

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 інтегрованості, дозволить істотно економити час і буде сприяти збільшенню поїздопотоків 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 укладанні нової траси шириною колії 1435 мм й впровадженні високошвидкісного руху поїздів виникають питання вибору положення траси, обґрунтування 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 проєктувань.

Оскільки збільшення швидкості ставить підвищені вимоги до якості обслуговування залізничної колії, проведення робіт з виправки й утримання кривих, необхідні нові інноваційні підходи до розрахунків проєктних 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 проектування (САПР) розроблена в Українському державному університеті науки і технологій, яка включає програмні продукти MoveRW (тягові розрахунки) і RWPlan (виправлення і проектування 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 оптимізації плану на 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, Piatykhatky–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, earthworks, artificial structures, computer modeling, curve optimization, high-speed movement, computer-aided design system, transport logistics.