

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



БАЙДАК СЕРГІЙ ЮРІЙОВИЧ

УДК 625.113:625.1.031 (043.5)

**РАЦІОНАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ КРИВИХ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ
ШВИДКІСНОГО РУХУ ПОЇЗДІВ**

Спеціальність 05.22.06 – залізнична колія

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
КУРГАН Микола Борисович, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, завідувач кафедри «Проектування і будівництва доріг», м. Дніпро

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор
ВЕРБИЦЬКИЙ Володимир Григорович, Запорізька державна інженерна академія, завідувач кафедри «Програмне забезпечення автоматизованих систем», м. Запоріжжя

кандидат технічних наук, доцент
ПОТАПОВ Дмитро Олександрович, Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри «Колія і колійне господарство», м. Харків

Захист відбудеться «10» грудня 2020 р. о 14 годині 30 хвилин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01 у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: ауд. 314, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, 49010.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, за адресою: вул. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, 49010 та на сайті <http://ndch.diit.edu.ua/> (Наука – Захисти у спеціалізованій раді Д08.820.01).

Автореферат розіслано «07» 11 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д-р техн. наук, професор



А. М. Муха

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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

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

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

Впровадження швидкісного залізничного сполучення має на меті вихід транспортної системи України на світовий рівень за технічними параметрами та якістю послуг. Європейський досвід підказує, що наявність вантажних поїздів на швидкісних ділянках є головною перешкодою як в плані організації руху, так і в плані утримання колії в технічно справному стані.

В той же час більшість нормативних документів в Україні, спираючись на діючі Правила технічної експлуатації, не достатньо враховують особливості й специфіку, що мають місце при розмежуванні вантажних і пасажирських перевезень та впровадженні швидкісного руху на діючих залізницях.

Залізничні напрямки відрізняються умовами експлуатації, структурою поїздопотоків, мають різні можливості щодо реалізації максимальної швидкості руху, яка залежить від багатьох факторів, в тому числі від параметрів кривих в плані. Тому актуальним завданням є розробка теоретико-методологічних підходів і практичних рекомендацій щодо визначення раціональних параметрів кривих як основного фактору, що впливає на рівень максимальної швидкості руху, створення швидкісних магістралей в Україні.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано відповідно до головних напрямків розвитку залізничного транспорту, які сформульовані в Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 № 430-р.). Обраний напрямок досліджень пов'язаний також з виконанням науково-дослідних робіт у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, в яких здобувач був виконавцем і автором окремих розділів у звітах: «Проведення досліджень та оцінка економічної ефективності усунення обмеження швидкості за параметрами і станом залізничної колії» (№ ДР 0111U008909), «Розробка

рекомендацій з встановлення швидкостей руху поїздів в кривих на напрямках пасажирського, суміщеного й вантажного руху» (№ ДР 0113U002080), «Розробка наукових основ і техніко-економічне обґрунтування етапів впровадження швидкісного й високошвидкісного руху поїздів в Україні» (№ ДР 0114U002549), «Визначення основних напрямків реконструкції й розвитку мережі залізниць України для її інтеграції у європейську транспортну систему» (№ ДР 0117U006811), «Науково-технічне забезпечення сталого розвитку залізничних перевезень в міжнародному сполученні Україна-Євросоюз» (№ ДР 0117U004391).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

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

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

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

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

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

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

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

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

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

Обґрунтованість і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій

Сформульовані в дисертації положення, висновки і рекомендації в достатній мірі обґрунтовані, що обумовлено коректністю постановки й розв'язання поставлених задач. Результати досліджень, висновки й рекомендації були схвалені на 11-ти міжнародних науково-практичних конференціях, в яких брав участь автор дисертації.

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

Особистий внесок здобувача. Постановку мети й завдань досліджень виконано разом з науковим керівником. Усі наукові положення, розробки й результати досліджень, що виносяться на захист, отримані особисто автором. У наукових працях, що опубліковані в співавторстві, особистий внесок автора такий. У [1] розроблено методика оцінки економічної ефективності усунення обмежень швидкості руху поїздів, пов'язаних із станом залізничної колії. У [2] запропоновано алгоритм визначення допустимих швидкостей руху поїздів на складних ділянках плану залізниці. У [3] розроблено методика раціонального вибору параметрів залізничної колії у плані за різними методами зйомки. У [4] проаналізовано способи отримання інформації про стан плану колії та надана оцінка впливу різних методів зйомки на рівень максимальної швидкості руху. У [5] виконано варіантні тягові розрахунки для оцінки можливостей впровадження прискореного руху поїздів. У [6] запропоновано варіанти перебудови земляного полотна при збільшенні радіусів кривих. У [7] досліджено фактори, що впливають на безпеку руху поїздів в кривих ділянках залізничної колії. У [8] виконано розрахунки та надана оцінка впливу стану залізничної колії в плані на допустиму швидкість руху поїздів за даними паспортів кривих.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертації доповідались і отримали схвалення на 11-ти конференціях:

73-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, травень 2013 р.), на Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової школи транспортної механіки» (Дніпропетровськ, травень, 2013), на Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу» присвяченій 100-річчю проф. М. А. Фрішмана (Дніпропетровськ, жовтень, 2013 р.), на 74-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, травень 2014 р.), на 75-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, травень 2015 р.), на VI Міжнародній науково-практичній конференції «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості» (Воловець, червень 2015 р.), на VIII Міжнародній науково-практичній конференції «ТРАНСЕЛЕКТРО 2015». (Одеса, жовтень 2015 р.), на 6-й науково-практичній міжнародній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (Харків, квітень, 2017 р.), на 78-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, травень 2018 р.), на 79-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, травень 2019 р.), на IX Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми безпеки на транспорті (Гомель, жовтень 2019 р.).

Дисертаційна робота в повному обсязі доповідалась та обговорювалась на засіданні кафедри «Проектування і будівництво доріг (19 грудня 2019 р.) та міжкафедральному семінарі кафедр «Колія та колійне господарство», «Мости і тунелі», «Проектування і будівництво доріг» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, (Дніпро, 20 лютого 2020 р.)

Публікації. Основний зміст дисертації опублікований у 19 наукових працях і матеріалах конференцій: 8-ми основних працях, з них: 3 – статті, що індексуються в міжнародній наукометричній базі Index Copernicus і є фаховими [1-3], 5 – статей у фахових виданнях [4-8]; 5 додаткових [15-19]; 7 тез доповідей та матеріалів конференцій [9-14].

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

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані мета і задачі досліджень, їх зв'язок з науковими темами та програмами. Викладені основні наукові положення і результати, що винесені на захист, наукова

новизна, практичне значення отриманих результатів. Наведені відомості про апробацію і публікації матеріалів досліджень.

У першому розділі роботи проаналізовано сучасний стан наукового забезпечення та наявність умов для впровадження в Україні швидкісного руху поїздів. Розглянуто наукові дослідження вчених в даній галузі.

Питаннями підвищення швидкості руху поїздів займались як вітчизняні, так і закордонні фахівці, досліджуючи різні напрямки цієї проблеми, яка є багатогранною і потребує комплексного підходу.

Основи теорії взаємодії залізничної колії з рухомим складом, питання надійності роботи залізничної колії при її експлуатації висвітлені в підручнику для вищих навчальних закладів «Залізнична колія» (2010 р.), який є першим фундаментальним виданням в Україні під авторством проф. Е. І. Даніленка. В підручнику колективу авторів «Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії (2019 р.) наведені сучасні методики проектування інженерних розрахунків рейкової колії в прямих і кривих ділянках, в тому числі для ділянок швидкісного (161-200 км/год) руху поїздів.

Дослідженням процесів взаємодії колії та рухомого складу при високих швидкостях присвячені роботи відомих авторів, професорів Є. П. Блохіна, В. Д. Дановича, М. Л. Коротенко, В. А. Лазаряна, С. В. Мямліна, В. Ф. Ушкалова. Задачі взаємодії колії і рухомого складу в особливих умовах експлуатації вирішувалися в монографії та інших працях проф. О. М. Даренського.

Питанням реконструкції плану існуючих залізниць при підвищенні швидкостей руху поїздів і виправки кривих присвячені роботи д-рів наук А. А. Босова, М. Б. Кургана, Д. М. Кургана, канд. наук В. І. Євграфова, І. П. Корженевича, М. Г. Ренгача, В. І. Харлана та ін.

Дослідження щодо впливу поверхні кочення на коливання та стійкість динамічної системи колесо-рейка проводить проф. В. Г. Вербицький. Питання зносу рейок в кривих ділянках колії розглянуті в роботах к.т.н. Д. О. Потапова. Задачам напружено-деформованого стану земляного полотна присвячена низка робіт проф. В. Д. Петренко, д.т.н. О. Л. Тютюкіна та ін.

Для вирішення поставлених завдань автором були використані дослідження як вітчизняних, так і закордонних вчених, які зробили істотний внесок в теорію і експериментальне вивчення питань взаємодії колії і рухомого складу. Слід назвати німецьких вчених Є. Вінклера, Г. Циммермана, Г. Герца, Ф. Бірмана, Е. Фраймана, французьких вчених Сен-Венана і Марьє, а також американців Тальботома і Мітчела, японських вчених К. Мацубару і А. Тіля, поляків Н. Балуха і М. Балух та ін.

Вітчизняні й закордонні вчені створили достатню практично-теоретичну базу для розв'язання задач підвищення швидкості руху поїздів. Незважаючи на широке вивчення широкого кола питань пов'язаних з впровадженням швидкісного руху поїздів, поки що відсутні дослідження, які б давали комплексне науково-технічне обґрунтування раціональних параметрів кривих на напрямках залізниць відповідно до їх спеціалізації.

У *другому розділі* зроблено структурний аналіз можливих варіантів реконструкції кривих ділянок колії для їх приведення до раціональних параметрів.

Щоб надати техніко-економічну оцінку запропонованим заходам, на першому етапі досліджень були зібрані дані про план і профіль колії, технічні й експлуатаційні показники на напрямках МТК. Статистика підтверджує, що велика кількість сполучень кривих на залізницях України у деяких випадках призводить до недоцільного обмеження швидкості руху або, навпаки, до її завищення і, як наслідок, до погіршення комфортабельності руху поїздів та швидкого розладу колії.

Один із способів зменшення розладу залізничної колії в кривих полягає у визначенні їх раціональних параметрів. З цією метою були розглянуті наступні варіанти: 0 – розрахунки допустимої швидкості руху для початкового стану колії, 1 – максимальне підвищення швидкості руху поїздів на окремих кривих з допустимим зміщенням вісі колії в межах існуючого земляного полотна, 2 – максимальне підвищення швидкості руху поїздів зі зміщенням вісі колії в окремих кривих у межах смуги відведення, 3 – максимальне підвищення швидкості руху поїздів на складних ділянках плану лінії зі зміщенням вісі колії до 15 метрів.

Так, для прикладу, на ділянці Львів – Зборів можлива реалізація максимально встановленої швидкості 160 км/год по варіантам коливається від 5 до 42 % (рис. 1).

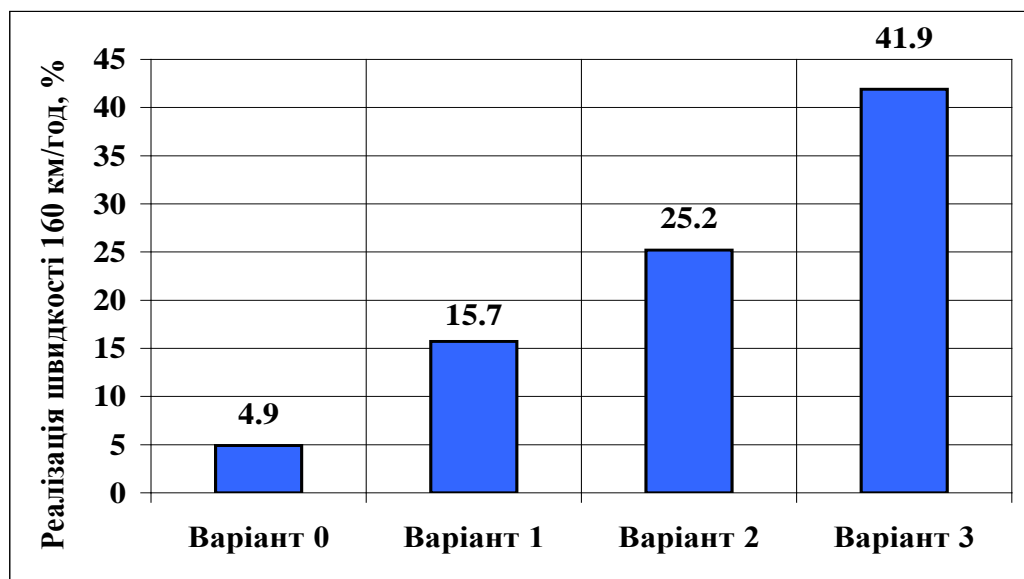


Рис. 1 – Реалізація максимальної швидкості 160 км/год на ділянці Львів – Зборів

Вартість по кожному варіанту визначалась за формулою:

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

де a_1, \dots, a_4 – витрати на зміщення осі існуючої колії відповідно до 60 мм, 61-120 мм, 121-120 мм і більше 250 мм; l_1, \dots, l_4 – довжина ділянок з

відповідним діапазоном зсувів; a_5, \dots, a_7 – витрати відповідно на перекладання верхньої будови колії, перенесення контактної мережі, пристроїв СЦБ; l_5, \dots, l_7 – довжина ділянок перекладання колії, перенесення контактної мережі, кабелів СЦБ; a_8, \dots, a_{10} – вартість 1 м³ баласту, ґрунту для розширення існуючого земляного полотна та ґрунту для відсипання земляного полотна на новій трасі; Q_8, \dots, Q_{10} – об'єм баласту, ґрунту для розширення існуючого земляного полотна та ґрунту для відсипання нового земляного полотна.

Аналогічні дослідження були проведені й на інших ділянках залізниць. Так, готуючись до Євро 2012, були виконані значні обсяги робіт з реконструкції головних напрямків залізниць, що дало можливість розширити географію впровадження прискореного (до 160 км/год) руху пасажирських поїздів. З 740 км експлуатаційної довжини залізниць на ділянках сумарної протяжності близько 83% була реалізована швидкість 120-160 км/год, що дало можливість скоротити час руху поїздів стосовно діючого графіку на чотири години.

У 2019 році загальна довжина маршрутів швидкісних поїздів «Intercity» і «Intercity+» склала 6332 км, а найбільша маршрутна швидкість 103-119 км/год реалізується поїздами на ділянках Київ – Харків, Київ – Перемишль.

У третьому розділі роботи викладено методика дослідження щодо визначення швидкостей руху поїздів в кривих за вихідними даними, отриманими різними способами зйомок. Необхідність такої методики пояснюється тим, що існуючі підходи не враховують особливості й специфіку, що мають місце на напрямках вантажних і пасажирських перевезень, розрахунки для складових і сполучених кривих часто виконуються по спрощеній схемі. Фактично враховуються тільки два критерії: непогашене прискорення і крутизна відводу підвищення зовнішньої рейки. В той же час, в умовах українських залізниць проблеми швидкості в двох третинах випадків пов'язані не з радіусом, а з довжиною перехідних кривих і прямих вставок між суміжними кривими. Отже, критерії, що впливають на плавність і комфортабельність руху не враховуються в повній мірі. Такий підхід не допустимий особливо при впровадженні на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів.

За результатами дослідження встановлено, що на достовірність параметрів плану лінії, а отже й на рівень максимально допустимої швидкості, впливають вихідні дані по кривим, які отримані за різними способами зйомки: спосіб стріл, Гонікберга, координатний, КВЛ, ВПР. Саме вже існування різних способів, що мають практичне застосування, говорить про те, що кожен з них має свої як позитивні так і негативні якості.

Було досліджено питання щодо впливу допусків в утриманні кривих на величину радіуса кругової кривої (R) встановленого за даними зйомки методом стріл вигину від стандартної двадцятиметрової хорди ($a = 20$ м).

Після математичних перетворень похибка у вимірюванні стріли (df) від допустимої швидкості ($V_{дон}$) для заданого радіуса R й підвищення зовнішньої рейки (h) визначиться як

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

Використовуючи формулу (2), можна встановити, при якій різниці стріл вигину помилка у визначенні допустимої швидкості руху не перевищить 5 км/год (точність швидкостеміра).

Запропонована методика визначення допустимої швидкості в кривих була реалізована у вигляді програми DopShvid і апробована на реальних ділянках залізниць, де впроваджено прискорений рух поїздів. На рис. 2 наведена класифікація сполучень кривих і послідовність виконання розрахунків.

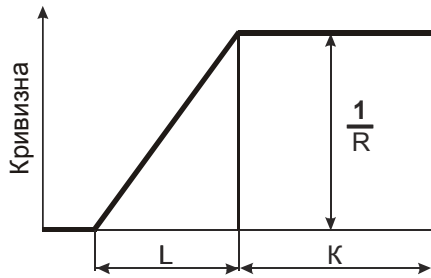
Застосування розробленої й апробованої програми DopSvid дозволяє не тільки виконувати розрахунки в автоматизованому режимі, але й визначати варіанти підвищення швидкості, що є дуже важливим на етапі планування реконструкції залізниці чи проведення капітального ремонту колії.

У четвертому розділі викладені результати теоретичних і експериментальних досліджень комфортабельності та плавності руху поїздів в кривих.

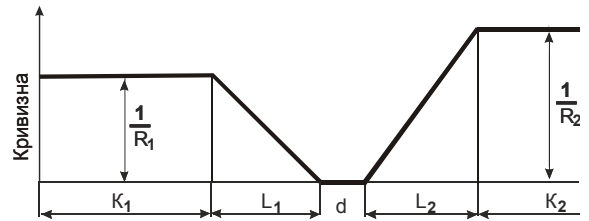
Задача вибору раціональних параметрів кривих ускладнюється тим, що при підвищенні швидкостей руху збільшується динамічний вплив на рейкову колію рухомого складу, в зв'язку з чим відбувається зростання вертикальних і горизонтальних сил.

На даний час накопичено великий досвід експериментальних досліджень і математичного моделювання коливання динамічної системи «екіпаж-колія». Як базова, прийнята модель просторових коливань пасажирського вагона, розроблена д.т.н. В. Д. Дановичем, яка знайшла подальший розвиток в роботах д.т.н. М. Б. Кургана і була адаптована для вирішення конкретних задач в даній дисертаційній роботі.

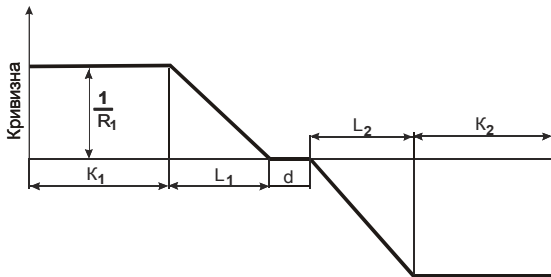
На основі моделювання взаємодії колії і пасажирського вагону при русі по кривим були отримані дані для наступного аналізу й дослідження раціональних параметрів кривих. Залежності горизонтальних сил показано на рис. 3 і 4, в чисельнику вказана величина підвищення зовнішньої рейки, в знаменнику – довжина перехідної кривої.



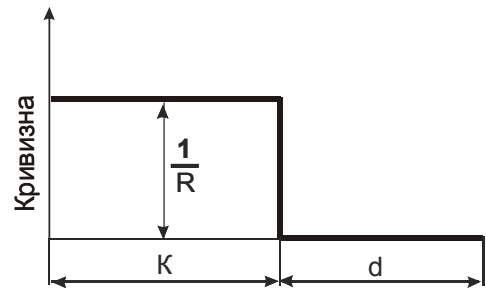
Сполучення 1 пряма-перехідна крива-кругова крива (Пряма; $L > 0$; K)



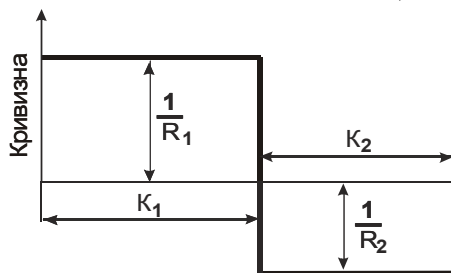
Сполучення 2 перехідна крива-пряма вставка-перехідна крива (K_1 ; $L_1 > 0$; $0 < d \leq 25$; $L_2 > 0$; K_2)



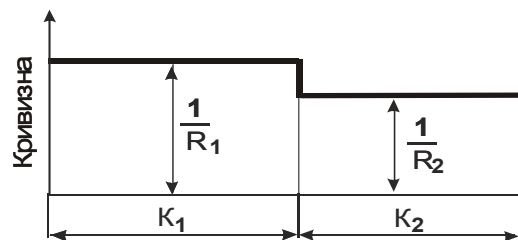
Сполучення 3 S-подібні криві розділені прямою вставкою (K_1 ; $L_1 \geq 0$; $0 < d \leq 25$; $L_2 \geq 0$; K_2)



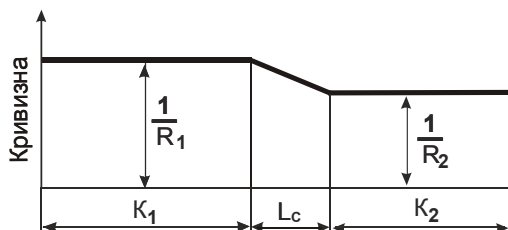
Сполучення 4 кругова крива-пряма вставка (K ; $L = 0$; $d > 0$)



Сполучення 5: S-подібні кругові криві без прямої вставки (K_1 ; $L_1 = 0$; $d = 0$; $L_2 = 0$; K_2)



Сполучення 6: сполучення односторонніх кругових кривих (K_1 ; $L_1 = 0$; $d = 0$; $L_2 = 0$; K_2)



Сполучення 7: кругова крива-проміжна перехідна крива-кругова крива (K_1 ; $L_c > 0$; K_2)

Послідовність виконання розрахунків:

1. Встановлюються типи сполучень в точках зміни кривизни кривої.
2. Вибирається тип сполучення (відповідно до класифікації) і вводяться вихідні дані.
3. Визначається мінімальна допустима швидкість $V_{\min} = \min \{V^{(i)}, V^{(v)}, V^{(\alpha)}\}$
4. Розглядаються варіанти (при необхідності) щодо підвищення максимальної швидкості за умови перебудови кривої.

Рис. 2 – Класифікація сполучень кривих і послідовність виконання розрахунків

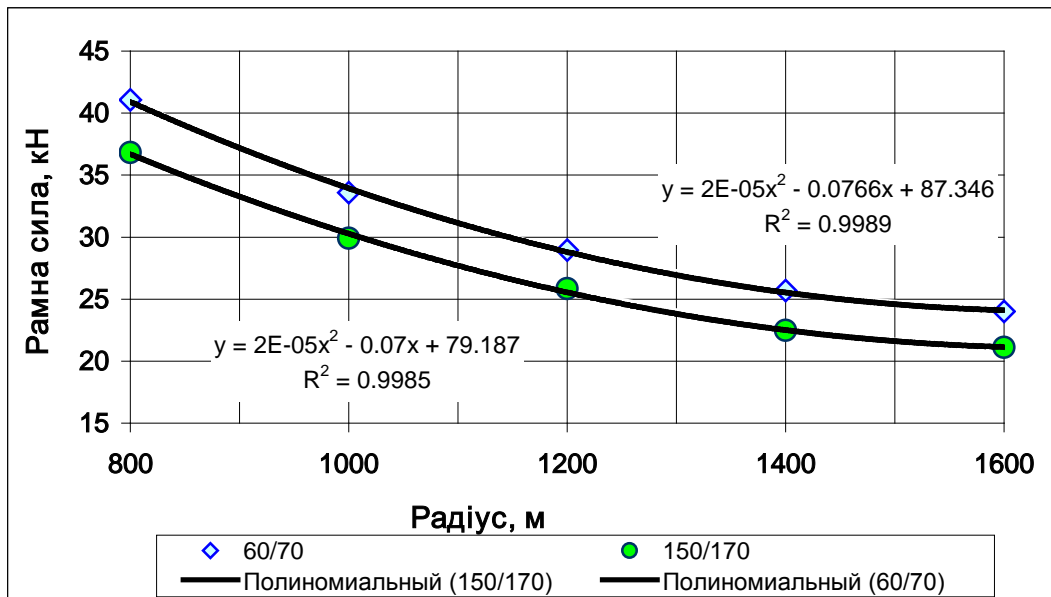


Рис. 3 – Залежність рамних сил від радіусу кривої

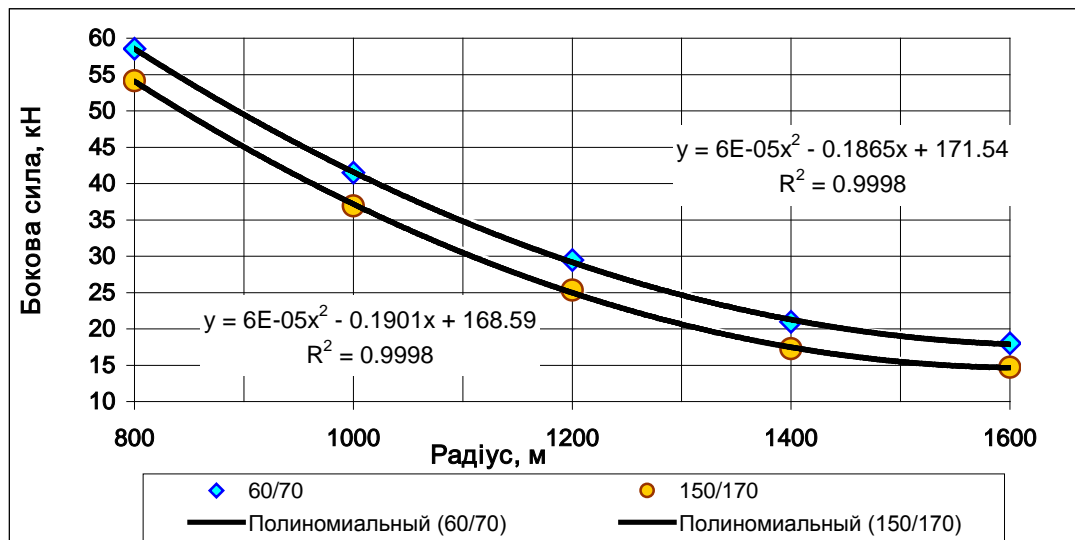


Рис. 4 – Залежність бокових сил від радіусу кривої

Крім бічних сил, був проаналізований цілий спектр динамічних показників, в тому числі коефіцієнт горизонтальної динаміки (рис. 5), зміна коефіцієнту стійкості проти сходу та ін.

Встановлено, що для пасажирського вагону максимальна бокова сила в кривих радіусом 1000 м складає від 37 до 42 кН в залежності від підвищення зовнішньої рейки і довжини перехідних кривих. При збільшенні радіусів бокова сила зменшується і становить при радіусі 1500 м 17-22 кН. При радіусі 1000 м значення коефіцієнта стійкості рейко-шпальної решітки в колії з щебеневим баластом становить 0,7...0,8, що менше допустимого значення. Коефіцієнт горизонтальної динаміки колії, який можна вважати критерієм безпеки від зсуву рейко-шпальної решітки, не перевищує допустимого значення 0,4 в кривих радіусом 1000...1200 м. При таких радіусах забезпечується також стійкість коліс проти вкочення на головку рейки.

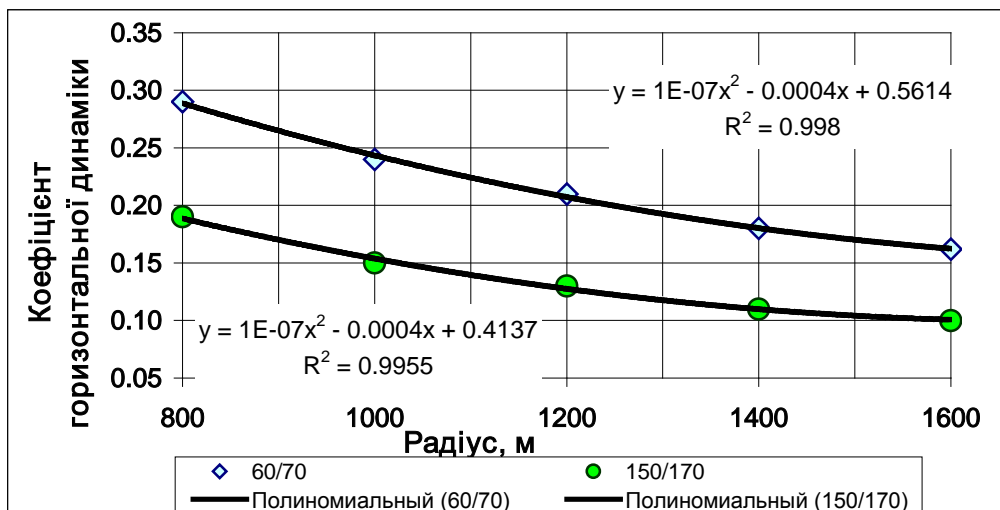


Рис. 5 – Зміна коефіцієнта горизонтальної динаміки в залежності від радіуса кривої і підвищення зовнішньої рейки

Для вивчення характеру коливань екіпажів і величини горизонтальних сил, що виникають при проходженні кривих, в дисертаційній роботі був використаний матеріал експериментів, проведених ДНУЗТ на перегоні Ігрень – Ілларіонове регіональної філії «Придніпровська залізниця» в складовій кривій радіусом $R = 1100 \dots 1300$ метрів з підвищенням зовнішньої рейки від 50 до 70 мм і на ділянці Київ – Миронівка регіональної філії «Південно-Західна залізниця» на прямій і кривій радіусом 1400 м з підвищенням зовнішньої рейки 70 мм.

Було встановлено, що експериментальні дані підтверджують аналітичні розрахунки: на дослідних ділянках спостерігається близька до квадратичної залежність величини бокових сил від швидкості руху (рис. 6).

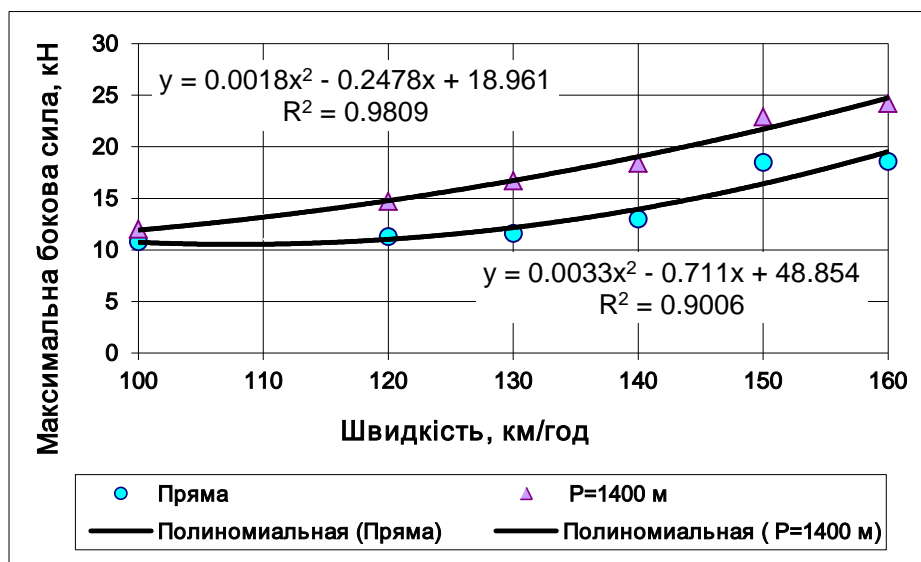


Рис. 6 – Залежність бокових сил від швидкості руху

У *п'ятому розділі* викладено результати дослідження раціональних параметрів плану лінії при спеціалізації перевезень на напрямках швидкісного

руху поїздів. При визначенні раціональних параметрів кривих враховувались фактори взаємодії рухомого поїзда й об'єктів інфраструктури, умовами організації перевізного процесу (рис. 7) тощо.

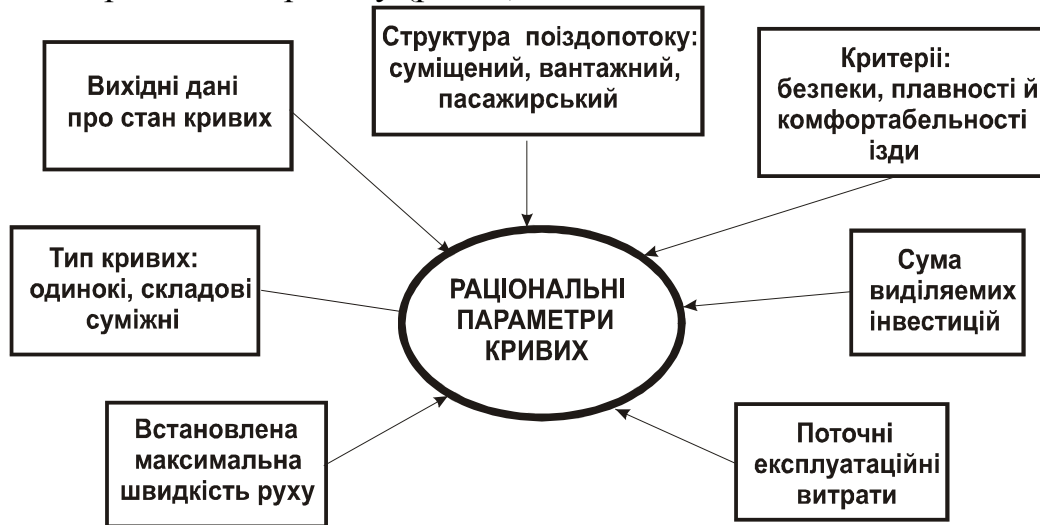


Рис. 7 – Основні фактори, що впливають на вибір раціональних параметрів кривих

Для вирішення поставленого завдання ділянку залізничної колії було представлено як множину об'єктів $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots, \omega_n\}$. Окремий i -й об'єкт ω_i – це інфраструктура залізничної колії, рівень швидкості по якій, обмежується одним конкретним фактором, наприклад, радіусом кривої, довжиною перехідної кривої, короткою прямою вставкою між суміжними кривими тощо.

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

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

$$V^* \rightarrow \begin{cases} \Delta t(V^*) \geq \Delta T \\ K(V^*) \rightarrow \min \end{cases}, \quad (3)$$

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

Відомо, що збільшення радіуса кривої пов'язане зі зміщенням осі колії. Дослідження вартості робіт в залежності від зміщення осі існуючої колії в кривих показало, що витрати, як і зміщення осі колії, збільшуються в залежності від рівня швидкості і можуть бути описані поліномом другого ступеню (рис. 8).

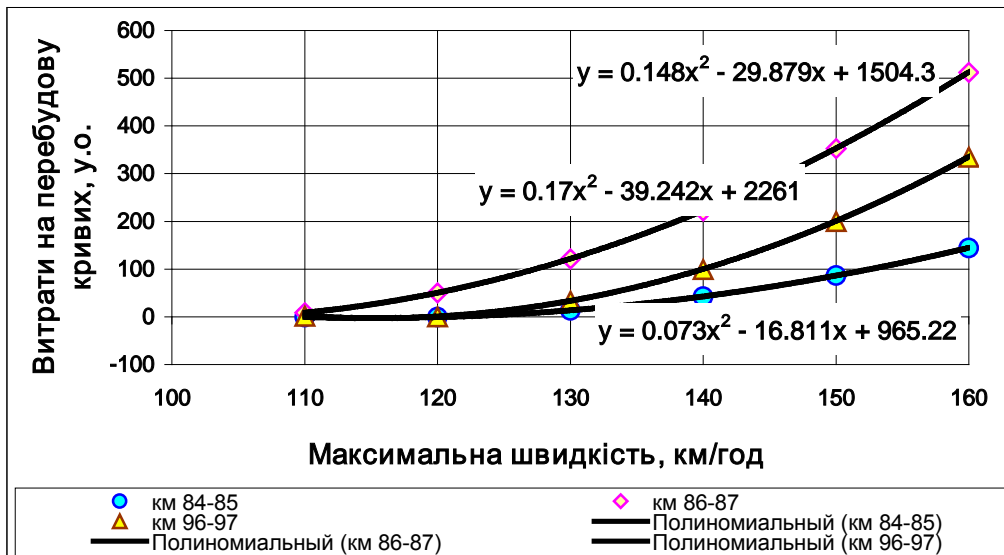


Рис. 8 – Витрати на перебудову кривих на ділянці Красноград – Кегичівка в залежності від рівня максимальної швидкості

Розглянемо використання наукового підходу для вирішення оптимізаційної задачі на ділянці Красноград – Кегичівка (15 об'єктів). У результаті рішення, крім необхідного набору об'єктів, що підлягають реконструкції, встановлюється оптимальний рівень швидкості руху по кожному об'єкту з діапазону [існуюча швидкість – максимально допустима швидкість] з урахуванням вартості її підвищення, що задається.

Слід зазначити, що в прикладі, на всіх 15-ти кривих на ділянці Красноград – Кегичівка виконуються роботи з рихтування в межах існуючого земляного полотна. За результатами розрахунків на рис. 9 наведена залежність скорочення часу руху від виділених коштів на перебудову кривих.

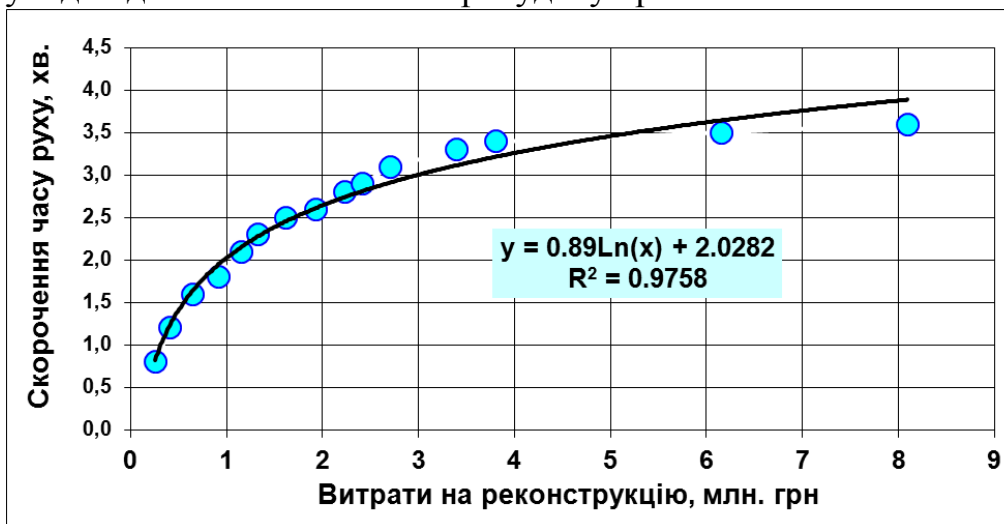


Рис. 9 – Залежність скорочення часу руху від виділених коштів

З використанням запропонованого методу аналогічного роду задачі були вирішені й на інших перегонах ділянки Красноград – Лозова регіональної філії «Південна залізниця» та на ділянках П'ятихатки – Дніпро й Красноград – Новомосковськ регіональної філії «Придніпровська залізниця» при

встановленні першочергових перегонів для модернізації й усунення бар'єрних місць з метою підвищення швидкості руху поїздів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, в якому на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішена важлива науково-технічна задача встановлення раціональних параметрів залізничних кривих на напрямках швидкісного руху поїздів, що буде сприяти реалізації державної програми, визначеної в Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року. Отримані результати, висновки і практичні рекомендації в сукупності мають суттєве значення для залізничного транспорту і полягають у наступному:

1. На основі аналізу існуючих наукових підходів, показана наявність певних недоліків в системі розв'язання задачі впровадження швидкісного руху. Підвищення швидкості розглядалось при суміщеному русі вантажних і пасажирських поїздів без оцінки можливостей спеціалізації напрямків.

2. На основних напрямках міжнародних транспортних коридорів, які проходять територією України, без перебудови плану і розмежування вантажного й пасажирського руху не завжди можливо дотриматись вимог встановлених до залізниць міжнародного значення, насамперед, максимальної швидкості руху.

3. В умовах українських залізниць проблема швидкості в двох третинах випадків пов'язана не з радіусом, а з довжиною перехідних кривих і прямих вставок між суміжними кривими. Тому при виборі способу реконструкції кривих ділянок колії для їх приведення до раціональних параметрів необхідно враховувати не лише безпеку руху, комфортабельність їзди і оптимальну роботу колії, а й вартість виконання робіт в умовах обмеженого фінансування.

4. На достовірність параметрів плану лінії, а отже й на рівень максимально допустимої швидкості, впливають вихідні дані отримані різними способами зйомки кривих, кожний з яких має свої як позитивні так і негативні якості. Запропонована залежність дозволяє досліджувати вплив допусків в утриманні кривих на величину радіуса кругової кривої і рівень допустимої швидкості руху.

5. При встановленні способів реконструкції кривих ділянок колії для їх приведення до раціональних параметрів пропонується порівнювати такі варіанти реконструкції плану: корегування параметрів кривих з допустимими зсувами осі колії у межах основної площадки земляного полотна; зміна існуючих параметрів кривих із зміщенням вісі колії в межах смуги відведення; на складних ділянках плану лінії – зі зміщенням вісі колії до 15 метрів. Можлива реалізація максимальної швидкості 160 км/год по варіантам коливається від 5 до 42 %.

6. Дослідження вартості робіт в залежності від зміщення осі існуючої колії в кривих показало, що витрати, як і зміщення осі колії, збільшуються в

залежності від рівня швидкості і можуть бути описані поліномом другого ступеню.

7. За результатами моделювання і експериментальних досліджень встановлено, що при збільшенні радіуса кривої до 1500-1600 м, що дозволяє реалізувати максимальну швидкість 160 км/год, забезпечується більш високий рівень безпеки руху поїздів через зменшення коефіцієнту горизонтальної динаміки колії, а максимальна бокова сила відносно кривої радіусом 1000 м зменшується вдвічі, що позитивно впливає на зменшення зносу колійної інфраструктури.

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

9. На підставі проведених досліджень розроблено практичні рекомендації щодо корегування параметрів існуючих кривих, які дозволяють реалізувати максимальну швидкість 160 км/год і скоротити час руху поїздів в середньому на 0,1 хв./км. Результати роботи реалізовано при впровадженні прискореного руху пасажирських поїздів на ділянках напрямків Київ-Дніпро та Київ-Донецьк, що підтверджено відповідними актами регіональних філій «Придніпровська залізниця» і «Південна залізниця».

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях та збірниках наукових праць, що включені до міжнародних наукометричних баз:

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

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

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

4. Курган М. Б. Визначення раціональних параметрів залізничних кривих для заданого рівня максимальної швидкості / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак,

Н. П. Хмелевська // *Транспортні системи і технології: зб. наук. пр. Держ. екон.-технол. ун-ту трансп.* – 2012. – Вип. 21. – С. 57-63.

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

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

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

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

Публікації апробаційного характеру:

9. Урахування показників плавності й комфортабельності їзди при проектуванні залізниць/ С. Ю. Байдак, М. О. Гаврилов, О. Ф. Лужицький / *78 Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» «Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту», Харків, 2016 р. – С. 94.*

10. Вплив інтенсивності перевезень на знос і витрати з утримання залізничної колії / С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська / *78 Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» «Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту», Харків, 2016 р. – С.95*

11. Умови підвищення безпеки руху поїздів в кривих ділянках залізничної колії / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, О. Ф. Лужицький / *XIV Міжнародної конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту», Дніпро, 2016. – С. 72*

12. Дослідження параметрів залізничної колії в плані за різними методами зйомки / М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // *78 Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (17.05–18.05.2018), Дніпро. – С. 197-198.*

13. Підготовка інфраструктури до впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // *79 Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (16-17 травня 2019 року), Дніпро. – С. 230-231.*

14. Підвищення довговічності роботи залізничної колії за рахунок зменшення зносу рейок в кривих / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак,

Н. П. Хмелевська // 79 Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (16-17 травня 2019 року), Дніпро. – С. 231-233.

Додаткові публікації:

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

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

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

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

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

АНОТАЦІЯ

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

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

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

В дисертації набули подальшого розвитку наукові підходи до оцінки параметрів і стану кривих в плані. Доповнена система критеріїв оцінки стану кривих, що впливають на накопичення розладів колії в плані. Розроблено рекомендації щодо диференційованого використання різних способів зйомки плану лінії для отримання достовірної інформації про параметри й стан кривих для визначення максимально допустимої швидкості. Запропоновано перед проведенням реконструкції залізничних напрямків для впровадження швидкісного руху проводити натурне обстеження плану лінії з виконанням повного циклу розрахунків для паспортизації кривих. За результатами

проведених розрахунків надано рекомендації щодо надання особливої уваги суміжним кривим, які відносяться до категорії залежних, тобто таких, коли параметри однієї кривої впливають на умови руху поїзда по іншій.

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

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

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

ABSTRACT

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

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

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

The dissertation has received future development scientific approaches to estimating the parameters and condition of curves in the plan. An augmented system of criteria for assessing the state of curves that affect the accumulation of path violations in the plan. Recommendations on the differentiated use of various methods for capturing the line plan to obtain reliable information about the parameters and state of the curves for determining the maximum allowable speed are developed. Before reconstruction of railway lines for the introduction of high-speed traffic, it is necessary to conduct a field survey of the line plan with a full calculation cycle to confirm the curves. The solution of the accompanying problems at realization of mathematical model, such as definition of admissible speed in curves allows to carry out calculations in the automated mode and to define variants

of increase of speed is received. The technique of determination of admissible speed in curves is offered and tested on real sites of railways allows to use results of calculations at a stage of planning of reconstruction of the railway or carrying out capital repairs of a track.

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

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

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

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

БАЙДАК СЕРГІЙ ЮРІЙОВИЧ

**РАЦІОНАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ КРИВИХ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ
ШВИДКІСНОГО РУХУ ПОЇЗДІВ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Формат 60x84 1/16.

Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0. Тираж 60 пр.

Видавництво Дніпровського національного
університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.03
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010