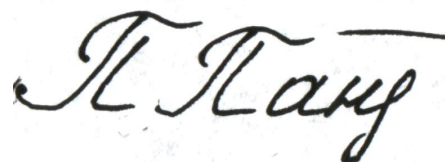


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна



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

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2014

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
РИБКІН Віктор Васильович,
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
завідувач кафедри «Колія та колійне господарство».

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ШИРІН Леонід Никіфорович,
Державний вищий навчальний заклад України
«Національний гірничий університет», завідувач
кафедри «Транспортні системи і технології»,
м. Дніпропетровськ;

кандидат технічних наук, доцент
ХАЛІПОВА Наталія Володимирівна,
Академія митної служби України, доцент кафедри
«Транспортні системи та технології»,
м. Дніпропетровськ.

Захист відбудеться 6 березня 2014 р. о 14 годині 30 хвилин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01 у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: ауд. 314, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, 49010.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, за адресою: вул. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, 49010.

Автореферат розіслано «__» _____ 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
докт. техн. наук, доцент



А. М. Муха

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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» 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» та в «Концепції державної цільової програми впровадження на залізницях України швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки», затвердженої Кабінетом Міністрів України. 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 колієвимірjувальних 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 натурного 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 диференціальних 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 рухомих 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 [1] – 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 [2] – удосконалено методику моделювання просторових коливань колії та рухомого складу; у [3] – розроблено норми утримання залізничної колії у плані при швидкостях руху поїздів 140-160 км/год; у [4] - зроблено оцінку норм утримання колії у плані за критеріями комфорту їзди пасажирів; у [5] - встановлено зазор між колесом та рейкою під час руху колісної пари по колії та стрілочних переводах; у [6] - проаналізовано наукові основи вирішення проблем динамічної взаємодії колії та рухомого складу; у [7] - удосконалено математичне моделювання руху колісної пари по колії з будь-якими нерівностями; у [8] – проаналізовано теоретичні та експериментальні дослідження, що були покладені в основу розроблення нормативів утримання колії у плані при швидкостях руху до 140 км/год; у [9] – удосконалено багатомасову нелінійну модель просторових коливань взаємодії колії з нерівностями у плані та пасажирського вагона 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 «Проблеми и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, квітень 2010 р.); 71-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми 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" [1-4]; 1 робота - у закордонному фаховому виданні [5]. Чотири роботи є додатковими, у тому числі: 1 - у фаховому виданні, яке затверджене МОН України та включено до міжнародної наукометричної бази "Index Copernicus" [6]; 3 - є тезами наукових міжнародних конференцій [7-9].

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та трьох додатків.

Повний обсяг складає 256 сторінок друкованого тексту, у тому числі: 67 рисунків викладено на 38 сторінках, 19 таблиць на 8 сторінках, список літератури з 117 найменувань займає 13 сторінок, та три додатки викладено на 85 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету й задачі досліджень, відображена наукова новизна результатів, їх практичне значення.

У першому розділі розглянуто наукові основи вирішення задач взаємодії колії й рухомого складу, а також історичний розвиток нормативів утримання залізничної колії у плані.

Підвищення швидкостей на залізницях України потребує перероблення існуючої та розроблення нової нормативної документації щодо утримання та оцінки стану рейкової колії.

Розроблення нормативів базується на експериментальних і теоретичних дослідженнях вітчизняних і закордонних вчених у сфері взаємодії рухомого складу та залізничної колії. Важко перелічити всіх науковців, що займалися проблемами взаємодії колії та рухомого складу, але найвідомішими є С. В. Амелін, Є. П. Блохін, М. Ф. Веріго, С. В. Вершинський, В. В. Говоруха, Б. Е. Глюзберг, Е. І. Даніленко, В. Д. Данович, Ю. В. Дьомінім, Л. А. Длугач, А. М. Даренський, О. П. Єршков, Г. Г. Желнін, А. Я. Коган, М. Б. Курган, М. І. Карпущенко, В. А. Лазарян, А. А. Львов, В. С. Лисюк, С. В. Мямлін, В. О. Певзнер, В. В. Рибкін, Ю. С. Ромен, М. О. Радченко, В. Ф. Ушкалов, М. А. Фрішман, В. Д. Хусидов, Н. В. Халіпова, Г. М. Шахунянц, В. Ф. Яковлев та інші.

Серед закордонних вчених, які зробили істотний внесок в теорію і експериментальне вивчення питань взаємодії колії і рухомого складу протягом всієї історії розвитку цієї науки, слід назвати Г. Балуха, М. Балух, Ф. Бірмана, Є. Вінклера, Г. Герца, К. Есвелда, К. Е. Заазаа, К. Кноте, Ф. Картер, Д. Калкер, Мітчела, К. Мацубару, К. Попа, Сен-Венана, А. Тіля, Тальботома, Е. Фраймана, Г. Циммермана, А. А. Шабану, Х. Шигуяму та інші.

Дуже важлива праця у напрямку визначення комфорту їзди пасажирів була зроблена у 1957 році Е. Шперлінгом. Він запропонував критерії комфорту їзди пасажирів та увів коефіцієнт для оцінки плавності ходу.

Повну кількість робіт та авторів, опублікованих на цей час в галузі взаємодії динаміки колії та залізничного рухомого складу, важко перелічити. Можна відзначити лише основні напрямки досліджень, виконаних за останні 40-50 років. У дослідженнях динаміки взаємодії колії та рухомого складу, як і в багатьох інших наукових сферах, можна простежити кілька основних напрямків: натурний експеримент; аналітичні методи дослідження; методи фізичного моделювання; методи, що базуються на чисельному інтегруванні диференціальних рівнянь.

Донедавна математичні моделі, що визначають коливання колії та рухомого складу у прямих і криволінійних ділянках, не мали між собою спільності. Так, диференціальні рівняння коливань екіпажа в прямій ділянці колії записуються щодо координатних осей, що рухаються з постійною швидкістю уздовж осі колії. Диференціальні рівняння коливань у криволінійній ділянці колії записуються щодо координатних осей, що рухаються й повертаються по дотичній до кривої. Таке представлення криволінійного руху в загальному вигляді приводить до досить складних нелінійних диференціальних рівнянь. Для спрощення задачі криволінійний рух моделюють додаванням до всіх елементів розрахункової схеми інерційних сил, викликаних відносним і переносним прискореннями від криволінійного руху координатної системи. Для усунення цього недоліку необхідно, щоб диференціальні рівняння коливань вагона й рівняння криволінійного обрису колії були записані в одній і тій самій системі координат. У цьому випадку рівняння криволінійного обрису колії є в рівняннях динаміки функцією збурювання, іншими словами, являє собою нерівності колії.

Для удосконалення математичної моделі взаємодії колії і пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ на основі аналізу недоліків та переваг у вище наведених роботах потрібно урахувати одночасно такі параметри та конструктивні особливості: вертикальну масу та жорсткість колії; горизонтальну масу та жорсткість колії; роботу нахилоного гасника коливань у вертикальній та горизонтальній поперечній площинах від вертикальних та горизонтальних переміщень рами візка та надресорної балки; обмежники поперечних переміщень надресорної балки відносно рами візка; обмежники поперечних переміщень рами візка відносно колісної пари; урахування геометричної нелінійності взаємодії тіл від кутових координат (для всіх тіл системи); двоточковий контакт колеса з рейкою; просторове положення колії в єдиній системі координат.

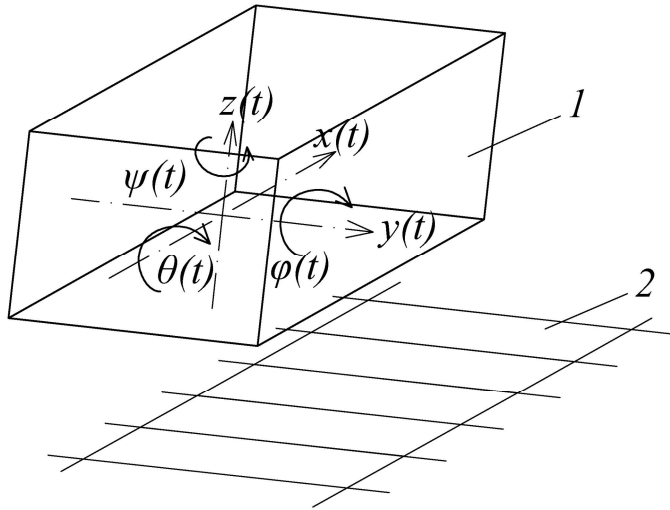
Аналіз історичного розвитку нормативів утримання колії у плані показав, що нормативи, розроблені після 1981 року, базувалися на розрахунках квазістатичного вписування. Такий підхід не дозволяє дослідити процес взаємодії колії і рухомого складу, а також не дає адекватної оцінки впливу нерівностей колії у плані на показники комфорту їзди пасажирів.

Сформульована мета і основні задачі дисертаційної роботи.

У другому розділі описана удосконалена математична модель просторових коливань колії та пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ.

Усі перелічені вище особливості приводять до необхідності удосконалення математичної моделі просторових коливань колії та пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ.

Просторове положення тіла в будь який час відносно залізничної колії описується трьома координатами $z(t), y(t), x(t)$ центра ваги тіла та трьома кутами повороту тіла відносно обраних координатних вісей (рис. 1).



Позначення:
 1 - будь-яке тіло системи
 "залізнична колія - рухомий
 склад";
 2 - залізнична колія

Рисунок 1 - Схема розташування координатних вісей відносно залізничної колії

Раніше дослідження динаміки рухомого складу ґрунтувалися на припущенні малих кутових переміщень. Таке припущення визначає лінійну залежність деформацій від кутових координат. Тому для опису деформацій було прийняте не допущення про малість кутових переміщень (гіпотеза геометричної лінійності деформацій). Надалі буде врахована геометрична нелінійність (1-2), що визначає нелінійні залежності деформацій від кутових координат.

Розрахункова схема пасажирського вагона складається з п'ятнадцяти твердих тіл, з'єднаних між собою пружними та демпфіруючими елементами.

Загальна функція переміщень будь-яких точок на тілі в часі буде мати такий вигляд:

$$\begin{Bmatrix} X(t) \\ Y(t) \\ Z(t) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Lz \cdot \sin(\varphi(t)) - Ly \cdot \sin(\theta(t)) + x(t); \\ Lx \cdot \sin(\theta(t)) - Lz \cdot \sin(\psi(t)) + y(t); \\ -Lx \cdot \sin(\varphi(t)) + Ly \cdot \sin(\psi(t)) + z(t); \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Загальна функція швидкості переміщень будь-яких точок на тілі в часі буде мати такий вигляд:

$$\begin{Bmatrix} \frac{dX(t)}{dt} \\ \frac{dY(t)}{dt} \\ \frac{dZ(t)}{dt} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Lz \cdot \cos(\varphi(t)) \cdot \frac{d\varphi(t)}{dt} - Ly \cdot \cos(\theta(t)) \cdot \frac{d\theta(t)}{dt} + \frac{dx(t)}{dt}; \\ Lx \cdot \cos(\theta(t)) \cdot \frac{d\theta(t)}{dt} - Lz \cdot \cos(\psi(t)) \cdot \frac{d\psi(t)}{dt} + \frac{dy(t)}{dt}; \\ -Lx \cdot \cos(\varphi(t)) \cdot \frac{d\varphi(t)}{dt} + Ly \cdot \cos(\psi(t)) \cdot \frac{d\psi(t)}{dt} + \frac{dz(t)}{dt}; \end{Bmatrix} \quad (2)$$

де Lx, Ly, Lz - координати сил (відносно центра ваги тіла), що діють на тіло у площині z, y, x , м; $[x(t), y(t), z(t)]$ - переміщення центра ваги тіла в часі по вісях x ,

y, z , м; $\left[\frac{dx(t)}{dt}, \frac{dy(t)}{dt}, \frac{dz(t)}{dt} \right]$ - швидкість переміщення центра ваги тіла в часі по вісях z, y, x , м/с;

$[\varphi(t), \theta(t), \psi(t)]$ - кутові переміщення тіла в часі відносно вісей y ,

$x, z, \text{ рад}; \left[\frac{d\varphi(t)}{dt}, \frac{d\theta(t)}{dt}, \frac{d\psi(t)}{dt} \right]$ - швидкість кутових переміщень тіла в часі відносно вісей $y, x, z, \text{ рад/с}$.

Удосконалення математичної моделі полягає в одночасному урахуванні конструктивних особливостей рухомого складу та параметрів колії таких як: вертикальна маса, що взаємодіє з колесом рухомого складу, та жорсткість колії; горизонтальна маса, що взаємодіє з колесом рухомого складу, та жорсткість колії; робота нахилоного гасника коливань у вертикальній та горизонтально поперечній площинах від вертикальних та горизонтальних переміщень рами візка та надресорної балки; обмежники поперечних переміщень надресорного бруса відносно рами візка; обмежники поперечних переміщень рами візка відносно колісної пари; урахування геометричної нелінійності взаємодії тіл, що визначає нелінійні залежності деформацій від кутових координат (для всіх тіл системи); двоточковий контакт колеса з рейкою; урахування бічних та вертикальних відхилень рейок у кривих та прямих ділянках колії у єдиній системі координат. Опис реакцій у місцях контакту колеса та рейки здійснено на основі нелінійної теорії крипу, що враховує порушення зчеплення.

Для опису руху в криволінійних ділянках колії отримані аналітичні залежності бічних відхилень рейок у перехідній і круговій кривих у тій же системі координат, у якій записані диференціальні рівняння вагона. Це дозволило створити загальну модель руху вагона як у прямих, так і в криволінійних ділянках, математично описати підвищення зовнішніх рейок, розширення колії, макронерівності й локальні нерівності.

Розроблено математичну модель пасажирського вагона, що описує рух з урахуванням геометричної нелінійності переміщень і деформацій, обумовлених немалими кутовими переміщеннями в просторі кузова, рам візків, надресорних балок і колісних пар.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень динаміки взаємодії колії та рухомого складу при швидкостях руху 140-160 км/год.

Випробування виконувалися на колії типової конструкції. Вплив на колію пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ визначався на підставі аналізу деформацій і напружень в елементах колії та прискорень у кузові вагона.

Дослідна ділянка колії розташована на непарній колії перегону Бориспіль – Баришівка Південно-Західної залізниці в кривій радіусом 2100 м; конструкція колії безстикова; рейки типу Р65; шпали залізобетонні, епюра шпал 1840 (2000) шт/км; баласт щебеневий.

Відступи за станом колії від нормативів не перевищували III ступеня, що дозволило рух дослідного поїзда зі швидкістю до 176 км/год. Кожний день перед початком випробувань працівники дистанції колії рихтували колію з метою створення штучної нерівності у плані з різницею в стрілах вигину 23-25 мм.

Для здійснення випробувань на дослідній ділянці формувався дослідний поїзд з двох електровозів серії ДС-3 і двох пасажирських вагонів на візках КВЗ-ЦНИИ.

Для реєстрації показників взаємодії колії та рухомого складу

використовувалися тензометричні датчики, електропрогиноміри системи ЦНИИ МПС та акселерометр системи МАСТРАК. Реєстрація показників здійснювалась за допомогою аналого-цифрових перетворювачів на переносний комп'ютер. Уся вимірювальна апаратура та техніка, що була задіяна під час експерименту, є сертифікованою і дозволяє отримувати результати вимірювань з похибкою меншою за 5 %.

Прилади перед виконанням дослідних поїздок встановлювалися в найбільш напружено-деформованих місцях колії на підставі виміряних нерівностей у плані та удосконаленої математичної моделі.

Використання математичної моделі було обґрунтовано зіставленням експериментальних та теоретичних прискорень, що виникають при русі пасажирського вагона в радіусі 1400 м з нерівністю колії у плані з різницею у суміжних стрілах вигину 12 мм. Збіг результатів теоретичних розрахунків з експериментальними (рис. 2) дає підставу стверджувати, що розроблена математична модель може бути використана для встановлення місць розташування датчиків в колії радіусом 2100 м на нерівності у плані.

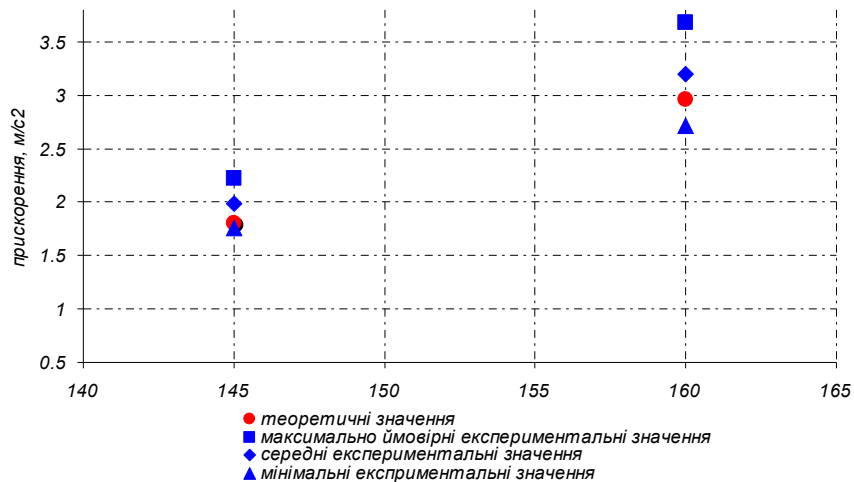


Рисунок 2 - Прискорення, що виникають в пасажирському вагоні на візках КВЗ-ЦНИИ зі швидкостями 140-160 км/год, у кривій радіусом 1400 м при нерівності колії у плані з різницею суміжних стріл 12 мм

Використовуючи форму нерівності колії у плані з різницею у суміжних стрілах вигину 25 мм та розроблену математичну модель динаміки взаємодії колії та пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ, були отримані місця встановлення датчиків на дослідній ділянці (рис. 3).

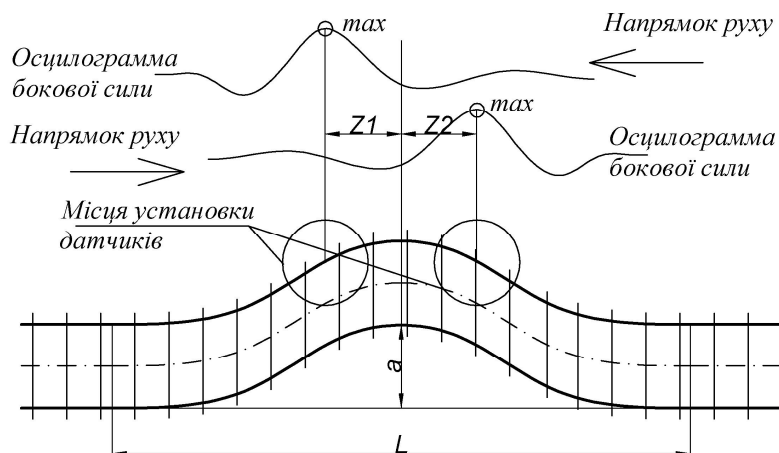


Рисунок 3 - Схема визначення встановлення датчиків на колії з нерівністю за результатами математичного моделювання

При отриманні експериментальних даних для перевірки гіпотези про

нормальний або логарифмічно нормальний розподіли використовувався критерій узгодження Шапіро-Уїлка, а також оцінювався необхідний обсяг вибірки.

Максимальні вертикальні сили під локомотивами що спостерігалися дорівнювали 180 кН, а під вагонами 112 кН. Ці значення менше рекомендованих максимальних значень 200 кН.

Вертикальні переміщення рейки під локомотивами та вагонами не перевищували таких значень: для локомотивів – 5,2 мм; для вагонів – 4,2 мм.

Напруження, що виникають в кромках підшви рейок під локомотивом не перевищували 182 МПа, а під вагоном - 87 МПа, що значно менше допустимого значення 240 МПа.

Середні значення горизонтальних сил, що діють на головку рейкової нитки, як від вагонів, так і локомотивів не перевищували відповідно 19 та 31 кН. Максимальні бокові сили назовні кривої ділянки колії досягали 35 кН від вагонів та 56 кН від локомотивів. При цьому ці значення не суттєво залежали від швидкості. Аналіз показав, що абсолютні величини бокових сил не перевищували нормованих 100 кН (вагон) та 120 кН (локомотив).

Відтискання головки рейкової нитки в середньому як від вагонів, так і від локомотивів спостерігалися назовні колії і за абсолютними значеннями не перевищували 0,5 та 0,8 мм відповідно. Максимальні відтискання головки назовні колії від вагонів досягали 2,71 мм при $V=175$ км/год та 7,28 мм від локомотивів. При зростанні швидкості від 140 до 175 км/год максимальні прогини змінюються не суттєво.

Горизонтальні (поперечні) прискорення вимірювались в останньому купе пасажирського вагона за допомогою акселерометра МАСТРАК. Значення максимальних прискорень при різних швидкостях в межах нерівності не перевищили $1,9 \text{ м/с}^2$.

На основі зроблених досліджень встановлено, що зі збільшенням швидкості руху поїздів до 160 км/год, у кривій ділянці колії радіусом 2100 м з нерівністю у плані третього ступеня, вертикальні та горизонтальні сили майже залишаються незмінними, а горизонтальні прискорення збільшуються незначно.

Пораховані значення за допомогою математичної моделі порівнювались з максимально ймовірними та мінімально ймовірними експериментальними значеннями. Математична модель з чисельною точністю відображає процес взаємодії колії та рухомого складу при потраплянні отриманих значень за допомогою математичної моделі в діапазон між максимально ймовірними та мінімально ймовірними експериментальними значеннями.

Порівняння теоретично отриманих значень бокових та вертикальних сил з експериментально отриманими значеннями довело, що розроблена математична модель досить точно описує процеси динаміки колії та пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ при прискореному русі (140-160 км/год).

Горизонтальні прискорення, що виникають у вагоні, за теоретичними та експериментальними дослідженнями при швидкостях руху 140-160 км/год наведено на рисунках 4-5.

За результатами зіставлення осцилограм експериментальних горизонтальних прискорень пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ з теоретичними

встановлено, що розроблена математична модель точно описує процес взаємодії колії та пасажирського вагона в зоні горизонтальної нерівності. Тобто математична модель може бути використана для визначення впливу геометричних параметрів нерівностей колії у плані на горизонтальні прискорення, що виникають у вагоні.

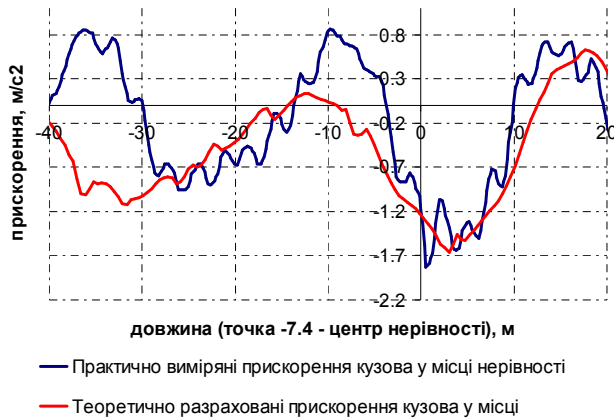


Рисунок 4 - Порівняння теоретично отриманих прискорень з експериментальними на штучно зробленій нерівності при швидкості руху пасажирського вагона 140 км/год



Рисунок 5 - Порівняння теоретично отриманих прискорень з експериментальними на штучно зробленій нерівності при швидкості руху пасажирського вагона 160 км/год

Для подальшого встановлення впливу радіуса колії на горизонтальні прискорення було зроблено верифікацію удосконаленої математичної моделі в різних радіусах колії з нерівністю у плані, якій відповідає різниця суміжних стріл вигину 12 мм. Результати розрахунків наведено на рисунку 6.

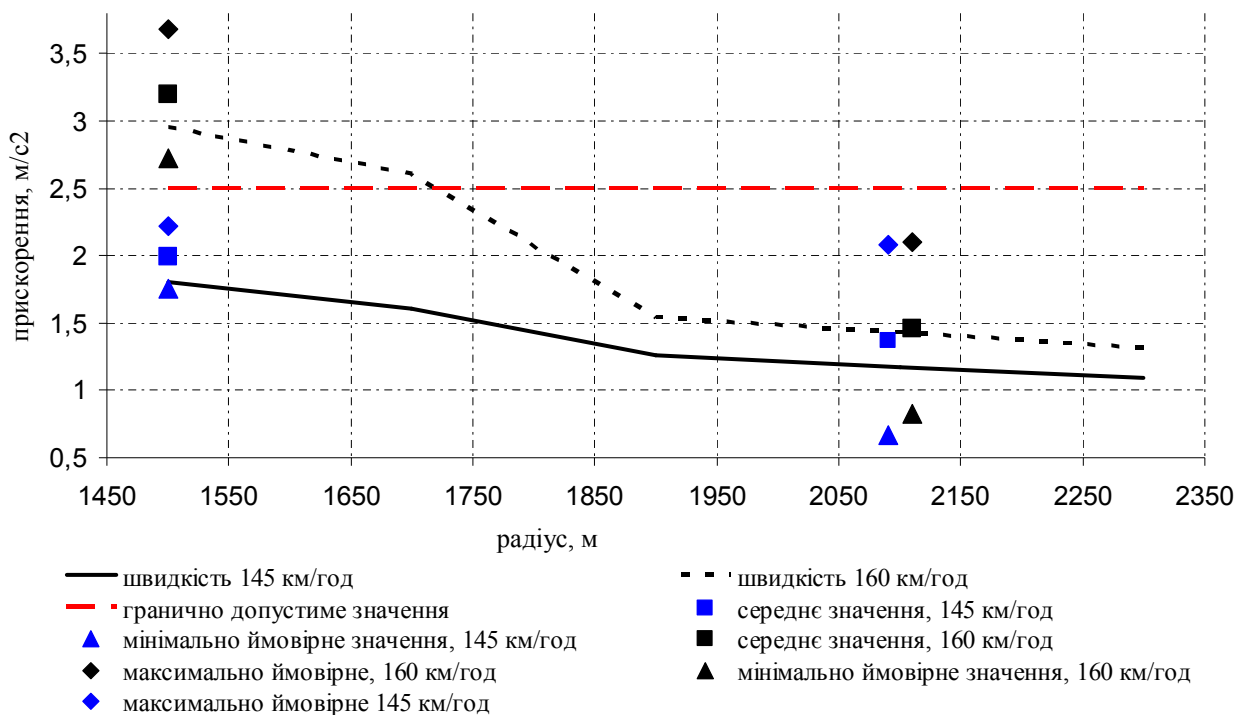


Рисунок 6 - Верифікація горизонтальних прискорень пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ на довжині 10 м при різниці суміжних стріл вигину 12 мм в різних радіусах колії

Порівняльний аналіз експериментальних результатів з теоретичними дає підстави стверджувати про адекватність математичної моделі пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ для оцінки геометричних нерівностей колії у плані при різних радіусах колії зі швидкостями руху 140-160 км/год, оскільки теоретичні розрахунки знаходяться між мінімально ймовірними та максимально ймовірними величинами.

Для виконання багатоваріантних розрахунків взаємодії колії та пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ при швидкостях руху 140-160 км/год були проведені експлуатаційні дослідження з визначення геометричних параметрів стану колії у плані в кривих та прямих ділянках колії.

У четвертому розділі наведено обґрунтовані нормативи утримання колії у плані при швидкостях руху 140-160 км/год за результатами теоретичних розрахунків.

Для розроблення нормативів утримання колії у плані було виконано теоретичні розрахунки за допомогою розробленої математичної моделі.

На підставі отриманих даних оцінено вплив нерівностей колії у плані на динаміку взаємодії з пасажирським вагоном при швидкостях руху 140-160 км/год за різними критеріями.

До 2012 року система нормативів утримання колії у плані не визначала допустимі нерівності колії у плані при швидкостях руху від 140 до 160 км/год, оскільки на залізницях України тільки почалося впровадження прискореного руху.

Нормування ступенів відступів у плані зроблено на підставі теоретичних розрахунків за такими критеріями: комфортабельності їзди пасажирів (показник комфорту пасажирського вагона; показник плавності ходу пасажирського вагона; горизонтальне прискорення, що виникає в пасажирському вагоні та діє на пасажирів; непогашене горизонтальне прискорення; величина зміни непогашеного горизонтального прискорення; повні прискорення, що діють на пасажирів); впливу рухомого складу на колію (вертикальна та горизонтальна сили); стійкості колеса проти вкочування на головку рейки.

За результатами експлуатаційних досліджень, що описані в третьому розділі, були встановлені геометричні параметри нерівностей у плані та радіуси кривих ділянок колії, у яких були досліджені динамічні процеси їх взаємодії з пасажирським вагоном.

На підставі експлуатаційних досліджень з визначення геометричних параметрів стану колії у плані в кривих та прямих ділянках колії було виконано розрахунки з визначення бокових сил, що діють на рейки. За результатами розрахунків встановлено, що при збільшенні амплітуди нерівності колії у плані з 20 мм до 30 мм при швидкості руху 140 км/год бокова сила збільшується, а при швидкості 160 км/год вона залишається майже однаковою. Визначено, що зі зміною радіусу кривої ділянки колії при швидкостях руху 140 км/год бокові сили майже не змінюються, а при швидкості руху 160 км/год зі збільшенням радіусу колії збільшується бокова дія колеса на рейку. За результатами розрахунків встановлено, що бокова сила не перевищувала 35 кН, що значно нижче за допустиме значення, яке дорівнює 120 кН для пасажирських вагонів.

З аналізу значень вертикальних сил, що діють на рейки, встановлено, що вплив горизонтальних нерівностей колії у плані при швидкостях руху від 140 до

160 км/год є не суттєвим і майже не залежить від радіуса колії. Максимальні значення вертикальних сил не перевищували 90 кН. На підставі отриманих вертикальних та горизонтальних сил було оцінено коефіцієнт запасу стійкості колеса проти вкочування на рейку.

Визначено, що мінімальний коефіцієнт запасу стійкості колеса проти вкочування на рейку не був нижчим за 2,7, що значно вище за гранично допустиме значення 1,3.

За результатами розрахунків встановлено, що нерівність колії у плані впливає на комфорт їзди пасажирів і ця величина впливу залежить від радіуса колії (рис. 7-10).

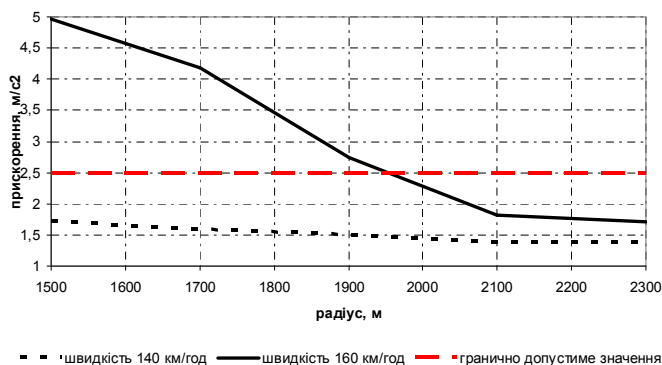


Рисунок 7 – Залежність горизонтального прискорення, що виникає в пасажирському вагоні на візках КВЗ-ЦНИИ при русі по колії з нерівністю колії у плані з різницею суміжних стріл вигину 25 мм на довжині 10 м

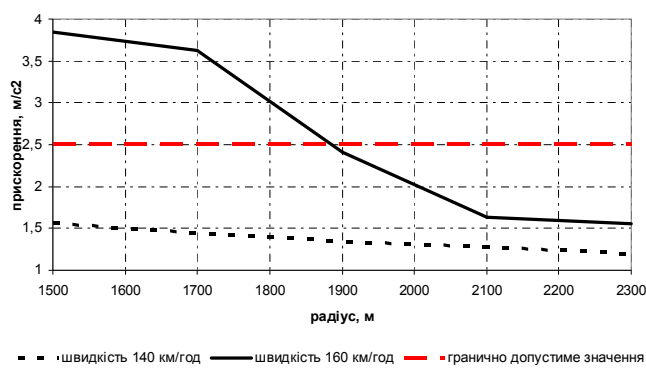


Рисунок 8 – Залежність горизонтального прискорення, що виникає в пасажирському вагоні на візках КВЗ-ЦНИИ при русі по колії з нерівністю у плані з різницею суміжних стріл вигину 20 мм на довжині 10 м

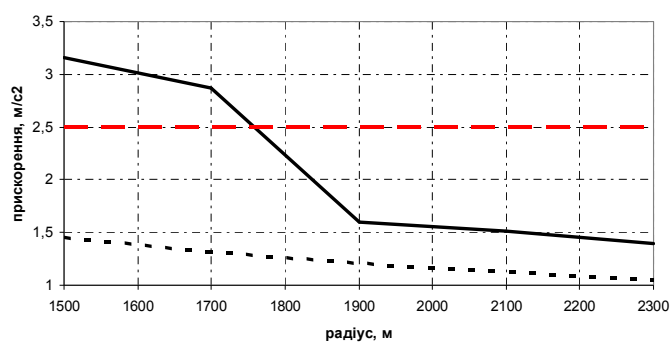


Рисунок 9 – Залежність горизонтального прискорення, що виникає в пасажирському вагоні на візках КВЗ-ЦНИИ при русі по колії з нерівністю у плані з різницею суміжних стріл вигину 15 мм на довжині 10 м

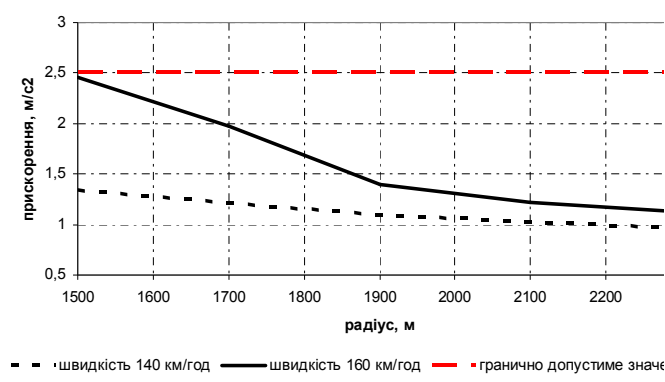


Рисунок 10 – Залежність горизонтального прискорення, що виникає в пасажирському вагоні на візках КВЗ-ЦНИИ при русі по колії з нерівністю у плані з різницею суміжних стріл вигину 10 мм на довжині 10 м

Оцінка комфорту пасажирського вагона при швидкостях руху 140 км/год та 160 км/год з нерівностями колії в плані при різниці суміжних стріл вигину від 10 мм до 25 мм показала, що його значення не перевищили допустимих величин

показників.

За результатами розрахунків встановлено, що показник плавності ходу пасажирського вагона при нерівностях колії не перевищив допустимого значення 3,25.

Для отримання нормативів утримання колії у плані при швидкостях руху 140-160 км/год було розроблено методику, що дозволяє їх визначити за вище згаданими критеріями.

Принцип методики полягає в тому, що за отриманими результатами теоретичних розрахунків з певними геометричними параметрами нерівностей колії у плані, проводиться оцінка неперевикнення допустимих значень критеріїв впливу на колію, критерію недопущення вкочування колеса на рейку та критеріїв комфорту їзди пасажирів. Після оцінки отриманих значень за теоретичними розрахунками проводиться зміна параметрів геометрії нерівності, швидкості руху та радіуса і знову проводиться оцінка критеріїв. Розроблена методика дала можливість виконати дослідження з розробки норм утримання колії у плані при швидкостях руху 140-160 км/год, що увійшли в нормативні документи. Зараз утримання колії у плані на залізницях України здійснюється за розробленими автором нормами (таблиця 1).

Таблиця 1

Оцінка відступів за напрямком у плані та допустимі швидкості руху поїздів по них на ділянках з встановленою швидкістю пасажирських поїздів 140 - 160 км/год

Ступінь відступу	Радіус, м	Різниця у стрілах вигину, виміряних через 10 м від середини хорди довжиною 20 м, мм	Оцінка, балів, за кожний відступ довжиною, м			Допустима швидкість, км/год, при відступах довжиною, м	
			до 10 вкл.	понад 10 до 20 вкл.	понад 20 до 40 вкл.	до 20 вкл.	понад 20 до 40 вкл.
I	при всіх радіусах	до 10 (вкл.)	0	0	0	160/90	
II	до 1800(вкл.)	-	-	-	-		
	понад 1800	понад 10 до 18 (вкл.)	10	5	0		
III	до 2000(вкл.)	-	-	-	-		
	понад 2000	понад 18 до 25 (вкл.)	30	15	1		
IV	до 1800(вкл.)	понад 10 до 25 (вкл.)	50	25	15	140/90	140/90
		понад 25 до 35 (вкл.)	500	200	50	80/60	120/90
	>1800 до 2000(вкл.)	понад 18 до 25 (вкл.)	50	25	15	140/90	140/90
		понад 25 до 35 (вкл.)	500	200	50	80/60	120/90
	понад 2000	понад 25 до 35 (вкл.)	500	200	50		
V	при всіх радіусах	понад 35 до 65 (вкл.)	1000	500	100	40/40	80/80
		понад 65 до 90 (вкл.)	1000	1000	200	15/15	40/40
		понад 90	1000	1000	1000	рух закривається	

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота базується на виконаних теоретичних та експериментальних дослідженнях. У ній розв'язана важлива науково-технічна задача з розробки нормативів утримання колії у плані при швидкостях руху поїздів 140-160 км/год. Основна суть розв'язаної задачі, наукові та практичні результати, їх значення для науки і практики, висновки та практичні рекомендації такі:

1. Аналіз розвитку нормативів утримання колії у плані показав, що нормативи отримані до 2012 року для швидкостей руху 140 км/год, повинні бути перероблені у зв'язку з підвищенням швидкостей руху з 140 до 160 км/год. Оскільки швидкість руху 140-160 км/год на сьогодні може бути реалізована лише пасажирськими поїздами, то розробка та обґрунтування нормативів утримання колії повинно бути зроблено за критеріями впливу на колію, безпеки руху поїздів та комфорту їзди пасажирів.

2. Удосконалена нелінійна багатомасова математична модель для дослідження взаємодії колії з пасажирським вагоном на візках КВЗ-ЦНІИ, у якій одночасно враховано: вертикальну масу та жорсткість колії; горизонтальну масу та жорсткість колії; роботу нахилоного гасника коливань у вертикальній та горизонтальній поперечній площинах від вертикальних та горизонтальних переміщень рами візка та надресорної балки; роботу обмежників поперечних переміщень надресорної балки щодо рами візка; роботу обмежників поперечних переміщень рами візка щодо колісної пари; просторові геометричні нелінійності взаємодії тіл, що визначені нелінійними залежностями деформацій від кутових координат (для всіх тіл системи); двоточковий контакт колеса з рейкою; просторове положення рейок у кривих та прямих ділянках колії у єдиній системі координат.

Удосконалена математична модель дозволяє отримати та більш точно проаналізувати: координати та швидкості тіл системи у з'єднувальних елементах системи екіпаж-колія, переміщення та швидкості переміщень силових елементів, деформацій, проковзувань та сил на поверхні кочення та гребня колеса у контакті колесо-рейка.

Удосконалена математична модель реалізована у вигляді програмного коду для системи Scilab-5.0-alpha-2 та дає можливість оцінити процеси взаємодії колії будь-якої геометрії з пасажирським вагоном за критеріями впливу на колію, безпеки руху поїздів та комфорту їзди пасажирів.

3. Виконані теоретичні розрахунки для умов експериментальної ділянки показали якісний та чисельний збіг результатів з даними експериментальних досліджень, що вказує на достовірність теоретичних розрахунків та правильність зроблених удосконалень. Результати теоретичних розрахунків лежать в межах між максимально ймовірними та мінімально ймовірними експериментальними значеннями з відносною похибкою меншою чим 5 %.

4. Аналіз експериментальних досліджень показав:

а) вертикальні сили, що діяли на рейку при швидкостях пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНІИ 140-160 км/год не перевищили 112 кН та під електровозом ДС-3 180 кН, що менше за допустиме значення 200 кН;

б) вертикальні прогини рейок при швидкостях пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ 140-160 км/год під не перевищили 4,2 мм та під електровозом ДС-3 5,2 мм;

в) напруження, що виникають у кромках підшви рейок, під локомотивом не перевищували 182 МПа, а під вагоном - 87 МПа, що значно менше за допустиме значення 240 МПа;

г) горизонтальні сили, що діяли на рейку при швидкостях пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ 140-160 км/год не перевищили 35 кН та під електровозом ДС-3 56 кН, що менше за допустиме значення для вагонів, яке становить 100 кН, а для локомотивів 200 кН;

д) максимальні відтискання головки назовні колії від пасажирських вагонів досягали 2,71 мм та 7,28 мм від локомотивів;

е) горизонтальні прискорення, що виникали в кузові пасажирського вагону та діяли на пасажирів, не перевищили $1,9 \text{ м/с}^2$, що менше за допустиме горизонтальне прискорення (імпульсне) $2,5 \text{ м/с}^2$;

На підставі експериментальних досліджень доведено, що при збільшенні швидкості з 140 до 160 км/год для пасажирських вагонів на візках КВЗ-ЦНИИ та електровозів ДС-3 у кривій ділянці колії радіусом 2100 м дія рухомого складу на колію практично не збільшується і виконується умова комфортності їзди пасажирів.

5. Аналіз теоретичних досліджень показав:

а) горизонтальне прискорення (імпульсне), що діє на пасажирів під час руху, залежить від геометричних показників нерівностей колії у плані, від радіуса кривої та швидкості руху і є лімітуючим критерієм при розробці нормативів утримання колії у плані;

б) при русі зі швидкістю 140 км/год по нерівностях колії у плані з різницею суміжних стріл вигину величиною 25 мм горизонтальне прискорення не перевищує гранично допустимого значення при всіх радіусах, у яких можливий рух із зазначеною швидкістю. При швидкості 160 км/год горизонтальне прискорення перевищує допустиме значення для радіусів менше 1950 м. При різниці сусідніх стріл вигину величиною 20 мм та при швидкості 160 км/год горизонтальне прискорення перевищує допустиме значення для радіусів менше 1875 м. При різниці сусідніх стріл вигину величиною 15 мм та при швидкості 160 км/год горизонтальне прискорення перевищує допустиме значення для радіусів менше 1750 м. При різниці сусідніх стріл вигину величиною 10 мм та при швидкості 160 км/год горизонтальне прискорення перевищує допустиме значення для радіусів менше 1500 м;

в) неможливо оцінити стан колії у плані при поточному утриманні за горизонтальним непогашеним прискоренням та за швидкістю зміни непогашеного горизонтального прискорення;

г) при розроблених нормах та допусках утримання колії у плані при швидкостях руху поїздів 140-160 км/год забезпечується комфорт їзди пасажирів за критерієм повного прискорення. Встановлено, що максимальне значення повного прискорення не перевищує 2 м/с^2 , що є допустимим;

д) показники плавності ходу та комфорту пасажирського вагона при швидкостях руху від 140 до 160 км/год по колії з нерівностями у плані з різницею суміжних стріл вигину від 10 до 25 мм є допустимими.

6. За результатами роботи були обґрунтовані та розроблені норми та допуски утримання колії у плані при швидкостях 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)" (затверджено наказом Укрзалізниці від 01.02.2012 № 033-Ц)), які впроваджені й діють на залізницях України.

Основні положення та результати дисертації опубліковано у наступних роботах:

1. Рибкін В. В. Експериментальні дослідження взаємодії колії та рухомого складу при швидкостях руху до 160 км/год / В. В. Рибкін, О. М. Патласов, П. В. Панченко // Збірник наукових праць Донецького ін-ту залізн. трансп. - 2011.-№ 25. - С. 191-198.

2. Рибкін В. В. Удосконалення методики моделювання просторових коливань колії та рухомого складу / В. В. Рибкін, П. В. Панченко // Збірник наукових праць Донецького ін-ту залізн. трансп. - 2012. - № 29. - С. 279-289.

3. Рибкін В. В. Норми утримання залізничної колії в плані при швидкостях руху поїздів 140-160 км/год з їх теоретичним та експериментальним обґрунтуванням / В. В. Рибкін, О. М. Патласов, П. В. Панченко // Збірник наукових праць Донецького ін-ту залізн. трансп. - 2012. -№ 31. - С. 220-225.

4. Рибкін В. В. Оцінка допусків від норм в утриманні колії у плані при швидкостях руху 140-160 км/год за критеріями комфорту їзди пасажирів / В. В. Рибкін, О. М. Патласов, П. В. Панченко // Збірник наукових праць Донецького ін-ту залізн. трансп. - 2012. -№ 32. - С. 268-277.

Додаткові праці:

5. Рыбкин В. В. Анализ условий прохождения колесной пары по крестовину узлу стрелочного перевода при разной ширине колеи/ В. В. Рыбкин, П. В. Панченко // Проблемы проектирования и строительства железных дорог: Сб. научн. тр. / Под ред. В.С. Шварцфельда. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2011. - С. 106-111.

6. Рибкін В. В. Історичний аналіз теоретичних та експериментальних досліджень динаміки колії, стрілочних переводів та рухомого складу / В. В. Рибкін, П. В. Панченко, С. О. Токарьов // Збірник наукових праць Донецького ін-ту залізн. трансп. - 2012. -№ 32. - С. 277-288.

7. Рибкін В. В. Математичне моделювання руху вантажного вагону по пружній колії / В. В. Рибкін, П. В. Панченко // Тези доповіді на 70-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», ДНУЗТ, 2010. - Д., 2010. - С. 192-193.

8. Рибкін В. В. Експериментальні дослідження взаємодії колії та рухомого складу при швидкостях руху до 160 км/год / В. В. Рибкін, О. М. Патласов, П. В. Панченко // Тези доповіді на 71-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», ДНУЗТ, 2011. - Д., 2011. - С. 205-206.

9. Рибкін В. В. Удосконалення математичного моделювання взаємодії колії та рухомого складу для впровадження прискореного руху поїздів /В. В. Рибкін, О. М. Патласов, П. В. Панченко // Тези доповіді на XIII Міжнародній конференції «Проблемы механики железнодорожного транспорта», ДНУЗТ, 2012. - Д., 2012. - С. 124-125.

АНОТАЦІЯ

Панченко П. В. Обґрунтування норм утримання залізничної колії у плані при прискореному русі. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.06 – залізнична колія, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2013.

Дисертаційна робота присвячена теоретичним та експериментальним дослідженням з розв'язання важливої науково-технічної задачі з розробки нормативів утримання колії у плані при швидкостях руху поїздів 140-160 км/год (прискорений рух).

У роботі проаналізовано історичний розвиток нормативів утримання колії. Визначено, що до 2012 року нормативи утримання колії у плані були отримані для швидкостей руху 140 км/год і повинні бути удосконалені у зв'язку з підвищенням швидкостей руху з 140 до 160 км/год.

Удосконалена нелінійна багатомасова математична модель для дослідження взаємодії колії з пасажирським вагоном на візках КВЗ-ЦНІИ. Виконано якісну та чисельну верифікацію математичної моделі з даними експериментальних досліджень. Виявлено достовірність теоретичних розрахунків.

Проаналізовано експериментальні дослідження і виявлено дію рухомого складу на колію та комфорт їзди пасажирів. Визначено, що горизонтальне прискорення (імпульсне), що діє на пасажирів під час руху, залежить від геометричних показників нерівностей колії у плані, від радіуса кривої та швидкості руху і є обмежуючим критерієм при розробці нормативів утримання колії у плані.

Обґрунтовано та розроблено норми та допуски утримання колії у плані при швидкостях руху 140-160 км/год, які впроваджені і діють на залізницях України.

Ключові слова: нерівності залізничної колії у плані, прискорений рух, норми утримання залізничної колії у плані, динамічна взаємодія колії та рухомого складу, прискорення.

АННОТАЦИЯ

Панченко П. В. Обоснование норм содержания железнодорожного пути в плане при ускоренном движении. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.06 – железнодорожный путь, Днепропетровский национальный

университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2013.

Диссертация посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям решения важной научно - технической задачи по разработке нормативов содержания пути в плане при скоростях движения поездов 140-160 км/ч (ускоренное движение).

В работе проанализированы историческое развитие нормативов содержания пути. Определено, что до 2012 года нормативы содержания пути в плане были получены для скоростей движения 140 км/ч и должны быть переработаны в связи с повышением скоростей движения со 140 до 160 км/ч.

Усовершенствована нелинейная многомассовая математическая модель для исследования взаимодействия пути с пассажирским вагоном на тележках КВЗ-ЦНИИ. Усовершенствована нелинейная многомассовая математическая модель для исследования взаимодействия пути с пассажирским вагоном на тележках КВЗ-ЦНИИ, в которой одновременно учтено: вертикальную массу и жесткость пути; горизонтальную массу и жесткость пути; работу наклонного гасителя колебаний в вертикальной и горизонтальной поперечной плоскостях от вертикальных и горизонтальных перемещений рамы тележки и надрессорной балки; работу ограничителей поперечных перемещений надрессорной балки относительно рамы тележки; работу ограничителей поперечных перемещений рамы тележки относительно колесной пары; пространственные геометрические нелинейности взаимодействия тел, определенных нелинейными зависимостями деформаций от угловых координат; двухточечный контакт колеса с рельсом; пространственное положение рельсов в кривых и прямых участках пути в единой системе координат.

Усовершенствованная математическая модель позволяет получить и проанализировать более точно: координаты и скорости тел в соединительных элементах системы экипаж-путь, перемещения и скорости перемещений силовых элементов, деформаций, проскальзывание и силы на поверхности катания и гребня колеса в контакте колесо-рельс.

Проведено качественную и численную верификацию математической модели с данными экспериментальных исследований. Выявлено достоверность теоретических расчетов.

Усовершенствована методика проведения экспериментальных исследований. Усовершенствование заключается в рациональном определении мест положения датчиков на пути для исследования ее напряженно-деформированного состояния по результатам натурных измерений пространственного положения пути и математического моделирования взаимодействия ее с подвижным составом.

Для проведения многовариантных расчетов взаимодействия пути и пассажирского вагона на тележках КВЗ-ЦНИИ при скоростях движения 140-160 км/ч были проведены эксплуатационные исследования по определению геометрических параметров состояния пути в плане в кривых и прямых участках пути. Геометрические параметры неровностей пути в плане (амплитуда и длина неровности) были определены по результатам промеров путеизмерительного вагона.

Проанализированы экспериментальные исследования и выявлено действие подвижного состава на путь и комфорт езды пассажиров. Определено, что горизонтальное ускорение (импульсное), действующее на пассажира во время

движения, зависит от геометрических показателей неровностей пути в плане, от радиуса кривой и скорости движения и является ограничивающим критерием при разработке нормативов содержания железнодорожного пути в плане.

Обоснованы и разработаны нормы и допуски содержания пути в плане при скоростях движения 140-160 км/ч, которые внедрены и действуют на железных дорогах Украины.

Ключевые слова: неровности железнодорожного пути в плане, ускоренное движение, нормы содержания железнодорожного пути в плане, динамическое взаимодействие пути и подвижного состава, ускорение.

ABSTRACT

Panchenko P. V. Ground maintenance standards railway track in the forefront at the accelerated motion. – Manuscript.

Thesis for the degree of Ph.D. in the specialty 05.22.06 – railway track, Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnepropetrovsk, 2013.

The dissertation is devoted to the development of norms and regulations of railway track maintenance at traffic speeds from 140 to 160 km/hour. In connection with European integration and the necessity of railway traffic speed increase there is an urgent problem of the development of new norms and regulations on railway track maintenance.

Dissertation work consists of four basic sections. The problems of track geometry influence on passenger travel, methods of field experiments conduct with the traffic speed more than 140 km/hour, the problems of theoretical modeling of track and rolling stock interaction and others are considered.

The scientific novelty of dissertational work is in the improvement of mathematical model of carriage interaction with the track that gives the crew the possibility to model the movement on elastic way with various geometry.

Besides, the technique of track position modeling is improved as a result of field measurements, which allow defining the number of measuring devices and their position on the track. For the first time, the passenger comfort and trains safety were analyzed depending upon the track geometry with the speed traffic more than 140 km/hour.

The given work has wide practical application at railways of Ukraine. According to its results the Norms and Regulations of Railway Track Maintenance have been developed and introduced into Ukrainian railway documentation.

Keywords: accelerated motion, maintenance of the railway track in the plan, the dynamic interaction between track and rolling stock, acceleration.

ПАНЧЕНКО ПЕТРО ВОЛОДИМИРОВИЧ

**ОБҐРУНТУВАННЯ НОРМ УТРИМАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ
КОЛІЇ У ПЛАНІ ПРИ ПРИСКОРЕНОМУ РУСІ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку ____ 2014 р.

Формат 60x84 1/16.

Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0. Тираж 100 пр.

Зам. № ____.

Видавництво Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.03

вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010