 \cdot [f_v]} \quad (2.4)$$

– відводу кривизни, що визначається швидкістю наростання поперечного непогашеного прискорення ψ за формулою (2.5) – умова 2

$$l = \frac{\alpha_{\text{нп}} \cdot V_{\text{max}}}{3,6 \cdot [\psi]} \quad (2.5).$$

Нормативні значення $[f_v]$ і $[\psi]$ приймаються за даними ДБН В2.3-2018.

Щоб розрахувати довжину перехідної кривої необхідно за формулою (2.6), встановити підвищення зовнішньої рейки. Для швидкісного суто пасажирського руху

$$h = \frac{S_1}{g} \left(\frac{V_{\max}^2 \text{ пас}}{3,6^2 \cdot R} - \alpha_{\text{нп доп}}^{\text{пас}} \right) \quad (2.6).$$

За формулою (2.6) підраховані мінімальні підвищення зовнішньої рейки, $h_{\min}$ в кривих для максимальної швидкості руху швидкісного пасажирського поїзда (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Мінімальні підвищення зовнішньої рейки в кривих
(ВШМ тип I)

Радіус, м	Підвищення зовнішньої рейки в кривих (мм) при максимальній швидкості руху (км/год)				
	161	170	180	190	200
1400	130	145			
1600	100	115	140		
1800	75	90	110	140	
2000	55	70	90	115	140
2200	40	50	70	90	115
2400	30	35	55	75	95
2600	20	25	45	60	80
2800	10	15	30	50	65
3000	0	5	20	35	55

Якщо мінімальне підвищення зовнішньої рейки $h_{\min}$ в кривих великих радіусів (див. табл. 2.2) дорівнює нулю, то довжина перехідної кривої все рівно влаштовується за необхідності відводу кривизни. Більше значення перехідної кривої з двох, отриманих за формулами (2.4) і (2.5), приймається як остаточне. Результати розрахунків для проведення наступного аналізу наведені в табл. 2.3 і на рис. 2.3.

Таблиця 2.3 – Довжина перехідних кривих за максимальною швидкістю руху пасажирського поїзда і радіусом кругової кривої (ВШМ тип I)

Радіус, м	Максимальна швидкості руху пасажирського поїзда, км/год				
	161	170	180	190	200
1400	170				
1600	120	170			
1800	90	130	180		
2000	70	100	150	200	
2200	50	80	120	160	
2400	50	60	90	130	180
2600	50	50	70	110	150
2800	50	50	60	80	120
3000	50	50	60	70	100

Проведене дослідження [60] показало, що орієнтація на встановлення довжини перехідної кривої за величиною розрахункового підвищення, яке розраховується через середньозважену швидкість для поїздопотоку не слід приймати на ділянках швидкісного руху.

Довжина перехідної кривої визначається швидкістю підйому колеса по відводу зовнішньої рейки f_v (умова 1) і швидкістю наростання поперечного непогашеного прискорення ψ (умова 2), а тому немає чіткої залежності між довжиною перехідної кривої і радіусом кривої.

При правильно встановлених параметрах перехідних кривих, які відповідають максимальній швидкості руху і радіусу кругової кривої, цілком забезпечуються міцність і надійність несучих елементів конструкцій верхньої будови колії і комфортабельність їзди.

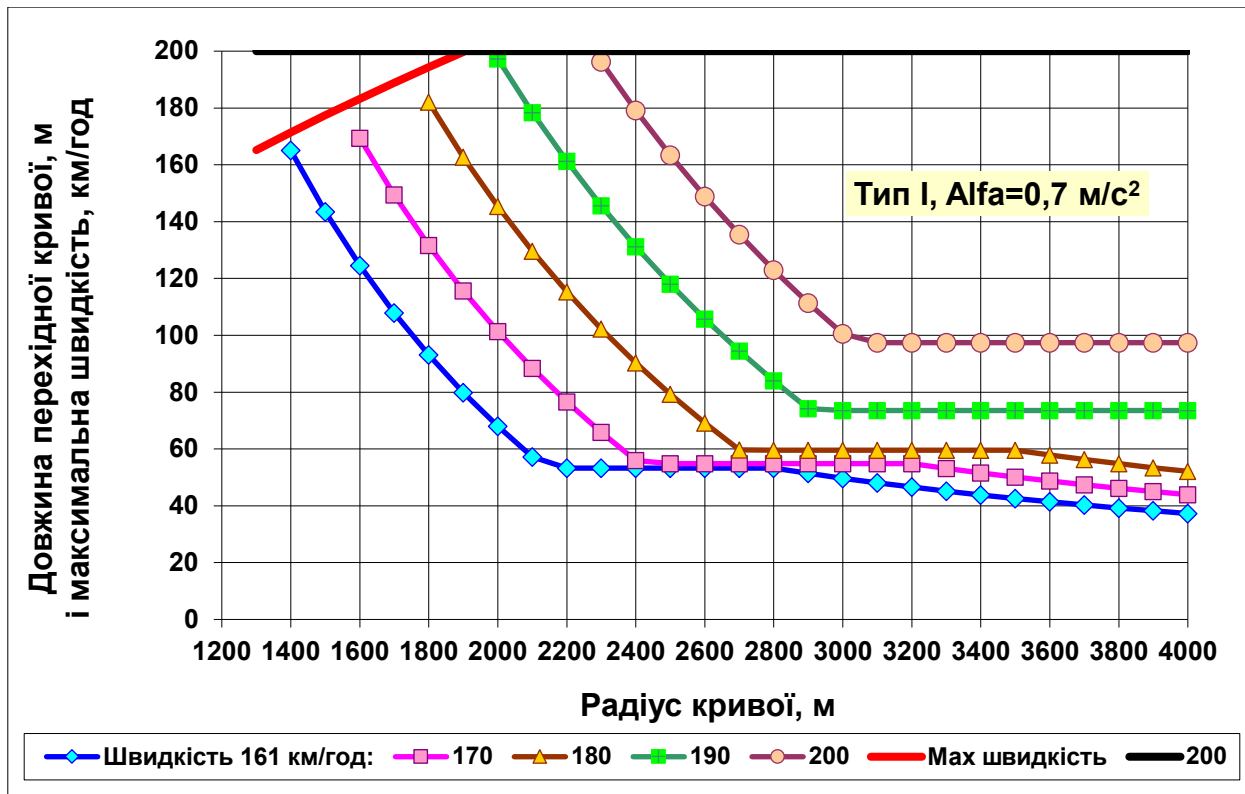


Рисунок 2.5 – Залежність довжини перехідної кривої від радіусу кривої і максимальної швидкості руху на напрямках суто пасажирського руху

2.2 Системний підхід до проєктування високошвидкісних магістралей в Україні на новій трасі

2.2.1 Будівництво ВШМ для інтеграції України з Європейським Союзом

Перед впровадженням швидкісного руху поїздів необхідно привести залізничну інфраструктуру до технічного стану, що гарантує безпечний і стабільний рух зі встановленими швидкостями. Це стосується не лише залізничної колії та рухомого складу, а й систем електропостачання, сигналізації, централізації, блокування (СЦБ), зв'язку та інших технічних засобів, що забезпечують функціонування залізничного транспорту [61].

Питання вибору маршрутів для високошвидкісних магістралей (ВШМ) в Україні доцільно розглядати на прикладі пілотних проєктів, які вже опрацьовувались у попередні роки. Для впровадження високошвидкісного

залізничного сполучення в Україні необхідний комплексний підхід, що охоплює: аналіз міжнародного досвіду, оцінку внутрішніх передумов до організації ВШМ, вибір моделі експлуатації, а також розроблення проєктної документації, зокрема нормативів до плану та поздовжнього профілю траси [53].

Відповідно до рішень, прийнятих на IV Всесвітньому форумі «EurailSpeed 2002», було скориговано стратегічні підходи до розвитку швидкісного руху в Україні. Як пріоритетний напрямок для реалізації першого етапу було обрано маршрут Київ – Полтава – Харків. Це підтверджено як попередніми, так і подальшими техніко-економічними обґрунтуваннями [62; 63].

Передпроектні опрацювання даного напрямку були здійснені Державним проєктно-вишукувальним інститутом «Київдіпротранс» [64]. Основними критеріями при визначенні траси виступали: мінімізація її загальної довжини, оптимізація техніко-експлуатаційних та будівельних характеристик (обмеження кількості кривих малих радіусів, мінімізація необхідності у великих штучних спорудах, скорочення обсягів земляних робіт), а також зниження впливу на довкілля та дотримання санітарно-екологічних вимог у зоні впливу ВШМ.

Прокладання траси здійснювалося з урахуванням складних топографічних умов і передбачало обхід населених пунктів, історичних об'єктів (наприклад, м. Полтава), великих водойм та інших природних і культурних бар'єрів. За підсумками проведеного аналізу було визначено найбільш раціональний варіант проходження лінії, який рекомендовано до подальшого проєктування [65] (рис. 2.6, позначено червоним кольором).

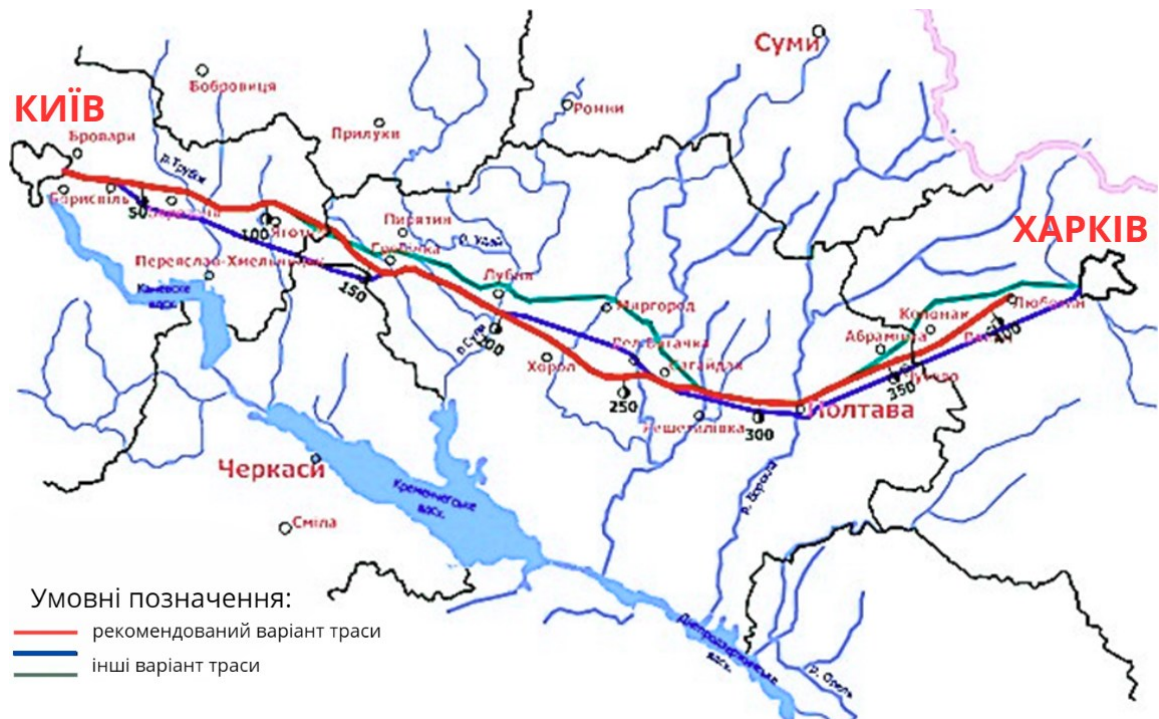


Рисунок 2.6 – Варіанти ВШМ Київ – Харків

Норми проектування високошвидкісної магістралі прийнято на основі чинних нормативних і директивних документів у галузі залізничного транспорту та рекомендацій: Європейських нормативних документів у галузі високошвидкісного залізничного транспорту; Європейських вимог щодо сумісності інфраструктури, затверджених Директивою 96/48/ЄС у редакції Директиви 2004/50/ЄС [66], а також інших нормативних документів [53, 64].

Високошвидкісна магістраль проектується двоколісною з шириною колії 1435 мм на максимальну (розрахункову) швидкість руху пасажирських поїздів до 350 км/год при статичному навантаженні на вісь не більше 170 кН. Інфраструктура ВШМ проектується з електричною тягою на змінному струмі за системою 2×25 кВ, 50 Гц.

Роздільні пункти (станції, обгінні пункти, диспетчерські пункти), їх розміщення, колійні схеми, технічне оснащення – найважливіші питання формування ВШМ, оскільки в значній мірі визначають рівень їх експлуатаційної життєдіяльності. Аналізуючи світовий досвід, можна виділити два підходи – японський і західноєвропейський. Японський варіант характеризується практично

повною ізольованістю колійних обладнань ВШМ від звичайних залізниць. Це викликало необхідність спорудження на всій ВШМ нових пасажирських станцій з повним комплексом обладнань. Для забезпечення зручностей пасажирам в пересадці з поїздів існуючої мережі на високошвидкісні, ці станції по можливості, суміщають на одній площадці зі станціями звичайних доріг. Західноєвропейський варіант передбачає використання існуючих станцій, як правило реконструйованих і розширених.

Так як в Україні розглядається варіант ВШМ європейського стандарту (1435 мм), а всі інші існуючі колії мають ширину 1520 мм, то рекомендується прийняти японський варіант з ізольованістю колійних обладнань ВШМ від звичайних залізниць.

Необхідно відмітити, що в країнах, які не входять до ЄС, але мають ВШМ: Японія, Південна Корея, Тайвань, США, КНР розроблені та діють свої нормативні бази, що забезпечують процеси розробки, проектування, будівництва, виробництва, експлуатації та обслуговування ВШМ, їх компонентів та пристроїв. У Японії та США ця нормативна база складалася в результаті самостійних розробок та у деяких питаннях має розбіжності з нормами ЄС. Південна Корея створювала ВШМ під великим впливом Франції, Тайвань – Японії, КНР успішно акумулювала та адаптувала до своїх умов досвід кількох провідних у галузі високошвидкісного залізничного руху країн.

Для оцінки ключових аспектів стратегічного планування для успішної інтеграції нової залізничної мережі 1435 мм в Україну, взаємодії її з існуючою 1520 мм та формування інтегрованої залізничної системи TEN-T в Україні використовуються різні методи: SWOT-аналізу, аналізу вартості-користі, ризик-аналізу, аналіз конкурентоспроможності та оцінки впливу на навколишнє середовище [66].

Для оцінки напрямків Варшава – Ковель – Київ і Варшава – Львів – Київ були використані SWOT-аналіз і аналіз «вартості-користі», що дозволило урахувати сильні й слабкі сторони для стратегічного планування та прийняття рішень [68], табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Методи аналізу, переваги й недоліки

Вид аналізу	Призначення	Можливість і	Сильні сторони	Слабкі сторони	Маршрут
1. SWOT-аналіз	Використовують для оцінки сильних (Strengths), слабких (Weaknesses) сторін, можливостей (Opportunities) та загроз (Threats) організації чи проєкту	Виявлення внутрішніх і зовнішніх чинників, що впливають на успіх проєкту; підтримка стратегічного планування та прийняття рішень	Високий попит на міжнародні перевезення, наявна інфраструктура	Обмежена кількість рухомого складу європейської колії; конкуренція з автобусними перевізниками	Запуск маршруту <i>Київ – Варшава через Ковель</i> , який має скоротити час подорожі між Україною та Польщею
2. Аналіз вартості-користі (Cost-Benefit Analysis, CBA)	Оцінює співвідношення витрат і вигод від проєкту для визначення його економічної доцільності	Вимірювання фінансової ефективності інвестицій; обґрунтування вибору між кількома проєктами	Скорочення часу подорожі, стимулювання бізнесу та туризму	Землевідведення, прокладання колій 1 435 мм, електрифікація	Будівництво високошвидкісної магістралі <i>Київ – Львів – Варшава</i>

Використання наведених в табл. 2.4 методи аналізу для комплексного дослідження проєктів дають змогу підвищити ефективність планування та мінімізувати ризики в разі досягнення стратегічних цілей. Кількісна оцінка методів аналізу є важливим етапом для вибору найкращого підходу в процесі ухвалення рішень щодо перебудови залізниць України на європейський стандарт (1 435 мм).

2.2.2 Застосування системи автоматизованого проєктування (САПР)

Для проєктування високошвидкісної магістралі було використано програмне забезпечення AutoCAD Civil 3D, що базується на технології інформаційного

моделювання будівель (BIM). Цей програмний продукт призначений для фахівців у галузі проектування транспортної інфраструктури, землеустрою та гідротехнічних споруд. Розробником AutoCAD Civil 3D є американська компанія Autodesk, Inc. [68]. Функціональні можливості середовища AutoCAD Civil 3D забезпечують створення детальних, інформаційно насичених проєктів за рахунок високої продуктивності платформи та широкого спектра інструментів користувача.

Цифрову модель місцевості (ЦММ), необхідну для прокладання траси, було сформовано на основі супутникових знімків. Для попереднього визначення меж проєктної ділянки використовувалося програмне забезпечення Google Earth, яке забезпечує доступ до супутникових зображень поверхні Землі [69].

Під час пошуку необхідної території для розташування ВШМ вводилися координати початкового та кінцевого пунктів траси, що проєктується. Це дозволяло оперативно визначити географічне положення потенційної ділянки будівництва, оцінити рельєф місцевості, наявність природних та техногенних перешкод, а також можливість інтеграції нової лінії в існуючу транспортну інфраструктуру. Як приклад, у роботі розглянуто два фрагменти високошвидкісної магістралі: Львів – Тернопіль і Тернопіль – Шепетівка, що демонструють різні інженерно-географічні умови проєктування (рис. 2.7, 2.8). Для кожної з ділянок була проведена попередня оцінка придатності території для прокладання ВШМ з урахуванням основних технічних вимог до плану та профілю лінії.

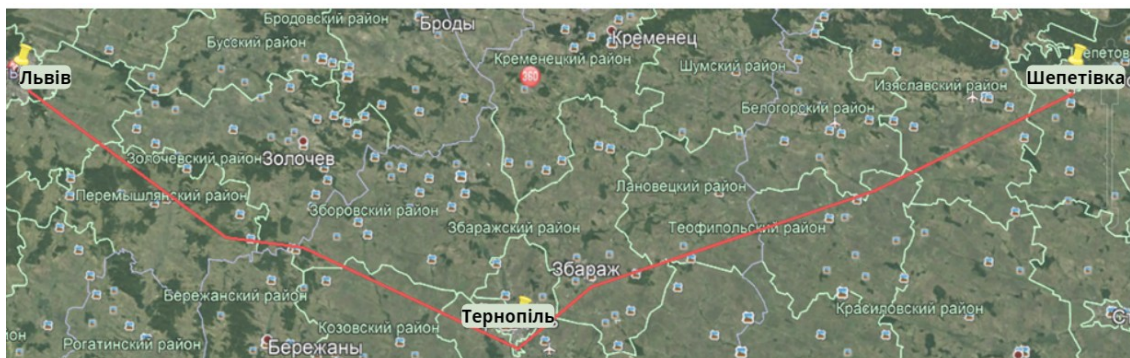


Рисунок 2.7 – План ділянки місцевості Львів – Тернопіль – Шепетівка

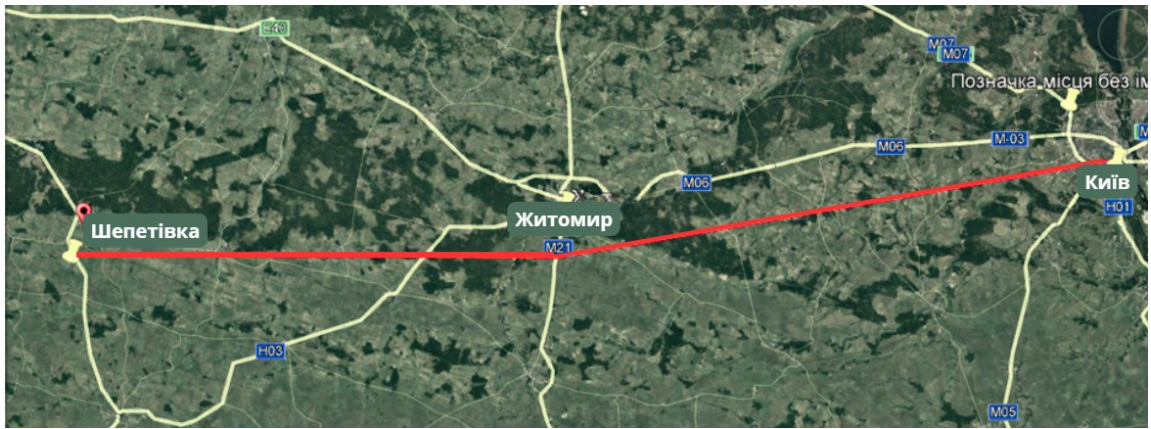


Рисунок 2.8 – План ділянки місцевості Шепетівка – Житомир – Київ

На подальшому етапі здійснюється імпортування рельєфної поверхні вибраної ділянки з Google Earth до середовища AutoCAD Civil 3D. Цей процес є особливо актуальним у випадках, коли відсутні дані детальної топографічної зйомки, а необхідно отримати орієнтовне уявлення про рельєф місцевості для попереднього опрацювання проєкту.

AutoCAD Civil 3D дозволяє імпортувати цифрову модель рельєфу разом із растровим супутниковим зображенням місцевості, що забезпечує візуалізацію просторових умов на місцевості та полегшує аналіз інженерно-географічного середовища. Імпортовані дані, що включають супутникову зйомку, цифрову модель рельєфу та векторизовану ситуацію, формують базову основу для побудови інфраструктурних проєктів, зокрема при проєктуванні нових ліній високошвидкісних магістралей.

У середовищі Civil 3D для створення цифрової моделі рельєфу застосовується нерегулярна триангуляційна мережа (TIN – Triangulated Irregular Network), яка формується на основі вхідних даних про горизонталі, окремі характерні точки місцевості та структурні лінії (водотоки, гребені, укоси тощо). Сформована TIN-модель місцевості слугує вихідною основою для проєктування плану траси (рис. 2.9), що дає змогу врахувати особливості рельєфу та оптимізувати її просторове розміщення.



Рисунок 2.9 – Візуальне представлення місцевості

2.2.3 Вибір варіантів положення траси високошвидкісної магістралі

Траса високошвидкісної магістралі, як правило, прокладається за найкоротшим можливим напрямком. Відхилення від прямої лінії допускаються лише в умовах складного рельєфу місцевості, а також для обходу густонаселених районів, великих водойм, заповідних територій чи інших природних і техногенних перешкод. При цьому під час проєктування надається перевага використанню існуючих інфраструктурних коридорів, таких як лінії електропередач (ЛЕП), газо- і нафтопроводи, що дозволяє зменшити обсяг підготовчих і будівельних робіт.

На вибір принципового положення траси майбутньої високошвидкісної залізничної лінії впливає сукупність соціально-економічних, природних, інженерно-технічних та організаційних чинників. Багато з них тісно взаємопов'язані між собою, тому процес вибору траси потребує комплексного аналізу. Зокрема, важливу роль відіграють щільність населення, перспективи розвитку регіону, транспортні потоки, топографічні особливості, а також вартість будівництва і подальшої експлуатації.

Головна мета будівництва нової високошвидкісної залізничної лінії полягає в забезпеченні ефективних пасажирських перевезень між великими містами та

агломераціями з мінімальними витратами часу для пасажирів. Включення великих населених пунктів до маршруту магістралі значною мірою впливає на обсяги перевезень і потенційні доходи від експлуатації. Водночас щільна забудова проміжних міст, наявність інженерних мереж та складна структура вулично-дорожньої мережі часто унеможливають прокладання колії через центральні частини міст, що зумовлює необхідність винесення траси за межі міської території.

Як приклад, у роботі розглянуто фрагменти високошвидкісної магістралі Львів – Тернопіль і Тернопіль – Шепетівка, які проходять через території з різними географічними та урбаністичними умовами (рис. 2.10, 2.11).

Як було вище зазначено, раціональний варіант для подальших розробок знаходиться за результатами техніко-економічного порівняння. У сучасних умовах слід застосовувати системний підхід, який передбачає знаходження оптимального положення траси.

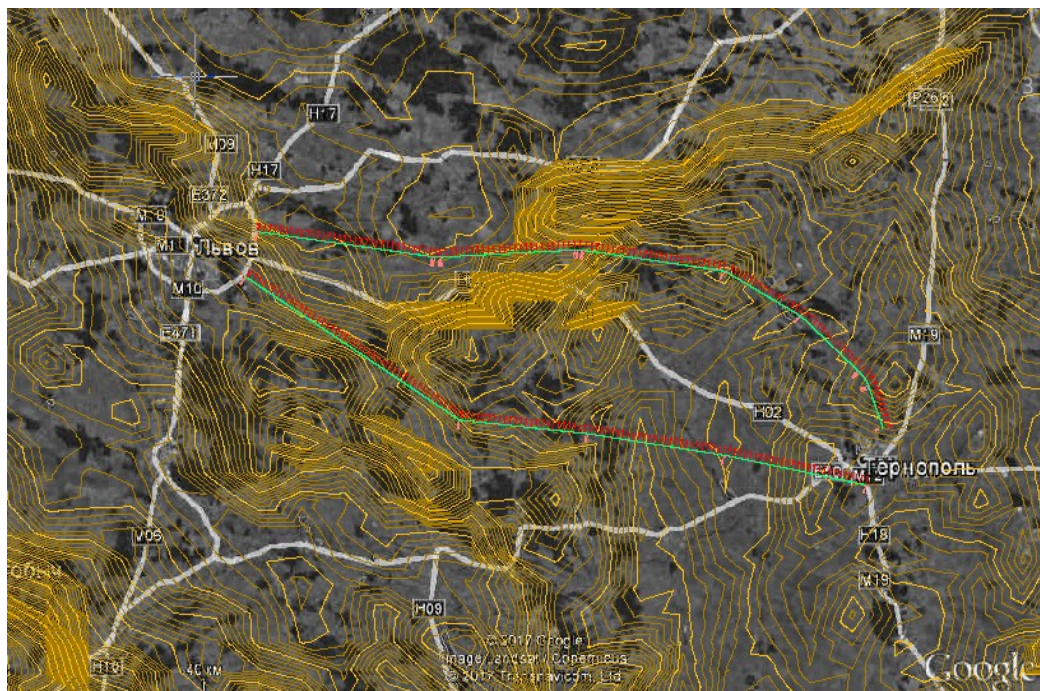


Рисунок 2.10 – Варіант ділянки високошвидкісної магістралі
Львів – Тернопіль

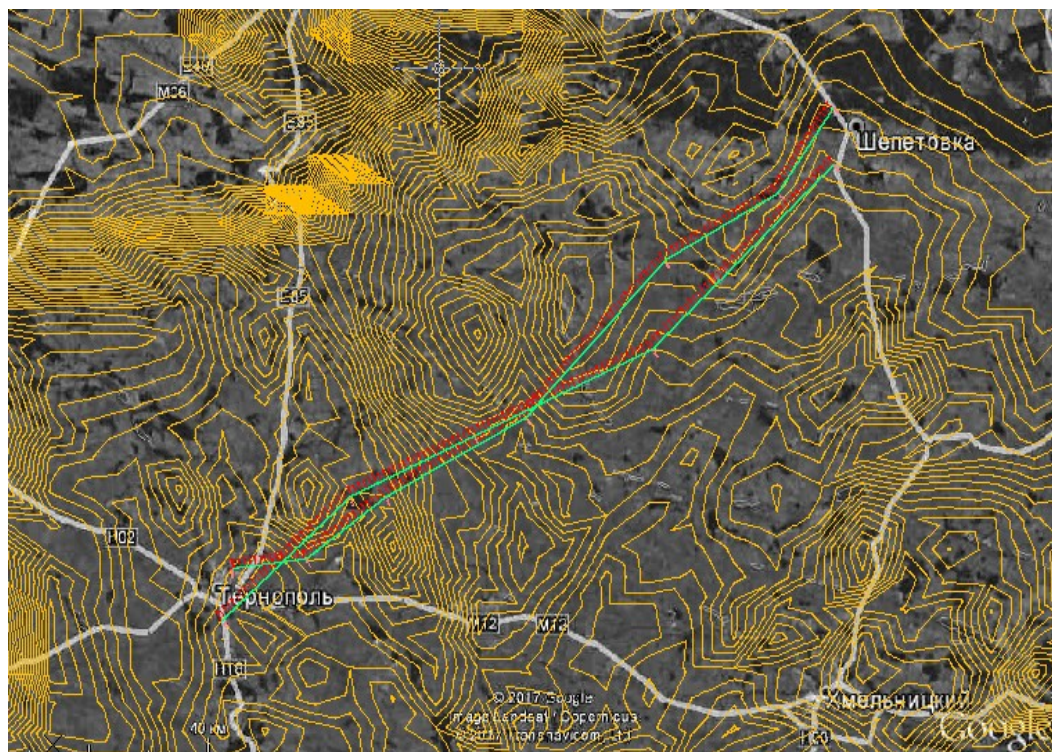


Рисунок 2.11 – Варіант ділянки високошвидкісної магістралі
Тернопіль – Шепетівка

2.2.4 Метод встановлення оптимальної траси ВШМ

Проблема встановлення оптимальної траси, досить близької до оптимального варіанта, виникла одночасно з появою залізниць. Десятиліттями вироблялися прийоми трасування, що дозволяють одержувати трасу, допустиму за технічними обмеженнями, яка не має свідомо нераціональних проєктувань.

Розроблені закордоном системи автоматизації проєктних робіт автоматично виконують операції, пов'язані з оцінкою проєктних рішень і з обробкою інформації [70, 71] і лише в деяких випадках роблять розрахунки з оптимізації поздовжнього профілю методом спрямованого пошуку [72] чи градієнтним методом [73]. Ефективність таких систем забезпечується значною кількістю периферійних пристроїв, високою швидкістю і великим обсягом оперативної пам'яті. Призначення і корегування варіантів виконується досвідченим інженером-проєктувальником. Незважаючи на високу вартість таких систем, їхнє застосування

економічно виправдане.

Наведений короткий огляд показує, що задача автоматичного проєктування оптимальної траси ще не має остаточного розв'язку. Необхідні подальші розробки зі створення машинно-орієнтованих методів, що допускають програмну реалізацію на сучасних ЕОМ. Так в роботі [74] запропоновано застосування методів випадкового пошуку в САПР. Алгоритми, створені на основі випадкового пошуку, надають можливість знаходити оптимальні розв'язки для складних багатовимірних інженерних об'єктів. Концепція випадкового пошуку була висунута Л. А. Растрігіним у 1959 р. на основі ідей британського дослідника в галузі штучного інтелекту В.Р. Ешбі. Подальша розробка цього методу проходила в Інституті електроніки й обчислювальної техніки Академії наук Латвійської РСР [75,76]. У 1969 р. вперше був опублікований збірник алгоритмів і програм для розрахунків методом випадкового пошуку [77]. Він відрізняється від регулярних (детермінованих) методів оптимізації навмисним введенням у пошук елементів випадковості і є прямим розвитком методу спроб і помилок. Одним із проявів ефективного випадкового пошуку в природі є закони еволюції.

У загальному випадку процедура пошуку описується виразом

$$X_{i+1} = X_i^* + a\Delta X_{i+1},$$

де X_{i+1} – вектор, що описує об'єкт на $(i+1)$ -м кроці пошуку;

X_i^* – найкращий вектор на i -му кроці;

a – масштаб пошуку;

ΔX_{i+1} – випадковий ізотропний одиничний вектор.

Основні відмінності різних алгоритмів випадкового пошуку полягають у виборі масштабу пошуку й алгоритмі вироблення вектора ΔX_{i+1} . У деяких задачах доцільним є введення самонавчання, тобто перебудови імовірнісних властивостей пошуку при виборі напрямку робочого кроку, який перестає бути ізотропним.

Оскільки для інженерних задач знаходження абсолютного екстремуму є

надзвичайно складним завданням, тут і надалі під оптимальним мається на увазі розв'язок, що має значення критерію, досить близьке до мінімально можливого.

Відшукування оптимальної траси проводиться на обмеженій ділянці довжиною, як правило в перегін, орієнтований обрис якого встановлений в результаті ескізного проєктування. Підходи ліворуч і праворуч від ділянки, що оптимізується, зафіксовані. Зважаючи на те, що визначення місця розташування великих штучних споруд є складним самостійним завданням, ділянки оптимізації призначаються таким чином, щоб вони не містили цих споруд.

Описуючи місцевість, за основу приймають ЦММ, на якій крім ліній ГМВК (надалі будемо називати їх основними шкалами), вводяться допоміжні шкали, що служать для точнішого відображення рельєфу місцевості (рис. 2.9). Отримана система шкал [78] досить повно відображає структуру рельєфу в зоні пошуку і полегшує процес оптимізації.

На шкалах наносяться точки, координати яких служать цифровою моделлю місцевості. Точки на шкалах розташовуються на відстані 100...500 м у залежності від складності ділянки і стадії проєктування. Відстань між шкалами приймається близькою до найменшої довжини розділових площадок, що рекомендується нормами.

Варіант траси для прийнятої ЦММ задається у вигляді вектора

$$N = (n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_{m-1}, n_m),$$

розмірність якого дорівнює числу основних шкал (m). Компонентами вектора є номери точок на основних шкалах (n_i), у яких розташовуються вершини кутів повороту для даного варіанта траси. Наприклад, якщо варіант траси для ЦММ, наведеної на рис. 2.12, заданий вектором $N = (3, 3, 2, 4, 2, 3, 3)$, то це означає, що вершини кутів повороту будуть розташовуватися в таких точках: перша основна шкала – точка 3; друга – 3; третя – 2; четверта – 4; п'ята – 2; шоста – 3 і сьома основна шкала – точка 3.

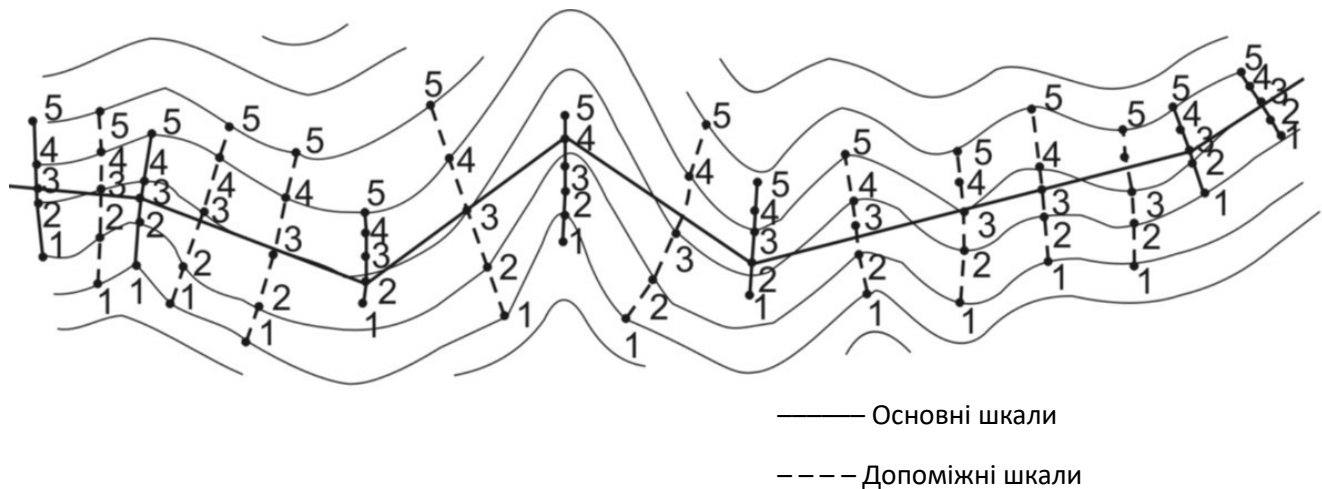


Рисунок 2.12 – Варіант траси для ЦММ

Слід зауважити, що збільшення кількості шкал позначається на швидкодії оптимізації більшою мірою, ніж збільшення кількості точок на шкалі. Масштаб карт не має принципового значення і вибирається відповідно до стадії проєктування. Цифрова модель місцевості може будуватися і за іншими джерелами інформації (аерофотозйомки, геодезична зйомка), але в дослідженні це питання не розглядалося.

Як критерій оптимізації використовуються приведені будівельно-експлуатаційні витрати [79]. Прийнятий метод оптимізації дозволяє робити розрахунок приведених витрат алгоритмічно з необхідною точністю і деталізацією, що дає можливість використовувати його на різних стадіях проєктування і для розв'язання різноманітних проєктних задач, пов'язаних із трасуванням [74].

Вивчення і критичний аналіз літератури з питань оптимізації траси показали, що найбільш ефективними для розв'язання даної задачі є крокові алгоритми, що дозволяють робити розрахунок критерію і перевірку обмежень алгоритмічно. З відомих крокових алгоритмів для розв'язання задачі оптимізації траси доцільно застосовувати алгоритми випадкового пошуку, що при алгоритмічному розрахунку критерію перевершують за швидкістю градієнтні методи. Розроблені модифікації цих алгоритмів дозволяють відшукувати розв'язання достатньо близьке до

оптимального при складному рельєфі критерію якості (багатоекстремальність, наявність замкнутих допустимих областей, «яровість» та ін.) і за наявності складних обмежень.

З погляду нелінійного програмування задача оптимізації траси може бути записана в такий спосіб. Об'єкт (траса), що оптимізується, описується вектором N , розмірність якого дорівнює кількості основних шкал. Компонентами вектора є точки на основних шкалах, у яких розташовуються вершини кутів повороту. Ці компоненти змінюються дискретно в гіперпаралелепіпеді, на вектор накладаються обмеження, що виражаються параметрично або алгоритмічно. Для кожного допустимого вектора визначений алгоритм розрахунку критерію якості (приведених витрат), який передбачає знаходження поздовжнього профілю, близького до оптимального. Необхідно знайти такий вектор N , для якого значення критерію буде близьке до оптимального.

Метод випадкового пошуку не накладає обмежень на спосіб розрахунку показника оптимізації. За необхідності розрахунок показника може виконуватися з будь-яким ступенем деталізації.

Оскільки використання досвіду інженера-проектувальника дозволяє прискорити процес оптимізації, то у дослідженні прийнято, що початкові варіанти задаються проектувальником.

Роботу алгоритму оптимізації траси з урахуванням уведених доповнень можна подати в такий спосіб [74].

Розрахунки рекомендується виконувати в три етапи.

Підготовчий етап. Проекувальник намічає лінії геометричного місця вершин кутів повороту та смугу трасування, формує ЦММ, вказує два початкові варіанти траси та необхідну для розрахунку приведених витрат інформацію.

Основний етап. Оператор ЕОМ вводить інформацію в пам'ять машини і здійснює розрахунок. В результаті виходять кілька близьких за критерієм варіантів траси, що вказують на околицю глобального мінімуму.

Заключний етап. Аналізуючи результати з урахуванням неформалізованих вимог, проєктувальник вказує остаточний варіант траси, для якої за даними ЕОМ викреслюється план і поздовжній профіль.

Як приклад розглянемо автоматичне проєктування оптимальної траси ділянки AD (рис. 2.13), де зафіксовані прямі підходи AB і CD.

При аналізі ділянки AD було встановлено, що вершини кутів повороту на прямих підходах можуть встановлюватися в точках В і С. На ділянці можлива наявність ще двох кривих. Геометричні місця розташування вершин кутів повороту (ГМВУ) цих кривих показано на рис. 2.14.

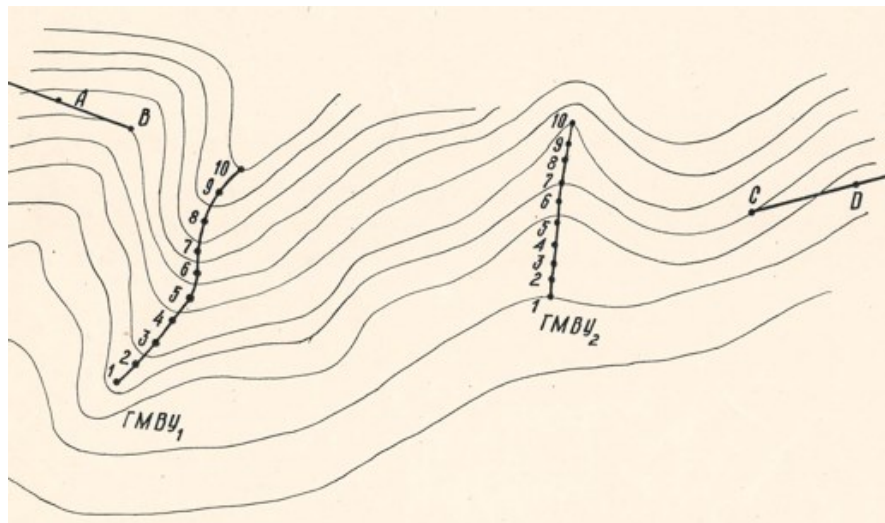


Рисунок 2.13 – Геометричні місця розташування вершин кутів повороту (ГМВУ) кривих

Крайні можливі положення вершин кутів повороту цих кривих з деяким запасом встановлені в точках І і 10. У проміжку між ними нанесена решта точок. Десять точок на лініях ГМВУ забезпечують знаходження контуру траси з необхідною точністю.

Основними шкалами для даної ділянки будуть лінії ГМВУ₁ і ГМВУ₂, також лінії, що проходять через точки А, В, С і D. Допоміжні шкали наносяться таким чином, щоб вони відображали зміни поверхні землі вздовж смуги проєктування.

Відстань між шкалами вибирається з таких міркувань. На ділянках, де поздовжній профіль проектуватиметься приблизно одноманітним ухилом, ця відстань може бути відносно великою. У разі прикладу цю відстань прийнято 400-600 м. У місцях, де передбачаються переломи профілю, відстань між шкалами слід зменшити до 200-300 м, що дозволить більш точно запроектувати поздовжній профіль.

На всіх шкалах наноситься по 10 точок на перетинах з горизонталями та інших характерних місцях. Отримана система шкал представлена рис. 2.14.

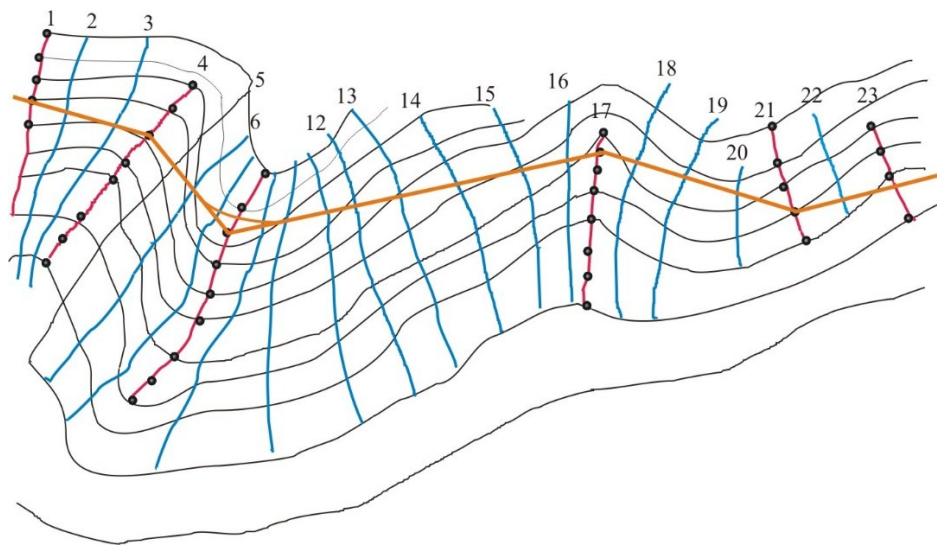


Рисунок 2.14 – Система шкал: основні та допоміжні

Шкали I, 4, 8, 17, 21 та 23 віднесені до основних, а 2, 3, 5-7, 9-16, 18-20 та 22 – до допоміжних. Цифрова модель території представлена системою точок на шкалах.

Для кожної шкали встановлено максимальне значення різниці ухилів. Для шкал з 6-ї по 10-ю ця різниця дорівнює 5‰, а для інших - 8‰.

Для умов прикладу було отримано апроксимуючі залежності $F(L)$, $E(t)$ і $K(h)$ за методикою, викладеною в [74], де $F(L)$ – формула, що дозволяє визначати вартість одного погонного метра земляного полотна з урахуванням вартості землі, що зайнята тілом земляного полотна; $E(t)$ – витрати на рух поїздів; $K(h)$ – вартість

штучних споруд в залежності від висоти насипу.

Водопрпускні споруди передбачалися на 8-й і 19 шкалах, вартість яких визначалася залежно від висоти насипу. Так як пошук оптимальної траси проводиться за двома шкалами (8-ма і 17-та), то можливо 100 варіантів.

Впровадження методу здійснено у проектному інституті «Дніпродіпротранс». Для однієї із запроєктованих залізничних ліній виконані перевірочні розрахунки за пропонованим методом.

Основний ефект при впровадженні методу полягає у скороченні термінів проектування з одночасним підвищенням якості трасування. Заощаджені терміни при проектуванні дозволяють проектувальникам опрацювати більшу кількість ділянок.

Було виконано розрахунки для кількох ділянок, запроєктованих типовими методами. На рис. 2.15 наведено приклад варіантів траси, для типового та оптимізованого проектування.

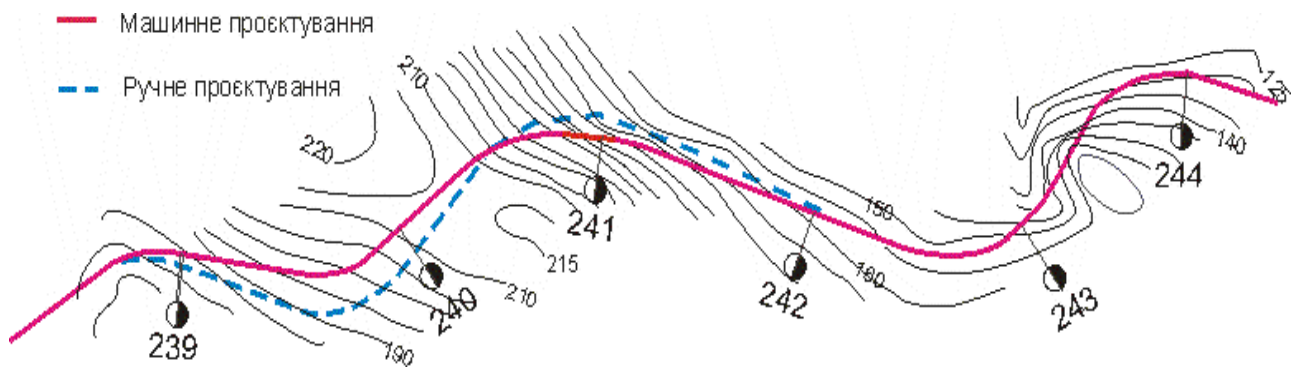


Рисунок 2.15 – Варіанти трас при типовому та оптимізованому проектуванні

Застосування запропонованого методу [79] дозволило значно скоротити вартість земляних робіт, зменшити довжину лінії, знизити до 10 % приведені витрати та уникнути нераціональних проектувань.

2.3 Спеціалізація залізничних напрямків як складова інноваційної діяльності

Спеціалізація залізничних напрямків, що передбачає відокремлення пасажирського руху від вантажного з переключенням на паралельний хід, безумовно, може розглядатися як інноваційна діяльність. Хоча ідея розділення пасажирського та вантажного руху не є зовсім новою, її впровадження на конкретних ділянках залізничної мережі з урахуванням сучасних технологій та потреб ринку може розглядатися як інновація. Це можна пояснити наступним:

- розділення потоків пасажирських та вантажних поїздів дозволяє оптимізувати графіки руху, зменшити час простою на станціях та збільшити кількість поїздів на лінії;
- спеціалізація дозволяє використовувати різні типи рухомого складу та інфраструктури для пасажирських та вантажних перевезень, що знижує експлуатаційні витрати;
- відсутність взаємного впливу пасажирських та вантажних поїздів підвищує передбачуваність руху та зменшує затримки;
- розділення потоків руху знижує ризик аварійних ситуацій, а відсутність вантажних поїздів на пасажирських лініях підвищує комфортність подорожей;
- спеціалізація залізничних напрямків сприяє залученню інвестицій в розвиток залізничного транспорту та дозволяє фокусуватися на специфічних потребах пасажирів та вантажовласників;
- спеціалізація може сприяти більш ефективному використанню енергії та зменшенню викидів шкідливих речовин.

Наведемо конкретні приклади реалізації спеціалізації залізничних напрямків у світі.

1. Німецька залізнична система є одним з найкращих прикладів спеціалізації. Багато високошвидкісних ліній призначені виключно для пасажирських перевезень, тоді як вантажні поїзди курсують по паралельних або окремих лініях.

2. Французька TGV (Train à Grande Vitesse) мережа є яскравим прикладом спеціалізації на високошвидкісних пасажирських перевезеннях. Вантажні перевезення здійснюються за іншими маршрутами.

3. Швеція активно розвиває свою залізничну систему, виділяючи окремі лінії для пасажирських та вантажних поїздів.

4. Японська Shinkansen система є світовим лідером у галузі високошвидкісних залізничних перевезень. Пасажирські поїзди Shinkansen курсують по окремих лініях, що забезпечує високу швидкість та комфорт для пасажирів.

5. Китай активно розвиває свою залізничну мережу, включаючи високошвидкісні лінії. При будівництві нових ліній зазвичай передбачається розділення пасажирського та вантажного руху.

6. У США багато залізничних компаній спеціалізуються або на пасажирських, або на вантажних перевезеннях. Наприклад, Amtrak фокусується на пасажирських перевезеннях, тоді як Union Pacific і BNSF – на вантажних.

Хоча спеціалізація залізничних напрямків має багато переваг, її впровадження може зіткнутися з низкою перешкод (табл. 2.5).

Для успішного впровадження спеціалізації необхідно:

- розробити детальний план впровадження, враховуючи всі можливі ризики та перешкоди;
- залучити до процесу прийняття рішень всіх зацікавлених сторін; впроваджувати спеціалізацію поетапно, починаючи з невеликих ділянок залізничної мережі; забезпечити необхідне фінансування для реалізації проекту; проводити інформаційну кампанію серед населення для підвищення обізнаності про переваги спеціалізації.

Відокремлення пасажирського руху від вантажного було запропоновано здійснити на залізницях України ще у 2007 р., але й до цього часу остаточно не

вирішено. Першим кроком слід вважати нормативний документ [59] з наступним розширенням класифікації напрямків руху поїздів за пропозицією авторів:

I-Ш – швидкісний пасажирський рух;

I-ШС – суміщений рух швидкісних пасажирських з вантажними збірними і приміськими поїздами;

I-П – прискорений рух пасажирських поїздів;

I-ПС – суміщений рух прискорених пасажирських з вантажними збірними і приміськими;

I-B – переважно вантажний рух.

Таблиця 2.5 – Перешкоди при впровадженні спеціалізації залізничних напрямків

Найменування перешкод	Потреба в реалізації заходів
Фінансові перешкоди	впровадження спеціалізації вимагає значних інвестицій у модернізацію інфраструктури, придбання нового рухомого складу та розробку нових технологій; будівництво нових колій, станцій, тунелів та мостів є дорогим процесом; інвестиції у залізничну інфраструктуру зазвичай мають довгі терміни окупності.
Технічні перешкоди	необхідність забезпечення сумісності нового обладнання зі старим; перехід на нові системи управління рухом та інші технології може бути складним і вимагати значних зусиль; потрібно враховувати особливості існуючої інфраструктури та розробляти рішення, які дозволять інтегрувати нові елементи.
Організаційні перешкоди	процес спеціалізації залізничних напрямків зазвичай включає в себе велику кількість зацікавлених сторін (державні органи, залізничні компанії, вантажовласники, пасажери), координація яких може бути складною; спеціалізація може призвести до зміни умов праці для залізничників, що може викликати соціальну напругу; існуюче законодавство та регуляторні норми можуть створювати перешкоди для впровадження нових технологій та організаційних рішень.
Соціальні перешкоди	частина населення та зацікавлених сторін може опиратися змінам, пов'язаним зі спеціалізацією; недостатня інформованість населення про переваги спеціалізації може призвести до негативної реакції.
Екологічні перешкоди	будівництво нових залізничних ліній та інших інфраструктурних об'єктів може мати негативний вплив на навколишнє середовище
Економічні перешкоди	залізничний транспорт конкурує з автомобільним, авіаційним та водним транспортом, що може обмежувати його розвиток; економічні кризи та спади можуть відкласти або скасувати плани щодо спеціалізації залізничних напрямків.

Таблиця 2.6 – Класифікація напрямків за категоріями поїздів

Характеристика напрямку		Максимальна швидкість, км/год	Графіки розподілу швидкостей руху поїздів
I-Ш	Швидкісний пасажирський рух: 1 – денні експреси 2- пасажирські прискорені поїзди 3- приміські прискорені поїзди	$161 < V_{\text{експрес}}^{\text{пас}} \leq 200$ $120 < V_{\text{приск}}^{\text{пас}} \leq 160$ $100 < V_{\text{приск}}^{\text{прим}} \leq 140$	
I-ШС	Суміщений рух швидкісних пасажирських з вантажними збірними і приміськими поїздами: 1 – денні експреси 2- пасажирські прискорені поїзди 3- приміські прискорені поїзди 4 – збірні поїзди	$160 < V_{\text{приск}}^{\text{шв}} \leq 200$ $V_{\text{приск}}^{\text{пас}} = 90 - 140$ $V_{\text{приск}}^{\text{прим}} = 80 - 120$ $V_{\text{збір}}^{\text{вант}} = 60 - 80$	
I-П	Прискорений пасажирський рух поїздів суміщений з прискореним рухом приміських поїздів: 1 – пасажирські прискорені; 2 – приміські прискорені; 3 – вантажні збірні поїзди	$140 \leq V_{\text{приск}}^{\text{пас}} \leq 160$ $V_{\text{приск}}^{\text{прим}} = 90 - 140$ $V_{\text{збір}}^{\text{вант}} = 60 - 80$	
I-ПС	Суміщений рух прискорених пасажирських з вантажними збірними і приміськими: 1 – пасажирські прискорені поїзди; 2 – приміські прискорені поїзди; 3 – вантажні збірні поїзди	$120 \leq V_{\text{приск}}^{\text{пас}} \leq 160$ $V_{\text{приск}}^{\text{прим}} = 90 - 140$ $V_{\text{збір}}^{\text{вант}} = 60 - 80$	
I-В	Вантажний рух: 1 – вантажні повновісні поїзди 2 – вантажні повноскладові 3 – приміські поїзди 4 – вантажні збірні поїзди	$70 \leq V_{\text{повноваг}}^{\text{вант}} \leq 90$ $80 \leq V_{\text{повноскл}}^{\text{вант}} \leq 100$ $V_{\text{прим}}^{\text{прим}} \leq 100$ $V_{\text{збір}}^{\text{вант}} = 60 - 80$	

Складність цієї задачі полягає в тому, що для кожного з напрямків інфраструктури I-Ш, I-ШС, I-П, I-ПС і I-В необхідно спрогнозувати структуру

поїздопотоків [4]. З урахуванням вище викладеного, пропонується розділити напрямки руху поїздів залежно від структури поїздопотоків, категорій поїздів, що обертаються, та швидкостей руху (табл. 2.6).

Варто зазначити, що для запобігання технічним і експлуатаційним проблемам, які можуть виникати через порушення стану верхньої будови колії, зниження плавності руху та комфорту під час впровадження швидкісного залізничного сполучення, доцільним є впровадження спеціалізації маршрутів. Це передбачає розмежування пасажирських і вантажних перевезень, що забезпечує більш ефективне функціонування транспортної системи з урахуванням як національних, так і міжнародних потреб у перевезеннях (див. табл. 2.5).

Висновки до розділу 2

У процесі переходу з української колії (шириною 1520 мм) на європейську (1435 мм) поїзди, що прямують з України до країн ЄС, втрачають значну кількість часу на кордоні через необхідність заміни колісних пар, пересадки пасажирів або перевантаження вантажів. Це спостерігається на стиках із Угорщиною, Польщею, Румунією та Словаччиною. Продовження європейської колії на територію України значно підвищить рівень інтероперабельності залізничних систем, зменшить втрати часу та сприятиме зростанню інтенсивності міжнародного руху.

Одним із варіантів адаптації інфраструктури є укладання суміщеної колії (1520\1435 мм), що не потребує будівництва нового земляного полотна й можна розглядати як перевагу [13]. Водночас такий підхід створює низку складностей на станціях та роздільних пунктах, де необхідне укладання стрілочних переводів для обох типів колій. Це, у свою чергу, знижує допустиму швидкість руху поїздів при проходженні цих ділянок.

Упровадження інноваційних технологій у сфері проектування та будівництва високошвидкісних залізниць стає актуальним напрямом розвитку транспортної інфраструктури України та поступово знаходить усе ширше практичне

застосування [5].

Під час проєктування нової траси із колією шириною 1435 мм та запровадження високошвидкісного залізничного руху виникає необхідність у техніко-економічному обґрунтуванні ключових параметрів плану лінії, зокрема мінімальних радіусів кривих і довжин перехідних кривих. Вибір цих параметрів значною мірою залежить від типу майбутньої високошвидкісної магістралі – чи передбачається виключно швидкісний рух пасажирських поїздів, чи змішане використання інфраструктури для високошвидкісного, регіонального та вантажного руху.

Результати дослідження свідчать про доцільність диференційованого підходу до визначення мінімально допустимих радіусів кривих залежно від проєктної швидкості руху та спеціалізації напрямку. Такий підхід забезпечує баланс між безпекою руху, комфортом пасажирів та економічною ефективністю реалізації проєкту.

Таким чином, на початкових етапах проєктування нових високошвидкісних магістралей критично важливим є вибір концептуальної моделі ВШМ, оскільки саме вона визначає допустимі геометричні параметри траси, її конфігурацію та інженерні рішення, що застосовуватимуться.

Для встановлення оптимального положення траси нової HSR європейського стандарту, яка розглядається в Україні на перспективу, на базі алгоритмів випадкового пошуку розроблено та реалізовано новий метод автоматичного проєктування траси, досить близькою до оптимальної, в межах перегону при фіксованих у плані та профілі початкової та кінцевої точках.

Метод враховує основні технічні вимоги, що пред'являються до плану та профілю нормами проєктування, практично не залежить від способів розрахунку приведених витрат та обліку обмежень і може застосовуватися для вирішення різних проєктних та науково-дослідних завдань, пов'язаних з трасуванням. Застосування автоматичного проєктування траси дозволяє до 10 % знизити

приведені витрати та уникнути нераціональних проєктувань.

Спеціалізація залізничних напрямків є перспективним напрямом розвитку залізничного транспорту, який дозволяє підвищити ефективність, безпеку та конкурентоспроможність галузі. Це не просто технічна модернізація, а комплексний підхід, який включає в себе економічні, соціальні та екологічні аспекти.

На основі проведених за участі здобувачки теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що технічні вимоги до проєктування, улаштування та експлуатації залізничної колії, зокрема параметри плану та поздовжнього профілю, доцільно визначати диференційовано – залежно від функціонального призначення залізничної лінії (пасажирська, вантажна або змішаного типу) та від встановленої максимальної швидкості руху.

Спеціалізація напрямків за видами руху дозволяє встановлювати оптимальні геометричні параметри для конкретного типу поїздів, якому надається пріоритет. Такий підхід забезпечує зниження рівня непогашених прискорень, покращення плавності ходу та підвищення комфорту для пасажирів. Крім того, це сприяє зменшенню зносу елементів колії й коліс рухомого складу, скороченню обсягів робіт із поточного утримання інфраструктури, а також зниженню витрат енергоносіїв (електроенергії чи палива) на здійснення перевезень.

Основні матеріали другого розділу опубліковані в працях [4, 5, 13, 16, 60, 68, 79].

3. МЕТОДИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РЕКОНСТРУКЦІЇ ПЛАНУ ЗАЛІЗНИЦЬ

3.1 Зв'язок між надійністю утримання залізничних кривих та інноваційними технологіями

3.1.1 Проектні параметри залізничних кривих у плані

Зв'язок між надійністю утримання залізничних кривих та інноваційними технологіями дуже тісний і має значний вплив на безпеку руху, ефективність та економічність залізничних перевезень.

Інноваційні технології, такі як датчики IoT (Internet of Things), дрони, системи машинного зору та штучного інтелекту, дозволяють здійснювати постійний моніторинг стану залізничних колій, включаючи криві. Це допомагає вчасно виявляти дефекти або ознаки зносу рейок, що підвищує надійність утримання колій.

На застосування інноваційних технологій при утриманні кривих впливають різні фактори: проектні параметри кривих в плані, геометричні параметри колії в кривих, конструкція верхньої будови колії, швидкість руху поїздів, динамічне навантаження на колію [61] тощо. Ефективна оцінка надійності утримання залізничних кривих включає комбінацію різних методів, що дозволяють забезпечити безпеку і ефективність роботи залізничного транспорту. Розглянемо ці питання докладніше.

Проектування залізничних кривих включає визначення таких параметрів, як радіус кривої, перехідні криві, підвищення зовнішньої рейки, ширина колії [80]. Від точності та правильності проектування залежить динамічна поведінка поїздів у кривих, їхня стійкість та комфорт пасажирів (табл. 3.1). Зв'язок з інноваціями:

- сучасне програмне забезпечення для проектування: використання програмних комплексів з елементами штучного інтелекту дозволяє автоматично враховувати всі необхідні параметри для оптимального проектування залізничних кривих, включаючи симуляцію поведінки поїздів у різних умовах;

- моделювання та симуляція: перед будівництвом можна змоделювати різні

варіанти проєктів та вибрати оптимальний, що знижує ризик помилок і покращує експлуатаційні характеристики.

Таблиця 3.1 – Проектні параметри кривих в плані та їх вплив на надійність

Радіус кривої	Вид кривих	Перехідні криві	Ухили	Вертикальні криві
Вплив радіуса кривої на стійкість рухомого складу та зношування колії. Оптимальні значення радіусів для різних типів поїздів та швидкостей руху	Одиночні, сполучені, суміжні криві	Типи перехідних кривих та який їхній вплив на плавність переходу з прямолінійної ділянки на криву. Забезпечення необхідного рівня комфорту пасажирів та безпеку руху.	Допустимі значення поздовжніх та поперечних ухилів в кривих ділянках колії. Вплив ухилів на стійкість рухомого складу та знос колії.	Вплив вертикальних кривих в профілі на динаміку рухомого складу та комфорт пасажирів. Забезпечення необхідного рівня плавності переходу між різними переломами на профілі.

3.1.2 Геометричні параметри колії в кривих і динамічне навантаження

Геометричні параметри колії в кривих і динамічне навантаження є ключовими факторами, що впливають на безпеку, комфорт і ефективність руху поїздів (табл. 3.2). Інноваційні технології дозволяють точніше контролювати і регулювати ці параметри, що підвищує надійність залізничного транспорту. До геометричних параметрів колії в кривих належать величина радіусу кривої, підвищення зовнішньої рейки, довжина перехідних кривих, підйоми та спуски. Ці параметри визначають траєкторію руху поїзда та впливають на розподіл навантажень на рейки та колеса. Зв'язок з інноваційними технологіями:

– цифрове проектування та моделювання: використання програмного забезпечення з елементами штучного інтелекту та машинного навчання дозволяє проектувати залізничні криві з урахуванням різних факторів, таких як швидкість руху, типи поїздів та очікуване навантаження. Це дає можливість створювати

оптимальні траєкторії з мінімальним зносом рейок і коліс;

- геодезичний контроль і 3D-моделювання: сучасні геодезичні інструменти, такі як лазерне сканування та GPS, дозволяють з високою точністю вимірювати та контролювати геометричні параметри колії в реальному часі. Це допомагає виявляти відхилення від проектних параметрів і швидко їх коригувати;

- моніторинг з використанням дронів та IoT: дрони, обладнані високоточними камерами і сенсорами, можуть проводити аерофотозйомку та вимірювання колій, що дозволяє швидко і точно оцінювати стан геометрії кривих. Датчики IoT, встановлені на рейках, можуть постійно моніторити їхню геометрію, виявляючи навіть невеликі зміни [81].

Динамічне навантаження виникає під час руху поїзда по кривим й викликане інерційними силами, що діють на колеса та рейки. Динамічне навантаження є основним фактором зносу колій та рейкових скріплень, а також джерелом додаткового шуму та вібрацій [82]. Зв'язок з інноваційними технологіями:

- моделювання динаміки руху: сучасні симуляційні програми дозволяють моделювати динаміку руху поїздів по кривим, враховуючи вплив різних параметрів (маса поїзда, швидкість, геометрія колії). Це допомагає прогнозувати динамічне навантаження і коригувати проектні рішення для його зниження;

- аналіз даних та прогнозування з використанням ШІ: штучний інтелект може аналізувати дані про динамічне навантаження, зібрані з сенсорів і інших джерел, для визначення зон підвищеного зносу і прогнозування майбутніх проблем. Це дозволяє планувати технічне обслуговування та заміну елементів колії до виникнення серйозних пошкоджень;

- адаптивні системи управління рухом: інноваційні системи керування поїздами можуть автоматично коригувати швидкість руху в залежності від стану колії та умов експлуатації, що зменшує динамічне навантаження на колії. Це забезпечує більш плавний рух по кривим, знижуючи знос рейок та підвищуючи безпеку;

– використання нових матеріалів та конструкцій: сучасні конструкції верхньої будови колії допомагають краще поглинати та розподіляти динамічні навантаження. Це зменшує їхній вплив на інфраструктуру і продовжує термін служби колії.

Таблиця 3.2 – Фактори, що впливають на надійність утримання кривих

Конструкція і матеріал верхньої будови колії	Геометричні параметри колії	Динамічні навантаження	Температурні деформації	Вплив зовнішніх факторів
Вплив матеріалів колії (рейки, шпали, баласт) на стійкість колії та її знос. Оптимальні матеріали для різних умов експлуатації.	Вплив розбіжності геометричних параметрів колії від проектних значень на стійкість рухомого складу та динаміку руху, допустимі відхилення.	Динамічні навантаження при русі поїздів по кривих. Вплив цих навантажень на стійкість колії та знос верхньої будови колії.	Вплив температурних деформацій на геометрію колії та її стійкість. Необхідні заходи для компенсації температурних деформацій.	Вплив на стійкість колії таких факторів, як ґрунти основи, підземні води, сейсмічна активність, кліматичні умови.

Результати дослідження впливу шпал на стійкість колії та її знос наведено в роботах проф. А. А. Плугіна [83, 84, 88].

Вплив степені забруднення баласту на стійкість колії розглянуто в працях [85]. Отже, інноваційні технології дозволяють значно покращити контроль і управління геометричними параметрами колії в кривих та динамічним навантаженням, що знижує знос інфраструктури, підвищує безпеку та комфорт руху [86]. Це досягається через більш точне проектування, ефективний моніторинг, моделювання і прогнозування стану колії та використання передових матеріалів і конструкцій верхньої будови колії.

3.1.3. Зв'язок між видом кривих (одинокі, сполучені, суміжні) і інноваційними технологіями, пов'язаними з їх утриманням

Зв'язок між видом кривих (одинокі, сполучені, суміжні) та інноваційними технологіями, пов'язаними з утриманням кривих ділянок колії, є доволі важливим. Різні види кривих мають свої особливості з точки зору динамічних навантажень,

зносу колії та вимог до обслуговування, і інноваційні технології дозволяють ефективніше їх утримувати (табл. 3.3).

Одинокі криві – це криві, які не мають прямого сполучення з іншими кривими. Вони часто простіші в проектуванні та утриманні, оскільки немає необхідності враховувати взаємодію з іншими кривими. Зв'язок з інноваційними технологіями:

Складові (багаторадіусні) криві – це послідовність кривих, які плавно переходять одна в одну. Утримання таких кривих є більш складним через необхідність забезпечення плавного переходу і рівномірного розподілу навантаження.

Суміжні криві – це криві, які знаходяться близько одна до одної, але не обов'язково мають пряме сполучення. Вони можуть створювати складні умови для утримання через необхідність узгодження параметрів кожної кривої для забезпечення безпечного та комфортного руху. Зв'язок з інноваційними технологіями:

Таблиця 3.3 – Вид кривих та їх вплив на надійність утримання

1. Одинокі криві	2. Складові криві	3. Суміжні криві
Особливості: Одинокі криві характеризуються наявністю однієї кривої між двома прямими ділянками. Вони менш складні у проектуванні та експлуатації. Вплив на надійність: Одинокі криві зазвичай є більш надійними через простоту їх геометрії. Вони мають менший ризик концентрації напруження в матеріалах та зниження стійкості до динамічних навантажень [16].	Особливості: Складові криві включають кілька кривих з різними радіусами, з'єднаних між собою без прямих ділянок. Це складніші елементи для проектування. Вплив на надійність: Сполучені криві можуть викликати збільшене зношування рейок і підвищене навантаження на колісні пари через зміну напрямку сили при русі потягу. Це може призводити до підвищеного ризику дестабілізації колії, особливо на високих швидкостях.	Особливості: Суміжні криві – це дві або більше криві, розташовані поруч одна з одною, з можливими короткими прямими відрізками між ними. Вплив на надійність: Суміжні криві, особливо якщо вони мають різні радіуси або напрямки, можуть призводити до значного зношування рейок і колісних пар. Це також може впливати на плавність ходу поїзда, створюючи додаткові вібрації та шум, що в свою чергу знижує надійність утримання.

Отже, різні види кривих мають свої специфічні вимоги до утримання, і інноваційні технології допомагають ефективніше вирішувати ці завдання. Технології, такі як моделювання, машинне навчання, дрони та IoT, дозволяють покращити моніторинг, прогнозування і управління зносом колії в різних типах кривих, що підвищує безпеку та ефективність залізничного транспорту.

3.1.4. Зв'язок між інноваційними технологіями й оцінками надійності утримання кривих

Процес оцінки надійності утримання кривих включає кілька ключових методів і критеріїв, які наведені в табл. 3.4. Зв'язок між інноваційними технологіями та оцінками надійності утримання кривих полягає в тому, що сучасні технології дозволяють підвищити точність, ефективність і надійність процесу утримання залізничних колій, особливо в складних умовах, таких як криві. Основні аспекти зв'язку:

- моніторинг та діагностика стану колії дозволяють в режимі реального часу відстежувати стан колії, включаючи криві. Це забезпечує можливість оперативно виявляти відхилення від норми і планувати ремонтні роботи до того, як проблема стане серйозною;

- моделювання та прогнозування дозволяє прогнозувати поведінку колії під час експлуатації, оцінити надійність утримання кривих та приймати рішення щодо їх обслуговування на основі прогнозованих даних;

- інноваційні матеріали та методи укріплення земляного полотна (наприклад, стабілізація ґрунтів під колією) підвищують надійність утримання кривих, знижуючи ризик деформацій та пошкоджень;

- системи керування рухом дозволяють знижувати навантаження на криві ділянки шляхом оптимізації швидкості та розподілу ваги поїздів;

- автоматизація утримання колії підвищує точність і ефективність робіт, покращує надійність утримання кривих.

Таким чином, інноваційні технології дозволяють не тільки підвищити надійність утримання залізничних колій в кривих, але й покращують загальну ефективність та безпеку залізничного транспорту.

Таблиця 3.4 – Процес оцінки надійності утримання кривих включає кілька ключових методів і критеріїв

Геометричний аналіз	Динамічний аналіз	Аналіз стану рейок і шпал	Моделювання і симуляції	Моніторинг і інспекції	Інструментальний контроль
<i>Радіус кривої:</i> Один з головних показників. Менший радіус підвищує ризик зношування рейок і нестабільності поїзда на кривій. <i>Зсув у плані:</i> Важливо оцінити величину зсуву рейок у плані (латеральне зсування) під дією потягу. Значний зсув може призвести до деформації колії.	<i>Сила взаємодії коліс і рейок:</i> Оцінюється динамічне навантаження на рейки під час проходження поїзда по кривій. Це включає аналіз поперечних і вертикальних сил, що виникають при русі. <i>Швидкісні параметри:</i> Аналіз максимальних допустимих швидкостей для проходження кривих без втрати стійкості чи підвищеного зношування.	<i>Знос рейок:</i> Регулярний моніторинг стану рейок на кривих допомагає оцінити рівень їхнього зношування [87]. Використовуються вимірювальні вагони для фіксації профілю рейок. <i>Стан шпал:</i> Перевірка стабільності шпал і їх здатності утримувати рейки на місці є важливим елементом оцінки надійності [88].	<i>Комп'ютерні моделі:</i> Використовуються для симуляції поведінки колійної інфраструктури при різних умовах експлуатації, включаючи різні швидкості, типи рухомого складу, і зношування матеріалів. <i>Статистичний аналіз:</i> Застосовуються статистичні методи для оцінки ймовірності виникнення дефектів або аварійних ситуацій на кривих.	<i>Візуальний огляд:</i> Регулярні інспекції колій із залученням спеціалістів дозволяють своєчасно виявляти деформації, розтріскування рейок, та інші дефекти. Ненав'язливий моніторинг: Використання сенсорів і автоматизованих систем моніторингу для безперервної оцінки стану колій.	<i>Лазерні та ультразвукові сканери:</i> Використовуються для детального вимірювання геометрії колій і виявлення мікротріщин та інших дефектів. <i>Геодезичні прилади:</i> Застосовуються для контролю вертикального і горизонтального зміщення колій.

Регулярний моніторинг стану рейок на кривих допомагає оцінити рівень їхнього зношування [87].

Перевірка стабільності укладених в колію шпал і їх здатності утримувати рейки в стабільному положенні є важливим елементом оцінки надійності. [86, 88].

3.2 Підвищення працездатності залізничної колії за рахунок мінімізації зносу рейок в кривих

3.2.1 Обстеження кривих на різних ділянках залізниць

Для оцінювання впливу рухомого складу на зовнішню та внутрішню рейкові нитки була застосована методика, викладена у працях авторів [24, 89, 90]. В якості прикладу було проаналізовано реальну дослідну ділянку залізниці. На початковому етапі здійснено натурне обстеження 25 кривих на різних ділянках залізничної мережі з проведенням вимірювань ступеня зносу рейок.

За результатами досліджень встановлено, що на всіх обстежених кривих спостерігався незначний вертикальний знос обох рейок – до 2–3 мм. Бічний знос внутрішньої рейки здебільшого перебував у межах 2–3 мм, рідше сягав 5–6 мм. Натомість бічний знос зовнішньої рейки виявився у 3–4 рази більшим, що свідчить про нерівномірність навантаження колії в кривих.

Таке перевищення зносу зовнішньої рейки спостерігалось на кривих різних радіусів у разі надмірного підвищення зовнішньої нитки. Це, в свою чергу, призводило до виникнення негативних поперечних прискорень і, як наслідок, – до перевантаження внутрішньої рейки вертикальними силами.

Характерною особливістю роботи колії в криволінійних ділянках є нерівномірність зносу обох рейкових ниток. При фактичному підвищенні зовнішньої рейки, що перевищує розрахункове, виникає поздовжнє ковзання по зовнішній рейці, зумовлене жорстким з'єднанням коліс на осі. Якщо ж підвищення є недостатнім, ковзання відбувається по внутрішній рейці. В обох випадках наявність непогашених прискорень спричиняє додатковий знос як рейок, так і елементів рухомого складу.

Головною особливістю бокового зносу рейок, згідно з формулою (3.1), є його

нерівномірний розподіл уздовж довжини кривої ділянки колії:

$$h_{бок} = h_{сер} + h_{міс}, \quad (3.1)$$

де $h_{сер}$ – порівняно рівномірний середній знос по всій довжині кругової кривої; залежить від пропущеного тоннажу і радіусу кривої;

$h_{міс}$ – підвищений місцевий знос на коротких відрізках; залежить від різниці стріл вигину у межах коротких до 10 метрів ділянок кривої.

Проведені дослідження засвідчили, що максимальні значення місцевого зносу спостерігаються у зонах з найбільшою різницею стріл вигину. Такі ділянки, як правило, розташовані на початку перехідних кривих, у місцях переходу від перехідної до кругової кривої, а також поблизу середини кругової кривої, де фіксуються зміни непогашених поперечних прискорень (рис. 3.1).

Наприклад, на початку перехідної кривої в межах 40 метрів стріли вигину змінюються на 10-метровій ділянці з 20 мм до 59 мм, тобто майже в 2,9 рази. Відповідно, боковий знос рейки на цій самій ділянці зріс із 1,7 мм до 8,3 мм - тобто в 4,9 рази (на рис. 3.1 ці значення подані зі збільшенням у 4 рази для наочності).

Інша зона інтенсивного зносу спостерігається в місці переходу між перехідною та круговою кривою. Тут, на відрізу довжиною близько 8 метрів, стріли вигину збільшуються з 85 мм до 95 мм, а боковий знос – із 9,2 мм до 13,3 мм - тобто у 1,4 рази. Подібні залежності були виявлені також і на інших досліджених кривих.

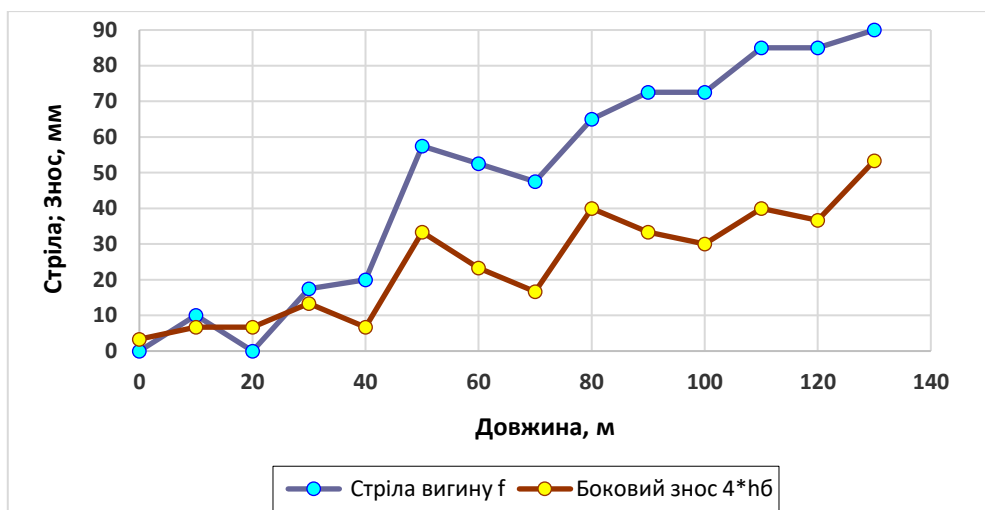


Рисунок 3.1 – Зміна стріл вигину й зносу по довжині кривої (крива №39, радіус 615 м)

За даними замірів зносу й параметрів колії визначена інтенсивність бокового зносу (мм/10 млн т), рис. 3.2.

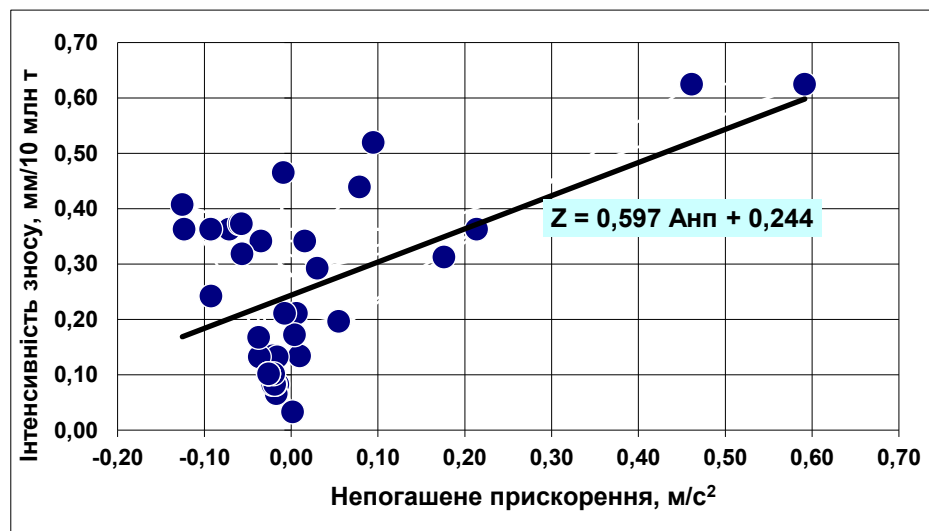


Рисунок 3.2 – Інтенсивність бокового зносу в залежності від непогашеного прискорення

Другий етап полягає у виконанні розрахунків і аналізі отриманих результатів. Для цього використовувався програмний комплекс (програма MoveRW – для тягових розрахунків і RWPlan – для встановлення проєктних параметрів кривих, в

тому числі підвищення зовнішньої рейки за середньозваженою швидкість поїздопотоків і за рівноважною швидкістю екіпажів при русі по кривій, коли непогашене прискорення $\alpha_n \rightarrow 0$ [91]. Однак характер вписування екіпажу в криву такий, що через наявність ковзання коліс по рейках навіть при $\alpha_n = 0$ з'являються поперечні горизонтальні сили, що діють на зовнішню рейку і викликають її знос.

3.2.2 Алгоритм дослідження зносу колії по довжині кривої

Алгоритм дослідження наступний:

1. Вихідні дані для розрахунків. На основі результатів попередніх наукових досліджень, проведених у ДНУЗТ, а також аналогічних досліджень інших авторів, наприклад, [92], були прийняті залежності зносу рейок від величини поперечних непогашених прискорень. Відповідні аналітичні залежності (див. рис. 3.2) було реалізовано у програмному забезпеченні RWPlan.

2. Виконання тягових розрахунків. Проведено тягові розрахунки для визначення швидкості руху поїздів різних мас і категорій, які експлуатуються на конкретній ділянці. Отримані дані стали основою для подальшого моделювання взаємодії рухомого складу з колією в криволінійних ділянках.

3. Розрахунок непогашених прискорень і зносу. Для кожного елемента кривої були розраховані значення непогашених поперечних прискорень для всіх категорій поїздів, що курсують ділянкою, а також відповідні величини зносу лівої та правої рейкових ниток.

4. Підбір оптимального підвищення зовнішньої рейки. На основі отриманих результатів проводився підбір величини підвищення зовнішньої рейки таким чином, щоб для всіх типів поїздів забезпечити мінімальні значення непогашених прискорень. Це дозволяє знизити негативний вплив на елементи колії.

5. Оптимізація зносу з урахуванням нормативів. Шляхом варіювання комбінацій підвищення визначалося оптимальне значення, що забезпечує мінімальний сумарний знос обох рейок. При цьому обов'язково враховувалися всі

нормативні вимоги — допустимі значення непогашених прискорень, їх зміна в часі, а також швидкість підйому колеса по відводу. Правильно підібране підвищення зовнішньої рейки дає змогу суттєво знизити направляючі, бічні та рамні сили, що позитивно впливає на довговічність і надійність роботи залізничної колії, забезпечуючи її стійкість та конструктивну міцність [16].

Для проведення досліджень були відібрані ділянки залізниці з різними характеристиками: за типом тяги, рівнем технічного оснащення, параметрами плану та поздовжнього профілю. В якості прикладу розглянуто ділянку Львів – Рава-Руська як перспективний напрямок, здатний забезпечити інтеграцію української залізничної мережі з польською у напрямку Львів – Варшава.

Поздовжній профіль цієї ділянки, довжина якої становить 68 км, характеризується переважно спуском з ухилами у межах 9-14 ‰. Значний вплив на встановлення максимально допустимих швидкостей руху має геометрія плану лінії: загальна протяжність кривих становить 31,7 % від загальної довжини, з них 15,9 % мають радіус менше ніж 500 метрів, що обмежує швидкісні характеристики.

У межах дослідження було змодельовано рух поїздів двох категорій: пасажирські поїзди – локомотив М62, маса складу 600 т; вантажні поїзди – локомотив 2М62, маса складу 2200 т.

Кількість поїздів у перспективному графіку руху приймалась у межах: від 2 до 8 одиниць пасажирського руху; від 5 до 20 одиниць вантажного руху на добу.

На основі тягових розрахунків визначено швидкості руху для кожної категорії поїздів, а також величини поперечних непогашених прискорень (рис. 3.3). Отримані дані дозволили розрахувати очікувані величини бокового зносу для лівої та правої рейкових ниток (рис. 3.4) з урахуванням інтенсивності руху, геометрії кривих і характеру навантаження.

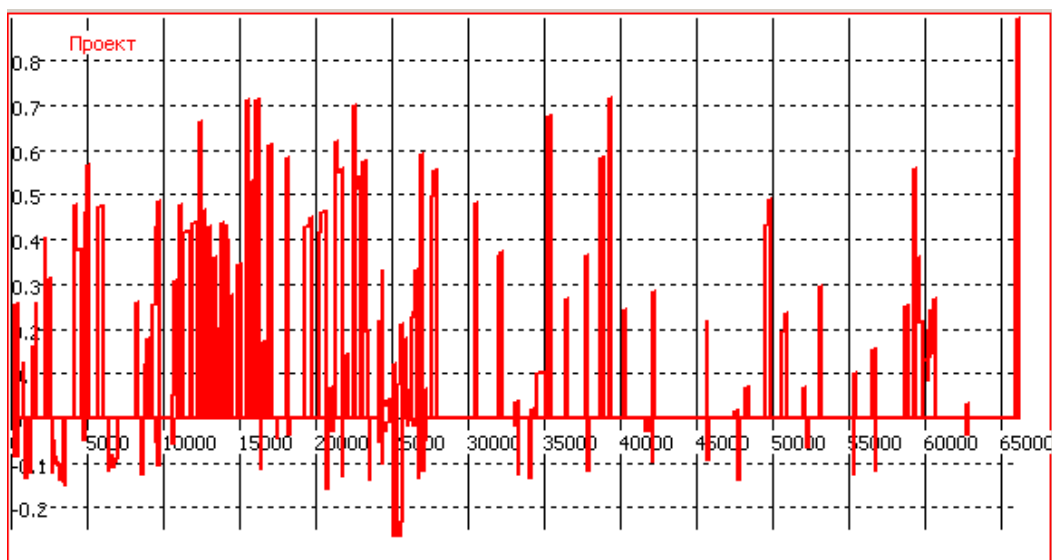


Рисунок 3.3 – Непогашені прискорення від поїздопотоків

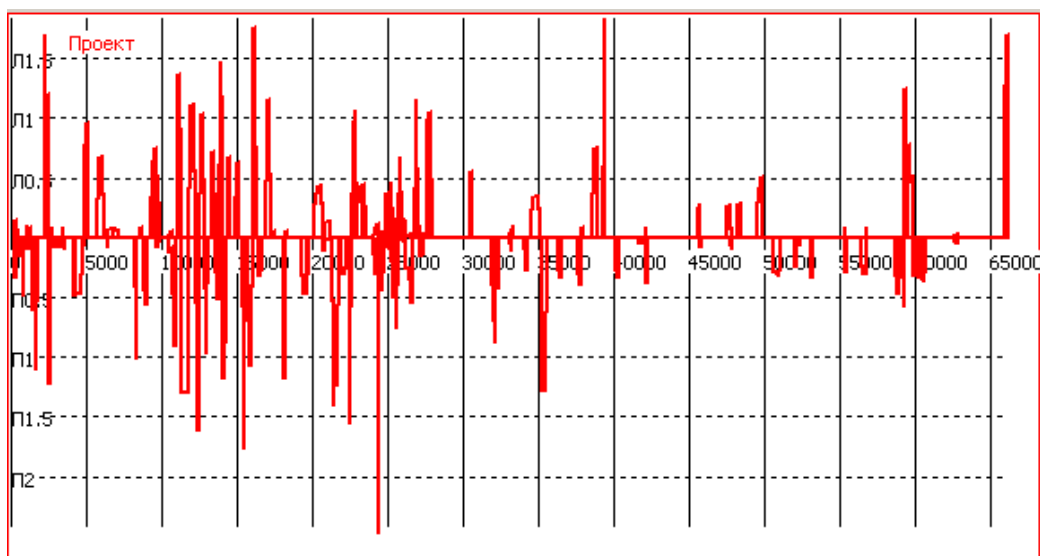


Рисунок 3.4 – Знос лівої й правої рейки від поїздопотоків

Правильно встановлене підвищення зовнішньої рейки дозволяє знизити величину направляючих, бічних і рамних сил і тим самим підвищити міцність, стійкість і надійність роботи залізничної колії [93, 94, 16]. Тому в результаті розрахунків підвищення зовнішньої рейки приймалося таким, щоб поїздами всіх категорій реалізовувались найменші значення поперечних непогашених прискорень.

Розрахунки виконані для різних значень пропущеного тоннажу, і результати представлено на рис. 3.5.

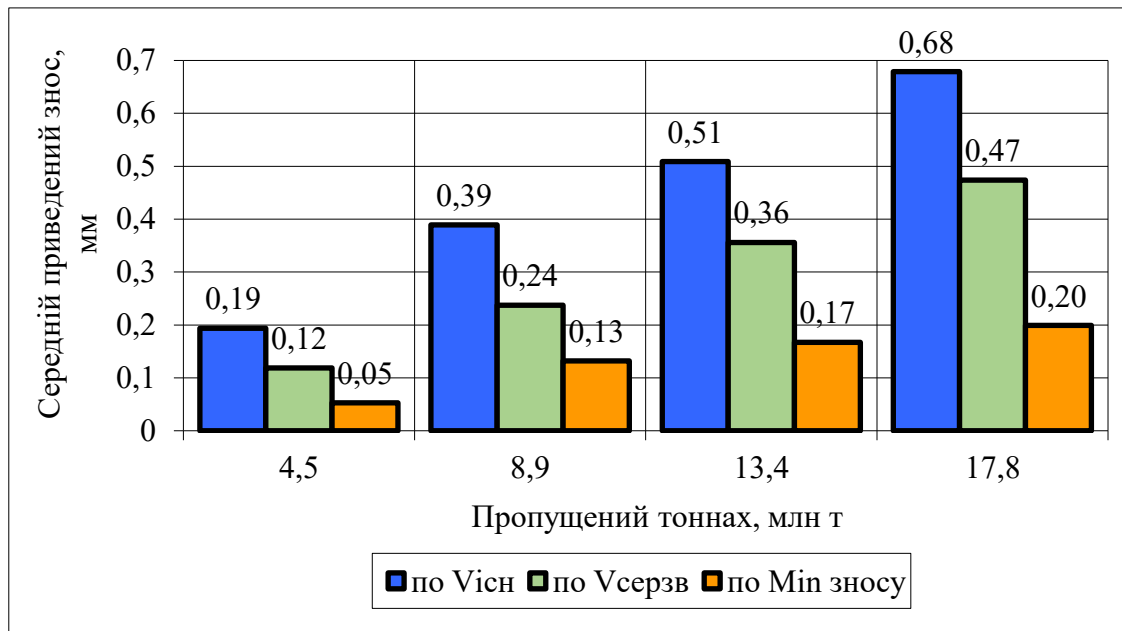


Рисунок 3.5 – Середній приведений знос в залежності від пропущеного тоннажу для існуючої, середньозваженої і рівноважної швидкості

У результаті аналізу процесів розвитку бокового зносу рейок встановлено наявність стійкого кореляційного зв'язку між величиною цього зносу, радіусом кривої та непогашеним поперечним прискоренням уздовж її довжини. Спостерігається закономірність: зі зростанням швидкості руху поїздів і непогашених прискорень інтенсивність бокового зносу істотно збільшується. Водночас підвищення зовнішньої рейки до величин, що забезпечують досягнення або перевищення рівня поперечного прискорення в $-0,3 \text{ м/с}^2$, призводить до зниження інтенсивності зношування. Зони максимального бокового зносу, як правило, фіксуються в місцях зміни непогашеного прискорення: на перехідних кривих, у точках переходу від перехідної до кругової кривої, а також поблизу середини кругової ділянки. Однією з додаткових причин нерівномірного зносу є порушення плавності рихтування рейкових ниток. Це свідчить про доцільність регулярного виправлення кривих, що дозволяє суттєво зменшити місцеві

перевантаження та відповідно – боковий знос.

Між стрілами вигину та боковим зносом існує прямий зв'язок: у межах кругової кривої зі зменшенням радіуса (тобто зі зростанням стріли вигину) спостерігається зростання зносу. Таким чином, геометричні характеристики кривих істотно впливають на роботу колії.

Практика розрахунку підвищення зовнішньої рейки на основі середньозваженої швидкості поїздів не дозволяє ефективно мінімізувати приведений знос при змішаному русі. Особливо це актуально при домінуванні вантажних перевезень – у таких випадках доцільно визначати величину підвищення з урахуванням критерію мінімального зносу. Це дозволяє зменшити розлад колії, підвищити її надійність і безпеку руху поїздів, а також знизити експлуатаційні витрати, пов'язані зі зносом гребнів коліс і рейкових ниток.

3.3 Оптимізація параметрів плану колії з метою зниження розладів при паспортизації кривих

Підвищення швидкості руху поїздів часто ускладнюється через невідповідність фактичного положення кривих даним, наведеним у проєктній документації. Саме тому щорічно дистанції колії здійснюють перевірку й уточнення основних геометричних параметрів кривих як у плані, так і за рівнем. Окрім того, визначаються обсяги необхідних робіт для приведення геометрії кривих у відповідність до проєктних рішень.

Залежно від встановлених фактичних параметрів, кожній кривій надається певний статус, який регламентує подальші умови її експлуатації – з урахуванням ступеня відхилення від нормативних проєктних показників. Це дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо необхідності реконструкції або допустимості тимчасової експлуатації в обмеженому режимі.

Аналіз отриманих даних щодо геометричних характеристик кривих дозволяє узагальнити результати оцінки рівня технічного стану й розладу колійного полотна.

У процесі аналізу також виявляються випадки розбіжностей у якісній і кількісній оцінках одних і тих самих ділянок, що свідчить про необхідність запровадження комплексної методики зіставлення фактичних параметрів кривих із проєктними, з метою підвищення точності та об'єктивності прийняття технічних рішень.

Зниження інтенсивності розладу колії може бути досягнуте шляхом приведення геометричних параметрів кривих у відповідність до чинних нормативних вимог, своєчасного виконання ремонтних робіт і належного контролю за їх якістю із застосуванням сучасних засобів діагностики колійного господарства [95]. Одним із важливих напрямів удосконалення системи управління станом колії є регулярна паспортизація кривих.

У разі виявлення відхилень фактичних параметрів кривої від паспортних даних, необхідно здійснювати розрахунок раціональних параметрів улаштування кривої в заданому діапазоні швидкостей. Це дозволяє забезпечити відповідність нормативним вимогам, оптимізувати силову взаємодію між колією та рухомим складом і, водночас, мінімізувати обсяги робіт із рихтування колії.

Згідно з результатами розрахунків, проведених фахівцями ДНУЗТ [96, 97], існуючі обмеження швидкості, які встановлюються адміністративним шляхом (наказами начальників залізниць), у низці випадків не відповідають об'єктивно розрахованим значенням. Основною причиною цього є те, що в практиці дистанцій колії інженерні розрахунки нерідко здійснюються за спрощеними методиками, з акцентом лише на два критерії – величину непогашеного поперечного прискорення та крутизну відводу підвищення зовнішньої рейки.

Такий обмежений підхід не дозволяє комплексно оцінити умови руху, зокрема показники плавності та комфорту. Це є неприйнятним у контексті впровадження високошвидкісного пасажирського руху, адже збільшення швидкості потребує підвищених вимог до точності проєктування, геометричної стабільності та якісного утримання криволінійних ділянок колії [98].

Обов'язковими умовами формування паспортних характеристик кривої є

дотримання трьох основних вимог:

Умова 1. Відповідність чинним нормативним документам, зокрема: ЦП-0236 «Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей у кривих ділянках колії» [57]; ЦП-0269 «Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України» [59].

Умова 2. Геометрія кривої в плані повинна бути максимально наближеною до її фактичного положення. Відхилення допускаються лише в межах гранично можливих зсувів колії, визначених габаритними, технічними, технологічними та експлуатаційними обмеженнями.

Умова 3. Паспортні характеристики улаштування кривої (радіус, підвищення зовнішньої рейки, довжини перехідних кривих) мають забезпечувати дотримання таких динамічних критеріїв руху поїздів:

- величини непогашеного поперечного прискорення $\alpha_{\text{нп}}$, м/с²;
- швидкості зміни прискорення φ , м/с³
- ухилу відводу підвищення зовнішньої рейки i_v , ‰

У разі, якщо фактичні параметри кривої не відповідають зазначеним умовам, необхідно визначити розрахунком раціональні параметрів для заданого діапазону швидкостей. Такі параметри повинні забезпечувати відповідність нормативам, оптимальну взаємодію між колією та рухомим складом, а також мінімізацію обсягів робіт зі зміщення колії та коригування підвищення зовнішньої рейки.

Розроблені проектні паспортні характеристики повинні пройти погодження у службі колії, після чого вони підлягають реалізації під час планових ремонтних робіт або в процесі реконструкції ділянки.

3.4 Пріоритетність перебудови плану лінії з використанням методу аналізу ієрархій (МАІ)

3.4.1 Класифікація ділянок перебудови плану лінії

Усі ділянки плану лінії, що обмежують швидкість руху поїздів, можна

розділити на групи, що відрізняються складністю виконання і складом робіт з перебудови, місцем розташування (станція, перегін) та іншими ознаками (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Класифікація ділянок перебудови плану лінії

Номер групи	Характеристика	Заходи
1	2	3
1	<i>Криві, розташовані в межах колійного розвитку роздільних пунктів чи у безпосередній близькості до вхідних стрілочних переводів</i>	Реконструкція колійного розвитку станцій та інших комунікацій
2	<i>Криві, розташовані перед горловинами роздільних пунктів і забезпечують перехід до розширеного міжколійя</i>	Невеликі зміщення існуючої колії з розширенням земляного полотна
3	<i>Криві, що мають достатню величину радіуса, але недостатню довжину перехідних кривих, що обмежує можливість відводу підвищення зовнішньої рейки</i>	Невеликі зміщення існуючої колії, що вимагають, як правило, розширення земляного полотна з реконструкцією водопропускних споруд
4	<i>Криві, що мають недостатню величину радіуса. Прямі вставки, що примикають до кривої, мають достатню довжину для її перебудови</i>	Перехід на нову трасу на локальних ділянках залізниці
5	<i>S-подібні криві, що за своїми параметрами потребують перебудови. Прямі вставки, що примикають до кривої, недостатньої довжини</i>	Комплексна перебудова колії в залежності від кількості й напрямку кривих, кутів повороту й інших факторів

Виникає слушне запитання, які сполучення кривих найчастіше обмежують швидкість руху поїздів. Проведений аналіз кривих на основних напрямках залізниць показав, що першочергове значення для розробки методики проектування реконструкції плану і визначення вартості перебудови кривих мають такі схеми: І-

1, II-2, III-3 і IV-1 (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Характеристика розрахункових схем кривих, що мають обмеження швидкості руху

Номер групи	Номер схеми	Характеристика схеми	Кількість кривих для даної схеми, %
I	1	Поодинокі криві	27
II		Криві направлені в різні сторони	
	1	Радіус обох кривих обмежують швидкість руху	6
	2	Радіус обох кривих і коротка пряма вставка між ними обмежують швидкість руху	16
	3	Радіус однієї кривих та (або) коротка пряма вставка між ними обмежують швидкість руху	9
III		Криві направлені в одну сторону	
	1	Радіуси обох кривих обмежують швидкість руху	4
	2	Радіус однієї з кривих обмежує швидкість руху	2
	3	Радіус обох кривих і коротка пряма вставка між ними обмежують швидкість руху	13
IV	1	Поєднання великої кількості кривих (багаторадіусні криві)	23
		Всього:	100

Четверта група можливих схем реконструкції плану включає перебудову трьох і більше існуючих кривих і має індивідуальне рішення.

3.4.2 Вимоги до контролю за станом кривих

Аналізуючи параметри плану залізничної колії та їх вплив на безпеку руху й надійність роботи залізничної колії, були складені вимоги до необхідного контролю

за станом кривих для таких компонентів:

1. Радіус кривої (R). Вплив радіуса кривої на стійкість рухомого складу, зношування колії, швидкість руху

2. Перехідні криві (L). Вплив на плавність переходу з прямолінійної ділянки на криву, забезпечення необхідного рівня комфорту пасажирів та безпеку руху, відвід підвищення зовнішньої рейки

3. Підвищення зовнішньої рейки (H). Динамічне навантаження, зношування колії, забезпечення необхідного рівня комфорту пасажирів та безпеку руху.

4. Одинокі криві (OK). Характеризуються наявністю однієї кривої між двома прямими ділянками. Вони менш складні у проектуванні та експлуатації, більш надійні через простоту їх геометрії.

5. S-подібні криві направлені в одну сторону (S1). Криві, розташовані поруч одна з одною, з можливими короткими прямими вставками між ними. Переваги: зменшення загальної довжини кривої, що може бути корисним у обмежених просторових умовах, покращення видимості для машиніста, особливо на ділянках з обмеженою видимістю. Недоліки: підвищене зношування рейок та коліс через часту зміну напрямку кривизни, збільшення ризику сходу поїзда з рейок, особливо на високих швидкостях, необхідність ретельного обслуговування для забезпечення безпеки руху. Швидкість руху поїздів на S-подібних кривих, як правило, обмежена.

6. S-подібні криві направлені в різні сторони (S2). Криві, розташовані поруч одна з одною, з можливими короткими прямими вставками між ними. Переваги: можливість плавного переходу від однієї кривої до іншої, що зменшує зношування колії та рухомого складу; зниження ризику сходу поїзда з рейок порівняно з кривими, спрямованими в одну сторону. Недоліки: збільшення загальної довжини кривої, складність проектування та обслуговування. Швидкість руху поїздів на S-подібних кривих, як правило, обмежена.

7. Складові (багаторадіусні) криві (БК). Включають кілька кривих з різними радіусами, з'єднаних між собою без прямих ділянок. Можуть викликати збільшене

зношування рейок і підвищене навантаження на колісні пари через зміну напрямку сили при русі поїзда, що може призводити до підвищеного ризику дестабілізації колії, особливо на високих швидкостях.

8. Вертикальні криві (ВК). Забезпечують необхідний рівень плавності переходу між різними переломами на профілі. Співпадіння вертикальних кривих в профілі й горизонтальних кривих в плані впливає на динаміку рухомого складу та комфорт пасажирів.

У методі аналізу ієрархій (MAI) важливість кожного параметра визначається на основі їхнього впливу на безпеку руху та надійність роботи залізничної колії. Розглянемо відносну важливість між радіусом кривої (R), перехідними кривими (L), підвищенням зовнішньої рейки (H), одинокі криві (ОК), S-подібні криві в одну сторону (S1) і в різні сторони (S2), складові (багаторадіусні) криві (БК), Співпадіння вертикальних і горизонтальних кривих (ВК)

Задачу щодо оцінки відносної важливості компонентів системи R, L, H, ОК, S1, S2, БК можна формалізувати математично шляхом застосуванням вагових коефіцієнтів або числових значень, що відображають ступінь переваги одного компонента над іншим.

Кількість унікальних парних порівнянь, необхідних для проведення повного аналізу, визначається за формулою для комбінацій без повторень:

$$C(n, k) = \frac{n!}{k!(n-k)!}, \quad (3.2)$$

де n – загальна кількість компонентів,

k - кількість елементів у кожному порівнянні (у даному випадку $k=2$).

Для восьми компонентів ($n=8$), згідно з формулою (3.2), кількість унікальних порівнянь становить:

$$C(8, 2) = \frac{8!}{2!(8-2)!} = 28$$

Таким чином, для повної оцінки взаємної важливості восьми елементів

потрібно виконати 28 незалежних парних порівнянь. Для побудови матриці парних порівнянь А у методі аналізу ієрархій (МАІ) були використані наступні числові шкали оцінювання важливості одного елементу відносно іншого: рівнозначність – 1 бал; незначна перевага – 3 бали; середня перевага – 5 балів; значна перевага – 7 балів; абсолютна перевага – 9 балів.

Усі інші значення між основними рівнями можуть використовуватись як проміжні оцінки (наприклад, 2, 4, 6, 8), а зворотні оцінки (наприклад, 1/3, 1/5 тощо) використовуються у випадку, коли перевага належить іншому компоненту.

Детальний аналіз впливу кожного параметра на безпеку руху та експлуатацію кривих ділянок колії виконано для напрямків швидкісного руху (161-200 км/год), що впроваджується на існуючих лініях, табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Кількість можливих порівнянь для 8-ти компонентів

№ з/п	Компоненти, що порівнюються між собою	Співвідношення компонентів за важливістю	Кількість балів
1	2	3	4
1	R vs. L	Сильна перевага (7 балів). Радіус має критичне значення для безпеки на високих швидкостях, тоді як L забезпечують комфорт.	7
2	R vs. H	Сильна перевага. Радіус визначає необхідність підвищення, але сам по собі є фундаментальним.	7
3	R vs. ОК	Повна перевага. Одинокі криві не створюють додаткових ризиків, якщо радіус достатній.	9
4	R vs. S1	Повна перевага. S1 створюють значні ризики, особливо на високих швидкостях, тоді як великий радіус зменшує їх.	9
5	R vs. S2	Сильна перевага. S2 менш ризиковані, але радіус залишається критичним	7
6	R vs. БК	Сильна перевага. Радіуси в СК повинні бути узгоджені, але сам по собі радіус є важливішим.	7
7	R vs. БК	Сильна перевага. Недотримання норм щодо співпадіння може призвести до ускладнень в утриманні колії, але не настільки критично, як недостатній радіус. Це означає, що навіть при наявності певних недоліків у співпадині кривих, достатній радіус забезпечує високий рівень безпеки та якості колії.	7

Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4
8	L vs. H	Середня перевага. Обидва важливі, але h більше впливає на безпеку.	5
9	L vs. OK	Середня перевага. Перехідні криві забезпечують комфорт, OK – ні.	5
10	L vs. S1	Сильна перевага. Перехідні криві зменшують ризики S1.	7
11	L vs. S2	Середня перевага. Перехідні криві покращують комфорт на S2	5
12	L vs. БК	Середня перевага. ПК важливі для плавного переходу в БК	5
13	L vs. БК	Середня перевага. ПК покращують комфорт при співпадінні	5
14	H vs. OK	Середня перевага. Підвищення H важливе для безпеки, OK – ні.	5
15	H vs. S1	Сильна перевага. Підвищення H компенсує відцентрову силу на S1	7
16	H vs. S2	Середня перевага. Підвищення H важливе для безпеки на S2	5
17	H vs. СК	Середня перевага. Підвищення H важливе для безпеки в БК	5
18	H vs. БК	Сильна перевага. Підвищення H компенсує навантаження при співпадінні	7
19	S1 vs. S2	Сильна перевага. S-подібні криві S1 набагато ризикованіші	7
20	S1 vs. БК	Сильна перевага. S-подібні криві S1 створюють більші ризики, ніж БК.	7
21	S1 vs. БК	Сильна перевага. S-подібні криві S1 створюють більші ризики, ніж співпадіння	7
22	БК vs. БК	Середня перевага. Обидва важливі, але багаторадіусні (складові) криві БК вимагають більш точного проектування.	5
23	OK vs. S1	Слабка перевага OK відносно S-подібних кривих S1	3
24	OK vs. S2	Середня перевага OK відносно S-подібних кривих S2	5
25	OK vs. БК	Слабка перевага OK відносно багаторадіусних кривих БК	3
26	OK vs. БК	Слабка перевага OK при співпадінні з вертикальними кривими БК	3
27	S2 vs. БК	Середня перевага. Обидві компоненти повинні враховуватися приблизно в однаковій мірі	5
28	S2 vs. БК	Середня перевага. Обидві компоненти приблизно рівнозначні	5

З урахуванням вище викладеного, матриця A співвідношення важливості висунутих вимог приймає вигляд (табл. 3.8:

Таблиця 3.8 – Матриця A співвідношення важливості висунутих вимог

КОМПОНЕНТИ	МАТРИЦЯ A	Радіус	Перехідні	Підвищення	Одинокі	S-подібні криві	S-подібні криві	Складові	Вертикальні
		крової	криві	зовн. рейки	криві	в одну сторону	в різні сторони	криві	криві
		R	L	H	OK	S1	S2	БК	ВК
Радіус кривої	R	1	7	7	9	9	7	7	7
Перехідні криві	L	0.14	1	5	5	7	5	5	5
Підвищення зовнішньої рейки	H	0.14	0.20	1	5	7	5	5	7
Одинокі криві	OK	0.11	0.20	0.20	1	3	5	3	5
S-подібні криві, направлені в одну сторону	S1	0.11	0.14	0.14	0.33	1	7	7	7
S-подібні криві, направлені в різні сторони	S2	0.14	0.20	0.2	0.20	0.14	1	5	5
Складові криві	БК	0.14	0.20	0.2	0.33	0.14	0.20	1	3
Співпадіння кривих в профілі й плані	ВК	0.14	0.20	0.14	0.20	0.14	0.20	0.33	1
	Сума:	0.94	8.14	12.89	20.07	26.43	29.40	32.33	39.00

Зворотне співвідношення вимог по ступені важливості виражається оберненим числом, тобто:

$$a_{j,i} = \frac{1}{a_{i,j}} \quad (3.3)$$

Щоб отримати вектор пріоритетів, матриця була нормалізована. Вектор пріоритетів показує відносну важливість кожного компонента. Необхідно також перевірити узгодженість матриці, щоб переконатися, що оцінки є логічними.

Підрахуємо нормалізовану матрицю B , кожен елемент якої визначається за формулою

$$b_{i,j} = \frac{a_{i,j}}{\sum_{i=1}^n a_{i,j}}, \quad (3.4)$$

де n – кількість факторів порівняння.

Нормалізована матриця B приймає вигляд (табл. 3.9):

Таблиця 3.9 – Нормалізована матриця B

МАТРИЦЯ B	R	L	H	OK	S1	S2	БК	ВК
R	0,000	0,737	0,466	0,399	0,303	0,204	0,186	0,154
L	0,153	0,123	0,388	0,249	0,265	0,170	0,155	0,128
H	0,153	0,025	0,078	0,249	0,265	0,170	0,155	0,179
OK	0,119	0,025	0,016	0,050	0,114	0,170	0,093	0,128
S1	0,119	0,018	0,011	0,017	0,038	0,238	0,216	0,179
S2	0,153	0,025	0,016	0,010	0,005	0,034	0,155	0,128
БК	0,153	0,025	0,016	0,017	0,005	0,007	0,031	0,077
ВК	0,153	0,025	0,011	0,010	0,005	0,007	0,010	0,026
Сума:	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Підраховуємо матрицю вагомості λ , яка кількісною оцінкою вказує на розподілення ступеня важливості за вимогами (табл. 3.10). Сума всіх елементів складає 1. Елементи матриці вагомості λ визначається за формулою:

$$\lambda_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{i,j}}{n} \quad (3.5)$$

Таблиця 3.10 – Матриця вагомості λ

$\lambda_i =$	Радіус кривої	R	0.487
	Перехідні криві	L	0.204
	Підвищення зовнішньої рейки	H	0.159
	Одинокі криві	OK	0.089
	S-подібні криві, направлені в одну сторону	S1	0.104
	S-подібні криві, направлені в різні сторони	S2	0.066
	Складові криві	БК	0.041
	Співпадіння кривих в профілі й плані	ВК	0.031

Визначимо, наскільки можна довіряти отриманим результатам. Зробимо оцінку сумісності для кожної вимоги:

$$S_i = \frac{\sum_{j=1, k=1}^{j=n, k=n} a_{i,j} \lambda_k}{\lambda_i}, \quad (3.6)$$

де $k \equiv i$, використано для спрощення запису формули.

Середнє значення підраховується за формулою

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}. \quad (3.7)$$

Остаточно визначаємо параметр довіри результатам C_R

$$C_R = \frac{\bar{S} - n}{r_l(n-1)}, \quad (3.8)$$

де r_l – індекс узгодженості, який при $n = 8$ складає 1,41.

Щоб отримати індекс узгодженості (r_l) Томас Сааті, автор методу аналізу ієрархій (MAI), провів експерименти, генеруючи велику кількість випадкових матриць парних порівнянь для різних розмірностей. Табличні значення r_l наведені в [99]. Для матриці розмірністю 8, $r_l = 1.40$. Тоді $CR = 0.042 / 1.40 = 0.0298$. Після проведених розрахунків за формулами (3.7) і (3.8) отримуємо $C_R = 0,054$, що дає право згідно методу MAI довіряти отриманим результатам. Оскільки $C_R < 0,1$, то рівень неузгодженості матриці А є прийнятним, що говорить про позитивність отриманих результатів.

Як впливає з аналізу матриці λ , найбільш значущими за ступенем важливості факторами є радіус кривої (48,7%), далі поділяють між собою пріоритети: перехідні криві (20,4%) й підвищення зовнішньої рейки (15,9%). Найменш вагомими є вимоги до складових кривих (4,1%) і співпадіння вертикальних кривих з кривими в плані (3,1%).

Зазначимо, що у деяких випадках (Австралія, Індія, Канада, США, Китай (на деяких ділянках звичайних, не високошвидкісних залізниць) допускається

частковий збіг перехідних кривих у плані з вертикальними кривими, особливо на вантажних лініях, якщо забезпечена плавність ходу рухомого складу.

Висновки до розділу 3

Встановлено, що між паспортизацією залізничних кривих та інноваційними технологіями існує тісний взаємозв'язок. Сучасні технології значно спрощують і підвищують точність цього процесу, відкриваючи нові можливості для оптимізації експлуатації залізничного транспорту:

- інноваційні технології дозволяють отримувати більш точні та детальні дані про геометрію колії;
- автоматизація процесів збору та обробки даних значно скорочує час, необхідний для паспортизації;
- можливість частіше проводити паспортизацію дозволяє виявляти проблеми на ранніх стадіях і запобігати їх розвитку;
- завдяки повній і детальній інформації про стан колії можуть прийматися більш обґрунтовані рішення щодо її ремонту та модернізації.

Радіус кривої безпосередньо впливає на безпеку та комфорт руху. Чим більший радіус, тим менші відцентрові сили діють на транспортний засіб, що забезпечує стабільність та зменшує ризик аварій. Навіть при наявності вертикальної та горизонтальної кривих, якщо радіус достатньо великий, вплив їхнього поєднання буде мінімізований. Співпадіння кривих, хоча й важливе, але є вторинним фактором порівняно з радіусом. Недотримання норм щодо співпадіння може призвести до ускладнень в утриманні колії, але не настільки критично, як недостатній радіус.

Аналіз складних ділянок плану залізниці засвідчив, що впровадження розрахунків згідно із запропонованою методикою, а також оптимізація параметрів кривих з урахуванням економічної доцільності їх перебудови, дозволяють підвищити допустиму швидкість руху в криволінійних ділянках та, відповідно, скоротити загальний час проходження поїздів.

Основні матеріали третього розділу опубліковані в працях [4, 16, 24, 89, 90, 94, 97].

4. ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНУ ЗАЛІЗНИЦІ НА КІЛЬКОХ ПЕРЕГОНАХ

4.1 Реконструкція плану залізниці з використанням системи автоматизованого проєктування

4.1.1 Функціональні можливості складових САПР

З метою підвищення рівня безпеки руху, поліпшення плавності та комфорту поїздки в умовах модернізації залізничної інфраструктури України, доцільним є впровадження інноваційних технологій проєктування. У рамках даного дослідження застосовано систему автоматизованого проєктування (САПР), розроблену в Українському державному університеті науки і технологій. До її складу входять два основних програмних модулі: MoveRW, що забезпечує виконання тягових розрахунків, та RWPlan, призначений для виправлення і проєктування плану залізничної колії.

У межах проведеної роботи САПР (MoveRW+RWPlan) була вдосконалена та розширена за двома напрямками:

Розширення вхідних методів зйомки. Система доповнена можливістю використання різних методів зйомки плану лінії, які застосовуються як у колійному господарстві (метод стріл), так і в проєктних організаціях (метод Гонікберга, координатний, метод від базису тощо) [100].

Комплексна оптимізація. Замість локального покрокового підбору параметрів окремих кривих реалізовано алгоритм комплексної оптимізації плану для значних ділянок – у межах одного перегону або кількох перегонів – з урахуванням різних критеріїв ефективності [4].

Таке поєднання підходів дозволяє здійснювати інженерну реконструкцію та виправлення плану залізничної лінії з урахуванням сучасних вимог до швидкості руху, надійності колії та економічної ефективності проєктних рішень.

Програмний продукт RWPlan [101] дозволяє вирішувати різні завдання з

проектування та виправлення плану існуючих залізниць, що наведені в табл. 4.1

Таблиця 4.1 – Перелік операцій, що виконуються програмою

13	Функціональні можливості	Опис операцій
1	2	3
1	Різні методи зйомки плану та введення вихідних даних	Вихідні дані, що отримані способом стріл вигину, модифікованої зйомки стріл, знятих способом Гонікберга, координатним способом, зйомкою від базису, за даними КВЛ, комбінованої зйомки
2	Розрахунок не окремих кривих, а ділянок колії довжиною один чи декілька перегонів	Довгі ділянки складаються з прямих та кривих різних напрямків. Обмеження на проектні параметри задаються для довжин перехідних кривих і радіусів у вигляді мінімуму і максимуму
3	Використання сплайнової моделі плану існуючої колії	Дозволяє точніше визначати значення кривизни та напрям векторів нормалей, вводити в модель додаткові точки
4	Точне координатне подання багаторадіусних кривих	При побудові координатної моделі плану проектної колії використовуються підходи, що забезпечують високу точність моделі для розрахунків довгих ділянок і використання цієї моделі в САПР і ГІС
5	Використання ефективних моделей плану та алгоритмів оптимізації	Враховуючи багатоекстремальність завдання та складність процедури обчислення значення критерію оптимізації, у програмі передбачено використання для пошуку оптимального вирішення глобального випадкового пошуку
6	Використання різних критеріїв за вибором проектувальника	Мінімум суми квадратів зсувів, модулів зсувів, корнів з модулів зсувів і витрат. Застосування як критерія оптимізації грошових витрат на перебудову плану дозволяє оцінити та знизити витрати на виконання робіт
7	Широке використання	Широкі можливості роботи з координатною зйомкою, включаючи її перенесення на вісь колії, на сусідню колію, введення додаткових точок
8	Єдиний підхід до розрахунків кривих	Виконується однаковий підхід для проектних організацій та дистанцій колії

Продовження таблиці 4.1

1	2	3
9	Визначення допустимих швидкостей	Виконується для існуючої та колії, що проектується з встановленням раціонального підвищення зовнішньої рейки в кривих
10	Урахування обмежень на величину та напрямок зсувів	Програма дозволяє проектувальнику вводити практично будь-які обмеження на зсуви, пікетаж і проектні параметри
11	Вирішення різноманітних завдань проектування плану	Отриманий план може бути імпортований у програми MoveRW для виконання тягових розрахунків і CadRW – для побудови креслення поздовжнього профілю
12	Розрахунок плану сусідніх колій з перевіркою габаритів	Зйомка ділянки виконується комбінованим способом. Для спрощення польових робіт зйомка кривих проводиться способом Гофера з правої рейки (по робочій або зовнішній грані рейки залежно від сторонності кривої), як найпростішим і досить точним
13	Побудова різних креслень, включаючи паспорт кривої для дистанції колії	Розрахований план може бути експортований у формат DXF для подальшого відкриття в AutoCAD. Також може бути створена нитка плану для нанесення її на креслення поздовжнього профілю в AutoCAD.

4.1.2 Алгоритм розрахункової послідовності при оптимізації довгих ділянок плану

Процес оптимізації плану залізничної колії на довгих ділянках (у межах одного або кількох перегонів) реалізується за допомогою поетапного алгоритму, який враховує особливості геометрії траси, вимоги до швидкості руху, обмеження за радіусами кривих, нормативи з плавності та безпеки руху.

Загальну послідовність виконання розрахунків при оптимізації протяжних ділянок можна представити у вигляді блок-схеми (рис. 4.1), яка відображає основні етапи роботи в програмному середовищі MoveRW+RWPlan. До таких етапів належать: зчитування вихідних даних (у будь-якому з доступних форматів зйомки), автоматичне виявлення кривих, розрахунок параметрів кожної з них, порівняння з

нормативними вимогами, оптимізація за вибраними критеріями, формування нових проектних параметрів та формування вихідної документації.

1	Уведення в програму MoveRW параметрів профілю, плану й існуючих обмежень швидкості на ділянці, що підлягає реконструкції: *.prf; *.cur; *.ogr
---	--

Обрати напрямок руху

Швидкісний рух (ШР): Діапазон швидкостей, км/год: $141 \leq V_{\max \text{ пас}} \leq 160$ $V_{\text{приск}}^{\text{пас}} = 91-140$ $V_{\text{прим}}^{\text{пас}} = 91-120$	Суміщений рух (СР): Діапазон швидкостей, км/год: $121 \leq V_{\max \text{ пас}} \leq 140$ $V_{\text{приск}}^{\text{приск}} = 81-120$ $V_{\text{ван}}^{\text{ван}} = 71-90$	Вантажний рух (ВР): Діапазон швидкостей, км/год: $V_{\text{вант}} = 61-90$ $V_{\text{прим}}^{\text{прим}} = 71-100$ $V_{\text{зб}}^{\text{зб}} = 51-70$
Допустиме непогашене прискорення, м/с ² $a_{\text{нп}}^{\text{швид}}^{\text{пас}} = 0,7-1,0$	Допустиме непогашене прискорення, м/с ² $a_{\text{нп}}^{\text{пас}} = 0,7; a_{\text{нп}}^{\text{вант}} = \pm 0,3$	Допустиме непогашене прискорення, м/с ² $a_{\text{нп}}^{\text{вант}} = \pm 0,3; a_{\text{нп}}^{\text{прим}} = 0,7$
Швидкість зростання прискорення, м/с ³ $\psi = 0,4$	Швидкість зростання прискорення, м/с ³ $\psi = 0,5$	Швидкість зростання прискорення, м/с ³ $\psi = 0,6$
Швидкість опускання колеса, мм/с $f_v = 28-32$	Швидкість опускання колеса, мм/с $f_v = 32-35$	Швидкість опускання колеса, мм/с $f_v = 35-40$
Ухил відводу підвищення $i_g = 0,60-0,70$	Ухил відводу підвищення $i_g = 1,0-1,2$	Ухил відводу підвищення $i_g = 1,4-1,6$

2	Відповідно до прийнятого напрямку і нормативів до графіку руху поїздів задаються типи локомотивів і маса поїздів
---	--

Локомотив 2ЭС5К Кол-во лок. 1 Снижение сцепления в кривых не учитывать Позиция ОР2 100 Сила тяги по состоянию локомотива, % 	Локомотив ЧС8 Кол-во лок. 1 Снижение сцепления в кривых не учитывать Позиция 4 100 Сила тяги по состоянию локомотива, % 	Локомотив ЭР9 (1 мот) Кол-во лок. 1 Снижение сцепления в кривых не учитывать Позиция 1 100 Сила тяги по состоянию локомотива, % 
Маса поїзда $Q_{\text{ван}} = 4000$ т	Маса поїзда $Q_{\text{нас}} = 600$ т	Маса поїзда $Q_{\text{прим}} = 300$ т

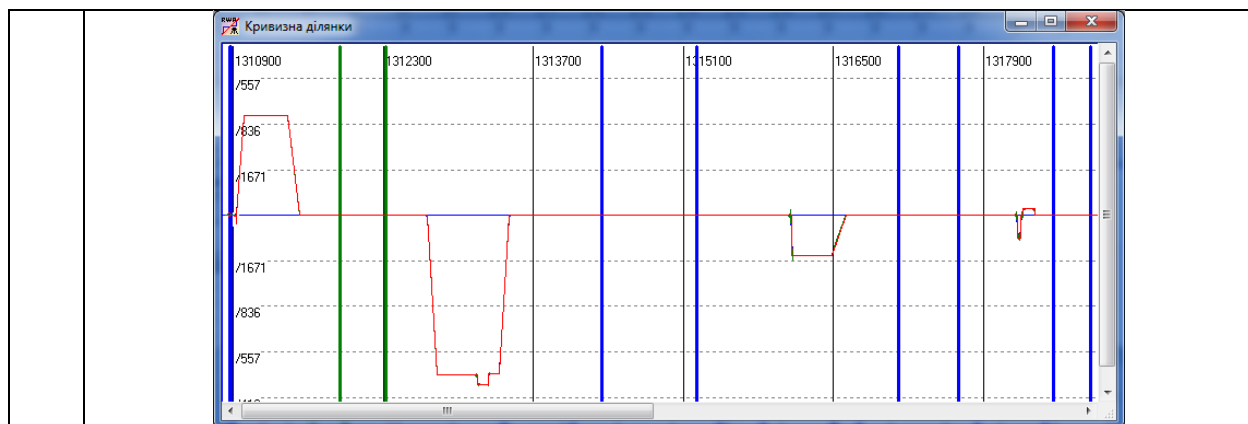
3	Виконуються розрахунки в програмі MoveRW і отримуються результати: - середня швидкість руху $V_{\text{сер}}$, км/год - витрати електроенергії A, кВт-год - час руху поїзда T, хв.
---	--

4	Відповідно до обраного напрямку руху приймається загальна кількість поїздів, відсоток поїздів різних категорій і розраховується середньозважена квадратична швидкість потоку поїздів $V_{\text{серзвж}} = \sqrt{\frac{\sum n_i Q_i V_i^2}{\sum n_i Q_i}}$
---	---

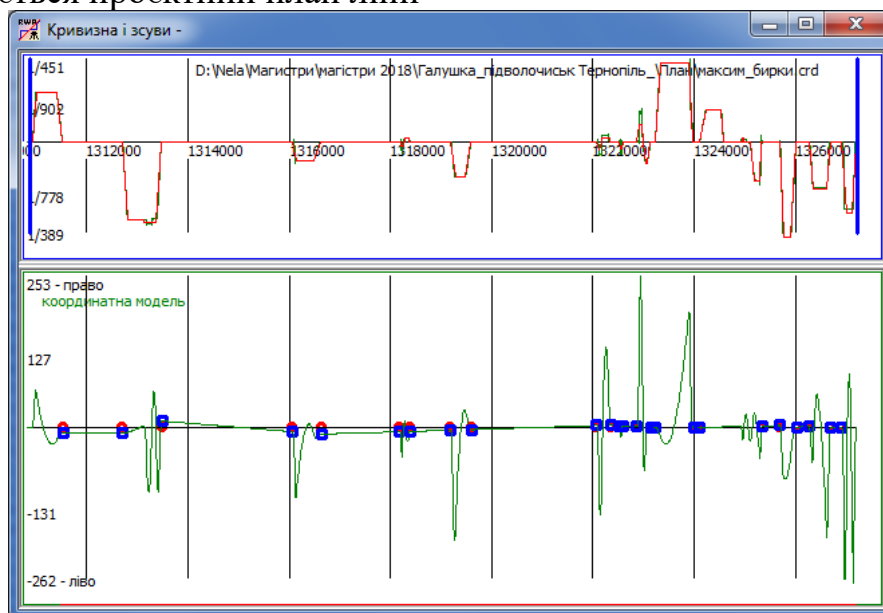
Швидкісний рух (ШР): відсоток поїздів $(n_{\text{шв}} = 85-75\%);$ $(n_{\text{приск}} = 10-15\%);$ $(n_{\text{прим-приск}} = 5-10\%)$	Суміщений рух (СР): відсоток поїздів $(n_{\text{нас}} = 55-70\%);$ $(n_{\text{прим}} = 15-25\%);$ $(n_{\text{ван+зб}} = 15-20\%)$	Вантажний рух (ВР): відсоток поїздів $(n_{\text{ван}} = 80-90\%);$ $(n_{\text{прим}} = 5-10\%);$ $(n_{\text{зб}} = 5-10\%)$
--	--	--

5	На основі файлу *.sig в програмі RWPlan створюється координатна модель плану лінії
---	--

6	Ділянка розбивається на окремі криві й проводиться оптимізація кожної з них по V_{max} дотримуючись обмежень по зсувам, які не повинні перевищувати ± 200 мм, тобто рихтування кривих повинно здійснюватися у межах основної площадки земляного полотна
---	--



- 7 Фіксуються проєктні параметри кривих і після їх об'єднання створюється проєктний план лінії



- 8 З використанням проєктного плану в програмі RWPlan визначаються допустимі підвищення зовнішньої рейки в кривих h , мм при мінімізації додаткового зносу:
- для швидкісного руху (ШР) по $V_{\max \text{ пас}}$
 - для суміщеного руху (СР) по $V_{\text{сервваж}}$
 - для вантажного руху (ВР) по $V_{\max \text{ ван}}$

- 9 Підгружається проєктний план в програму MoveRW і за результатами розрахунків проводиться порівняння тягово-енергетичних показників для проєктного й існуючого технічного стану

Рисунок 4.1 – Програмний продукт САПР (MoveRW+RWPlan)

Покрокова послідовності виконання розрахунків:

Процес оптимізації плану довгих ділянок залізничної колії в системі MoveRW+RWPlan реалізується за допомогою наступної послідовності дій:

Крок 1. Формування вихідних даних. Створюється координатна зйомка на основі параметрів кривих. Для зручності обробки довга ділянка розбивається на окремі фрагменти з використанням графіків кутових діаграм і кривизни. В результаті формуються вхідні файли, необхідні для подальшої оптимізації.

Крок 2. Оптимізація кривих. Для кожної кривої виконується оптимізація в евольвентній або координатній моделях. Оптимізація здійснюється за одним із трьох критеріїв: мінімум суми квадратів зсувів; мінімум суми модулів зсувів; мінімум загальних витрат (економічний критерій).

Крок 3. Об'єднання фрагментів. Після завершення розрахунків для кожного фрагмента відбувається об'єднання частин моделі. При стикуванні елементів (крива-пряма, крива-крива) без використання перехідних кривих програма автоматично контролює максимальну допустиму різницю кривизни. Якщо перевищено допустиме значення, автоматично коригуються радіуси. Також контролюється можливість відводу підвищення зовнішньої рейки в межах перехідних кривих. Для забезпечення ефективного з'єднання частин виконується округлення радіусів і фіксація перехідних кривих наприкінці кожного фрагмента.

Крок 4. Розрахунок зсувів. Виконується оцінка зсувів для всієї ділянки. У програмі користувач може задати бажаний напрямок зсувів («праворуч», «ліворуч» або довільно). Всі обмеження, у тому числі задане кінцеве значення зсуву, враховуються при розрахунках. Також є можливість встановити глобальне обмеження на величину зсуву в будь-якій точці траси.

Крок 5. Розрахунок швидкостей і аналіз результатів. На завершальному етапі визначаються максимально допустимі швидкості руху для проєктного варіанта колії. Проводиться порівняльний аналіз отриманих результатів відповідно до обраного критерію оптимізації [79]. Розрахунок підвищення зовнішньої рейки в

кривих із урахуванням поїздопотоків і граничних швидкостей виконується за методикою, запропонованою Хмелевською Н. П.

Таблиця 4.2 – Переваги, що мають місце при оптимізації плану лінії на кількох перегонах

Показники	Оцінка впливу показника на проєктне рішення
1. Зниження обсягів роботи	За рахунок автоматизації процесів, скорочення термінів та збільшення обсягів виконання робіт Оптимізація плану виправлення кривих на декількох перегонах може знизити кількість необхідних виправок порівняно з технологією, що передбачає розрахунки й виправки кожної кривої окремо й не враховує вплив сусідніх кривих і загальної геометрії колії.
2. Зменшення витрат на матеріали, трудові ресурси, техніку	Більш ефективне використання матеріалів, трудових ресурсів та техніки при зменшенні кількості «вікон» на виправку кривих в плані. Завдяки точнішому плануванню можна досягти економії матеріалів, наприклад, баласту, за рахунок встановлення оптимального підвищення зовнішньої рейки в кривих
3. Покращення якості робіт за рахунок збільшення точності виконання розрахунків з геометрії колії	Використання програмного забезпечення для оптимізації плану виправлення кривих на ділянках довжиною в один чи декілька перегонів призводить до меншого розсіювання параметрів колії - різниці між фактичними значеннями геометричних параметрів колії та їх проєктними значеннями. Іншими словами, це відхилення існуючої геометрії колії від проєктної.
4. Зниження експлуатаційних витрат та збільшення терміну служби колії	Завдяки використанню сучасних технологій з постановки колії в проєктне положення витрати на підтримання геометрії колії можуть бути знижені, що зменшує частоту і обсяг необхідних робіт з виправки кривих.
5. Підвищення швидкості та безпеки руху поїздів	Завдяки збереженню оптимальної геометрії колії на всій протяжності перегонів, можна збільшити швидкість руху, а також знизити ризик позапланових ремонтів і аварійних ситуацій.

Комплексний підхід до оптимізації плану на рівні перегонів або кількох суміжних ділянок забезпечує значне покращення точності геометричних рішень, економічну ефективність і підвищення якості утримання інфраструктури [94] (табл. 4.2).

4.2 Приклад розрахунків за алгоритмом оптимізації

Для демонстрації практичного застосування розробленого алгоритму оптимізації плану залізничної лінії було виконано розрахунки на напрямку Гребінка – Полтава – Лозова. У межах моделювання проєктного варіанту для кожної кривої оцінювалася доцільність і можливість підвищення швидкості, з урахуванням технічних і динамічних обмежень.

На основі поєднання планових і тягових розрахунків були сформовані дані для порівняння наступних варіантів технічних рішень:

- початковий варіант – конфігурація станцій і план колії залишаються без змін;
- варіант «Станції» – виконується реконструкція станцій з метою підвищення швидкості руху, при цьому геометрія плану лінії між станціями залишається незмінною;
- варіант «Підвищення» – окрім реконструкції станцій, у кривих змінюється величина підвищення зовнішньої рейки для досягнення максимально допустимих швидкостей при мінімальному зносі рейкових ниток. Радіуси та положення кривих у плані залишаються без змін;
- варіант «Рихтування» – разом із реконструкцією станцій виконується повне виправлення положення колії: вона укладається у нове проєктне положення з урахуванням динамічних критеріїв і граничних швидкостей. При цьому колія залишається в межах існуючого земляного полотна.

Зважаючи на те, що час проходження ділянки швидкісними поїздами типу Hyundai за прямим і зворотним напрямками практично не відрізняється, у таблиці

4.3 наведено лише показники часу руху в прямому напрямку для кожного з розглянутих варіантів. В додатках Д, Е, Ж і З наведені відомості параметрів кривих і швидкостей руху пасажирських і вантажних поїздів на ділянках Гребінка-Полтава і Полтава-Лозова для існуючого стану та після оптимізації плану ділянки залізниці.

Таблиця 4.3 – Час руху поїздів Hyundai в прямому напрямку по варіантам

Напрямок	Час руху поїздів Hyundai по варіантам, хв.			
	початковий	станції	підвищення	рихтовки
Гребінка – Миргород	64	58	52	49
Миргород – Полтава	77	66	68	64
Гребінка – Полтава	141	124	120	113
Полтава – Берестин	71	67	54	50
Берестин – Лозова	74	64	59	54
Полтава – Лозова (165 км)	145	131	113	104
Гребінка – Лозова (358 км)	286	255	233	217

Оптимізація плану лінії на напрямку Гребінка – Полтава – Лозова підтвердила ефективність укладання колії у нове проєктне положення. Такий підхід дозволив досягти максимально допустимих швидкостей руху з мінімальним рівнем зносу рейок. Результати розрахунків засвідчили, що час проходження пасажирськими поїздами ділянки Полтава – Лозова (165 км) скоротився на 41 хвилину, а на всій ділянці Гребінка – Лозова (358 км) – на 69 хвилин, що в середньому становить економію 0,3 хвилини на кожен кілометр шляху [102].

Формування проєктного положення лінії базувалося на принципі модернізації плану в межах наявного земляного полотна. Допустимі рихтування були попередньо обмежені діапазоном 250–300 мм, як такими, що не потребують значних обсягів земляних робіт. Остаточне прийняття варіанту потребує проведення координатної зйомки, аналізу поперечних профілів та розрахунків

дотримання габаритних вимог і міжколійя. Для проектного варіанту на ділянці Полтава – Берестин наведено графіки кривизни, величин зсувів та максимально допустимих швидкостей руху поїздів (рис. 4.2–4.4).

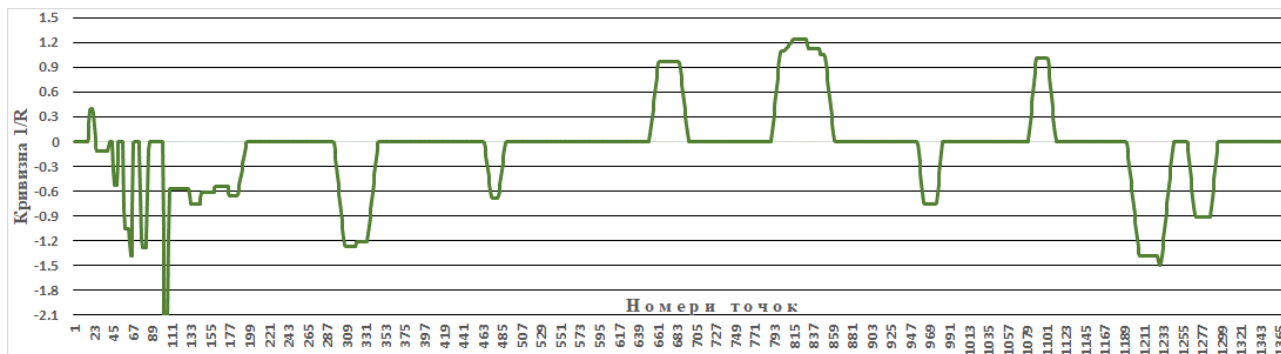


Рисунок 4.2 – Кривизна плану лінії на ділянці Полтава – Берестин (фрагмент)

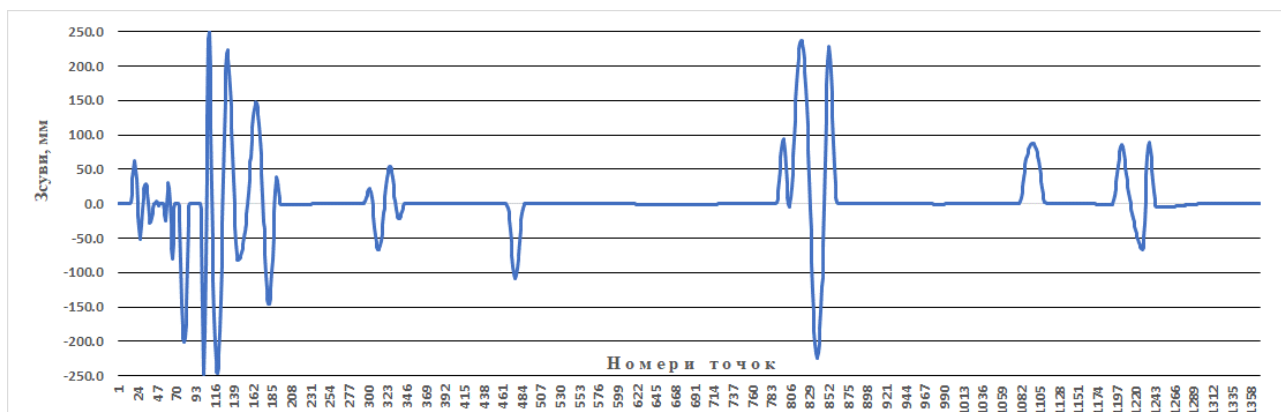


Рисунок 4.3 – Зсуви кривих на ділянці Полтава – Берестин



Рисунок 4.4 – Допустимі швидкості руху на ділянці Полтава – Берестин

Результати оптимізації підвищення зовнішньої рейки з урахуванням обмежень на максимальні швидкості та знос рейкових ниток дозволили отримати технічно обґрунтоване рішення. У всіх розглянутих варіантах непогашені поперечні прискорення для вантажних поїздів не перевищували допустимого рівня $0,3 \text{ м/с}^2$, що відповідає нормативним вимогам до безпеки руху.

Разом з тим, реалізація руху поїздів зі швидкостями 160 км/год і вище потребує високої точності укладання і стабільного поточного утримання колії. На практиці досягти необхідної точності складно, оскільки сучасні технології та технічні засоби рихтування й укладання колії ще не забезпечують достатньої відповідності фактичного положення колії проєктному, особливо на довгих ділянках із складною геометрією [4, 102].

Враховуючи, що для швидкості 160 км/год потрібно упорядковувати і прямі і криві ділянки колії, необхідна спеціальна суцільна геодезична зйомка колії вздовж усієї ділянки. Традиційні способи зйомки (наприклад, Гонікберга) непридатні для вирішення таких завдань і дозволяють розрахувати лише окремі криві без забезпечення габаритів та міжколійя. Тому для виконання таких робіт вже на стадії геодезичних досліджень слід закладати спеціальну реперну систему.

4.3 Оцінка пропозицій перебудови кривих для впровадження швидкісного руху на лінії Львів – Одеса за новою методикою

Існує велика кількість досліджень вітчизняних і зарубіжних авторів, що стосуються практичних аспектів вибору тих чи інших показників ефективності інвестиційних проектів. Критерій чистий дисконтований дохід NPV (Net Present Value) широко використовується в світовій практиці, а тому для порівняння варіантів була розроблена модель прогнозування та оцінки ефективності залізничного транспорту з урахуванням усіх витрат за показником $NPV(t)$, який є різницею між загальним доходом D_t та всіма видами витрат з урахуванням фактору часу (Ki_t – інвестиції, витрати в Kl_t - локомотивний парк, Kv_t - вагонний парк, C_t - поточні експлуатаційні витрати, Cs_t - витрати, залежно від виду технологічних операцій та час перебування вантажних і пасажирських вагонів на станційних коліях [14]:

$$NPV(t) = \sum_{t=0}^{T_p} (D_t - Ki_t - Kl_t - Kv_t - Kc_t - C_t - Cs_t) \eta_t \quad (4.1)$$

Прогнозовані щорічні доходи D_t формуються як сукупна виручка від перевезення вантажів і пасажирів у межах внутрішнього та міжнародного залізничного сполучення.

Під час оцінювання ефективності технічних рішень були враховані фактори невизначеності та ризику, що реалізовано шляхом застосування модифікованої ставки дисконту E_n . Ця ставка використовується для обчислення коефіцієнта дисконтування витрат, розподілених у часі, за формулою:

$$\eta_t = \frac{1}{(1 + E_n)^t}.$$

Номер розрахункового року позначається як $t = 0, 1, 2, 3, \dots, T$ (T – розрахунковий період) охоплює весь розрахунковий період.

Розроблена економічна модель дозволяє виконувати оцінку та прогнозування очікуваних доходів, які може отримати АТ «Укрзалізниця» від вантажних і

пасажирських перевезень за різними варіантами розвитку інфраструктури. Вона враховує змінні обсяги перевезень і рівні попиту у довгостроковій перспективі.

З метою кількісної оцінки ефективності інвестицій розглянуто варіант реконструкції плану лінії Львів – Одеса для впровадження швидкісного руху поїздів. Відповідно до алгоритму, запропонованого в дисертації, було здійснено оптимізацію плану лінії за новою методикою. У результаті були визначені середні капітальні витрати на реконструкцію, які становлять приблизно 2 млн євро на 1 км.

З огляду на загальну довжину маршруту 900 км, загальна сума необхідних інвестицій для реалізації проєкту становить близько 1,8 млрд євро.

Оцінка чистої приведеної вартості (*NPV*) дозволить визначити доцільність інвестування з урахуванням прогнозованих доходів, дисконтування ризиків та часової вартості грошей.

Відповідно до пропозицій [103] передбачається, що нова магістральна мережа колії 1435 мм використовуватиметься для міжнародних пасажирських поїздів. Так як прогноз обсягів перевезень на цей час невідомий, то в роботі розглядалися різні сценарії щодо кількості пасажирських поїздів: $n_{\text{пас}} = 6, 8, 10 \text{ пар поїздів / добу}$.

Виконані розрахунки для цих варіантів за формулою 4.1 зведені в табл. 4.4.

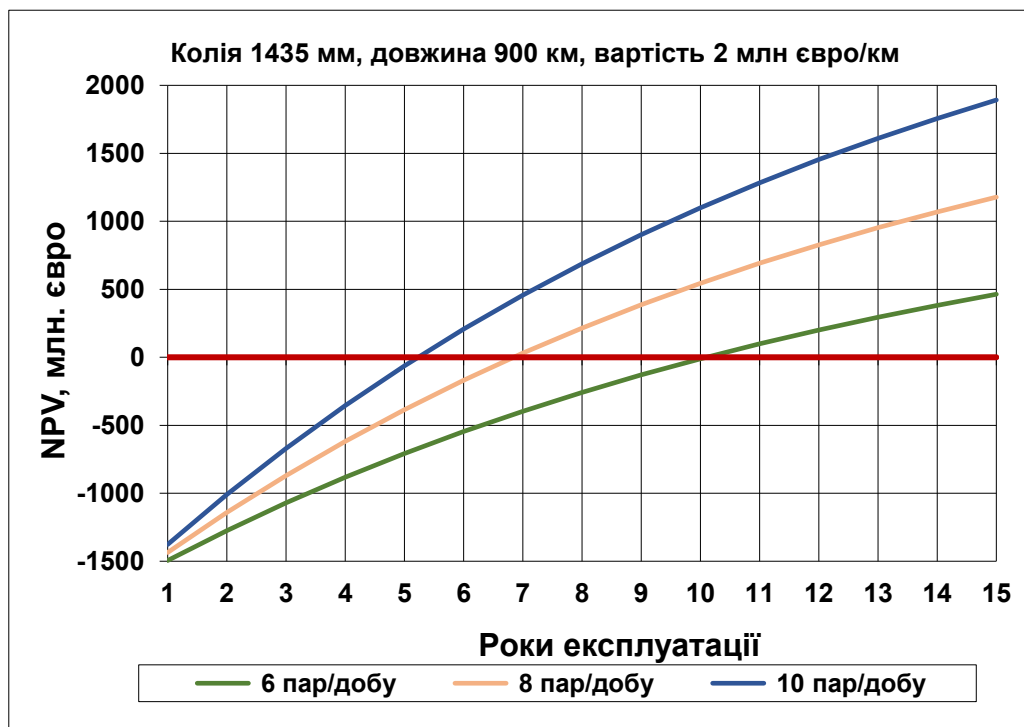
Таблиця 4.4 – Чистий дисконтований дохід за різними сценаріями

Роки	<i>NPV</i> (6 пар/добу)	<i>NPV</i> (8 пар/добу)	<i>NPV</i> (10 пар/добу)
1	2	3	4
1	-1494	-1435	-1376
2	-1274	-1142	-1009
3	-1071	-870	-669
4	-882	-619	-355
5	-708	-386	-63
6	-546	-170	207
7	-396	30	456
8	-258	215	688

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4
9	-130	386	902
10	-11	545	1100
11	99	691	1284
12	201	827	1454
13	295	953	1611
14	383	1070	1757
15	464	1178	1892

Для наступного аналізу за даними табл. 4.4 побудовані залежності $NPV(t)$ для $n_{nac} = 6, 8, 10$ пар поїздів/добу, рис. 4.5

Рисунок 4.5 – Залежність NPV від обсягів перевезень за добу

На основі графіка можна визначити:

- точку окупності – відбувається, коли NPV переходить через нуль;
- IRR (внутрішня норма прибутковості) обчислюється на основі потоку грошових надходжень; це така ставка дисконтування, при якій чиста приведена

вартість (NPV) всіх грошових потоків від інвестиції дорівнює нулю;

– ROI (коефіцієнт повернення інвестицій) – розраховується як відношення чистого прибутку від інвестицій до суми інвестицій.

Графік NPV показує, як змінюється накопичене значення чистого приведенного доходу для трьох варіантів: 6 пар/добу: досягнення беззбитковості ~на 11-му році, 8 пар/добу: беззбитковість ~на 7-му році і 10 пар/добу: беззбитковість вже на 6-му році. Отже, на основі наведених NPV для 15 років можна знайти внутрішню норму дохідності (IRR), тобто ту ставку дисконту, при якій $NPV \approx 0$.

На основі табл. 4.4 і рисунка 4.5 складена таблиця 4.5 і побудований графік (рис. 4.6)

Таблиця 4.5 – Розрахункові показники для різних сценаріїв

Сценарій	Рік без- збитковості	$NPV > 0$	Оцінка IRR	$\sum_{t=0}^{T_p=15} NPV(t)$	Коментар
6 пар/добу	11	99 млн €	~4.9%	464	Занадто повільне повернення коштів
8 пар/добу	7	30 млн €	~7.0%	1178	Привабливо при державному дисконті 6%
10 пар/добу	6	207 млн €	~8.8%	1892	Дуже привабливий проєкт

На основі аналізу NPV за кожен рік (табл. 4.5), можна зробити висновок, що інтенсивність руху є ключовим фактором для фінансової успішності проєкту перебудови кривих. Чим вища інтенсивність руху, тим швидше проєкт починає генерувати позитивну чисту приведену вартість і тим більшою стає його загальна прибутковість протягом 15-річного періоду.

Для прийняття остаточного рішення щодо інвестицій, варто також врахувати ймовірність кожного зі сценаріїв інтенсивності руху, а також провести аналіз чутливості до ключових параметрів, таких як вартість проєкту та ставка

дисконтування.

Порахуємо, наскільки зміниться результат, наприклад NPV , при зміні одного з ключових факторів проекту (наприклад, кількості поїздів/добу), за інших рівних умов [104]. Для цього знаходимо приріст NPV на кожному інтервалі.

Від $n = 6$ до $n = 8$ пар поїздів/добу:

$$\sum_{t=0}^{T_p=15} NPV(t) = 1178 - 464 = 714 \text{ тис. євро} : \Delta n = 8 - 6 = 2 \text{ пари / добу}$$

$$\text{Чутливість} = \frac{714}{2} = 357 \text{ тис. євро на 1 пару / добу}$$

Від $n = 8$ до $n = 10$ пар поїздів/добу:

$$\sum_{t=0}^{T_p=15} NPV(t) = 1892 - 1178 = 714 \text{ тис. євро} : \Delta n = 10 - 8 = 2 \text{ пари / добу}$$

$$\text{Чутливість} = \frac{714}{2} = 357 \text{ тис. євро на 1 пару / добу}$$

Результати представлено на графіку, рис. 4.6.

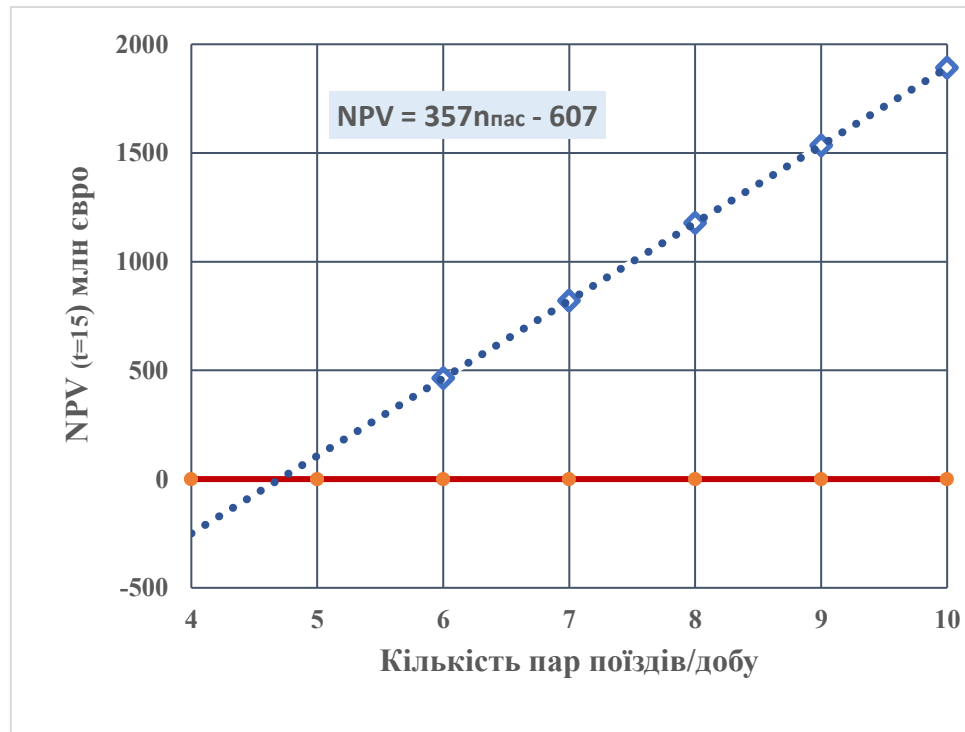


Рисунок 4.6 – Чистий дисконтований дохід на 15-й рік експлуатації

З аналізу рис. 4.6 видно, що графік лінійний, тобто кожна додаткова пара поїздів збільшує NPV приблизно на 357 тис. євро. Горизонтальна лінія на рівні $NPV = 0$ – це лінія беззбитковості. Вертикальна лінія перетину з віссю X показує ≈ 4.7 пар/добу, тобто мінімальну кількість, при якій проєкт стає беззбитковим.

Проведемо розрахунки (табл. 4.6) й побудуємо графік грошових потоків: фактичних і дисконтованих, що дасть можливість наочно побачити ефект дисконтування (рис. 4.7).

Таблиця 4.6 – Недисконтовані й дисконтовані грошові потоки

Роки	<i>Недисконтований NPV</i>	<i>Дисконтований NPV</i>
	млн євро	млн євро
1	-1543,5	-1429,2
2	256,5	-1209,3
3	256,5	-1005,7
4	256,5	-817,1
5	256,5	-642,6
6	256,5	-480,9
7	256,5	-331,3
8	256,5	-192,7
9	256,5	-64,4
10	256,5	54,4
11	256,5	164,4
12	256,5	266,3
13	256,5	360,6
14	256,5	447,9
15	256,5	528,8

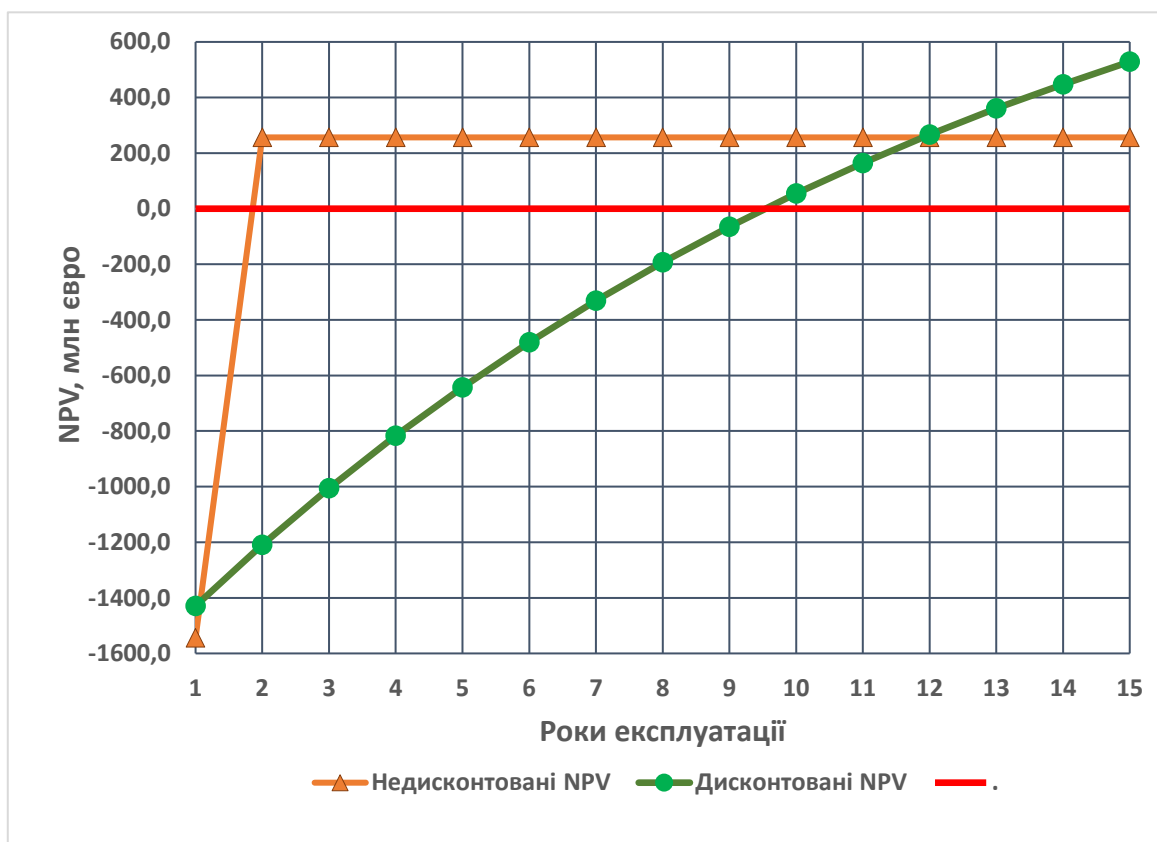


Рисунок 4.7 – Графіки фактичних і дисконтованих грошових потоків

На рис. 4.7 помаранчева лінія з трикутниками – це недисконтовані NPV . Після великої первинної інвестиції (-1543,5 млн €), кожен рік генерується однаковий позитивний потік (256,5 млн €), тому крива різко піднімається і далі йде горизонтально; зелена лінія з кружечками – це дисконтовані NPV . Реальна вартість прибутку кожного року трохи менша через ефект дисконтування (8%), тому крива росте поступово і набагато плавніше; червона горизонтальна лінія на нулі показує момент, коли кумулятивний дисконтований грошовий потік може перетнути нуль і проєкт стає прибутковим. З рисунку видно, що десь на 9–10 році проєкт переходить у плюс за дисконтованим потоком: на 9-му році дисконтоване NPV ще негативне (-64,31 млн €), на 10-му році дисконтоване NPV стає позитивним (+54,5 млн €). Отже, дисконтована точка беззбитковості знаходиться між 9-м і 10-м роками. Виникає питання, що дає графік недисконтованого NPV (помаранчева лінія з трикутниками).

Його основна роль – показати ідеалізовану, спрощену картину повернення інвестицій, без урахування вартості грошей у часі. З нього видно, чи в принципі проєкт прибутковий, якщо не враховувати інфляцію, ризики та інші реальні фактори.

Отже, недисконтоване NPV дає можливість зрозуміти, чи вистачить валових доходів, щоб покрити витрати; воно потрібно для загальної оцінки «потенційної прибутковості». Але рішення про інвестування завжди треба приймати за дисконтованим аналізом. Дисконтоване NPV показує, чи вистачить реальної вартості доходів через 10-15 років, щоб покрити сьогоднішні інвестиції.

При прогнозуванні, плануванні або оцінці інвестицій проєктів, рекомендується застосовувати сценарний підхід: базовий, песимістичний (консервативний) та оптимістичний (або сценарій зростання).

Такі сценарії потрібно розглядати завжди, коли є невизначеність щодо майбутніх доходів, майбутніх витрат, попиту, курсів валют, інфляції тощо. Тобто при оцінці проєктів реконструкції плану лінії такий підхід дає можливість встановити:

- як зміниться результат, якщо зростуть витрати у порівнянні з запланованими;
- який мінімальний рівень результату все одно буде прийнятним;
- який прибуток можна отримати у найкращому випадку;
- які ризики потрібно врахувати при інвестуванні.

Для базового та оптимістичного сценаріїв при розрахунках NPV , IRR , ROI зазвичай змінюються такі ключові вхідні параметри у порівнянні з консервативним, табл. 4.7

Таблиця 4.7 – Прийняті показники для розрахунків за трьома сценаріями

Показник	Консервативний	Базовий	Оптимістичний
Загальний дохід від перевезень (D_t)	менший попит – зниження D_t (наприклад, 280-285 млн €/рік)	помірне зростання D_t (напр., 330-335 млн €/рік)	високий попит – D_t може сягати 375-380 млн €/рік
Інвестиційні витрати (K_t)	вищі витрати, більше непередбачених витрат (наприклад, 1800 млн €)	стандартні капітальні витрати (наприклад, 1710 млн €)	знижені витрати завдяки оптимізації (наприклад, 1600–1650 млн €)
Експлуатаційні витрати (C_t)	27–28 млн €/рік при 2190 поїздів/рік	31–32 млн €/рік при 2555 поїздів/рік	36–37 млн €/рік при 2920 поїздів/рік
Дисконтна ставка (η_t)	Однакова ставка 8%, або вища через ризики (8,5–9%)	Однакова ставка для усіх сценаріїв, наприклад, 8%.	Однакова ставка 8%, або нижча – 7%
Обсяги перевезень $n_{nac}, \text{пар поїздів} / \text{добу}$	У консервативному варіанті залишається мінімальна кількість поїздів, наприклад, $n_{nac} = 6$	У базовому варіанті швидше зростання кількості поїздів, наприклад $n_{nac} = 7$, раніше досягається позитивний NPV та IRR	В оптимістичному варіанті швидше зростання кількості поїздів, наприклад $n_{nac} = 8$, більше доходу й раніше досягається позитивний NPV та IRR.

Виконавши розрахунки за вихідними даними з табл. 4.7, отримано графік, що наведений на рис. 4.8.

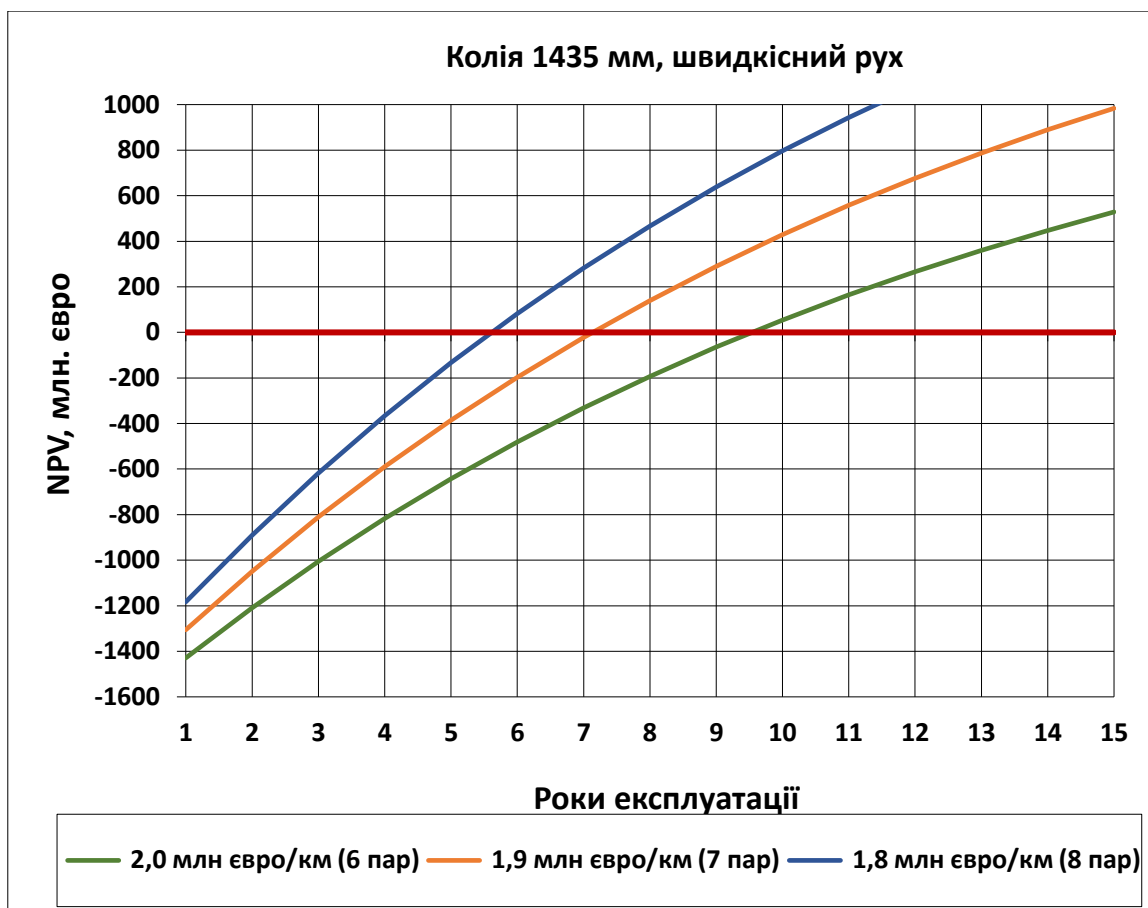


Рисунок 4.8 – Порівняння NPV по рокам для трьох сценаріїв

Синя лінія (консервативний сценарій): найнижчий дохід ($Dt = 284$ млн €), інвестиції – 1800 млн €. Помаранчева лінія (базовий сценарій): дохід 310 млн €, інвестиції – 1710 млн €. Зелена лінія (оптимістичний сценарій): найвищий дохід ($Dt = 340$ млн €), інвестиції – 1620 млн €.

З графіка видно, як змінюється накопичене чисте приведенне значення (NPV) з року в рік залежно від сценарію. Окупність настає: у 9–10 році в консервативному сценарії, у 7 році в базовому, у 5–6 році в оптимістичному.

Розглянемо випадок, коли збільшення кількості поїздів призводить до подорожчання реконструкції залізниці, табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Дисконтовані грошові потоки і вартість реконструкції для різних обсягів перевезень

Рік	6 пар	7 пар	8 пар
	1620 млн.€	1710 млн.€	1800 млн.€
	<i>NPV</i> , млн.€	<i>NPV</i> , млн.€	<i>NPV</i> , млн.€
1	-1263	-1306	-1350
2	-1043	-1049	-1056
3	-839	-810	-784
4	-650	-590	-533
5	-476	-386	-300
6	-314	-197	-84
7	-165	-22	116
8	-26	140	301
9	102	290	472
10	221	429	630
11	331	558	777
12	433	677	913
13	527	787	1039
14	615	889	1156
15	695	984	1263

У цій таблиці:

- 6 пар поїздів: вартість реконструкції 1620 млн євро.
- 7 пар поїздів: вартість реконструкції 1710 млн євро (зростання на 90 млн євро).
- 8 пар поїздів: вартість реконструкції 1800 млн євро (зростання ще на 90 млн євро).

Тепер порівняємо *NPV* на 15-й рік для цих сценаріїв:

- 6 пар: $NPV = 695$ млн євро.
- 7 пар: $NPV = 984$ млн євро.
- 8 пар: $NPV = 1263$ млн євро.

Незважаючи на зростання вартості реконструкції зі збільшенням кількості поїздів, спостерігається зростання NPV на кінець 15-го року:

– Збільшення кількості пар з 6 до 7 (при зростанні вартості на 90 млн євро) призводить до збільшення NPV на $984 - 695 = 289$ млн євро.

– Збільшення кількості пар з 7 до 8 (при зростанні вартості ще на 90 млн євро) призводить до збільшення NPV на $1263 - 984 = 279$ млн євро.

У розглянутому прикладі збільшення кількості поїздів супроводжується зростанням вартості проєкту, але вигоди від збільшення інтенсивності руху (у вигляді більших грошових потоків) переважають додаткові витрати, що призводить до вищого значення NPV . Це підкреслює важливість аналізу граничних вигод та граничних витрат. У цьому випадку, кожна додаткова пара поїздів (незважаючи на збільшення інвестицій) генерує достатньо додаткового доходу, щоб зробити проєкт більш привабливим з точки зору NPV .

Висновки до розділу 4

На основі проведених теоретичних і практичних досліджень встановлено, що впровадження інноваційних технологій виправлення кривих у плані залізничної колії дозволяє забезпечити оптимальні параметри геометрії траси та раціональну швидкість руху поїздів. Це, своєю чергою, сприяє зменшенню зносу рейок і коліс рухомого складу, скороченню обсягів робіт із поточного утримання колії, зниженню витрат пального або електроенергії під час організації вантажних і пасажирських перевезень. Окрім того, підвищується рівень безпеки руху, покращується плавність ходу і комфорт для пасажирів.

Зокрема, реалізація проєктного положення колії на основі проведених розрахунків забезпечує максимально допустимі швидкості руху з мінімальним технічним зносом. Це дозволяє досягти суттєвого скорочення часу поїздки: на дільниці Полтава – Лозова (165 км) – на 41 хвилину, а на дільниці Гребінка – Лозова (358 км) – на 69 хвилин, що в середньому становить економію 0,3 хвилини на кожен

кілометр шляху.

Програмний комплекс САПР, який дозволяє оптимізувати план виправки колії на рівні одного або декількох перегонів, надає значні переваги в плані ефективності, безпеки, економії ресурсів і продовження терміну служби колійної інфраструктури. Надається можливість приймати рішення на основі комплексного аналізу всієї системи колії, а не тільки окремих її ділянок, що забезпечує більш збалансований підхід до обслуговування залізничної інфраструктури.

Основні переваги використання програмного комплексу для оптимізації плану виправлення кривих на декількох перегонах полягають у підвищенні ефективності, точності та якості робіт, а також у зниженні витрат. Чим складніша геометрія колії, тим більший ефект від використання програмного забезпечення.

Застосування систем автоматизованого проєктування (САПР) відкриває можливість виконання розрахунків не лише для окремих кривих, а й для довгих ділянок – у межах одного або кількох перегонів – із комплексною оптимізацією проєктного плану за різними критеріями. Такий підхід дозволяє забезпечити максимально допустимі швидкості руху поїздів, підвищити ефективність проєктних рішень і, безперечно, є прикладом інноваційного технологічного впровадження в галузі залізничного транспорту.

При прогнозуванні, плануванні або оцінці інвестицій проєктів, рекомендується застосовувати сценарний підхід: базовий, песимістичний (консервативний) та оптимістичний (або сценарій зростання).

Базовий сценарій вважається найімовірнішим варіантом розвитку подій. Ґрунтується на поточних трендах, існуючих політиках, реалізованих або запланованих заходах. Враховуються помірне зростання ВВП, інфляція на цільовому рівні, середні ціни на ресурси, реалістичні темпи реалізації проєктів тощо.

Песимістичний сценарій враховує негативні зовнішні та внутрішні фактори (кризи, затримки проєктів, інфляція, скорочення попиту, падіння інвестицій). В

цьому сценарії враховуються нижчі доходи, затримки в реалізації, падіння ВВП, зростання безробіття, дефіцит бюджету. Часто відповідає консервативному підходу, особливо в інвестиціях (низькі доходи, високі ризики).

Оптимістичний сценарій передбачає позитивні умови: прискорення економіки, вдалу реалізацію реформ, активне залучення інвестицій, зростання попиту. Враховуються такі параметри як швидке зростання ВВП, високий ROI (рентабельність інвестицій), низька інфляція, сприятливий бізнес-клімат.

З використанням запропонованого алгоритму була проведена оптимізація плану на лінії Львів – Одеса за новою методикою і побудовані графіки зміни чистого дисконтованого доходу. Встановлено, що при кількості поїздів 6 пар/добу досягається беззбитковість на 11-му році (занадто повільне повернення коштів), при 8 пар/добу беззбитковість на 7-му році (привабливо при державному дисконті 6%) і при 10 пар/добу беззбитковість вже на 6-му році (дуже привабливий проєкт). З аналізу результатів дослідження видно, що кожна додаткова пара поїздів збільшує NPV приблизно на 357 тис. євро.

Збільшення початкових інвестицій робить проєкт менш привабливим, але за умови збереження прогнозованих фінансових потоків, він все ще може бути економічно обґрунтованим, особливо при зростанні обсягів перевезень.

Основні матеріали четвертого розділу опубліковані в працях [4, 79, 94, 100, 102, 104].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації наведене теоретичне узагальнення та вирішення актуального науково-прикладного завдання реконструкції плану під європейську залізничну колію при організації швидкісного руху поїздів в Україні. В результаті дослідження зроблено такі висновки

1. У ході дослідження підтверджено необхідність застосування системного підходу при реконструкції залізничної колії для впровадження швидкісного руху. Встановлено, що інтерпретація залізничної лінії як комплексної системи взаємопов'язаних пристроїв та споруд є критично важливим, оскільки усунення обмежень швидкості на окремих ділянках не призводить до адитивного скорочення загального часу проходження поїзда. Підтверджено, що допущення, прийнятні для швидкостей до 120 км/год, потребують перегляду та корегування при переході до швидкостей 161-200 км/год, що обґрунтовує застосування системного аналізу інноваційних процесів підготовки колії.

2. Удосконалено методику моделювання потоку поїздів для визначення параметрів кривих ділянок. Зокрема визначені умови доцільності підвищення швидкості руху в кривих з урахуванням взаємозв'язку між елементами системи «рухомий склад – колійна інфраструктура» та задіяно імовірнісне моделювання для врахування випадкового характеру руху поїздів. Більш точне визначення параметрів кривих приводить до оптимізації їх геометрії, підвищення безпеки руху та зниження зносу колії й рухомого складу.

3. За результатами проведених теоретичних і експериментальних досліджень доведено доцільність диференційованого підходу до визначення технічних вимог, норм улаштування та утримання залізничної колії, а також параметрів плану і поздовжнього профілю з урахуванням призначення лінії (пасажирські, вантажні або змішані перевезення) та встановленого рівня максимальної швидкості руху. У зв'язку з цим обґрунтовано доцільність створення спеціалізованих напрямків

залізничного транспорту, що сприятиме зростанню ефективності експлуатації, підвищенню безпеки руху та зміцненню конкурентних позицій галузі на ринку транспортних послуг.

4. В результаті виконаного дослідження здійснено класифікацію ділянок перебудови плану залізничної колії за складністю геометрії та необхідним обсягом робіт, що дозволяє виділити пріоритетні напрямки для реконструкції з урахуванням впливу на швидкісні характеристики руху. Застосування методу аналізу ієрархій (MAI) дало змогу кількісно оцінити ступінь важливості окремих параметрів кривих у контексті їхнього впливу на безпеку руху та експлуатаційну надійність колії. Результати свідчать про домінуючу роль радіуса кривої (48,7%), далі поділяють між собою пріоритети перехідні криві (20,4%) й підвищення зовнішньої рейки (15,9%). Найменш вагомими є вимоги до складових кривих (4,1%) і співпадіння вертикальних кривих з кривими в плані (3,1%).

5. На основі САПР, яка включає програмні продукти тягових розрахунків (MoveRW) та виправлення і проектування плану (RWPlan) розроблена інноваційна технологія комп'ютерного моделювання для оптимізації процесу виправлення кривих в плані на ділянках великої протяжності, зокрема з метою впровадження швидкісного руху поїздів. Оптимізація плану на прикладі ділянки Гребінка-Полтава-Лозова показала можливість скоротити час руху пасажирських поїздів на ділянці Полтава – Лозова (165 км) на 41 хв., на ділянці Гребінка – Лозова (358 км) – на 69 хв. Завдяки забезпеченню оптимальної геометрії колії на всій протяжності перегонів комплексний підхід до оптимізації плану забезпечує збільшення точності розрахунків на 20-25%, що призводить до зниження експлуатаційних витрат та збільшення терміну служби колії.

6. На основі проведеного дослідження при проектуванні нової траси високошвидкісної магістралі з шириною колії 1435 мм обґрунтовано мінімально допустимі радіуси кривих з урахуванням максимальної швидкості руху та спеціалізації напрямку (пасажирський або змішаний рух). Запропоновано

оптимальні параметри перехідних кривих, які відповідають вибраній швидкості та радіусу кругової кривої, що забезпечує необхідний рівень міцності й надійності несучих елементів верхньої будови колії, а також задовольняє вимоги до плавності та комфорту руху пасажирських поїздів.

7. В роботі розроблені та обґрунтовані методичні підходи математичного моделювання та методів визначення найбільш раціональних способів переходу залізничної колії з української ширини 1520 мм на європейську 1435 мм: суміщена колія, заміна одної колії двоколіїної ділянки з української на європейську ширину колії, будівництво європейської колії на новій трасі. На прикладі ділянки Львів – Одеса встановлено при якій кількості пасажирських поїздів досягається беззбитковість: при консервативному сценарію 6 пар/добу на 11-му році, при базовому 8 пар/добу на 7-му році, при оптимістичному 10 пар/добу на 6-му році. З аналізу результатів доведено, що кожна додаткова пара поїздів збільшує NPV приблизно на 357 тис. євро. При базовому варіанті дохід зростає на 9,2% порівняно з консервативним, при оптимістичному – на 19,7%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Aldanazarov K., Toktamyssova A., Karsybayev Y., Korobiova R., Kozachenko D. Improving transport logistics of extractive industry products in the context of capacity constraints on the railways. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2022. 6. pp. 129-134. URL: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-6/129>
2. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. Схвалено Кабінетом Міністрів України від 30.05.2018 [Електронний ресурс]. URL: <https://mtu.gov.ua/news/28581.html>.
3. Костюк М. Д., Козак В. В., Яковлев В. О., Алейник В. С. Будівництво та реконструкція залізничної мережі України для збільшення пропускної спроможності та запровадження швидкісного руху поїздів. Київ: ІЕЗ ім. Є. О. Патона, 2010. 216 с
4. Kurhan M., Kurhan D., Husak M., Hmelevska N. Innovative Technologies for the Introduction of High-Speed Train Operation (on the Example of Track Maintenance in the Plan). *Proceedings of 26th International Scientific Conference. Transport Means*. 2022. pp. 372-377.
5. Kurhan, M., Kurhan, D., Husak, M., Hmelevska, N. Perspectives of High-Speed Train Traffic in Ukraine at the Stage of Integration with the European Network. *Transport Means*. 2021. pp. 47-52.
6. INNOTRACK. Innovative Track Systems. Final technical report/ Edited by Anders & Bjorn Paulsson European Commission. 2008. p. 11. URL: <https://www.charmec.chalmers.se/innotrack/>.
7. Christos Pyrgidis and Evangelos Christogiannis The Problems of the Presence of Passenger and Freight Trains on the Same Track / *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 48 (2012). pp. 1143-1154. URL: <https://www.researchgate.net/publication/271889462>. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.06.1090.

8. Chornopyska, N., Stasiuk K. 2020. Logistics Potential of the Railway as a Key for Sustainable and Secure Transport Development. *Transport Means*. 2020. pp. 421-425.
9. Kurhan M., Kurhan D., Černiauskaite L. Rationale of priority areas of rail operation in north-eastern Europe. *Transport Means*. 2019. pp. 1439-1444.
10. Tarapata Z. Modelling and analysis of transportation networks using complex networks: Poland case study. *The Archives of Transport*. 2015. 36. Iss. 4. – S. 55-65. DOI: 10.5604/08669546.1185207.
11. Traction Energy Consumption of Electric Locomotives and Electric Multiple Units at Speed Restrictions Szerzők Sz Fischer Közzétételi dátum 2015/7/30 Folyóirat Acta Technica Jaurinensis.
12. Allan Woodburn. The impacts on freight train operational performance of new rail infrastructure to segregate passenger and freight traffic. *Journal of Transport Geography*. 58. 2017. pp. 176-185. URL: <https://www.researchgate.net/publication/311664173>. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2016.12.006.
13. Kurhan M., Kurhan D., Husak M., Hmelevska N. The advisability of using dual gauge for expansion of the international traffic. *Transport Means*. 2020. pp. 469-474.
14. Курган М. Б., Курган Д. М. Науково-технічне забезпечення залізничного сполучення Україна – Євросоюз: монографія. Дніпротр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро: Вид-во ПФ «Стандарт-Сервіс». 2018. 268 с.
15. Курган М. Б., Курган Д. М., Тютюкін О. Л. Теоретичне та практичне обґрунтування перебудови мережі залізниць України на європейський стандарт. Український держ. ун-т науки і технологій. Дніпро: Журфонд, 2025. 226 с.
16. Fischer S., Kurhan D., Kurhan M., Hmelevska N. Analysis of Stress-Strain State Changes in Railway Tracks During Transition to European Gauge. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2024. 1348 (1). Essays of Mining Science and Practice: Proc. of the 5th International Conference, (8-10 November 2023, Hybrid,

Dnipro). 200033. DOI: 10.1088/1755-1315/1348/1/012029.

17. Maskeliūnaitė L. Railways in Lithuania: from Tsarist Russia to Rail Baltica Transport. 4. 2021. pp. 364-375.

18. Vaičiūnas G., Steišūnas S. Investigation of priority directions of Rail Baltica extension from Warsaw Procedia Engineering. 2017. pp. 40-45.

19. Rail Baltica [online cit.: 2018-03-26]. URL: https://lt.wikipedia.org/wiki/Rail_Baltica.

20. Укрзалізниця. URL: <https://www.uz.gov.ua/en/>

21. Залізнична енциклопедія. URL: <https://docs.ozon.ru/en-common/ozon-travel/railway/how-to-buy-a-ticket/>

22. Укрінформ. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/3851353-uzgorod-stae-persim-oblasnim-centrom-akij-bude-zednaniy-evrokolieu-z-evropou-smigal.html>.

23. Wilk, A., Koc, W., Specht C. & etc. (2021). Innovative mobile method to determine railway track axis position in global coordinate system using position measurements performed with GNSS and fixed base of the measuring vehicle. Measurement, 175, 109016. URL: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109016>

24. Kurhan M, Kurhan D., Novik R., Baydak S., Hmelevska, N. (2020). Improvement of the railway track efficiency by minimizing the rail wear in curves. IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering, 985, 165475. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012001>

25. Bjorn Kufver. Mathematical description of railway alignments and some preliminary comparative studies. Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI) rapport 420A 1997. p. 95. URL: <http://www.diva-portal.org › get › FULLTEXT01>

26. NOTES ON CURVES FOR RAILWAYS. *Autodesk Forums*. URL: <https://forums.autodesk.com/t5/civil-3d-forum/transition-curves-for-railway-cant/td-p/7785193>

27. Wladyslaw Koc, Cezary Specht, Jacek Szmaglinski, Piotr Chrostowski.

Method for Determination and Compensation of a Cant Influence in a Track Centerline Identification Using GNSS Methods and Inertial Measurement. Gdynia, Poland. 2019, 9 (20), 4347. URL: <https://doi.org/10.3390/app9204347>

28. Lebid I., Kravchenya I., Dubrovskaya T., Luzhanska N., Berezovyi M., Demchenko Y. Identification of the railway reconstruction parameters at imposition of high speed traffic on the existing lines. *MATEC Web of Conferences*. 294, 05003 (2019). pp. 1-7. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929405003>.

29. Koc Władysław. Analysis of the Effectiveness of Determining the Horizontal Curvature of a Track Axis Using a Moving Chord. *Railway Reports*. 2021. 190. pp. 77-86.

30. Jamka M., Lisowski S., Strach M. Zastosowanie współczesnych technologii geodezyjnych w określaniu geometrii toru w aspekcie dopuszczalnych prędkości pociągów [Application of modern geodesic technologies in determining the track geometry in the aspect of permissible train speeds]. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie, seria: Materiały Konferencyjne, nr 91, z. 149, Kraków. 2009. pp. 567-581.

31. Koc W. The method of determining horizontal curvature in geometrical layouts of railway track with the use of moving chord, *Archives of Civil Engineering*, vol. 66, iss. 4/2020, Warsaw University of Technology, pp. 579-591.

32. Koc W. New transition curve adapted to railway operational requirements. *Journal of Surveying Engineering*. 2019. 145, iss. 3/, ASCE, 04019009.

33. Fischer S. Comparison of railway track transition curves. *Pollack Periodica*. 2009. 4 (3). pp. 99-110.

34. Fischer S., Németh D., Horváth H. Investigation of the Track Gauge in Curved Sections. *Considering Hungarian Railway Lines. Infrastructures*. 2023. 8. 69. URL: <https://doi.org/10.3390/infrastructures8040069>

35. Fei Li, Xiaochun Ren, Wenbing Luo & Xiuwan Chen. Methodology for Existing Railway Reconstruction with Constrained Optimization Based on Point Cloud

Data. 2018. 8 (10). 1782. URL: <https://doi.org/10.3390/app8101782>.

36. United nations economic commission for europe innovation in railways. URL: https://unece.org/DAM/trans/doc/2019/sc2/Innovation_in_Railways_Final.pdf

37. Закон України «Про інноваційну діяльність» (із змінами внесеними 2003-2012 рр.). *Відомості Верховної Ради України*. 2002. 36, с. 266.

38. Писаренко Т. В., Куранда Т. К., Кваша Т. К. Стан науково-інноваційної діяльності в Україні у 2020 році: науково-аналітична записка [Електронний ресурс]. Київ: УкрІНТЕІ. 2021. 39 с. URL: <http://doi.org/10.35668/978-966-479-124-0>

39. Курган М. Б., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П. Ефективність впровадження нових типів електровозів. *Електрифікація транспорту*. Д.: Вид-во ДНУЗТ. 2014. 8. с. 86-92.

40. Курган М. Б., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П. Дослідження ефективності електрифікації одноколійних залізниць для підвищення пропускної спроможності. *Електрифікація транспорту*. Д.: Вид-во ДНУЗТ. 2015. 9. с. 37-43.

41. Курган М. Б., Байдак С. Ю., Лужицький О. Ф., Хмелевська Н. П. Ефективність електрифікації ділянки Куми-Новомосковськ Придніпровської залізниці. *Електрифікація транспорту*. Д.: Вид-во ДНУЗТ. 2015. 10. с. 21-28.

42. Курган М. Б., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П. Енергозберігаючі рішення при проектуванні залізниць. *Електрифікація транспорту*. Д.: Вид-во ДНУЗТ. 2017. 13. с. 108-116.

43. Курган М. Б., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П. Дослідження ефективності електрифікації напрямку Запоріжжя – Комиш Зоря – Волноваха *Електрифікація транспорту*. Д.: Вид-во ДНУЗТ. 2018. 15. с. 43-53. ISSN 2307-4221. URL: <http://etr.diiit.edu.ua/>.

44. На Львівщині збудують залізничну колію за європейським стандартом. 12 липня 2023. URL: <https://forpost.lviv.ua/novyny/43414-na-lvivshchyni-zbuduiut-zaliznychnu-koliiu-za-ievropeiskym-standartom>

45. Курган М. Б., Хмелевська Н. П., Торопов Б. І. Передумови

впровадження прискореного руху поїздів на напрямку Куми-Дніпропетровськ. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ. 2012. 42. с. 142-148.

46. Курган М. Б., Хмелевська Н. П. Передумови впровадження прискореного руху поїздів на напрямку Куми – Дніпропетровськ. *Українські залізниці, Міжнародний техніко-економічний журнал*. Харків. 2014. 10. с. 56-64.

47. Корженевич І. П., Курган М. Б., Хмелевська Н. П. Визначення об'ємів робіт для зняття обмежень швидкості, пов'язаних з планом лінії. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ. 2011. 41. с. 116-123.

48. Курган М. Б., Хмелевська Н. П. Перебудова кривих для впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ. 2011. Вип. 40. с. 90-97.

49. Методика визначення допустимих швидкостей руху поїздів на ділянках складного плану залізниці. *Вісник Дніпропетр. нац-го ун-ту залізн. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна "Наука та прогрес транспорту"*. 2014. 2 (50). с. 83-94.

50. Курган М. Б., Курган Д. М. Теоретичні основи впровадження високошвидкісного руху поїздів в Україні: монографія. Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро. 2016. 283 с.

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

52. Курган М. Б., Хмелевська Н. П. Дослідження впливу параметрів плану лінії на величину відцентрових непогашених сил. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ. 2010. 34. с. 41-46.

53. Попереднє техніко-економічне обґрунтування проекту високошвидкісної залізничної мережі в Україні. Остаточний звіт. К: «SYSTRA». 2002. 311 с.

54. Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects [online cit.: 2021-06-27]. Available from: URL: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf. doi:10.2776/97516

55. A European high-speed rail network: not a reality but an ineffective patchwork. European Court of Auditors Publications A European high-speed rail network (19/2018). Special Report №19, 2018. URL: <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/high-speed-rail-19-2018/en/>

56. Водяний Андрій. ЄС розробив стратегію переходу України на євроколію 1435 мм. *Новини України, Транспорт*. URL: <https://biz.liga.net/ua/all/transport/novosti/evrosoyuz-razrabotal-strategiyu-perehoda-ukrainy-na-evroputi-karta>.

57. Курган М. Б., Орловський А. М., Патласов О. М., Циганенко В. В., Курган Д. М. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії: ЦП-0236. Затв. наказом Укрзалізниці від 14.12.2010 №778-Ц. К., 2010. 52 с

58. Hubar O., Markul R., Tiutkin O., Andrieiev V., Arbuzov M., Kovalchuk O. Study of the interaction of the railway track and the rolling stock under conditions of accelerated movement. (IOP Conference Series: Materials Science and Engineering) 15th International Scientific and Technical Conference "Problems of the railway transport mechanics", Dnipro, Ukraine. 2020. 985. Issue 1. Article Number 012007. DOI: 10.1088/1757-899X/985/1/012007.

59. Даниленко Е. І., Орловський А. М., Курган М. Б., Яковлев В. О. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП-0269). К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс». 2012. 456 с.

60. Kurhan M., Kurhan D., Husak M., Hmelevska N. Determination of the type and the length for the transition curves on the directions of high-speed train operation. *Acta Technica Jaurinensis*. 2022. 15 (2). pp. 117-124. <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00658>.
61. Ткаченко В., Сапронова С., Брайковська Н., Твердомед В. Динамічна взаємодія рухомого складу і колії на лініях швидкого руху суміщеного з вантажним: монографія. Вінниця: ГО «Європейська наукова платформа». 2021. 240 с. ISBN 978-617-8037-58-1. DOI 10.36074/dvrsklshrsv-monograph.2021.
62. Босов А. А., Кирпа Г. Н. Формирование вариантов рациональной сети линий высокоскоростного движения поездов в Украин: Монографія. Д.: Из-во ДНУЖТ. 2004. 144 с.
63. Бараш Ю. С., Момот А. В. Економічна ефективність високошвидкісних пасажирських залізничних перевезень в Україні: монографія. Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2015. 137 с.
64. Основные технические и технологические условия для проектирования и строительство высокоскоростной магистрали Киев-Харьков. К.: Киевгипротранс. 2002. 59 с.
65. Курган М. Б. У витоків швидкісного й високошвидкісного руху поїздів в Україні. *Українські залізниці*. 2016. 2 (32). с. 34-36.
66. Баль О. М., Болжеларський Я. В., Баб'як М. О., Терещак Ю. В., Солодяк Л. Й. Перспективи розбудови інфраструктури в напрямку Румунії, Молдови і Польщі. *Транспортні системи та технології перевезень*. 20223. 26. с. 14-29. URL: <https://doi.org/10.15802/tstt2023/293340>
67. Европейские требования по совместимости инфраструктуры: утвержденные Директивой 96/48/ЕС в редакции Директивы 2004/50/ЕС.
68. Курган М. Б., Курган Д. М., Хмелевська Н. П., Ковальський Д. Л. Перспективи впровадження високошвидкісного руху на залізницях України. *Наука та прогрес транспорту*. 2025., 1 (109). с. 65-76. doi:

<https://doi.org/10.15802/stp2025/325351>.

69. Програмне забезпечення для проектування об'єктів інфраструктури та випуску документації. URL: <https://www.autodesk.com/products/civil-3d/overview>.

70. Berger F. Das Programmsystem «Tras-Optier zur Berechnung von Eisenbahntrassen». Vermessungstechnik. 1971. 5. pp. 165-169.

71. Roberts H. E., Stothard J. H. Use of Computers for Road Desing. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. 1969. 42. pp. 105-129.

72. Herrmann Gerhard. Anwendung der electronischen Datenverarbeitung bei der Vortrassierung von Eisenbahn. Rdsch. 1971. 20. № 1-2.

73. Fisher, G. Karner. Recherunter stützte Verfahzen zur Auffindung, Beurteilung und Auswahl von Trassen für Landverkehrswege. Allg. Vermess. Nachr. 1980. 87 (4), pp. 191-198.

74. Корженевич И. П. Вопросы оптимизации трассы железных дорог: Дис. канд. техн. наук: 05.22.03. ДИИТ. Днепропетровск. 1983. 164 с.

75. Автоматика и вычислительная техника. Рига: Зинатне. 1965. 10. 211 с.

76. Автоматика и вычислительная техника. Рига: Зинатне. 1966. 13. 215 с.

77. Алгоритмы и программы случайного поиска. Рига: Зинатне. 1969. 374 с.

78. Яковлев Б. В., Корженевич И. П. К вопросу оптимизации трассы новых линий. Транспортное строительство. 1982. 10. с. 40-41.

79. Kurhan M., Kurhan D., Hmelevska N. A Systematic Approach to Designing High-Speed Railway Track: European Perspective Proceedings of 28th International Scientific Conference. Transport Means. 2024. pp. 47-51. URL: <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2023.P2>

80. Березовий М. І., Арбузов М. А., Козаченко Д. М., Малашкін В. В., Бритвин О. С. Дослідження конструкції залізничних колій промислових підприємств в межах ділянок плавного розширення колії. *Транспортні системи та технології перевезень*. Дніпро. 2024. 28. с. 22-27. DOI: 10.15802/tstt2024/311995.

81. Kurhan D., Kovalchuk V., Markul R., Kovalskyi D. Development of Devices

for Long-Term Railway Track Condition Monitoring: Review of Sensor Varieties. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2025. 22 (4). pp. 65-82. URL: <https://doi.org/10.12700/APH.22.4.2025.4.5>.

82. Issina B., Kozachenko D., Taran I., Muratbekova G. Increasing the efficiency of using backline and private railway infrastructure in the conditions of the transportation market. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. 2. pp. 134-140. URL: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/134>.

83. Плугін А. А., Борзяк О. С., Плугін О. А., Крикун О. П., Зінченко В. В. Розвиток уявлень про електрокорозію конструкцій залізничної колії та удосконалення способів їхнього захисту з застосуванням електропровідних композицій. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. Харків. 2023. 204. с. 35-52. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.204.2023.283877>.

84. Плугін А. А., Муригіна Н. О., Малішевська А. С., Муригін М. А. Розроблення та дослідження композиційного матеріалу для прокладного шару безбаластного мостового полотна. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Харків: УкрДУЗТ. 2023. 206. с. 82-101. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.206.2023.296619>

85. Andrieiev V., Tiutkin O., Hubar O., Markul R., Mukhina N. Methods of Assessment of Ballast Contamination on Railways of Ukraine. *Transport Means*. 2022. Proc. of the 26th Intern. Sci. Conf. (05–07 Oct., 2022, Kaunas, Lithuania). Kaunas, 2022. Pt. II. pp. 842–849. URL: <http://surl.li/gphvf>.

86. Issina B., Kozachenko D., Taran I., Muratbekova G. Increasing the efficiency of using backline and private railway infrastructure in the conditions of the transportation market. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. 2. pp. 134-140. URL: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/134>.

87. Твердомед В. М. Якісна оцінка стану рейкової колії при взаємодії з рухомим складом. *Залізничний транспорт України*. 2022. 4. с. 39-48. DOI: [10.34029/2311-4061-2022-145-4-39-48](https://doi.org/10.34029/2311-4061-2022-145-4-39-48).

88. Плугін А. А., Плугін Д. А., Мірошніченко С. В., Калінін О. А., Крикун О. П. Дослідження бетону залізобетонних шпал, що зазнали пошкоджень під час експлуатації. *Зб. наук. праць Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро. 2021. 20. с. 56-65.

89. Курган М. Б., Курган Д. М., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П., Новік Р. Б. Зниження інтенсивності розладів залізничної колії за рахунок удосконалення параметрів плану лінії під час паспортизації кривих. *Наука та прогрес транспорту*. 2021. 6 (96), 53–64. <https://doi.org/10.15802/stp2021/257933>.

90. Kurhan M., Kurhan D., Hmelevska N. Maintenance Reliability of Railway Curves Using Their Design Parameters. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2022. 19 (6). pp. 115-127. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.19.6.2022.6.9>

91. Корженевич І. П. Розширені можливості проектування перебудови плану під високі швидкості поїздів у програмі RWPlan 1.3.4. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ. 2007. 19. с. 67-77.

92. Повилайтене И., Сакалаускас К., Подагелис И. Влияние геометрических параметров железнодорожного пути в кривых на боковой износ наружного рельса. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. 2004. 3. Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2004. с. 46-49.

93. Корженевич І. П., Курган М. Б., Бараш Ю. С. Вплив підвищення швидкості руху поїздів на витрати пов'язані із зносом колійної інфраструктури. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. 2008. 21. с. 285-292.

94. Хмелевська Н. П., Курган М. Б., Курган Д. М. Оптимізація виправлення кривих у плані за допомогою комп'ютерного моделювання для підвищення безпеки руху поїздів. *Наука та прогрес транспорту*. Дніпро. 2024. 4 (108). с. 46-54. DOI: [10.15802/stp2024/318057](https://doi.org/10.15802/stp2024/318057).

95. Твердомед В. М. Вплив поперечних та поздовжніх горизонтальних сил на роботу без підкладкової та підкладкової конструкції рейкової колії: автореф. дис. канд. техн. наук.: 05.22.06. Державний економіко-технол. ун-т. трансп. Київ. 2010. 21 с.
96. Байдак С. Ю. Рациональные параметры кривых для wprowadzenia швидкісного руху поїздів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06. Дніпро. 2020. 23 с
97. Курган М. Б., Курган Д. М., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П. Дослідження впливу стану залізничної колії в плані на плавність і безпеку руху поїздів. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2017. 14. с. 94-101. DOI: <https://doi.org/10.18664/ikszt.v0i1.126040>.
98. Бабенко А. І., Курган Д. М., Черняков М. М. Встановлення допустимої швидкості на складних ділянках плану залізниці з урахуванням комфортабельності їзди. *Зб. наук. пр. Держ. економіко-технічн. ун-ту трансп. «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2012. 21. с. 9-15.
99. Hamdy A. Taha Operations Research: An Introduction, 11th edition Published by Pearson (July 6, 2022) © 2023. University of Arkansas. ISBN-13: 9780137625727 URL: <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/operations-research-an-introduction/P200000003221/9780137625727>
100. Курган М. Б., Курган Д. М., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П. Дослідження параметрів залізничної колії у плані за різними методами зйомки *Наука та прогрес транспорту*. 2018. 2 (74). с. 77-86. doi: 10.15802/stp2018/129585.
101. Корженевич І. П. виправлення і проектування плану залізничної колії за допомогою програми RWPlan. Дніпропетровськ. 2012. 247 с.
102. Kurhan M., Kurhan D., Hmelevska, N. Innovative Approaches to Railway Track Alignment Optimization, in Curved Sections. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2024. 21 (1). pp. 207-220. doi: <https://doi.org/10.12700/APH.21.1.2024.1.13>
103. Водяний А. ЄС розробив стратегію переходу України на євроколію

1435 мм. *Новини України, Транспорт.* URL:
<https://biz.liga.net/ua/all/transport/novosti/evrosoyuz-razrabotal-strategiyu-perehoda-ukrainy-na-evroputi-karta>

104. Kurhan, M., Fischer Sz., Tiutkin, O., Kurhan, D., Hmelevska, N. Development of High-Speed Railway Network in Europe: A Case Study of Ukraine, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. 2024. 52 (2). pp. 151-158. <https://doi.org/10.3311/PPtr.23464>.

ДОДАТОК А

Список публікацій за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати

1. Курган М. Б., Курган Д. М., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П., Новік Р. Б. Зниження інтенсивності розладів залізничної колії за рахунок удосконалення параметрів плану лінії під час паспортизації кривих / Наука та прогрес транспорту, 2021. 6(96), 53–64. <https://doi.org/10.15802/stp2021/257933> (Фахове видання)
2. Dmytro Kurhan, Mykola Kurhan, Nelya Hmelevska Development of the High-Speed Running of Trains in Ukraine for Integration with the International Railway Network / Acta Polytechnica Hungarica 2022. 19(3). p. 207-218. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.19.3.2022.3.16>. (Scopus)
3. Mykola Kurhan, Dmytro Kurhan, Marina Husak, Nelya Hmelevska Increasing the Efficiency of the Railway Operation in the Specialization of Directions for Freight and Passenger Transportation / Acta Polytechnica Hungarica 2022. 19(3). p. 231–244. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.19.3.2022.3.18>. (Scopus)
4. Kurhan M., Kurhan D., Hmelevska N Maintenance Reliability of Railway Curves Using Their Design Parameters / Acta Polytechnica Hungarica. 2022. 19(6). p. 115–127 DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.19.6.2022.6.9> (Scopus)
5. Kurhan M., Kurhan D., Husak M., Hmelevska N. Determination of the type and the length for the transition curves on the directions of high-speed train operation / Acta Technica Jaurinensis. 2022. 15(2). p. 117-124. DOI: <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00658>. (Scopus)
6. Kurhan M., Kurhan D., Hmelevska, N/ Innovative Approaches to Railway Track Alignment Optimization, in Curved Sections / Acta Polytechnica Hungarica. 2024. Vol. 21(1). p. 207-220. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.21.1.2024.1.13> (Scopus)
7. Kurhan, M., Fischer Sz., Tiutkin, O., Kurhan, D., Hmelevska, N. (2024) “Development of High-Speed Railway Network in Europe: A Case Study of Ukraine”,

Periodica Polytechnica Transportation Engineering, Vol. 52(2), pp. 151–158. DOI: <https://doi.org/10.3311/PPtr.23464> (Scopus)

8. М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, М. А. Гусак, Р. Б. Новік, Н.П. Хмелевська Підвищення ефективності вантажних і пасажирських перевезень на напрямках з паралельними ходами / Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. «Транспортні системи та технології перевезень». Вип. 25. 2023 р.- С. 47-59. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2023/284494> (Фахове видання)

9. М. Б. Курган, О. Ф. Лужицький, Р. В. Іванов, Н.П. Хмелевська, В. С. Хмелевський / Впровадження інноваційних технологій під час модернізації наявних переїздів для організації швидкісного руху поїздів Наука та прогрес транспорту, 2024, № 1 (105). – С.62-83. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2024/303191> (Фахове видання)

10. М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак, Р. Б. Новік, П. Хмелевська Обґрунтування доцільності перебудови однієї з колій двоколійної ділянки на колію європейського стандарту (1435 мм). Збірник наукових праць УкрДУЗТ, 2024, вип. 209, 75-90. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.209.2024.314320> (Фахове видання)

11. Н. П. Хмелевська, М. Б. Курган, Д. М. Курган Оптимізація виправлення кривих у плані за допомогою комп'ютерного моделювання для підвищення безпеки руху поїздів. Наука та прогрес транспорту, 2024, № 4(108), 31-45. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2024/318057> (Фахове видання)

12. Kurhan M., Kurhan D., Hmelevska N. Enhancing Railway Section Capacity During the Expansion of the European Railway Network / Acta Polytechnica Hungarica, 2025, Vol. 22(4), 159-171. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.22.4.2025.4.10> (Scopus)

13. М. Б. Курган, Д. М. Курган, Н. П. Хмелевська, Д. Л. Ковальський Перспективи впровадження високошвидкісного руху на залізницях України. Наука та прогрес транспорту, 2025, № 1 (109). – 65-76. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2025/325351> (Фахове видання).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

14. Kurhan M., Kurhan D., Husak M., Hmelevska N. Perspectives of High-Speed Train Traffic in Ukraine at the Stage of Integration with the European Network / Proceedings of 25th International Scientific Conference. Transport Means. 2021, pp. 47-52. URL: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/01b86768-a7e1-4542-8be1-58d34087a10a/content> (Scopus-тези)

15. Курган, М. Б. Інноваційні технології для впровадження швидкісного руху поїздів в Україні / М.Б. Курган, С.Ю. Байдак, Н.П. Хмелевська // Матеріали 81 Міжнародної науково-практичної конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». Дніпро, 22–23 квітня 2021. – С. 156-158. URL: https://ndch.diit.edu.ua/upload/2020.01.16/81_International_SP_Conference_PPRTD.pdf (тези конференції)

16. Курган, М. Б. Практичні роботи з перебудови плану залізниць для підвищення швидкості руху / М.Б. Курган, С.Ю. Байдак, М.А. Гусак, Н.П. Хмелевська // Матеріали 81 Міжнародної науково-практичної конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». Дніпро, 22–23 квітня 2021. – С. 171-173. URL: https://ndch.diit.edu.ua/upload/2020.01.16/81_International_SP_Conference_PPRTD.pdf (тези конференції)

17. Курган М. Надійність утримання залізничних кривих за їх проектними параметрами / М. Курган М., Д. Курган Д., Н. Хмелевська // 9-та Міжнародна науково-технічна конференція «Трансбуд-2021». м. Харків, 17-18 листопада, 2021. – С. 46-48. URL: http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/Theses_2021_with_title_10.11.pdf (тези конференції)

18. Kurhan M., Kurhan D., Husak M., Hmelevska N. Innovative Technologies for the Introduction of High-Speed Train Operation (on the Example of Track Maintenance in the Plan) / Proceedings of 26th International Scientific Conference. Transport Means 2022. p. 372–377. URL: <https://www.researchgate.net/publication/365475888> (Scopus-

тези)

19. Курган М.Б., Лужицький О.Ф., Хмелевська Н.П. Улаштування ділянок змінної жорсткості у місцях сполучення моста з насипом / Курган М.Б., Лужицький О.Ф., Хмелевська Н.П. Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика» / за заг. ред. О. Л. Тютюкіна м. Дніпро, 19-20 жовтня 2022 р. - С. 23-25. URL: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/10ce9728-c4a7-4b6e-b4ea-81b3e34e5e84/content> **(тези конференції)**

20. Гусак М.А. Визначення раціональних маршрутів для підвищення рівня організації перевезень та управління логістичними системами / М.А. Гусак М.А., Р.Б. Новік Н.П. Хмелевська, А.О. Мунтян // Всеукраїнська наукова конференція «Логістика і транспортна безпека: проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів, загроз. м. Дніпро, 28 жовтня 2022 року, - С. 32-36. URL: <https://crust.ust.edu.ua/items/d14091d2-3ae9-4cd2-b87e-c811ec8f4984> **(тези конференції)**

21. Хмелевська Н.П., Курган М.Б. Інноваційні технології при реконструкції існуючих залізниць для впровадження швидкісного руху поїздів / Н.П. Хмелевська, М.Б. Курган М.Б. // Технічні науки в Україні: сучасні тенденції розвитку: Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції. м. Київ, 17–18 листопада 2022 р. – С. 239-241. URL: <https://drive.google.com/drive/folders/16JWYy4TsvzHgSgzNqfzpfTjQrKhQZCgH> **(тези конференції)**

22. Хмелевська Н.П., Курган М.Б. Інноваційні технології виправки залізничних кривих в плані для підвищення безпеки, плавності й комфортабельності їзди / Н.П. Хмелевська, М.Б. Курган М.Б. // Матеріали Міжнародної мультидисциплінарної науково-практичної інтернет-конференції молодих дослідників, здобувачів вищої освіти та науковців «Сучасна наука: інновації та перспективи». м. Київ, 6-7 квітня 2023.- С. 125-128.

URL:https://files.duit.edu.ua/uploads/%D0%A1%D0%B0%D0%B9%D1%82/3_%D0%9D%D0%90%D0%A3%D0%9A%D0%90/conferences/international-scientific-and-practical-conferences/modern-science-innovations-and-perspectives.pdf

(тези конференції)

23. Курган, М. Інноваційні технології виправки залізничних кривих в плані / М. Курган, Д. Курган, Н. Хмелевська Матеріали 82 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» м. Дніпро, 20-21 квітня 2023, - С. 217-218. URL:<https://crust.ust.edu.ua/items/5e7920f8-37fc-4d0a-a40a-937dbc803d4e>

(тези конференції)

24. Курган Д. Вплив ділянки змінної жорсткості на моделювання взаємодії колії і рухомого складу в зоні мостів і переїздів / Д. Курган, Н. Хмелевська Матеріали 82 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» м. Дніпро, 20-21 квітня 2023. - С. 345-347. URL: <https://crust.ust.edu.ua/items/5e7920f8-37fc-4d0a-a40a-937dbc803d4e>

(тези конференції)

25. Kurhan M., Kurhan D., Hmelevska, N. Analysis of Feasibility for Implementing European Standard Railway Tracks in Ukraine / Proceedings of 27th International Scientific Conference. Transport Means 2023. Part II. p. 605-610. <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034> (Scopus-тези)

26. Хмелевська Н.П., Курган М.Б. Інноваційний підхід до впровадження суміщеного руху пасажирських і вантажних поїздів на високошвидкісній залізниці. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців «Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології» 29-30 листопада 2023 р., м. Київ Частина 1. – С. 232-237. URL:https://files.duit.edu.ua/uploads/%D0%A1%D0%B0%D0%B9%D1%82/3_%D0%9D%D0%90%D0%A3%D0%9A%D0%90/conferences/international-scientific-and-practical-conferences/transport-infrastructure-and-technologies-1.pdf

(тези конференції)

27. Kurhan M., Kurhan D. Hmelevska N. A Systematic Approach to Designing High-Speed Railway Track: European Perspective / Proceedings of 28th International Scientific Conference. Transport Means 2024, pp.47-51.

<https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2024> **(Scopus-тези)**

28. Fischer, S., Kurhan, D., Kurhan, M. Hmelevska, N Analysis of stress-strain state changes in railway tracks during transition to European gauge / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2024, 1348(1), 012029, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012029> **(Scopus-тези)**

29. Курган М.Б., Хмелевська Н.П. Вплив інноваційних технологій на ремонт і обслуговування залізничної колії в кривих / М.Б. Курган, Н.П. Хмелевська // Тези доповідей 10-ї міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті». Харків, УкрДУЗТ, 20-22 листопада 2024 р. – С. 34-36. <https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2024/09/tezi-transbud-2024-2.pdf> **(тези конференції)**

30. Kurhan M., Fischer S., Kurhan D., Hmelevska N. Assessment of combined high-speed passenger and freight train movement to mitigate environmental impact / VI International Conference "Essays of mining science and practice", November 6-8, 2024, Dnipro, Ukraine. DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1491/1/012023> **(Scopus-тези)**

ДОДАТОК Б

Довідка про підтвердження участі у виконанні науково-дослідних робіт

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

Українського державного
університету науки і технологій
професор, д-р техн. наук

Ю. ПРОЙДАК

« 29 » 05 2025 р.

Даним підтверджується, що результати дисертаційної роботи Хмелевської Нелі Петрівни «Інновації реконструкції плану під європейську залізничну колію для впровадження швидкісного руху поїздів» були використані при виконанні науково-дослідних робіт (НДР) відповідно до тематики Українського державного університету науки і технологій (УДУНТ), а саме: держбюджетних науково-дослідних робіт «Техніко-економічна оцінка варіантів перетину кордонів при зміні ширини залізничної колії (номер державної реєстрації ДР 0120U102980), «Впровадження інноваційних технологій при організації швидкісного руху поїздів в Україні (номер державної реєстрації 0122U200332), «Теоретичне та практичне обґрунтування створення високошвидкісних магістралей в Україні за європейським стандартом (номер державної реєстрації 0124U001036), «Наукове обґрунтування впровадження європейської колії на території України в повоєнний період» (номер державної реєстрації 0124U002477), грантова підтримка Національного фонду досліджень України у межах конкурсу «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди».

Аспірантка була виконавицею робіт у вказаних НДР.

Начальник науково-дослідної частини
Українського державного університету
науки і технологій

Руслан МАРКУЛЬ

Завідувач кафедри «Транспортна
інфраструктура», професор,
д-р техн. наук

Олексій ТЮТКІН

ДОДАТОК В

Довідка про підтвердження практичної реалізації розробленої в дисертації методики на ділянці Славгород – Новогупалівка регіональної філії «Придніпровська залізниця»

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Хмелевської Н.П.
на тему «Інновації реконструкції плану під європейську залізничну колію для
впровадження швидкісного руху поїздів»

На основі результатів дисертаційної роботи Хмелевської Н.П. розроблено пропозиції щодо зменшення інтенсивності колійних розладів шляхом приведення параметрів кривих до діючих в Україні нормативних вимог у зонах руху швидкісних поїздів. Вони впливають з аналізу методу зйомки кривих, що використовується на дистанціях колії. Виявлено вплив точності отриманих даних на встановлення параметрів кривої та допустимі швидкості поїздів.

Апробація методики проведена на ділянці Славгород – Новогупалівка регіональної філії «Придніпровська залізниця». Вихідні дані отримано з паспортів кривих за період 2017-2021 рр. При аналізі плану лінії було виявлено криві, які мали відхилення від рівномірного зростання стріл на перехідній кривій, а також місця перевищення ухилу крутизни відводу підвищення зовнішньої рейки для встановленої швидкості руху 120 км/год. При оптимізації проектного рішення використовувався критерій вартості робіт з перевлаштуванням плану лінії. Достовірність результатів підтверджено апробацією на міжнародних науково-практичних конференціях 2021-2024 рр. Дніпро, Київ, Харків, а також в друкованих працях Українського державного університету науки і технологій «Наука та прогрес транспорту»: 2021 № 6 і 2024 № 4.

Вважаємо, що отримані в роботі рекомендації сприятимуть ефективності проектних рішень, визначатимуть якість проекту реконструкції залізниці, будуть корисні для проведення заходів щодо поліпшення плавності руху поїздів, підвищення швидкості і рівня комфортабельності їзди в кривих ділянках колії. Розроблені в дисертації інноваційні технології та рекомендації прийнято до розгляду з метою впровадження на напрямках швидкісного руху поїздів.

Начальник структурного підрозділу
«Служба колії» регіональної філії
«Придніпровська залізниця»

АТ «Укрзалізниця»

27.05.2025р



Дмитро ХАРЬКОВСЬКИЙ

ДОДАТОК Г

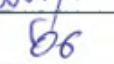
Довідка про впровадження в навчальний процес результатів дисертаційних досліджень Хмелевської Н.П.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Навчально-наукового
інституту «Дніпровський інститут
інфраструктури і транспорту»
Українського державного
університету науки і технологій



 Михайло КАПЩА

 2025 р.

Даним підтверджується, що розроблені методики й результати дисертаційної роботи Хмелевської Нелі Петрівни «Інновації реконструкції плану під європейську залізничну колію для впровадження швидкісного руху поїздів» використовуються в навчальному процесі під час викладання дисциплін для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 273 Залізничний транспорт: «Проектування реконструкції залізниць», «Сучасні методи зйомки кривих та розрахунки плану залізниці» та «Системи автоматизованого проектування залізниць».

Декан факультету «Будівництво,
архітектура та інфраструктура»,
доцент, канд. техн. наук



Андрій КРАСНІЮК

Завідувач кафедри «Транспортна
інфраструктура», професор,
д-р техн. наук



Олексій ТЮТКІН

ДОДАТОК Д

Відомість параметрів кривих і швидкостей руху поїздів на ділянці Гребінка – Полтава (існуючий стан)

№	крива/ пряма	права/ ліва	L	R	K	h	i	Кут повороту елементу		Kс	Кут повороту кривої/ Дирекційний кут прямої		Пікетаж початку елементу			Пікетаж кінця елементу			DK	Швидкість пасажирських, км/год	Швидкості вантажних, км/год	
			м	м	м	мм	‰	град	мин	м	град	мин	км	пк	"+"	км	пк	"+"	мм	max	min	max
			20				1.2	1	18.5				0	1	34	0	1	54	-37			
1	крива	ліва		438	8.3	25		1	5.1	38.3	3	2.9	0	1	54	0	1	62.3	-30	64	0	51
			10				2.5	0	39.2				0	1	62.3	0	1	72.3	-18			
	пряма				35.93						356	57.1	0	1	72.3	0	2	8.23				
			5				5	0	18.9				0	2	8.23	0	2	13.23	-9			
2	крива	ліва		454	11.35	25		1	25.9	21.35	2	3.8	0	2	13.23	0	2	24.58	-40	65	0	52
			5				5	0	18.9				0	2	24.58	0	2	29.58	-9			
	пряма				426.03						354	53.3	0	2	29.58	0	6	55.61				
			30				1	0	48.4				0	6	55.61	0	6	85.61	23			
3	крива	права		1065	114.29	30		6	8.9	154.29	38	2	0	6	85.61	0	7	99.9	172	101	0	82
			20				0	1	6.6				0	7	99.9	0	8	19.9	15			
				1003	48.94	30		2	47.7	78.94			0	8	19.9	0	8	68.84	78	107	0	79
			40				0	2	12.8				0	8	68.84	0	9	8.84	62			
				1070	213.04	30		11	24.5	248.04			0	9	8.84	1	1	21.88	319	111	0	82
			30				0	1	34.4				1	1	21.88	1	1	51.88	46			
				1116	86.12	30		4	25.3	116.12			1	1	51.88	1	2	38	123	113	0	84
			30				0	1	41.1				1	2	38	1	2	68	44			
				940	81.35	30		4	57.5	126.35			1	2	68	1	3	49.35	138	100	0	77
			30				1	0	54.9				1	3	49.35	1	3	79.35	47			
	пряма				4324.35						32	55.3	1	3	79.35	5	7	3.7				
			50				0.6	0	24.6				5	7	3.7	5	7	53.7	11			
4	крива	права		3500	25.8	30		0	25.3	175.8	1	39	5	7	53.7	5	7	79.5	12	157	0	141
			100				0.3	0	49.1				5	7	79.5	5	8	79.5	23			
	пряма				21.18						34	34.3	5	8	79.5	5	9	0.68				
			50				0.3	0	35.3				5	9	0.68	5	9	50.68	-16			
5	крива	ліва		2433	28.39	15		0	40.1	88.39	1	22.5	5	9	50.68	5	9	79.07	-19	114	0	111
			10				1.5	0	7.1				5	9	79.07	5	9	89.07	-3			
	пряма				363.165						33	11.8	5	9	89.07	6	3	52.24				
6	крива	ліва		10000	49.451	0		0	17	49.451	0	17	6	3	52.24	6	4	1.69	-8	168	0	168
	пряма				56.367						32	54.8	6	4	1.69	6	4	58.05				
7	крива	права		10000	37.815	0		0	13	37.815	0	13	6	4	58.05	6	4	95.87	6	168	0	168
	пряма				1675.55						33	7.8	6	4	95.87	8	1	71.42				

8	крива	права		10000	93.084	0		0	32	93.084	0	32	8	1	71.42	8	2	64.5	15	168		0	168
	пряма				69.644						33	39.8	8	2	64.5	8	3	34.15					
9	крива	ліва		10000	107.629	0		0	37	107.629	0	37	8	3	34.15	8	4	41.77	-17	168		0	168
	пряма				422.286						33	2.8	8	4	41.77	8	8	64.06					
10	крива	права		4000	65.2	0		0	56	65.2	0	56	8	8	64.06	8	9	29.26	26	124		0	124
	пряма				17.7						33	58.9	8	9	29.26	8	9	46.96					
11	крива	права		4000	39.6	0		0	34	39.6	0	34	8	9	46.96	8	9	86.56	16	124		0	124
	пряма				1996.032						34	32.9	8	9	86.56	10	9	82.59					
12	крива	ліва		10000	63.995	0		0	22	63.995	0	22	10	9	82.59	11	0	46.59	-10	168		0	168
	пряма				84.482						34	10.9	11	0	46.59	11	1	31.07					
			20				1.2	0	12.9				11	1	31.07	11	1	51.07	6				
13	крива	права		2657	101.33	25		2	11.1	131.33	6	57.3	11	1	51.07	11	2	52.4	61	81		0	81
			20				1	0	35.8				11	2	52.4	11	2	72.4	6				
				1504	20.95	45		0	47.9	35.95			11	2	72.4	11	2	93.35	22	97		0	88
			10				1.5	0	16.3				11	2	93.35	11	3	3.35	8				
				3550	33.43	30		0	32.4	48.43			11	3	3.35	11	3	36.78	15	114		0	114
			20				0.5	0	30				11	3	36.78	11	3	56.78	15				
				1691	34.58	40		1	10.3	84.58			11	3	56.78	11	3	91.36	33	101		0	101
			40				1	0	40.7				11	3	91.36	11	4	31.36	28				
	пряма				3714.679						41	8.3	11	4	31.36	15	1	46.04					
14	крива	права		10000	98.902	0		0	34	98.902	0	34	15	1	46.04	15	2	44.94	16	168		0	168
	пряма				58.898						41	42.3	15	2	44.94	15	3	3.84					
15	крива	ліва		10000	98.902	0		0	34	98.902	0	34	15	3	3.84	15	4	2.74	-16	168		0	168
	пряма				816.026						41	8.3	15	4	2.74	16	2	18.77					
16	крива	ліва		10000	113.446	0		0	39	113.446	0	39	16	2	18.77	16	3	32.21	-18	168		0	168
	пряма				68.026						40	29.3	16	3	32.21	16	4	0.24					
17	крива	права		10000	98.902	0		0	34	98.902	0	34	16	4	0.24	16	4	99.14	16	168		0	168
	пряма				1610.809						41	3.3	16	4	99.14	18	1	9.95					
			80				0.8	1	10.7				18	1	9.95	18	1	89.95	-33				
18	крива	ліва		1946	316.95	60		9	19.9	426.95	15	57.8	18	1	89.95	18	5	6.9	-261	134		41	130
			60				0	1	42.5				18	5	6.9	18	5	66.9	-25				
				2083	106.13	60		2	55.2	196.13			18	5	66.9	18	6	73.03	-82	101		43	101
			60				1	0	49.5				18	6	73.03	18	7	33.03	-48				
	пряма				13784.86						25	5.5	18	7	33.03	32	5	17.89					
			70				0.6	0	50.4				32	5	17.89	32	5	87.89	-23				
19	крива	ліва		2386	137.6	40		3	18.3	277.6	4	59.1	32	5	87.89	32	7	25.49	-92	171		0	130
			70				0.6	0	50.4				32	7	25.49	32	7	95.49	-23				
	пряма				10038.75						20	6.4	32	7	95.49	42	8	34.24					
			80				0.8	1	7.8				42	8	34.24	42	9	14.24	32				
20	крива	права		2027	228.24	60		6	27.1	408.24	8	59.7	42	9	14.24	43	1	42.48	180	134		42	132
			100				0.6	1	24.8				43	1	42.48	43	2	42.48	39				
	пряма				5111.09						29	6.1	43	2	42.48	48	3	53.57					
			10				1.5	0	6.5				48	3	53.57	48	3	63.57	3				
21	крива	права		2650	23.37	15		0	30.3	113.37	1	28.7	48	3	63.57	48	3	86.94	14	114		0	114
			80				0.2	0	51.9				48	3	86.94	48	4	66.94	24				

	пряма				78.65					30		34.8	48	4	66.94	48	5	45.59					
			20			0	0	7.2					48	5	45.59	48	5	65.59	-3				
22	крива	ліва		4800	103.84	0	1	14.4	143.84	1		28.7	48	5	65.59	48	6	69.43	-35	139		0	137
			20			0	0	7.2					48	6	69.43	48	6	89.43	-3				
	пряма				1381.91					29		6.1	48	6	89.43	50	0	71.34					
			20			0	0	3.7					50	0	71.34	50	0	91.34	-2				
23	крива	ліва		9330	112.18	0	0	41.3	137.18	3		11.3	50	0	91.34	50	2	3.52	-19	114		0	114
			10			1.5	0	10.9					50	2	3.52	50	2	13.52	-1				
				1900	64.81	15	1	57.3	89.81				50	2	13.52	50	2	78.33	-55	109		0	98
			20			0.8	0	18.1					50	2	78.33	50	2	98.33	-10				
	пряма				545.68					25		54.9	50	2	98.33	50	8	44.01					
			40			0.8	0	21.2					50	8	44.01	50	8	84.01	-10				
24	крива	ліва		3240	57.85	30	1	1.4	137.85	1		43.8	50	8	84.01	50	9	41.86	-29	134		0	134
			40			0.8	0	21.2					50	9	41.86	50	9	81.86	-10				
	пряма				120.33					24		11	50	9	81.86	51	1	2.19					
			20			0	0	7					51	1	2.19	51	1	22.19	3				
25	крива	права		4900	101.9	0	1	11.5	201.9	1		46.6	51	1	22.19	51	2	24.09	33	140		0	138
			80			0	0	28.1					51	2	24.09	51	3	4.09	13				
	пряма				1610.34					25		57.6	51	3	4.09	52	9	14.43					
			60			0.5	0	38.2					52	9	14.43	52	9	74.43	-18				
26	крива	ліва		2700	73.38	30	1	33.4	193.38	2		49.8	52	9	74.43	53	0	47.81	-43	176		0	130
			60			0.5	0	38.2					53	0	47.81	53	1	7.81	-18				
	пряма				3566.88					23		7.8	53	1	7.81	56	6	74.69					
			10			1	0	4.8					56	6	74.69	56	6	84.69	-2				
27	крива	ліва		3571	48.03	10	0	46.2	68.03	0		55.9	56	6	84.69	56	7	32.72	-22	105		0	94
			10			1	0	4.8					56	7	32.72	56	7	42.72	-2				
	пряма				10					22		11.9	56	7	42.72	56	7	52.72					
			10			1	0	6.9					56	7	52.72	56	7	62.72	3				
28	крива	права		2500	29.5	10	0	40.6	49.5	0		54.3	56	7	62.72	56	7	92.22	19	112		0	108
			10			1	0	6.9					56	7	92.22	56	8	2.22	3				
	пряма				3040.57					23		6.2	56	8	2.22	59	8	42.79					
			140			0.4	2	0.3					59	8	42.79	59	9	82.79	-56				
29	крива	ліва		2000	199.23	50	5	42.5	389.23	8		25.7	59	9	82.79	60	1	82.02	-159	101		0	101
			50			1	0	43					60	1	82.02	60	2	32.02	-20				
	пряма				410.52					14		40.5	60	2	32.02	60	6	42.54					
			40			0.5	1	13.9					60	6	42.54	60	6	82.54	34				
30	крива	права		930	227.7	20	14	1.7	287.7	15		52.6	60	6	82.54	60	9	10.24	392	87		0	71
			20			1	0	37					60	9	10.24	60	9	30.24	17				
	пряма				559.3					30		33.1	60	9	30.24	61	4	89.54					
			20			1	0	16.5					61	4	89.54	61	5	9.54	8				
31	крива	права		2079	129.81	20	3	34.6	199.81	4		32.5	61	5	9.54	61	6	39.35	100	101		0	101
			50			0.4	0	41.3					61	6	39.35	61	6	89.35	19				
	пряма				342.51					35		5.6	61	6	89.35	62	0	31.86					
			50			1	1	24.8					62	0	31.86	62	0	81.86	39				
32	крива	права		1013	157.87	50	8	55.8	297.87	12		53.3	62	0	81.86	62	2	39.73	249	101		0	89

			90				0.6	2	32.7				62	2	39.73	62	3	29.73	71			
	пряма				2287.19					47		58.9	62	3	29.73	64	6	16.92				
			10				1.5	0	5.6				64	6	16.92	64	6	26.92	3			
33	крива	права		3062	106.46	15		1	59.5	176.46	2		64	6	26.92	64	7	33.38	56	114	0	114
			60				0.2	0	33.7				64	7	33.38	64	7	93.38	16			
	пряма			6658.49						50		37.7	64	7	93.38	71	4	51.87				
			60				0.7	0	30.8				71	4	51.87	71	5	11.87	-14			
34	крива	ліва		3350	82.04	40		1	24.2	202.04	2		71	5	11.87	71	5	93.91	-39	151	0	151
			60				0.7	0	30.8				71	5	93.91	71	6	53.91	-14			
	пряма			9604.89						48		12	71	6	53.91	81	2	58.8				
			110				0.8	5	3.5				81	2	58.8	81	3	68.8	-141			
35	крива	ліва		623	123.19	90		11	19.8	253.19	40		81	3	68.8	81	4	91.99	-316	101	45	83
			40				0.1	3	35.3				81	4	91.99	81	5	31.99	-51			
				655	189.3	85		16	33.5	309.3			81	5	31.99	81	7	21.29	-462	102	43	83
			100				0.8	4	22.4				81	7	21.29	81	8	21.29	-251			
	пряма			5.33						7		17.4	81	8	21.29	81	8	26.62				
			120				0.8	5	51.4				81	8	26.62	81	9	46.62	-164			
36	крива	ліва		587	54.41	95		5	18.7	199.41	38		81	9	46.62	82	0	1.03	-148	99	46	82
			50				0.1	4	42.2				82	0	1.03	82	0	51.03	-68			
				633	187.5	90		16	58.3	332.5			82	0	51.03	82	2	38.53	-474	101	45	84
			120				0.8	5	25.9				82	2	38.53	82	3	58.53	-315			
	пряма			46.08						329		1.1	82	3	58.53	82	4	4.61				
			120				0.8	5	32.7				82	4	4.61	82	5	24.61	155			
37	крива	права		620	125.17	90		11	34	270.17	47		82	5	24.61	82	6	49.78	323	100	45	83
			50				0.2	4	31.5				82	6	49.78	82	6	99.78	65			
				647	146.6	80		12	58.9	211.6			82	6	99.78	82	8	46.38	363	100	40	81
			80				1	3	56.3				82	8	46.38	82	9	26.38	202			
				5785	54.38	0		0	32.3	124.38			82	9	26.38	82	9	80.76	15	101	0	101
			60				1	2	20				82	9	80.76	83	0	40.76	82			
				844	33.05	60		2	14.6	183.05			83	0	40.76	83	0	73.81	63	101	27	85
			120				0.5	4	4.4				83	0	73.81	83	1	93.81	130			
	пряма			979.22						16		45.8	83	1	93.81	84	1	73.03				
38	крива	ліва		4000	70.48	0		1	0.6	70.48	1		84	1	73.03	84	2	43.51	-28	124	0	124
	пряма			648.49						15		45.2	84	2	43.51	84	8	92				
			80				0.6	1	15.2				84	8	92	84	9	72	35			
39	крива	права		1828	73.56	50		2	18.3	168.56	19		84	9	72	85	0	45.56	64	154	0	120
			30				0	1	5.7				85	0	45.56	85	0	75.56	13			
				1376	35.7	50		1	29.2	65.7			85	0	75.56	85	1	11.26	42	134	0	104
			30				0	1	11				85	1	11.26	85	1	41.26	31			
				1536	259	50		9	39.7	434			85	1	41.26	85	4	0.26	270	142	0	110
			160				0.3	2	59				85	4	0.26	85	5	60.26	176			
	пряма			298.62						35		43.4	85	5	60.26	85	8	58.88				
			20				0.5	0	13.2				85	8	58.88	85	8	78.88	6			
40	крива	права		2613	63.59	10		1	23.7	103.59	1		85	8	78.88	85	9	42.47	39	120	0	111
			20				0.5	0	13.2				85	9	42.47	85	9	62.47	6			

	пряма				83.97					37	33.4	85	9	62.47	86	0	46.44					
			10			0	0	1.6				86	0	46.44	86	0	56.44	-1				
41	крива	ліва		10542	40.97	0	0	13.4	130.97	0	28	86	0	56.44	86	0	97.41	-6	171		0	171
			80			0	0	13				86	0	97.41	86	1	77.41	-6				
	пряма				1142.62					37	5.4	86	1	77.41	87	3	20.03					
			20			0.5	0	18.7				87	3	20.03	87	3	40.03	-9				
42	крива	ліва		1841	20.5	10	0	38.3	60.5	1	15.6	87	3	40.03	87	3	60.53	-18	106		0	93
			20			0.5	0	18.7				87	3	60.53	87	3	80.53	-9				
	пряма				414.39					35	49.8	87	3	80.53	87	7	94.92					
			40			0	0	10.8				87	7	94.92	87	8	34.92	5				
43	крива	права		6363	69.17	0	0	37.4	119.17	0	50.9	87	8	34.92	87	9	4.09	17	145		0	145
			10			0	0	2.7				87	9	4.09	87	9	14.09	1				
	пряма				15774.47					36	40.6	87	9	14.09	103	6	88.56					
			80			0.8	1	1.3				103	6	88.56	103	7	68.56	-29				
44	крива	ліва		2243	349.58	60	8	55.8	449.58	19	26.8	103	7	68.56	104	1	18.14	-249	134		44	134
			40			0	1	3.9				104	1	18.14	104	1	58.14	-14				
				2070	254.57	60	7	2.8	374.57			104	1	58.14	104	4	12.71	-197	168		43	134
			100			0.6	1	23				104	4	12.71	104	5	12.71	-74				
	пряма				923.98					17	13.9	104	5	12.71	105	4	36.69					
			110			0.6	2	11.4				105	4	36.69	105	5	46.69	61				
45	крива	права		1439	122.62	65	4	52.9	252.62	16	52.8	105	5	46.69	105	6	69.31	136	143		43	114
			40			0	1	32				105	6	69.31	105	7	9.31	22				
				1555	189.55	65	6	59.1	279.55			105	7	9.31	105	8	98.86	195	109		45	109
			70			0.9	1	17.4				105	8	98.86	105	9	68.86	75				
	пряма				14463.87					34	6.6	105	9	68.86	120	4	32.73					
			40			1	0	32.3				120	4	32.73	120	4	72.73	15				
46	крива	права		2130	32.96	40	0	53.2	122.96	2	5.8	120	4	72.73	120	5	5.69	25	101		0	101
			50			0.8	0	40.3				120	5	5.69	120	5	55.69	19				
	пряма				5.73					36	12.4	120	5	55.69	120	5	61.42					
47	крива	ліва		9630	105.34	0	0	37.6	135.34	1	50.4	120	5	61.42	120	6	66.76	-18	166		0	166
			60			0	0	35.1				120	6	66.76	120	7	26.76	-5				
				4230	36.4	0	0	29.6	86.4			120	7	26.76	120	7	63.16	-14	133		0	128
			20			0	0	8.1				120	7	63.16	120	7	83.16	-5				
	пряма				1528.42					34	22	120	7	83.16	122	3	11.58					
			10			1	0	4.9				122	3	11.58	122	3	21.58	-2				
48	крива	ліва		3500	15.2	10	0	14.9	35.2	1	31.5	122	3	21.58	122	3	36.78	-7	126		0	126
			20			0.5	0	14.7				122	3	36.78	122	3	56.78	-5				
				7000	116	0	0	57	126			122	3	56.78	122	4	72.78	-27	149		0	149
	пряма				9.72					32	50.5	122	4	72.78	122	4	82.5					
			10			1.5	0	5.8				122	4	82.5	122	4	92.5	3				
49	крива	права		2966	36.66	15	0	42.5	126.66	1	34.6	122	4	92.5	122	5	29.16	20	114		0	114
			80			0.2	0	46.4				122	5	29.16	122	6	9.16	22				
	пряма				8124.14					34	25.1	122	6	9.16	130	7	33.3					
			110			0.7	3	58.1				130	7	33.3	130	8	43.3	-111				
50	крива	ліва		794	205.38	80	14	49.2	320.38	28	47.4	130	8	43.3	131	0	48.68	-414	111		44	90

			10				1	0	40.2				131	0	48.68	131	0	58.68	-10			
				926	115.79	70		7	9.9	190.79			131	0	58.68	131	1	74.47	-200	101	39	94
			70				1	2	9.9				131	1	74.47	131	2	44.47	-131			
	пряма				60.53						5	37.8	131	2	44.47	131	3	5				
			130				0.5	3	43.5				131	3	5	131	4	35	104			
51	крива	права		1000	363.22	70		20	48.7	583.22	27	6.8	131	4	35	131	7	98.22	581	121	41	97
			90				0.8	2	34.7				131	7	98.22	131	8	88.22	72			
	пряма				1370.35						32	44.6	131	8	88.22	133	2	58.57				
			30				1	0	27.9				133	2	58.57	133	2	88.57	13			
52	крива	права		1850	184.71	30		5	43.2	244.71	6	39	133	2	88.57	133	4	73.28	160	101	0	101
			30				1	0	27.9				133	4	73.28	133	5	3.28	13			
	пряма				369.3						39	23.6	133	5	3.28	133	8	72.58				
			20				1.2	1	16.4				133	8	72.58	133	8	92.58	-36			
53	крива	ліва		450	25.81	25		3	17.2	65.81	5	50	133	8	92.58	133	9	18.39	-92	68	0	51
			20				1.2	1	16.4				133	9	18.39	133	9	38.39	-36			

Пікет кінця проекту: км 133 пк 9 + 38.39

ДОДАТОК Е

Відомість параметрів кривих і швидкостей руху поїздів на ділянці Гребінка – Полтава
(після оптимізації)

№	крива/ пряма	права/ ліва	L	R	K	h	i	Кут повороту елементу		Kс	Кут повороту кривої/ Дирекційний кут прямої		Пікетаж початку елементу			Пікетаж кінця елементу			DK	Швидкість пасажирських, км/год	Швидкості вантажних, км/год	
			м	м	м	мм	‰	град	мин	м	град	мин	км	пк	"+"	км	пк	"+"	мм	max	min	max
			70				0.8	1	50				0	0	96.66	0	1	66.66	-51			
1	крива	ліва		1094	27.596	55		1	26.7	167.596	5	6.7	0	1	66.66	0	1	94.25	-40	121	23	95
			70				0.8	1	50				0	1	94.25	0	2	64.25	-51			
	пряма				374.642						354	53.3	0	2	64.25	0	6	38.9				
			70				0.8	1	56.5				0	6	38.9	0	7	8.9	54			
2	крива	права		1033	229.903	55		12	45.1	349.903	38	2	0	7	8.9	0	9	38.8	356	118	22	92
			100				0.2	5	23.1				0	9	38.8	1	0	38.8	77			
				1097	175.829	70		9	11	225.829			1	0	38.8	1	2	14.63	256	127	43	102
				986	115.971	60		6	44.3	185.971			1	2	14.63	1	3	30.6	188	117	29	92
			70				0.9	2	2				1	3	30.6	1	4	0.6	108			
	пряма				4296.722						32	55.4	1	4	0.6	5	6	97.32				
			70				0.1	0	35.8				5	6	97.32	5	7	67.32	17			
3	крива	права		3357	37.666	10		0	38.6	147.666	1	34.9	5	7	67.32	5	8	4.99	18	161	0	125
			40				0.2	0	20.5				5	8	4.99	5	8	44.99	10			
	пряма				50.017						34	30.3	5	8	44.99	5	8	95				
			50				0.2	0	27.2				5	8	95	5	9	45.01	-13			
4	крива	ліва		3161	22.09	10		0	24	122.09	1	18.4	5	9	45.01	5	9	67.1	-11	169	0	122
			50				0.2	0	27.2				5	9	67.1	6	0	17.09	-13			
	пряма				335.235						33	11.8	6	0	17.09	6	3	52.33				
5	крива	ліва		10000	49.507	0		0	17	49.507	0	17	6	3	52.33	6	4	1.84	-8	168	0	168
	пряма				56.64						32	54.8	6	4	1.84	6	4	58.48				
6	крива	права		9864	37.357	0		0	13	37.357	0	13	6	4	58.48	6	4	95.83	6	167	0	167
	пряма				1678.277						33	7.8	6	4	95.83	8	1	74.11				
			40				0	0	11.5				8	1	74.11	8	2	14.11	5			
7	крива	права		6000	20.048	0		0	11.5	100.048	0	34.4	8	2	14.11	8	2	34.16	5	189	0	153
			40				0	0	11.5				8	2	34.16	8	2	74.16	5			
	пряма				50.122						33	42.3	8	2	74.16	8	3	24.28				
			50				0	0	14.3				8	3	24.28	8	3	74.28	-7			
8	крива	ліва		6000	23.78	0		0	13.6	113.78	0	39.4	8	3	74.28	8	3	98.06	-6	189	0	153
			40				0	0	11.5				8	3	98.06	8	4	38.06	-5			
	пряма				402.84						33	2.8	8	4	38.06	8	8	40.9				
			40				0	0	14.4				8	8	40.9	8	8	80.9	7			
9	крива	права		4766	84.888	0		1	1.2	164.888	1	30.1	8	8	80.9	8	9	65.79	28	175	0	136

			40			0	0	14.4				8	9	65.79	9	0	5.79	7			
	пряма				1981.477					34	32.9	9	0	5.79	10	9	87.26				
10	крива	ліва		9000	70.388	0	0	26.9	70.388	0	26.9	10	9	87.26	11	0	57.65	-13	162	0	162
	пряма				20.708					34	6	11	0	57.65	11	0	78.36				
			160				0.2	2	10.7			11	0	78.36	11	2	38.36	61			
11	крива	права		2105	143.536	40	3	54.4	373.536	7	2.2	11	2	38.36	11	3	81.9	109	161	0	122
			70				0.6	0	57.2			11	3	81.9	11	4	51.9	27			
	пряма				3694.289					41	8.3	11	4	51.9	15	1	46.19				
12	крива	права		10000	98.883	0	0	34	98.883	0	34	15	1	46.19	15	2	45.07	16	168	0	168
	пряма				58.829					41	42.3	15	2	45.07	15	3	3.9				
13	крива	ліва		10000	98.899	0	0	34	98.899	0	34	15	3	3.9	15	4	2.8	-16	168	0	168
	пряма				815.968					41	8.3	15	4	2.8	16	2	18.76				
14	крива	ліва		10000	113.436	0	0	39	113.436	0	39	16	2	18.76	16	3	32.2	-18	168	0	168
	пряма				67.97					40	29.3	16	3	32.2	16	4	0.17				
15	крива	права		10000	98.902	0	0	34	98.902	0	34	16	4	0.17	16	4	99.07	16	168	0	168
	пряма				1610.358					41	3.3	16	4	99.07	18	1	9.43				
			80				0.6	1	10.4			18	1	9.43	18	1	89.43	-33			
16	крива	ліва		1953	439.105	50	12	52.9	649.105	15	57.8	18	1	89.43	18	6	28.54	-360	160	0	124
			130				0.4	1	54.4			18	6	28.54	18	7	58.54	-53			
	пряма				13759.325					25	5.5	18	7	58.54	32	5	17.86				
			70				0.4	0	50.4			32	5	17.86	32	5	87.86	-23			
17	крива	ліва		2386	137.604	25	3	18.3	277.604	4	59.1	32	5	87.86	32	7	25.46	-92	162	0	118
			70				0.4	0	50.4			32	7	25.46	32	7	95.46	-23			
	пряма				10038.801					20	6.4	32	7	95.46	42	8	34.27				
			80				0.6	1	7.8			42	8	34.27	42	9	14.27	32			
18	крива	права		2027	228.242	45	6	27.1	408.242	8	59.7	42	9	14.27	43	1	42.51	180	160	0	123
			100				0.4	1	24.8			43	1	42.51	43	2	42.51	39			
	пряма				5091.017					29	6.1	43	2	42.51	48	3	33.53				
			50				0.2	0	29.6			48	3	33.53	48	3	83.53	14			
19	крива	права		2907	20.005	10	0	23.7	130.005	1	28.7	48	3	83.53	48	4	3.53	11	164	0	117
			60				0.2	0	35.5			48	4	3.53	48	4	63.53	17			
	пряма				74.026					30	34.8	48	4	63.53	48	5	37.56				
			40				0	0	14.8			48	5	37.56	48	5	77.56	-7			
20	крива	ліва		4650	79.976	0	0	59.1	159.976	1	28.7	48	5	77.56	48	6	57.53	-28	173	0	134
			40				0	0	14.8			48	6	57.53	48	6	97.53	-7			
	пряма				1387.709					29	6.1	48	6	97.53	50	0	85.24				
			160				0.2	1	57.7			50	0	85.24	50	2	45.24	-55			
21	крива	ліва		2337	20.029	25	0	29.5	240.029	3	11.3	50	2	45.24	50	2	65.27	-14	161	0	117
			60				0.4	0	44.1			50	2	65.27	50	3	25.27	-21			
	пряма				481.078					25	54.9	50	3	25.27	50	8	6.35				
			100				0	0	42.8			50	8	6.35	50	9	6.35	-20			
22	крива	ліва		4016	49.24	0	0	42.1	199.24	1	46.4	50	9	6.35	50	9	55.59	-20	178	0	125
			50				0	0	21.4			50	9	55.59	51	0	5.59	-10			
	пряма				61.837					24	8.5	51	0	5.59	51	0	67.42				
			80				0	0	27.5			51	0	67.42	51	1	47.42	13			

23	крива	права		4995	83.53	0		0	57.5	233.53	1		49.1	51	1	47.42	51	2	30.95	27	213		0	139
			70					0	24.1					51	2	30.95	51	3	0.95	11				
	пряма				1613.377						25		57.6	51	3	0.95	52	9	14.33					
			60					0.2	0	38.2				52	9	14.33	52	9	74.33	-18				
24	крива	ліва		2700	73.388	10		1	33.4	193.388	2		49.8	52	9	74.33	53	0	47.72	-43	163		0	112
			60					0.2	0	38.2				53	0	47.72	53	1	7.72	-18				
	пряма				3534.849						23		7.8	53	1	7.72	56	6	42.57					
25	крива	ліва		9000	92.113	0		0	35.2	92.113	0		35.2	56	6	42.57	56	7	34.68	-16	162		0	162
	пряма				20						22		32.6	56	7	34.68	56	7	54.68					
26	крива	права		9000	88.083	0		0	33.6	88.083	0		33.6	56	7	54.68	56	8	42.76	16	162		0	162
	пряма				3000.252						23		6.2	56	8	42.76	59	8	43.01					
			140					0.3	2	0.9				59	8	43.01	59	9	83.01	-56				
27	крива	ліва		1991	187.903	45		5	24.4	397.903	8		25.7	59	9	83.01	60	1	70.92	-151	157		0	122
			70					0.6	1	0.4				60	1	70.92	60	2	40.92	-28				
	пряма				385.471						14		40.5	60	2	40.92	60	6	26.39					
			80					0.9	2	32.8				60	6	26.39	60	7	6.39	71				
28	крива	права		900	169.388	70		10	47	329.388	15		52.6	60	7	6.39	60	8	75.78	301	115		39	92
			80					0.9	2	32.8				60	8	75.78	60	9	55.78	71				
	пряма				510.594						30		33.1	60	9	55.78	61	4	66.37					
			80					0.6	1	11.7				61	4	66.37	61	5	46.37	33				
29	крива	права		1918	72.046	50		2	9.1	232.046	4		32.5	61	5	46.37	61	6	18.42	60	158		0	123
			80					0.6	1	11.7				61	6	18.42	61	6	98.42	33				
	пряма				313.563						35		5.6	61	6	98.42	62	0	11.98					
			100					0.8	2	56.1				62	0	11.98	62	1	11.98	82				
30	крива	права		976	119.541	80		7	1.1	319.541	12		53.3	62	1	11.98	62	2	31.52	196	123		49	100
			100					0.8	2	56.1				62	2	31.52	62	3	31.52	82				
	пряма				2268.53						47		58.9	62	3	31.52	64	6	0.05					
			50					0.2	0	29.2				64	6	0.05	64	6	50.05	14				
31	крива	права		2944	76.019	10		1	28.8	196.019	2		38.8	64	6	50.05	64	7	26.07	41	165		0	117
			70					0.1	0	40.9				64	7	26.07	64	7	96.07	19				
	пряма				6655.993						50		37.7	64	7	96.07	71	4	52.06					
			60					0.2	0	30.8				71	4	52.06	71	5	12.06	-14				
32	крива	ліва		3350	82.034	10		1	24.2	202.034	2		25.8	71	5	12.06	71	5	94.1	-39	182		0	125
			60					0.2	0	30.8				71	5	94.1	71	6	54.1	-14				
	пряма				9618.985						48		12	71	6	54.1	81	2	73.08					
			70					1	3	6				81	2	73.08	81	3	43.08	-87				
33	крива	ліва		647	376.843	70		33	22.3	546.843	40		53.9	81	3	43.08	81	7	19.92	-932	97		33	78
			100					0.7	4	25.7				81	7	19.92	81	8	19.92	-124				
	пряма				14.862						7		18	81	8	19.92	81	8	34.79					
			90					1	4	7.9				81	8	34.79	81	9	24.79	-115				
34	крива	ліва		624	306.998	90		28	11.3	526.998	38		17.3	81	9	24.79	82	2	31.78	-787	101		45	83
			130					0.7	5	58.1				82	2	31.78	82	3	61.78	-167				
	пряма				47.914						329		0.7	82	3	61.78	82	4	9.7					
			100					1	4	24.4				82	4	9.7	82	5	9.7	123				
35	крива	права		650	50.01	95		4	24.5	170.01	47		45.1	82	5	9.7	82	5	59.71	123	104		49	86

			40				0.1	3	35.3				82	5	59.71	82	5	99.71	49				
				628	220.482	100		20	6.9	295.482			82	5	99.71	82	8	20.19	562	103		50	86
			110				0.8	5	59.3				82	8	20.19	82	9	30.19	276				
				3250	69.624	15		1	13.6	149.624			82	9	30.19	82	9	99.82	34	128		0	102
			50				0.7	2	4.7				82	9	99.82	83	0	49.81	76				
				875	50.715	50		3	19.3	155.715			83	0	49.81	83	1	0.53	93	107		0	83
			80				0.6	2	37.2				83	1	0.53	83	1	80.53	93				
	пряма				977.93						16	45.8	83	1	80.53	84	1	58.46					
			40				0.2	0	20.2				84	1	58.46	84	1	98.46	-9				
36	крива	ліва		3406	20.006	10		0	20.2	100.006	1	0.6	84	1	98.46	84	2	18.47	-9	162		0	126
			40				0.2	0	20.2				84	2	18.47	84	2	58.47	-9				
	пряма				624.501						15	45.2	84	2	58.47	84	8	82.97					
			130				0.7	2	26.8				84	8	82.97	85	0	12.97	68				
37	крива	права		1522	380.472	85		14	19.4	680.472	19	58.2	85	0	12.97	85	3	93.44	400	154		66	127
			170				0.5	3	12				85	3	93.44	85	5	63.44	89				
	пряма				285.449						35	43.4	85	5	63.44	85	8	48.89					
			50				0.3	0	33.4				85	8	48.89	85	8	98.89	16				
38	крива	права		2571	36.988	15		0	49.5	136.988	1	56.3	85	8	98.89	85	9	35.88	23	160		0	114
			50				0.3	0	33.4				85	9	35.88	85	9	85.88	16				
	пряма				50.023						37	39.7	85	9	85.88	86	0	35.9					
			40				0	0	11.5				86	0	35.9	86	0	75.9	-5				
39	крива	ліва		6000	20.01	0		0	11.5	100.01	0	34.4	86	0	75.9	86	0	95.91	-5	189		0	153
			40				0	0	11.5				86	0	95.91	86	1	35.91	-5				
	пряма				1194.337						37	5.4	86	1	35.91	87	3	30.25					
40	крива	ліва		1825	40.141	15		1	15.6	40.141	1	15.6	87	3	30.25	87	3	70.39	-35	103		0	96
	пряма				422.035						35	49.7	87	3	70.39	87	7	92.42					
			50				0	0	14.3				87	7	92.42	87	8	42.42	7				
41	крива	права		5997	43.793	0		0	25.1	133.793	0	50.9	87	8	42.42	87	8	86.21	12	189		0	153
			40				0	0	11.5				87	8	86.21	87	9	26.21	5				
	пряма				15728.016						36	40.6	87	9	26.21	103	6	54.23					
			170				0.2	2	15.7				103	6	54.23	103	8	24.23	-63				
42	крива	ліва		2154	616.059	35		16	23.2	846.059	19	26.8	103	8	24.23	104	4	40.29	-458	160		0	120
			60				0.6	0	47.9				104	4	40.29	104	5	0.29	-22				
	пряма				945.677						17	13.9	104	5	0.29	105	4	45.97					
			80				0.7	1	31.3				105	4	45.97	105	5	25.97	42				
43	крива	права		1506	353.657	55		13	27.3	533.657	16	52.7	105	5	25.97	105	8	79.62	376	142		27	112
			100				0.6	1	54.1				105	8	79.62	105	9	79.62	53				
	пряма				14473.177						34	6.6	105	9	79.62	120	4	52.8					
44	крива	права		1825	21.795	15		0	41.1	101.795	1	56.4	120	4	52.8	120	4	74.59	19	103		0	96
			80				0.2	1	15.3				120	4	74.59	120	5	54.59	35				
	пряма				50						36	3	120	5	54.59	120	6	4.59					
			40				0	0	13.9				120	6	4.59	120	6	44.59	-6				
45	крива	ліва		4948	60.35	0		0	41.9	230.35	1	41	120	6	44.59	120	7	4.94	-20	177		0	139
			130				0	0	45.2				120	7	4.94	120	8	34.94	-21				
	пряма				1452.367						34	22	120	8	34.94	122	2	87.31					

			70				0.1	0	31.5				122	2	87.31	122	3	57.31	-15			
46	крива	ліва		3818	21.367	10		0	19.2	141.367	1	13.3	122	3	57.31	122	3	78.68	-9	181	0	134
			50				0.2	0	22.5				122	3	78.68	122	4	28.68	-10			
	пряма				50.226						33	8.8	122	4	28.68	122	4	78.9				
			40				0	0	16.8				122	4	78.9	122	5	18.9	8			
47	крива	права		4086	40.754	0		0	34.3	140.754	1	16.4	122	5	18.9	122	5	59.66	16	166	0	126
			60				0	0	25.2				122	5	59.66	122	6	19.66	12			
	пряма				8102.064						34	25.1	122	6	19.66	130	7	21.72				
			150				0.6	5	42.4				130	7	21.72	130	8	71.72	-159			
48	крива	ліва		753	116.465	90		8	51.7	276.465	28	36.3	130	8	71.72	130	9	88.19	-247	111	50	91
			20				0.8	1	25.7				130	9	88.19	131	0	8.19	-21			
				859	144.035	75		9	36.4	244.035			131	0	8.19	131	1	52.22	-268	114	42	92
			90				0.8	3	0.1				131	1	52.22	131	2	42.22	-179			
	пряма				73.292						5	48.8	131	2	42.22	131	3	15.51				
			120				0.8	3	28.8				131	3	15.51	131	4	35.51	97			
49	крива	права		988	339.364	90		19	40.8	589.364	26	55.8	131	4	35.51	131	7	74.88	550	127	57	104
			130				0.7	3	46.2				131	7	74.88	131	9	4.88	105			
	пряма				1328.659						32	44.6	131	9	4.88	133	2	33.54				
			80				0.6	1	14.8				133	2	33.54	133	3	13.54	35			
50	крива	права		1839	133.418	50		4	9.4	293.418	6	39	133	3	13.54	133	4	46.96	116	155	0	120
			80				0.6	1	14.8				133	4	46.96	133	5	26.95	35			
	пряма				327.789						39	23.5	133	5	26.95	133	8	54.74				
			40				1.1	1	56.5				133	8	54.74	133	8	94.74	-54			
51	крива	ліва		590	20.056	45		1	56.9	100.056	5	49.9	133	8	94.74	133	9	14.8	-54	86	0	66
			40				1.1	1	56.5				133	9	14.8	133	9	54.8	-54			

Пікет кінця проекту: км 133 пк 9 + 54.8

ДОДАТОК Ж

Відомість параметрів кривих і швидкостей руху поїздів на ділянці Полтава – Лозова
(існуючий стан)

№	крива/ пряма	права/ ліва	L	R	K	h	i	Угол поворота елемента		Kс	Угол поворота кривой/ Дирекционный угол прямой		Пикетаж начала елемента			Пикетаж конца елемента			DK	Скорость пассажирских, км/ч	Скорости грузовых, км/ч	
			м	м	м	мм	‰	град	мин	м	град	мин	км	пк	"+"	км	пк	"+"	мм	max	min	max
			90				1.2	4	51.3				79	4	28	79	5	18	136			
1	крива	права		531	261.27	110		28	11.5	371.27	58	20	79	5	18	79	7	79.27	81	90	44	70
			40				0.4	5	21				79	7	79.27	79	8	19.27	60			
				359	33.39	125		5	19.7	73.39			79	8	19.27	79	8	52.66	149	83	47	69
			40				0.8	5	22				79	8	52.66	79	8	92.66	149			
				527	50	95		5	26.2	140			79	8	92.66	79	9	42.66	152	85	44	70
			70				1.4	3	48.3				79	9	42.66	80	0	12.66	262			
	пряма				270.7						58	20	80	0	12.66	80	2	83.36				
			110				1.2	8	18.9				80	2	83.36	80	3	93.36	-232			
2	крива	ліва		379	37.79	135		5	42.8	277.79	23	51.2	80	3	93.36	80	4	31.15	-160	82	48	70
			130				1	9	49.6				80	4	31.15	80	5	61.15	-274			
	пряма				382.72						34	28.8	80	5	61.15	80	9	43.87				
			80				0.5	1	20.7				80	9	43.87	81	0	23.87	-38			
3	крива	ліва		1705	59.32	40		1	59.6	219.32	4	40.9	81	0	23.87	81	0	83.19	-56	83	0	72
			80				0.5	1	20.7				81	0	83.19	81	1	63.19	-38			
	пряма				17.13						29	47.9	81	1	63.19	81	1	80.32				
			50				1.6	3	4.8				81	1	80.32	81	2	30.32	-86			
4	крива	ліва		465	20	80		2	27.9	120	8	37.5	81	2	30.32	81	2	50.32	-69	85	34	69
			50				1.6	3	4.8				81	2	50.32	81	3	0.32	-86			
	пряма				0.22						21	10.4	81	3	0.32	81	3	0.54				
			50				1.4	1	55.1				81	3	0.54	81	3	50.54	54			
5	крива	права		747	47.69	70		3	39.5	147.69	7	29.6	81	3	50.54	81	3	98.23	102	90	35	75
			50				1.4	1	55.1				81	3	98.23	81	4	48.23	54			
	пряма				970.34						28	39.9	81	4	48.23	82	4	18.57				
			160				0.4	4	50.7				82	4	18.57	82	5	78.57	135			
6	крива	права		946	130.7	65		7	55	350.7	14	34.7	82	5	78.57	82	7	9.27	221	110	35	93
			60				1.1	1	49				82	7	9.27	82	7	69.27	51			
	пряма				1787.97						43	14.6	82	7	69.27	84	5	57.24				
			90				0.8	2	29.9				84	5	57.24	84	6	47.24	70			
7	крива	права		1032	81.48	70		4	31.4	271.48	9	47.9	84	6	47.24	84	7	28.72	126	120	42	99
			100				0.7	2	46.6				84	7	28.72	84	8	28.72	78			
	пряма				1424.41						53	2.5	84	8	28.72	86	2	53.13				
			110				0.7	3	55.5				86	2	53.13	86	3	63.13	110			
8	крива	права		803	90.79	80		6	28.7	310.79	14	19.6	86	3	63.13	86	4	53.92	181	111	45	91

			110				0.7	3	55.5				86	4	53.92	86	5	63.92	110				
	пряма				2448.35						67	22.1	86	5	63.92	89	0	12.27					
			100				0.9	4	32.8				89	0	12.27	89	1	12.27	127				
9	крива	права		630	312.74	90		28	26.5	552.74	39	21.4	89	1	12.27	89	4	25.01	794	101		45	83
			140				0.6	6	22				89	4	25.01	89	5	65.01	178				
	пряма				852.83						106	43.5	89	5	65.01	90	4	17.84					
			90				0.8	2	8.4				90	4	17.84	90	5	7.84	60				
10	крива	права		1205	66.04	70		3	8.4	246.04	7	25.2	90	5	7.84	90	5	73.88	88	120		45	107
			90				0.8	2	8.4				90	5	73.88	90	6	63.88	60				
	пряма				807.94						114	8.6	90	6	63.88	91	4	71.82					
			80				1.1	3	21.9				91	4	71.82	91	5	51.82	-94				
11	крива	ліва		681	98.55	85		8	17.5	258.55	15	1.3	91	5	51.82	91	6	50.37	-232	104		44	85
			80				1.1	3	21.9				91	6	50.37	91	7	30.37	-94				
	пряма				349.28						99	7.3	91	7	30.37	92	0	79.65					
			90				0.9	4	4				92	0	79.65	92	1	69.65	-114				
12	крива	ліва		634	158.72	85		14	20.6	318.72	21	34.4	92	1	69.65	92	3	28.37	-401	100		43	82
			70				1.2	3	9.8				92	3	28.37	92	3	98.37	-88				
	пряма				13.75						77	32.9	92	3	98.37	92	4	12.12					
			90				0.8	2	46.7				92	4	12.12	92	5	2.12	78				
13	крива	права		928	157.54	75		9	43.6	277.54	38	54.2	92	5	2.12	92	6	59.66	272	118		44	96
			60				0.1	3	31.7				92	6	59.66	92	7	19.66	52				
				1026	173.1	70		9	40	228.1			92	7	19.66	92	8	92.76	270	123		41	98
			50				0.1	3	4.9				92	8	92.76	92	9	42.76	82				
				850	110.17	75		7	25.6	215.17			92	9	42.76	93	0	52.93	207	113		42	91
			80				0.9	2	41.8				93	0	52.93	93	1	32.93	138				
	пряма				3094.6						116	27.1	93	1	32.93	96	2	27.53					
			110				0.8	5	12				96	2	27.53	96	3	37.53	-145				
14	крива	ліва		606	143.4	90		13	33.5	363.4	23	57.5	96	3	37.53	96	4	80.93	-379	99		44	82
			110				0.8	5	12				96	4	80.93	96	5	90.93	-145				
	пряма				3810.97						92	29.6	96	5	90.93	100	4	1.9					
			100				0.7	2	39.5				100	4	1.9	100	5	1.9	-74				
15	крива	ліва		1078	137.77	70		7	19.3	357.77	13	10.1	100	5	1.9	100	6	39.67	-204	126		42	101
			120				0.6	3	11.3				100	6	39.67	100	7	59.67	-89				
	пряма				1448.44						79	19.4	100	7	59.67	102	2	8.11					
			100				0.8	2	53.1				102	2	8.11	102	3	8.11	-81				
16	крива	ліва		993	89.18	75		5	8.7	289.18	10	54.9	102	3	8.11	102	3	97.29	-144	120		45	99
			100				0.8	2	53.1				102	3	97.29	102	4	97.29	-81				
	пряма				182.26						68	24.5	102	4	97.29	102	6	79.55					
			100				0.8	3	22.9				102	6	79.55	102	7	79.55	94				
17	крива	права		847	419.23	75		28	21.5	619.23	35	7.4	102	7	79.55	103	1	98.78	792	113		42	91
			100				0.8	3	22.9				103	1	98.78	103	2	98.78	94				
	пряма				575.77						103	31.9	103	2	98.78	103	8	74.55					
			120				0.8	5	35.9				103	8	74.55	103	9	94.55	-156				
18	крива	ліва		614	263.12	90		24	33.2	493.12	35	17.1	103	9	94.55	104	2	57.67	-686	100		45	82
			110				0.8	5	7.9				104	2	57.67	104	3	67.67	-143				

	пряма				847.31						68		14.8	104	3	67.67	105	2	14.98					
			140				0	1	54.4					105	2	14.98	105	3	54.98	53				
19	крива	права		2103	737.46	0		20	5.5	1017.46	23		54.4	105	3	54.98	106	0	92.44	561	138		0	90
			140				0	1	54.4					106	0	92.44	106	2	32.44	53				
	пряма				2284.22						92		9.2	106	2	32.44	108	5	16.66					
			160				0.5	5	25.5					108	5	16.66	108	6	76.66	151				
20	крива	права		845	681.63	75		46	13.1	941.63	55		2	108	6	76.66	109	3	58.29	1291	113		42	91
			100				0.8	3	23.4					109	3	58.29	109	4	58.29	95				
	пряма				5458.22						147		11.2	109	4	58.29	114	9	16.51					
			40				1.4	1	26.5					114	9	16.51	114	9	56.51	40				
21	крива	права		795	32.16	55		2	19.1	112.16	5		12	114	9	56.51	114	9	88.67	65	100		20	81
			40				1.4	1	26.5					114	9	88.67	115	0	28.67	40				
	пряма				1074.73						152		23.2	115	0	28.67	116	1	3.4					
			70				1.1	2	19.9					116	1	3.4	116	1	73.4	-65				
22	крива	ліва		860	50.34	75		3	21.2	140.34	38		7.9	116	1	73.4	116	2	23.74	-94	110		42	92
			40				0.6	3	23.4					116	2	23.74	116	2	63.74	-37				
				557	59.49	100		6	7.2	114.49				116	2	63.74	116	3	23.23	-171	97		48	81
			70				0.3	6	6					116	3	23.23	116	3	93.23	-166				
				802	180.67	80		12	54.4	325.67				116	3	93.23	116	5	73.9	-360	111		44	91
			110				0.7	3	55.8					116	5	73.9	116	6	83.9	-268				
	пряма				438.12						114		15.3	116	6	83.9	117	1	22.02					
			70				1.4	3	4.8					117	1	22.02	117	1	92.02	86				
23	крива	права		651	150.33	95		13	13.9	235.33	62		47	117	1	92.02	117	3	42.35	369	96		49	77
			30				1.3	1	32.3					117	3	42.35	117	3	72.35	37				
				3935	44.12	55		0	38.5	74.12				117	3	72.35	117	4	16.47	18	96		44	77
			30				1.3	1	33.3					117	4	16.47	117	4	46.47	43				
				643	444.61	95		39	37.1	529.61				117	4	46.47	117	8	91.08	1106	100		49	86
			70				1.4	3	7.1					117	8	91.08	117	9	61.08	101				
	пряма				397.57						177		2.3	117	9	61.08	118	3	58.65					
			100				0.9	4	35					118	3	58.65	118	4	58.65	128				
24	крива	права		625	244.01	90		22	22.2	454.01	31		59.7	118	4	58.65	118	7	2.66	625	101		45	83
			110				0.8	5	2.5					118	7	2.66	118	8	12.66	141				
	пряма				433.31						209		2	118	8	12.66	119	2	45.97					
			90				0.8	2	57.2					119	2	45.97	119	3	35.97	-82				
25	крива	ліва		873	120.11	75		7	53	300.11	13		47.4	119	3	35.97	119	4	56.08	-220	115		43	93
			90				0.8	2	57.2					119	4	56.08	119	5	46.08	-82				
	пряма				310.82						195		14.6	119	5	46.08	119	8	56.9					
			100				0.8	3	25.9					119	8	56.9	119	9	56.9	-96				
26	крива	ліва		835	433.26	80		29	43.8	533.26	62		55.5	119	9	56.9	120	3	90.16	-830	114		45	92
				906	192.73	75		12	11.3	212.73				120	3	90.16	120	5	82.89	-340	117		43	94
			40				0.1	2	45.5					120	5	82.89	120	6	22.89	-74				
				767	128.36	80		9	35.3	288.36				120	6	22.89	120	7	51.25	-268	109		44	89
			140				0.6	5	13.7					120	7	51.25	120	8	91.25	-270				
	пряма				765.05						132		19.1	120	8	91.25	121	6	56.3					
			110				0.8	4	59.2					121	6	56.3	121	7	66.3	-139				

27	крива	ліва		632	431.07	90		39	4.8	641.07	48		35.9	121	7	66.3	122	1	97.37	-1091	101		45	84
			100				0.9	4	32					122	1	97.37	122	2	97.37	-127				
	пряма				293.22						83		43.2	122	2	97.37	122	5	90.59					
			100				0.9	4	35.9					122	5	90.59	122	6	90.59	128				
28	крива	права		623	98.79	90		9	5.1	298.79	18		16.9	122	6	90.59	122	7	89.38	254	101		45	83
			100				0.9	4	35.9					122	7	89.38	122	8	89.38	128				
	пряма				2392.1						102		0.1	122	8	89.38	125	2	81.48					
			80				0.9	2	8.5					125	2	81.48	125	3	61.48	60				
29	крива	права		1070	361.46	70		19	21.3	521.46	23		38.3	125	3	61.48	125	7	22.94	541	120		42	101
			80				0.9	2	8.5					125	7	22.94	125	8	2.94	60				
	пряма				1745.61						125		38.5	125	8	2.94	127	5	48.55					
			90				0.9	3	16.1					127	5	48.55	127	6	38.55	91				
30	крива	права		789	70.12	80		5	5.5	250.12	11		37.7	127	6	38.55	127	7	8.67	142	110		44	90
			90				0.9	3	16.1					127	7	8.67	127	7	98.67	91				
	пряма				123.99						137		16.1	127	7	98.67	127	9	22.66					
			60				1	0	45					127	9	22.66	127	9	82.66	21				
31	крива	права		2292	20	60		0	30	140	1		60	127	9	82.66	128	0	2.66	14	120		45	120
			60				1	0	45					128	0	2.66	128	0	62.66	21				
	пряма				4952.63						139		16.1	128	0	62.66	133	0	15.29					
			40				1.1	1	6.2					133	0	15.29	133	0	55.29	31				
32	крива	права		1038	45.32	45		2	30.1	125.32	4		42.6	133	0	55.29	133	1	0.61	70	110		0	88
			40				1.1	1	6.2					133	1	0.61	133	1	40.61	31				
	пряма				1985.95						143		58.7	133	1	40.61	135	1	26.56					
			110				0.6	2	57					135	1	26.56	135	2	36.56	-82				
33	крива	ліва		1068	359.52	70		19	17.2	579.52	25		11.3	135	2	36.56	135	5	96.08	-539	125		42	100
			110				0.6	2	57					135	5	96.08	135	7	6.08	-82				
	пряма				3075.46						118		47.4	135	7	6.08	138	7	81.54					
			70				1.1	2	20.1					138	7	81.54	138	8	51.54	65				
34	крива	права		859	479.72	75		31	59.9	619.72	36		40	138	8	51.54	139	3	31.26	894	110		42	92
			70				1.1	2	20.1					139	3	31.26	139	4	1.26	65				
	пряма				887.46						155		27.4	139	4	1.26	140	2	88.72					
			70				1.4	3	54.5					140	2	88.72	140	3	58.72	-109				
35	крива	ліва		513	58.72	95		6	33.5	198.72	14		22.6	140	3	58.72	140	4	17.44	-183	92		43	77
			70				1.4	3	54.5					140	4	17.44	140	4	87.44	-109				
	пряма				24.21						141		4.8	140	4	87.44	140	5	11.65					
			90				0.9	4	2.1					140	5	11.65	140	6	1.65	113				
36	крива	права		639	664.68	85		59	35.9	824.68	66		46.3	140	6	1.65	141	2	66.33	1664	100		43	82
			70				1.2	3	8.3					141	2	66.33	141	3	36.33	88				
	пряма				1.93						207		51.1	141	3	36.33	141	3	38.26					
			80				1.1	3	36.9					141	3	38.26	141	4	18.26	-101				
37	крива	ліва		634	190.31	90		17	11.9	305.31	59		33.9	141	4	18.26	141	6	8.57	-480	101		45	84
			70				0.1	5	54.6					141	6	8.57	141	6	78.57	-88				
				730	36.37	80		2	51.3	91.37				141	6	78.57	141	7	14.94	-80	106		42	86
			40				0.2	3	23					141	7	14.94	141	7	54.94	-94				
				632	146.24	90		13	15.5	186.24				141	7	54.94	141	9	1.18	-370	101		45	84

			40				0.1	3	27.3				141	9	1.18	141	9	41.18	-94					
				698	75.49	85		6	11.8	185.49			141	9	41.18	142	0	16.67	-173	105		45	86	
			90				0.9	3	41.6				142	0	16.67	142	1	6.67	-217					
	пряма				9.73						148		17.2	142	1	6.67	142	1	16.4					
			70				1.2	2	58.5				142	1	16.4	142	1	86.4	83					
38	крива	права		674	148.84	85		12	39.2	368.84	22		0.2	142	1	86.4	142	3	35.24	353	100		44	85
			150				0.6	6	22.5				142	3	35.24	142	4	85.24	178					
	пряма				71.19						170		17.4	142	4	85.24	142	5	56.43					
			100				0.8	4	22.8				142	5	56.43	142	6	56.43	-122					
39	крива	ліва		654	359.3	85		31	28.7	559.3	40		14.3	142	6	56.43	143	0	15.73	-879	102		43	83
			100				0.8	4	22.8				143	0	15.73	143	1	15.73	-122					
	пряма				997.6						130		3.1	143	1	15.73	144	1	13.33					
			100				0.8	4	28.6				144	1	13.33	144	2	13.33	125					
40	крива	права		640	207.33	85		18	33.7	407.33	27		30.8	144	2	13.33	144	4	20.66	518	101		43	83
			100				0.8	4	28.6				144	4	20.66	144	5	20.66	125					
	пряма				1291.15						157		34	144	5	20.66	145	8	11.81					
			50				1	1	4.9				145	8	11.81	145	8	61.81	30					
41	крива	права		1324	20.86	50		0	54.2	120.86	3		4	145	8	61.81	145	8	82.67	25	120		0	102
			50				1	1	4.9				145	8	82.67	145	9	32.67	30					
	пряма				2776.3						160		37.9	145	9	32.67	148	7	8.97					
			80				0.5	1	0.8				148	7	8.97	148	7	88.97	28					
42	крива	права		2260	42.3	40		1	4.3	162.3	2		35.6	148	7	88.97	148	8	31.27	30	120		0	120
			40				1	0	30.4				148	8	31.27	148	8	71.27	14					
	пряма				50						163		13.6	148	8	71.27	148	9	21.27					
			50				1	0	53.2				148	9	21.27	148	9	71.27	-25					
43	крива	ліва		1615	32.36	50		1	8.9	132.36	2		55.3	148	9	71.27	149	0	3.63	-32	120		0	113
			50				1	0	53.2				149	0	3.63	149	0	53.63	-25					
	пряма				57.07						160		18.2	149	0	53.63	149	1	10.7					
			60				0.9	0	41.5				149	1	10.7	149	1	70.7	-19					
44	крива	ліва		2484	38.85	55		0	53.8	158.85	2		16.8	149	1	70.7	149	2	9.55	-25	120		35	120
			60				0.9	0	41.5				149	2	9.55	149	2	69.55	-19					
	пряма				0.01						158		1.4	149	2	69.55	149	2	69.56					
			70				0.9	1	0.6				149	2	69.56	149	3	39.56	28					
45	крива	права		1986	24.08	60		0	41.7	164.08	2		42.9	149	3	39.56	149	3	63.64	19	120		42	120
			70				0.9	1	0.6				149	3	63.64	149	4	33.64	28					
	пряма				871.55						160		44.3	149	4	33.64	150	3	5.19					
			70				1.1	3	5.7				150	3	5.19	150	3	75.19	-86					
46	крива	ліва		648	412.61	80		36	29	502.61	51		12.6	150	3	75.19	150	7	87.8	-1019	100		40	81
			40				0.2	3	40.7				150	7	87.8	150	8	27.8	-49					
				600	58.3	90		5	34	128.3				150	8	27.8	150	8	86.1	-155	80		44	80
			50				1.8	2	23.2				150	8	86.1	150	9	36.1	-128					
	пряма				2213.32						109		31.7	150	9	36.1	153	1	49.42					
			90				0.8	3	1.8				153	1	49.42	153	2	39.42	-85					
47	крива	ліва		851	323.36	75		21	46.3	543.36	29		10.6	153	2	39.42	153	5	62.78	-608	113		42	92
			130				0.6	4	22.6				153	5	62.78	153	6	92.78	-122					

	пряма				199.14						80	21	153	6	92.78	153	8	91.92					
			130				0.5	3	29.6				153	8	91.92	154	0	21.92	98				
48	крива	права		1066	554.01	70		29	46.6	794.01	36		13.6	154	0	21.92	154	5	75.93	832	125	42	100
			110				0.6	2	57.4					154	5	75.93	154	6	85.93	83			
	пряма				8422.81						116	34.7		154	6	85.93	163	1	8.74				
			90				0.8	2	29.2					163	1	8.74	163	1	98.74	-69			
49	крива	ліва		1037	239.44	70		13	13.8	419.44	18		12.1	163	1	98.74	163	4	38.18	-369	120	42	99
			90				0.8	2	29.2					163	4	38.18	163	5	28.18	-69			
	пряма				3107.11						98	22.5		163	5	28.18	166	6	35.29				
			100				0.7	2	39.7					166	6	35.29	166	7	35.29	74			
50	крива	права		1076	89.1	70		4	44.7	309.1	10		36.1	166	7	35.29	166	8	24.39	132	125	42	101
			120				0.6	3	11.7					166	8	24.39	166	9	44.39	89			
	пряма				3239.36						108	58.7		166	9	44.39	170	1	83.75				
			80				1	3	3.8					170	1	83.75	170	2	63.75	-86			
51	крива	ліва		748	141.98	80		10	52.5	301.98	17		0.2	170	2	63.75	170	4	5.73	-304	107	43	88
			80				1	3	3.8					170	4	5.73	170	4	85.73	-86			
	пряма				127.13						91	58.4		170	4	85.73	170	6	12.86				
			60				1	1	34.4					170	6	12.86	170	6	72.86	-44			
52	крива	ліва		1092	100.7	60		5	17	220.7	8		25.9	170	6	72.86	170	7	73.56	-148	120	31	97
			60				1	1	34.4					170	7	73.56	170	8	33.56	-44			
	пряма				338.44						83	32.5		170	8	33.56	171	1	72				
			80				0.8	1	18					171	1	72	171	2	52	-36			
53	крива	ліва		1763	20.01	60		0	39	180.01	3		15	171	2	52	171	2	72.01	-18	120	39	120
			80				0.8	1	18					171	2	72.01	171	3	52.01	-36			
	пряма				746.25						80	17.5		171	3	52.01	172	0	98.26				
			110				0.8	4	57.3					172	0	98.26	172	2	8.26	138			
54	крива	права		636	542.8	85		48	54	732.8	57		27.5	172	2	8.26	172	7	51.06	1366	100	43	82
			80				1.1	3	36.2					172	7	51.06	172	8	31.06	101			
	пряма				975.85						137	45		172	8	31.06	173	8	6.91				
			90				0.9	3	16.1					173	8	6.91	173	8	96.91	-91			
55	крива	ліва		789	249.94	80		18	9	429.94	24		41.2	173	8	96.91	174	1	46.85	-507	110	44	90
			90				0.9	3	16.1					174	1	46.85	174	2	36.85	-91			
	пряма				147.17						113	3.9		174	2	36.85	174	3	84.02				
			50				1.6	2	26.9					174	3	84.02	174	4	34.02	68			
56	крива	права		585	43.64	80		4	16.5	143.64	9		10.3	174	4	34.02	174	4	77.66	119	90	38	77
			50				1.6	2	26.9					174	4	77.66	174	5	27.66	68			
	пряма				64.98						122	14.1		174	5	27.66	174	5	92.64				
			50				1.6	3	11.4					174	5	92.64	174	6	42.64	-89			
57	крива	ліва		449	32.26	80		4	7	132.26	10		29.8	174	6	42.64	174	6	74.9	-115	83	33	68
			50				1.6	3	11.4					174	6	74.9	174	7	24.9	-89			
	пряма				854.29						111	44.3		174	7	24.9	175	5	79.19				
58	крива	ліва		9000	66.53	0		0	25.4	66.53	0		25.4	175	5	79.19	175	6	45.72	-12	162	0	162
	пряма				20.03						111	18.9		175	6	45.72	175	6	65.75				
59	крива	права		9000	79.55	0		0	30.4	79.55	0		30.4	175	6	65.75	175	7	45.3	14	162	0	162

Пікет кінця проекту: км 175 ПК 7 + 45.3

ДОДАТОК 3

Відомість параметрів кривих і швидкостей руху поїздів на ділянці Полтава – Лозова
(після оптимізації)

№	крива/ пряма	права/ ліва	L	R	K	h	i	Кут повороту елементу		Kс	Кут повороту кривої/ Дирекційний кут прямої		Пікетаж початку елементу			Пікетаж кінця елементу			DK	Швидкість пасажирських, км/год	Швидкості вантажних, км/год	
			м	м	м	мм	‰	град	мин	м	град	мин	км	пк	"+"	км	пк	"+"	мм	max	min	max
			90				1.1	4	51.3				79	4	27.79	79	5	17.79	136			
1	крива	права		531	261.273	95		28	11.5	371.273	58	20	79	5	17.79	79	7	79.07	787	94	44	78
			40				0.6	5	21				79	7	79.07	79	8	19.07	60			
				359	33.389	120		5	19.7	73.389			79	8	19.07	79	8	52.46	149	82	45	69
			40				1.1	5	22				79	8	52.46	79	8	92.46	149			
				527	50	75		5	26.2	140			79	8	92.46	79	9	42.46	152	89	33	72
			70				1.1	3	48.3				79	9	42.46	80	0	12.46	262			
	пряма				270.7						58	20	80	0	12.46	80	2	83.15				
			110				1.1	8	18.9				80	2	83.15	80	3	93.15	-232			
2	крива	ліва		379	37.792	125		5	42.8	277.792	23	51.3	80	3	93.15	80	4	30.95	-160	85	48	72
			130				1	9	49.6				80	4	30.95	80	5	60.95	-274			
	пряма				382.722						34	28.8	80	5	60.95	80	9	43.67				
			80				0.2	1	20.7				80	9	43.67	81	0	23.67	-38			
3	крива	ліва		1705	59.325	20		1	59.6	219.325	4	40.9	81	0	23.67	81	0	82.99	-56	95	0	76
			80				0.2	1	20.7				81	0	82.99	81	1	62.99	-38			
	пряма				17.135						29	47.9	81	1	62.99	81	1	80.13				
			50				1.2	3	4.8				81	1	80.13	81	2	30.13	-86			
4	крива	ліва		465	20	60		2	27.9	120	8	37.5	81	2	30.13	81	2	50.13	-69	80	20	63
			50				1.2	3	4.8				81	2	50.13	81	3	0.13	-86			
	пряма				0.221						21	10.3	81	3	0.13	81	3	0.35				
			50				1	1	55.1				81	3	0.35	81	3	50.35	54			
5	крива	права		747	47.691	50		3	39.5	147.691	7	29.6	81	3	50.35	81	3	98.04	102	99	0	77
			50				1	1	55.1				81	3	98.04	81	4	48.04	54			
	пряма				970.338						28	39.9	81	4	48.04	82	4	18.38				
			160				0.3	4	50.7				82	4	18.38	82	5	78.38	135			
6	крива	права		946	130.7	50		7	55	350.7	14	34.7	82	5	78.38	82	7	9.08	221	111	0	86
			60				0.8	1	49				82	7	9.08	82	7	69.08	51			
	пряма				1787.975						43	14.6	82	7	69.08	84	5	57.05				
			90				0.8	2	29.9				84	5	57.05	84	6	47.05	70			
7	крива	права		1032	81.482	70		4	31.4	271.482	9	47.9	84	6	47.05	84	7	28.53	126	123	42	99
			100				0.7	2	46.6				84	7	28.53	84	8	28.53	78			
	пряма				1424.411						53	2.5	84	8	28.53	86	2	52.95				
			110				0.9	3	55.5				86	2	52.95	86	3	62.95	110			
8	крива	права		803	90.789	95		6	28.7	310.789	14	19.6	86	3	62.95	86	4	53.74	181	116	54	96
			110				0.9	3	55.5				86	4	53.74	86	5	63.74	110			

	пряма			2448.348					67	22.1	86	5	63.74	89	0	12.08					
			100			1	4	32.8			89	0	12.08	89	1	12.08	127				
9	крива	права		630	312.736	95	28	26.5	552.736	39	21.3	89	1	12.08	89	4	24.82	794	102	48	85
			140			0.7	6	22				89	4	24.82	89	5	64.82	178			
	пряма				852.826					106	43.4	89	5	64.82	90	4	17.65				
			90			0.7	2	8.4				90	4	17.65	90	5	7.64	60			
10	крива	права		1205	66.036	65	3	8.4	246.036	7	25.2	90	5	7.64	90	5	73.68	88	131	39	104
			90			0.7	2	8.4				90	5	73.68	90	6	63.68	60			
	пряма				807.936					114	8.6	90	6	63.68	91	4	71.62				
			80			0.9	3	21.9				91	4	71.62	91	5	51.62	-94			
11	крива	ліва		681	98.548	75	8	17.5	258.548	15	1.3	91	5	51.62	91	6	50.17	-232	101	38	82
			80			0.9	3	21.9				91	6	50.17	91	7	30.17	-94			
	пряма				349.28					99	7.3	91	7	30.17	92	0	79.44				
			90			0.8	4	4				92	0	79.44	92	1	69.44	-114			
12	крива	ліва		634	158.715	70	14	20.6	318.715	21	34.4	92	1	69.44	92	3	28.16	-401	96	33	77
			70			1	3	9.8				92	3	28.16	92	3	98.16	-88			
	пряма				13.75					77	32.9	92	3	98.16	92	4	11.91				
			90			0.8	2	46.7				92	4	11.91	92	5	1.91	78			
13	крива	права		928	157.537	75	9	43.6	277.537	38	54.2	92	5	1.91	92	6	59.45	272	118	44	96
			60			0.5	3	31.7				92	6	59.45	92	7	19.45	52			
				1026	173.104	105	9	40	228.104			92	7	19.45	92	8	92.55	270	134	68	112
			50			0.7	3	4.9				92	8	92.55	92	9	42.55	82			
				850	110.172	70	7	25.6	215.172			92	9	42.55	93	0	52.72	207	112	38	90
			80			0.9	2	41.8				93	0	52.72	93	1	32.72	138			
	пряма				3094.602					116	27.1	93	1	32.72	96	2	27.33				
			110			1	5	12				96	2	27.33	96	3	37.33	-145			
14	крива	ліва		606	143.399	105	13	33.5	363.399	23	57.5	96	3	37.33	96	4	80.72	-379	103	52	86
			110			1	5	12				96	4	80.72	96	5	90.72	-145			
	пряма				3810.971					92	29.6	96	5	90.72	100	4	1.7				
			100			0.8	2	39.5				100	4	1.7	100	5	1.7	-74			
15	крива	ліва		1078	137.773	75	7	19.4	357.773	13	10.1	100	5	1.7	100	6	39.47	-204	127	47	103
			120			0.6	3	11.3				100	6	39.47	100	7	59.47	-89			
	пряма				1448.438					79	19.4	100	7	59.47	102	2	7.91				
			100			0.8	2	53.1				102	2	7.91	102	3	7.91	-81			
16	крива	ліва		993	89.182	80	5	8.7	289.182	10	54.9	102	3	7.91	102	3	97.09	-144	124	50	101
			100			0.8	2	53.1				102	3	97.09	102	4	97.09	-81			
	пряма				182.263					68	24.5	102	4	97.09	102	6	79.35				
			100			0.8	3	22.9				102	6	79.35	102	7	79.35	94			
17	крива	права		847	419.233	85	28	21.6	619.233	35	7.4	102	7	79.35	103	1	98.58	792	116	49	95
			100			0.8	3	22.9				103	1	98.58	103	2	98.58	94			
	пряма				575.769					103	31.9	103	2	98.58	103	8	74.35				
			120			0.9	5	35.9				103	8	74.35	103	9	94.35	-156			
18	крива	ліва		614	263.118	105	24	33.2	493.118	35	17.1	103	9	94.35	104	2	57.47	-686	103	52	87
			110			1	5	7.9				104	2	57.47	104	3	67.47	-143			
	пряма				847.313					68	14.9	104	3	67.47	105	2	14.78				

			140				0.1	1	54.4				105	2	14.78	105	3	54.78	53					
19	крива	права		2103	737.459	15		20	5.5	1017.459	23		54.4	105	3	54.78	106	0	92.24	561	147		0	103
			140				0.1	1	54.4				106	0	92.24	106	2	32.24	53					
	пряма				2284.22						92		9.2	106	2	32.24	108	5	16.46					
			160				0.5	5	25.5				108	5	16.46	108	6	76.46	151					
20	крива	права		845	681.629	85		46	13.1	941.629	55		2	108	6	76.46	109	3	58.09	1291	116		49	95
			100				0.8	3	23.4				109	3	58.09	109	4	58.09	95					
	пряма				5458.225						147		11.2	109	4	58.09	114	9	16.32					
			40				1	1	26.5				114	9	16.32	114	9	56.32	40					
21	крива	права		795	32.16	40		2	19.1	112.16	5		12	114	9	56.32	114	9	88.48	65	99		0	75
			40				1	1	26.5					114	9	88.48	115	0	28.48	40				
	пряма				1074.728						152		23.2	115	0	28.48	116	1	3.2					
			70				0.9	2	19.9					116	1	3.2	116	1	73.21	-65				
22	крива	ліва		860	50.339	60		3	21.2	140.339	38		8	116	1	73.21	116	2	23.55	-94	109		28	86
			40				0.9	3	23.4					116	2	23.55	116	2	63.54	-37				
				557	59.494	95		6	7.2	114.494				116	2	63.54	116	3	23.04	-171	96		45	80
			70				0	6	6					116	3	23.04	116	3	93.04	-166				
				802	180.673	95		12	54.4	325.673				116	3	93.04	116	5	73.71	-360	115		54	96
			110				0.9	3	55.8					116	5	73.71	116	6	83.71	-268				
	пряма				438.124						114		15.3	116	6	83.71	117	1	21.83					
			70				0.7	3	4.8					117	1	21.83	117	1	91.83	86				
23	крива	права		651	150.328	50		13	13.8	235.328	62		47	117	1	91.83	117	3	42.16	369	92		0	72
			30				1	1	32.3					117	3	42.16	117	3	72.16	37				
				3935	44.125	20		0	38.5	74.125				117	3	72.16	117	4	16.29	18	93		0	75
			30				1	1	33.3					117	4	16.29	117	4	46.29	43				
				643	444.611	50		39	37.1	529.611				117	4	46.29	117	8	90.9	1106	92		0	71
			70				0.7	3	7.1					117	8	90.9	117	9	60.9	101				
	пряма				397.571						177		2.3	117	9	60.9	118	3	58.47					
			100				1	4	35					118	3	58.47	118	4	58.47	128				
24	крива	права		625	244.011	95		22	22.2	454.011	31		59.7	118	4	58.47	118	7	2.48	625	102		48	85
			110				0.9	5	2.5					118	7	2.48	118	8	12.48	141				
	пряма				433.313						209		2	118	8	12.48	119	2	45.79					
			90				0.8	2	57.2					119	2	45.79	119	3	35.79	-82				
25	крива	ліва		873	120.108	75		7	53	300.108	13		47.4	119	3	35.79	119	4	55.9	-220	115		43	93
			90				0.8	2	57.2					119	4	55.9	119	5	45.9	-82				
	пряма				310.821						195		14.6	119	5	45.9	119	8	56.72					
			100				0.8	3	25.9					119	8	56.72	119	9	56.72	-96				
26	крива	ліва		835	433.261	85		29	43.8	533.261	62		55.5	119	9	56.72	120	3	89.98	-830	115		49	94
				906	192.732	90		12	11.3	212.732				120	3	89.98	120	5	82.72	-340	121		54	100
			40				0.2	2	45.5					120	5	82.72	120	6	22.72	-74				
				767	128.355	100		9	35.3	288.355				120	6	22.72	120	7	51.07	-268	114		56	95
			140				0.7	5	13.7					120	7	51.07	120	8	91.07	-270				
	пряма				765.052						132		19.1	120	8	91.07	121	6	56.12					
			110				0.9	4	59.2					121	6	56.12	121	7	66.12	-139				
27	крива	ліва		632	431.065	95		39	4.8	641.065	48		35.9	121	7	66.12	122	1	97.19	-1091	102		48	85

			100			1	4	32				122	1	97.19	122	2	97.19	-127				
	пряма				293.22					83		43.2	122	2	97.19	122	5	90.41				
			100			1	4	35.9					122	5	90.41	122	6	90.41	128			
28	крива	права		623	98.794	95		9	5.1	298.794	18		122	6	90.41	122	7	89.2	254	102	48	84
			100				1	4	35.9				122	7	89.2	122	8	89.2	128			
	пряма				2392.102						102	0.2	122	8	89.2	125	2	81.3				
			80				0.8	2	8.5				125	2	81.3	125	3	61.3	60			
29	крива	права		1070	361.459	65		19	21.3	521.459	23		125	3	61.3	125	7	22.76	540	123	37	98
			80				0.8	2	8.5				125	7	22.76	125	8	2.76	60			
	пряма				1745.613						125	38.5	125	8	2.76	127	5	48.38				
			90				0.9	3	16.1				127	5	48.38	127	6	38.38	91			
30	крива	права		789	70.118	80		5	5.5	250.118	11		127	6	38.38	127	7	8.49	142	110	44	90
			90				0.9	3	16.1				127	7	8.49	127	7	98.49	91			
	пряма				123.99						137	16.2	127	7	98.49	127	9	22.48				
			60				0.2	0	45				127	9	22.48	127	9	82.48	21			
31	крива	права		2292	20.004	15		0	30	140.004	1	60	127	9	82.48	128	0	2.49	14	153	0	108
			60				0.2	0	45				128	0	2.49	128	0	62.49	21			
	пряма				4952.633						139	16.2	128	0	62.49	133	0	15.12				
			40				0.9	1	6.2				133	0	15.12	133	0	55.12	31			
32	крива	права		1038	45.319	35		2	30.1	125.319	4	42.6	133	0	55.12	133	1	0.44	70	111	0	83
			40				0.9	1	6.2				133	1	0.44	133	1	40.44	31			
	пряма				1985.946						143	58.7	133	1	40.44	135	1	26.39				
			110				0.8	2	57				135	1	26.39	135	2	36.39	-82			
33	крива	ліва		1068	359.524	85		19	17.3	579.524	25	11.3	135	2	36.39	135	5	95.91	-539	130	55	107
			110				0.8	2	57				135	5	95.91	135	7	5.91	-82			
	пряма				3075.459						118	47.4	135	7	5.91	138	7	81.37				
			70				0.9	2	20.1				138	7	81.37	138	8	51.37	65			
34	крива	права		859	479.723	60		31	59.9	619.723	36	40	138	8	51.37	139	3	31.09	894	109	27	86
			70				0.9	2	20.1				139	3	31.09	139	4	1.09	65			
	пряма				887.461						155	27.4	139	4	1.09	140	2	88.55				
			70				1.1	3	54.5				140	2	88.55	140	3	58.55	-109			
35	крива	ліва		513	58.717	75		6	33.5	198.717	14	22.6	140	3	58.55	140	4	17.27	-183	88	33	71
			70				1.1	3	54.5				140	4	17.27	140	4	87.27	-109			
	пряма				24.215						141	4.8	140	4	87.27	140	5	11.48				
			90				0.8	4	2.1				140	5	11.48	140	6	1.48	113			
36	крива	права		639	664.677	70		59	35.9	824.677	66	46.3	140	6	1.48	141	2	66.16	1664	97	33	78
			70				1	3	8.3				141	2	66.16	141	3	36.16	88			
	пряма				1.927						207	51.1	141	3	36.16	141	3	38.09				
			80				1	3	36.9				141	3	38.09	141	4	18.09	-101			
37	крива	ліва		634	190.306	80		17	11.9	305.306	59	33.8	141	4	18.09	141	6	8.39	-480	99	40	81
			70				0.8	5	54.6				141	6	8.39	141	6	78.39	-88			
			730		36.367	135		2	51.3	91.367			141	6	78.39	141	7	14.76	-80	120	71	103
			40				0.4	3	23				141	7	14.76	141	7	54.76	-94			
			632		146.238	120		13	15.5	186.238			141	7	54.76	141	9	1	-370	108	60	92
			40				0.9	3	27.3				141	9	1	141	9	41	-94			

			698	75.489	85	6	11.8	185.489			141	9	41	142	0	16.49	-173	105		45	86
		90				0.9	3	41.6			142	0	16.49	142	1	6.49	-217				
	пряма			9.731					148	17.3	142	1	6.49	142	1	16.22					
		70				1	2	58.5			142	1	16.22	142	1	86.22	83				
38	крива	права	674	148.844	70		12	39.2	368.844	22	0.2	142	1	86.22	142	3	35.06	353	99	34	80
		150				0.5	6	22.5			142	3	35.06	142	4	85.06	178				
	пряма			71.185					170	17.6	142	4	85.06	142	5	56.25					
		100				1	4	22.8			142	5	56.25	142	6	56.25	-122				
39	крива	ліва	654	359.295	95		31	28.6	559.295	40	14.3	142	6	56.25	143	0	15.54	-879	104	49	86
		100				1	4	22.8			143	0	15.54	143	1	15.54	-122				
	пряма			997.603					130	3.3	143	1	15.54	144	1	13.15					
		100				1	4	28.6			144	1	13.15	144	2	13.15	125				
40	крива	права	640	207.332	95		18	33.7	407.332	27	30.8	144	2	13.15	144	4	20.48	518	103	48	86
		100				1	4	28.6			144	4	20.48	144	5	20.48	125				
	пряма			1291.149					157	34.1	144	5	20.48	145	8	11.63					
		50				0.8	1	4.9			145	8	11.63	145	8	61.63	30				
41	крива	права	1324	20.857	40		0	54.2	120.857	3	4	145	8	61.63	145	8	82.49	25	126	0	97
		50				0.8	1	4.9			145	8	82.49	145	9	32.49	30				
	пряма			2776.296					160	38.1	145	9	32.49	148	7	8.78					
		80				0.2	1	0.8			148	7	8.78	148	7	88.78	28				
42	крива	права	2260	42.299	15		1	4.3	162.299	2	35.6	148	7	88.78	148	8	31.08	30	143	0	107
		40				0.4	0	30.4			148	8	31.08	148	8	71.08	14				
	пряма			50.002					163	13.7	148	8	71.08	148	9	21.08					
		50				0.7	0	53.2			148	9	21.08	148	9	71.08	-25				
43	крива	ліва	1615	32.361	35		1	8.9	132.361	2	55.3	148	9	71.08	149	0	3.44	-32	138	0	104
		50				0.7	0	53.2			149	0	3.44	149	0	53.44	-25				
	пряма			57.074					160	18.4	149	0	53.44	149	1	10.52					
		60				0.7	0	41.5			149	1	10.52	149	1	70.52	-19				
44	крива	ліва	2484	38.855	40		0	53.8	158.855	2	16.8	149	1	70.52	149	2	9.37	-25	141	0	127
		60				0.7	0	41.5			149	2	9.37	149	2	69.37	-19				
	пряма			0.005					158	1.6	149	2	69.37	149	2	69.38					
		70				0.3	1	0.6			149	2	69.38	149	3	39.38	28				
45	крива	права	1986	24.078	20		0	41.7	164.078	2	42.8	149	3	39.38	149	3	63.46	19	146	0	104
		70				0.3	1	0.6			149	3	63.46	149	4	33.46	28				
	пряма			871.553					160	44.4	149	4	33.46	150	3	5.01					
		70				1	3	5.7			150	3	5.01	150	3	75.01	-86				
46	крива	ліва	648	412.606	70		36	28.9	502.606	51	12.6	150	3	75.01	150	7	87.62	-1019	97	33	78
		40				0.4	3	40.7			150	7	87.62	150	8	27.62	-49				
		600		58.298	55		5	34	128.298			150	8	27.62	150	8	85.91	-155	90	17	70
		50				1.1	2	23.2			150	8	85.91	150	9	35.91	-128				
	пряма			2213.325					109	31.8	150	9	35.91	153	1	49.24					
		90				0.8	3	1.8			153	1	49.24	153	2	39.24	-85				
47	крива	ліва	851	323.363	75		21	46.3	543.363	29	10.6	153	2	39.24	153	5	62.6	-608	113	42	92
		130				0.6	4	22.6			153	5	62.6	153	6	92.6	-122				
	пряма			199.144					80	21.2	153	6	92.6	153	8	91.75					

			130				0.7	3	29.6				153	8	91.75	154	0	21.75	98				
48	крива	права		1066	554.011	85		29	46.6	794.011	36		13.6	154	0	21.75	154	5	75.76	832	130	55	107
			110				0.8	2	57.4					154	5	75.76	154	6	85.76	83			
	пряма				8422.811						116		34.8	154	6	85.76	163	1	8.57				
			90				0.8	2	29.2					163	1	8.57	163	1	98.57	-69			
49	крива	ліва		1037	239.439	70		13	13.8	419.439	18		12.1	163	1	98.57	163	4	38.01	-369	123	42	99
			90				0.8	2	29.2					163	4	38.01	163	5	28.01	-69			
	пряма				3107.107						98		22.7	163	5	28.01	166	6	35.11				
			100				0.8	2	39.7					166	6	35.11	166	7	35.11	74			
50	крива	права		1076	89.102	75		4	44.7	309.102	10		36.1	166	7	35.11	166	8	24.22	132	127	47	103
			120				0.6	3	11.7					166	8	24.22	166	9	44.22	89			
	пряма				3239.362						108		58.8	166	9	44.22	170	1	83.58				
			80				0.9	3	3.8					170	1	83.58	170	2	63.58	-86			
51	крива	ліва		748	141.983	75		10	52.5	301.983	17		0.2	170	2	63.58	170	4	5.56	-304	106	39	86
			80				0.9	3	3.8					170	4	5.56	170	4	85.56	-86			
	пряма				127.129						91		58.6	170	4	85.56	170	6	12.69				
			60				0.8	1	34.4					170	6	12.69	170	6	72.69	-44			
52	крива	ліва		1092	100.703	50		5	17	220.703	8		25.9	170	6	72.69	170	7	73.39	-148	119	0	93
			60				0.8	1	34.4					170	7	73.39	170	8	33.39	-44			
	пряма				338.439						83		32.7	170	8	33.39	171	1	71.83				
			80				0.4	1	18					171	1	71.83	171	2	51.83	-36			
53	крива	ліва		1763	20.009	30		0	39	180.009	3		15	171	2	51.83	171	2	71.84	-18	142	0	105
			80				0.4	1	18					171	2	71.84	171	3	51.84	-36			
	пряма				746.249						80		17.7	171	3	51.84	172	0	98.09				
			110				0.7	4	57.3					172	0	98.09	172	2	8.09	138			
54	крива	права		636	542.799	80		48	54	732.799	57		27.5	172	2	8.09	172	7	50.89	1366	99	40	81
			80				1	3	36.2					172	7	50.89	172	8	30.89	101			
	пряма				975.849						137		45.1	172	8	30.89	173	8	6.74				
			90				0.9	3	16.1					173	8	6.74	173	8	96.74	-91			
55	крива	ліва		789	249.937	80		18	9	429.937	24		41.1	173	8	96.74	174	1	46.67	-507	110	44	90
			90				0.9	3	16.1					174	1	46.67	174	2	36.67	-91			
	пряма				147.174						113		4	174	2	36.67	174	3	83.85				
			50				1.1	2	26.9					174	3	83.85	174	4	33.85	68			
56	крива	права		585	43.641	55		4	16.5	143.641	9		10.3	174	4	33.85	174	4	77.49	119	89	17	70
			50				1.1	2	26.9					174	4	77.49	174	5	27.49	68			
	пряма				64.984						122		14.3	174	5	27.49	174	5	92.47				
			50				1.2	3	11.4					174	5	92.47	174	6	42.47	-89			
57	крива	ліва		449	32.257	60		4	7	132.257	10		29.8	174	6	42.47	174	6	74.73	-115	79	20	62
			50				1.2	3	11.4					174	6	74.73	174	7	24.73	-89			
	пряма				854.287						111		44.5	174	7	24.73	175	5	79.02				
58	крива	ліва		9000	66.526	0		0	25.4	66.526	0		25.4	175	5	79.02	175	6	45.54	-12	162	0	162
	пряма				20.029						111		19.1	175	6	45.54	175	6	65.57				
59	крива	права		9000	79.554	0		0	30.4	79.554	0		30.4	175	6	65.57	175	7	45.13	14	162	0	162