

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені
академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

ПАНЧЕНКО Петро Володимирович

УДК 625.032.432:625.032.52/.55

ОБҐРУНТУВАННЯ НОРМ УТРИМАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ У ПЛАНІ
ПРИ ПРИСКОРЕНОМУ РУСІ

Спеціальність 05.22.06 – Залізнична колія

ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук

Науковий керівник: доктор
технічних наук, професор
РИБКІН Віктор Васильович

Дніпропетровськ 2013 р.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 6 |
| РОЗДІЛ 1 | 13 |
| НАУКОВІ ОСНОВИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ І РУХОМОГО СКЛАДУ ТА ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК НОРМАТИВІВ УТРИМАННЯ КОЛІЇ У ПЛАНІ | 13 |
| 1.1 Розвиток теоретичних та практичних досліджень взаємодії колії і рухомого складу | 13 |
| 1.2 Аналіз основних теоретичних напрямків робіт по взаємодії колії і рухомого складу | 29 |
| 1.3 Історичний розвиток нормативів утримання колії у плані | 33 |
| 1.4 Висновки по розділу | 38 |
| РОЗДІЛ 2 | 40 |
| МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОСТОРОВИХ КОЛИВАНЬ КОЛІЇ ТА ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНУ НА ВІЗКАХ КВЗ-ЦНИИ | 40 |
| 2.1 Методика моделювання просторових коливань колії та пасажирського вагону на візках КВЗ-ЦНИИ | 40 |
| 2.1.1 Загальні положення моделювання | 40 |
| 2.1.2 Система диференціальних рівнянь динаміки тіла | 41 |
| 2.1.3 Математичне моделювання переміщення будь-яких точок на тілі з урахуванням геометричної нелінійності | 43 |
| 2.1.4 Математичне моделювання силової взаємодії тіл | 45 |
| 2.1.5 Моделювання геометрії колії | 52 |
| 2.2 Математична модель взаємодії колії та пасажирського вагону на візках КВЗ-ЦНИИ | 57 |
| 2.2.1 Розрахункова схема | 57 |
| 2.2.2 Диференціальні рівняння взаємодії колії та пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ | 58 |

| | |
|--|-----|
| 2.2.3 Залежності між деформаціями зв'язків і координатами розрахункової схеми | 64 |
| 2.2.4 Реакції у зв'язках розрахункових схем..... | 67 |
| 2.3 Розрахунковий метод, що використано при математичному моделюванні динаміки пасажирського вагона..... | 81 |
| 2.4 Обґрунтування правильності роботи використаного програмного забезпечення для інтегрування систем диференційних рівнянь | 82 |
| 2.5 Висновки по розділу | 84 |
| РОЗДІЛ 3 | 87 |
| ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ | 87 |
| 3.1 Експериментальні дослідження динаміки взаємодії колії та рухомого складу при швидкостях руху 140-160 км/год..... | 87 |
| 3.1.1 Загальні положення..... | 87 |
| 3.1.2 Характеристика дослідної ділянки колії..... | 88 |
| 3.1.3 Дослідний поїзд..... | 89 |
| 3.1.4 Засоби вимірювання..... | 91 |
| 3.1.5 Визначення місць встановлення приладів | 94 |
| 3.1.6 Показники, що визначалися під час випробувань | 97 |
| 3.1.7 Методика визначення бокових сил, що діють від коліс на рейки | 98 |
| 3.1.8 Методика обробки результатів експериментальних досліджень..... | 101 |
| 3.1.8.1 Критерії згоди перевірки гіпотези про вид функції розподілу | 101 |
| 3.1.8.2 Визначення обсягу вибірки величини, що досліджується | 102 |
| 3.1.9 Аналіз впливу рухомого складу на колію | 103 |
| 3.1.9.1 Аналіз вертикальних сил, що передаються від екіпажів на рейки | 103 |
| 3.1.9.2 Аналіз вертикальних прогинів рейок | 104 |
| 3.1.9.3 Аналіз напружень у кромці підшви рейок | 105 |
| 3.1.9.4 Аналіз бокових сил, що передаються від екіпажів на рейки | 107 |
| 3.1.9.5 Аналіз бокових віджимань рейок..... | 109 |
| 3.1.10 Аналіз горизонтальних прискорень кузова вагона..... | 110 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 3.2 | Верифікація математичної моделі за результатами експериментальних досліджень | 112 |
| 3.2.1 | Порівняння математично отриманого стану колії у плані з натурним | 112 |
| 3.2.2 | Порівняння теоретично отриманих значень бокових та вертикальних сил, що виникають від дії колеса пасажирського вагону на візках КВЗ-ЦНИИ на рейку з експериментально отриманими значеннями..... | 114 |
| 3.2.3 | Порівняння теоретично отриманих значень горизонтального прискорення пасажирського вагону на візках КВЗ-ЦНИИ з експериментальними..... | 120 |
| 3.2.4 | Порівняння теоретично отриманих значень прискорень пасажирського вагону на візках КВЗ-ЦНИИ з експериментальними у різних радіусах колії | 121 |
| 3.3 | Експлуатаційні дослідження геометричних параметрів нерівностей колії у плані за показниками вагонів колієвимірвачів | 122 |
| 3.3.1 | Довжина нерівності колії у плані | 123 |
| 3.3.2 | Різниця суміжних стріл вигину | 124 |
| 3.3.3 | Залежність різниці суміжних стріл вигину від довжини нерівності колії у плані..... | 124 |
| 3.3.4 | Залежність різниці стріл вигину від радіусу колії..... | 125 |
| 3.4 | Висновки по розділу | 126 |
| | РОЗДІЛ 4 | 128 |
| | РОЗРОБКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НОРМАТИВІВ УТРИМАННЯ КОЛІЇ У ПЛАНІ ПРИ ШВИДКОСТЯХ РУХУ 140-160 КМ/ГОД ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ТЕОРЕТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ | 128 |
| 4.1 | Вихідні дані для проведення теоретичних розрахунків..... | 129 |
| 4.2 | Критерій впливу рухомого складу на колію (бокові сили, що діють на рейки)..... | 130 |
| 4.3 | Критерій впливу рухомого складу на колію (вертикальні сили, що діють на рейки) | 132 |
| 4.4 | Коефіцієнт запасу стійкості колеса проти вкочування на рейку | 133 |

| | |
|--|-----|
| 4.5 Критерій комфортабельності їзди пасажирів (горизонтальне (імпульсне) прискорення, що виникає в пасажирському вагоні та діє на пасажирів) | 134 |
| 4.6 Критерій комфортабельності їзди пасажирів (непогашене горизонтальне прискорення)..... | 139 |
| 4.7 Критерій комфортабельності їзди пасажирів (величина зміни прискорення)..... | 141 |
| 4.8 Критерій комфортабельності їзди пасажирів (повне прискорення) | 142 |
| 4.9 Критерій комфорту пасажирського вагону у горизонтальній площині ... | 144 |
| 4.10 Критерій оцінки за показником плавності ходу вагону у горизонтальній площині | 147 |
| 4.11 Методика отримання нормативів утримання колії у плані та розроблені нормативи | 149 |
| 4.12 Висновки по розділу | 151 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 152 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 156 |
| ДОДАТОК А..... | 169 |
| ДОДАТОК Б | 196 |
| ДОДАТОК В..... | 253 |

ВСТУП

Залізничний транспорт - це основа транспортної системи й найважливіша ланка економіки України. Залізничний транспорт України забезпечує 75 % усіх вантажних і 40 % пасажирських перевезень країни. В умовах інтеграції України у європейський та світовий економічний простір і збільшення у зв'язку з цим обсягів вантажних і пасажирських перевезень значення залізничного транспорту зростає.

Інтеграція українських залізниць у міжнародну систему транспортних коридорів, що з'єднують Україну із Західною і Центральною Європою, Російською Федерацією та країнами Середньої Азії і Кавказу, зумовлює потребу в подальшому підвищенні швидкостей руху. Це можливо виконати шляхом розвитку і впровадження на магістральних лініях модернізації колії та інноваційних технологій колійного господарства за безумовного дотримання безпеки руху поїздів.

Підвищення швидкостей руху пасажирських поїздів є однією з найважливіших завдань розвитку залізничного транспорту України. Свідченням того є активна робота з технічної перебудови залізниць для введення високих швидкостей руху.

Введення високих швидкостей руху пасажирських поїздів змінює умови експлуатації як рухомого складу, так і колії, що у свою чергу потребує корегування норм і допусків утримання залізничної колії. Стан колії у плані є одним з основних факторів, що впливає на швидкість руху поїздів. Головною вимогою до утримання колії в сучасних умовах є недопущення розвитку відхилень від норм утримання, що порушують комфорт їзди пасажирів та безпеку руху поїздів.

Завданням даної дисертаційної роботи є дослідження процесів взаємодії рухомого складу і колії при нерівностях колії у плані з урахуванням усіх факторів, що суттєво впливають на процес взаємодії, з розробленням та

обґрунтуванням норм утримання колії у плані при швидкостях руху 140-160 км/год.

Актуальність теми. Стратегічним напрямком розвитку залізничного транспорту є підвищення швидкості руху поїздів. Зокрема, з метою впровадження прискореного руху пасажирських поїздів згідно зі «Стратегією розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року» [1] для залізничного транспорту набула актуальності проблема розроблення нормативів утримання колії у плані при швидкостях руху 140-160 км/год.

У свою чергу, для колійного господарства стратегічним напрямком є впровадження ресурсозберігаючих інноваційних технологій утримання залізничної колії, для досягнення найбільшого економічного ефекту від її експлуатації з дотриманням норм безпеки руху поїздів та комфорту їзди пасажирів при підвищенні швидкості руху поїздів. Досягнення цієї мети можливо за рахунок модернізації конструкції, використання ефективних методів та технологій утримання, а також розробленням нормативів та допусків утримання залізничної колії при швидкостях руху 140-160 км/год.

Розроблення нормативів утримання колії є відповідальним етапом на шляху підвищення ефективності експлуатації колії в умовах прискореного руху, оскільки нормативи утримання дають змогу використовувати потенціал конструкції колії з забезпеченням безпеки руху поїздів та комфорту їзди пасажирів.

Чинна до 2012 року система нормативів утримання колії враховувала лише норми та допуски утримання у плані при швидкостях руху до 140 км/год. Тому завдання обґрунтування та розроблення норм утримання колії у плані за критеріями безпеки руху, впливу на колію поїздів та комфортабельності їзди пасажирів при швидкостях руху 140-160 км/год є актуальним. Його розв'язанню і присвячена дисертація.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана відповідно до головних напрямків розвитку транспорту України, які сформульовані в «Стратегії розвитку залізничного

транспорту на період до 2020 року» [1] та в «Концепції державної цільової програми впровадження на залізницях України швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки», затвердженої Кабінетом Міністрів України [2]. Обраний напрямок досліджень пов'язаний також з виконанням науково-дослідних робіт у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна згідно з планом НДДКР Укрзалізниці, де дисертант був відповідальним виконавцем і співавтором нормативних документів і звітів нижче наведених науково-дослідних робіт:

- "Проведення досліджень з улаштування, укладання, ремонту і утримання безстикової колії в умовах швидкісного руху поїздів з наданням норм утримання та ремонту" (№ДР 0110U006300);

- "Проведення обстежень та розробка рекомендацій по ліквідації бар'єрних місць на напрямку Лозова – Гребінка" (№ДР 0111U007617);

- "Перегляд Технічних вказівок щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії (ЦП-0020) " (№ДР 0111U008910);

- "Розробка технічних рішень щодо забезпечення підвищення швидкостей руху пасажирських поїздів на ділянках прискореного руху" (№ДР 0111U009398);

- "Проведення досліджень та розробка рекомендацій щодо встановлення допустимих швидкостей руху поїздів на напрямку Лозова – Донецьк" (№ДР 0112U003107);

- "Перегляд Класифікації і каталогу дефектів і пошкоджень рейок на залізницях України" (№ДР 0113U002078);

- "Перегляд Класифікації і каталогу дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів на залізницях України" (№ДР 0113U002079).

Мета і задачі досліджень. Метою даної дисертаційної роботи є обґрунтування норм утримання залізничної колії у плані при швидкостях

руху поїздів 140-160 км/год за критеріями безпеки руху, впливу на колію поїздів та комфортабельності їзди пасажирів.

Задачі досліджень:

1. Визначити основні напрямки досліджень взаємодії колії та рухомого складу, виконаних за останні 40-50 років.

2. Удосконалити математичну модель динаміки взаємодії колії з нерівностями у плані та пасажирського вагона при швидкостях руху 140-160 км/год в кривих ділянках колії.

3. Розробити методику визначення раціональних місць положення датчиків на колії для вимірюванні її напружено деформованого стану на підставі натурального стану колії та математичного моделювання взаємодії її з рухомим складом.

4. Дослідити процес взаємодії колії з нерівностями у плані та пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ при швидкостях руху 140-160 км/год на основі теоретичних та експериментальних досліджень.

5. Виконати експериментальні дослідження для оцінки впливу нерівностей колії в плані на показники комфортності їзди пасажирів та силової взаємодії колії й рухомого складу з метою верифікації удосконаленої математичної моделі.

6. Проаналізувати існуючий стан утримання колії в плані за результатами промірів вагона-колієвимірювача з метою визначення геометричних показників нерівностей залізничної колії.

7. Розробити нормативи утримання колії у плані при швидкостях руху поїздів 140-160 км/год за критеріями безпеки руху, впливу на колію поїздів та комфортабельності їзди пасажирів.

Об'єкт досліджень – процес взаємодії колії і пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ при швидкостях руху 140-160 км/год.

Предмет досліджень - нерівності залізничної колії у плані.

Методи досліджень. У роботі використано комплексний метод досліджень, який включає теоретичну й експериментальну частини. Для

теоретичних досліджень застосовувалися методи математичного моделювання взаємодії колії та рухомого складу, основою яких є системи нелінійних диференційних рівнянь, а також методи математичної статистики для обробки результатів експлуатаційних досліджень стану колії та динамічних досліджень. У експериментальній частині було визначено напружено-деформований стан залізничної колії з врахуванням її положення у плані та профілі для верифікації математичної моделі, крім того були виконані експлуатаційні дослідження стану залізничної колії у плані. Усі теоретичні дослідження виконувалися за допомогою ПЕОМ на базі вільного програмного забезпечення. Математичне моделювання взаємодії колії та рухомого складу виконувались у системі Scilab. Обробка експериментальних даних проводилася також у програмному забезпеченні Scilab з використанням методів математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному.

1. Вперше досліджено процеси взаємодії колії та пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ для залізниць України при швидкостях руху 140-160 км/год, що дозволяє обґрунтувати та розробити норми утримання залізничної колії у плані при прискореному русі за критеріями впливу на колію, безпеки руху поїздів та комфорту їзди пасажирів.

2. Удосконалена багатомасова нелінійна модель просторових коливань залізничної колії з нерівностями у плані та пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ при швидкостях руху 140-160 км/год, яка дозволяє більш точно отримати та проаналізувати координати та швидкості тіл системи.

3. Удосконалена методика проведення експериментальних досліджень. Удосконалення полягає в раціональному визначенні місць положення датчиків на колії для дослідження її напружено-деформованого стану за результатами натурних вимірювань просторового положення колії та математичного моделювання взаємодії її з рухомим складом.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що виконані в дисертаційній роботі дослідження дають можливість розв'язати

широке коло практичних задач, пов'язаних із взаємодією рухомого складу і залізничної колії при швидкостях руху до 160 км/год.

Експериментально-теоретичні дослідження дозволили розбити норми утримання колії у плані при швидкості руху 140-160 км/год ("Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії (ЦП-0267)").

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується обраним математичним апаратом, виконанням експериментальних досліджень з достатнім збігом одержаних теоретичних та практичних результатів, позитивними результатами використання норм утримання колії у плані при швидкостях руху 140-160 км/год на діючій залізничній колії.

Особистий внесок здобувача. Автор разом з науковим керівником сформулював мету, задачі досліджень. Основні наукові положення, результати теоретичних та експериментальних досліджень дисертаційної роботи отримані автором самостійно. У наукових працях, що опубліковані в співавторстві, особистий внесок автора такий: у роботі [91] – проаналізовано напружено-деформований стан колії для підтвердження адекватності математичної моделі та визначення місць встановлення вимірювальних датчиків за результатами математичного моделювання взаємодії колії та рухомого складу при швидкостях руху 140-160 км/год; у [92] – удосконалено методику моделювання просторових коливань колії та рухомого складу; у [93] – розроблено норми утримання залізничної колії у плані при швидкостях руху поїздів 140-160 км/год; у [94] - зроблено оцінку норм утримання колії у плані за критеріями комфорту їзди пасажирів; у [95] - проаналізовано наукові основи вирішення проблем динамічної взаємодії колії та рухомого складу; у [96] - встановлено зазор між колесом та рейкою під час руху колісної пари по колії та стрілочним переводам; у [97] - удосконалено математичне моделювання руху колісної пари по колії з будь-якими нерівностями; у [98] –

проаналізовано теоретичні та експериментальні дослідження, що були покладені в основу розроблення нормативів утримання колії у плані при швидкостях руху до 140 км/год; у [99] – удосконалено багатомасову нелінійну модель просторових коливань взаємодії колії з нерівностями у плані та пасажирського вагону на візках КВЗ-ЦНИИ при швидкостях руху 140-160 км/год.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації докладалися на: 70-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, квітень 2010 р.); 71-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, квітень 2011 р.); XIII Міжнародній конференції «Проблемы механики железнодорожного транспорта» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, травень 2012 р.); на науковому семінарі кафедри «Колія та колійне господарство» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, лютий 2013 р.).

Публікації. Положення дисертації опубліковані у 9 наукових працях, п'ять з яких є основними, у тому числі: 4 – у фахових виданнях, затверджених МОН України та включених до міжнародної наукометричної бази "Index Copernicus"; 1 робота - у закордонному фаховому виданні. Чотири роботи є додатковими, у тому числі: 1 - у фаховому виданні, яке затверджене МОН України та включено до міжнародної наукометричної бази "Index Copernicus"; 3 - є тезами наукових міжнародних конференцій.