

Українська державна академія залізничного транспорту

Коваленко Андрій Віталійович

УДК 625.03:629.45/.46.015

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВАГОНА І ВЕРХНЬОЇ
БУДОВИ КОЛІЇ З УРАХУВАННЯМ ЇХ МЕХАНІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків – 2007

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. Залізниці України в даний час усе гостріше відчувають дефіцит у рухомому складі і матеріалах верхньої будови колії. З огляду на важливість проблеми, виникає необхідність зниження взаємовпливу вагона і колії, особливо в зоні стиків, удосконалення конструкції вагона і верхньої будови колії, переходу до більш надійних, довговічних і високошвидкісних засобів транспорту, а також упровадження ресурсозберігаючих технологій. Практика показує, що істотно слабким місцем в процесах динамічної взаємодії вагона з верхньою будовою колії є ізольовані стикові нерівності колії, що відносяться до рейкових стиків. При цьому найбільш інформативним показником взаємодії в системі «вагон – рейка» є осадка баластового шару в місцях стикових нерівностей під шпалами рейки, тому що в цих місцях рейка, як правило, випробує найбільші динамічні навантаження ударного типу. Динамічна взаємодія вагона і приймаючої рейки в зоні стику викликає додаткові дії ударів на агрегати вагона, а також призводить до дефектів колії, що обумовлюють її загальний технічний стан і ресурс. Також залишкова і пружна деформація баластового шару в цій зоні служить причиною виникаючих осідань, перекосів, виплесків, що, у свою чергу, ще більш збільшують рівень динамічного впливу з боку колії на вагон. Вона, як показує практика, приводить до зминання торців рейок, наклепу, виколам, утворенню козирків, тріщин і ін. У результаті збільшується угон колії, з'являються стики з сліпими і розтягнутими зазорами.

Актуальність теми. Досвід експлуатації свідчить, що проблему взаємодії транспортного засобу і колії необхідно розв'язувати комплексно, а саме, з позицій взаємодії в системі «вагон, як багатомірна дискретна механічна система – верхня будова колії, як континуальна система». Норми терміну служби рухомого складу і рейок, що визначають періодичність їхньої заміни, є функцією роботи рейкової колії під рухомим складом, типу і виду кріплення рейок, характеристик верхньої будови колії, умов його експлуатації. Слід також зазначити, що в процесі експлуатації рейкової полотнини, у результаті впливу зовнішніх кліматичних і механічних (поздовжні і вертикальні сили взаємодії колісної пари з рейкою) факторів, геометричні параметри ізольованих стикових нерівностей є нестационарними. Це також обумовлює їхній істотний вплив на процеси ударної взаємодії на вагон в місцях стиків.

Актуальність проблеми удосконалення параметрів вагона і верхньої будови колії з урахуванням їх механічної взаємодії обумовили необхідність проведення даних досліджень, визначили тему дисертації, її мету і задачі.

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

Дисертаційна робота виконана відповідно до: держбюджетної теми 53–40/03 «Дослідження механізму взаємнопідсилювальної дії багатокоординатного випадкового вібронавантаження на основі теорії синергетичного ефекту» (№ДР 0103V004051, наказ МОН України №633 від 5.11.02 р.), держбюджетної теми «Дослідження динамічної взаємодії вагона з рейковою колією в місці ізольованої стикової нерівності з урахуванням експлуатаційних факторів і напружено–деформованого стану анкерних з'єднань на акрилових клеях» (тематичний план ХНАМГ 2003 р.), держбюджетної теми «Теоретичні основи способів виміру конструктивної висоти стику рейок» (тематичний план ХНАМГ 2005 р.), держбюджетної теми «Чисельний аналіз параметрів динамічної взаємодії вагона з рейковою колією і дослідження напружено–деформованого стану клейової анкерівки арматурних стрижнів і тонкостінних оболонкових конструкцій» (тематичний план ХНАМГ 2005 р.).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення параметрів вагона і верхньої будови колії шляхом їх раціонального вибору і оптимізації, що забезпечує задані характеристики механічної взаємодії в транспортному механічному комплексі "вагон – рейкова колія на ділянці з ізольованою стиковою нерівністю".

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язувались наступні задачі:

– на базі енергетичного підходу і загальних теорем динаміки провести дослідження параметрів силової ударної і динамічної взаємодії вагона з рейковою колією у місці стикового з'єднання з урахуванням їх експлуатаційних, механічних і геометричних факторів;

– базуючись на результатах аналізу експериментальних досліджень конструктивних характеристик стиків реальних рейкових колій, а також стану проблеми, розробити структурну класифікаційну схему конструктивної кінематичної взаємодії вагона і рейкової колії в місці стикового з'єднання, а також створити адаптовану до механічної системи «вагон – рейкова колія у зоні стику» етапізовану методику статистичного аналізу параметрів взаємодії;

– методами моделювання і чисельного аналізу процесів у транспортному системному дискретно–континуальному механічному комплексі «вагон – рейкова колія, у місці стикового з'єднання» установити і проаналізувати параметри їхньої статичної і динамічної взаємодії з урахуванням експлуатаційних, механічних і геометричних параметрів транспортного засобу, рейки, стикових накладок, шпали і баластового шару, а також граничних умов закріплення і прогинів віддаючої і приймаючої рейок;

– розв’язати задачу оптимізації експлуатаційних і конструктивних параметрів транспортного засобу і верхньої будови колії з урахуванням їх взаємодії в зоні ізолюваної стикової нерівності при варіюванні ексцентриситету стикового зазору;

– розробити способи технічної реалізації пристроїв для виміру і контролю параметрів конструктивної кінематичної взаємодії в системі «вагон – рейкова колія у зоні стикового з’єднання».

Об’єкт дослідження – процес динамічної взаємодії в транспортному системному комплексі «вагон – рейкова колія в зоні ізолюваної стикової нерівності».

Предмет дослідження – вибір швидкісних режимів і жорсткісних параметрів транспортного засобу і верхньої будови колії, що забезпечують задані характеристики їх механічної взаємодії на ділянці з ізолюваною стиковою нерівністю.

Методи дослідження. Розв’язання наукової задачі виконано на базі системного підходу, методів теоретичної, аналітичної, будівельної механіки і теорії пружності; теорій ймовірності, інтегральних перетворень Лапласа – Карсона, чисельного аналізу і градієнтної оптимізації при виконанні і обробці результатів експериментів, а також визначенні параметрів взаємодії вагона з рейковою колією в місці ізолюваної стикової нерівності як багатовимірної дискретно–континуальної механічної системи.

Наукова новизна отриманих результатів:

– вперше комплексно досліджено параметри силової ударної (імпульс сили) і динамічної взаємодії вагона з приймаючою рейкою колії в місці ізолюваних стикових нерівностей типу «зазор» і «зазор – ступінь вниз» з урахуванням експлуатаційних і конструктивних факторів: швидкості руху транспортного засобу, його завантаження, механічних і геометричних характеристик вагона і стику колії, що дозволило визначити і проаналізувати величини та діапазони зміни ударного імпульсу і зусилля динамічної взаємодії;

– вперше створено динамічну модель, що описує взаємодію в транспортному механічному комплексі «вагон – рейкова колія в місці ізолюваної стикової нерівності» з урахуванням експлуатаційних, механічних і геометричних параметрів транспортного засобу і верхньої будови колії, прогинів віддаючої і приймаючої рейок колії, а також перших п’яти власних форм коливань приймаючої рейки, що дозволило розрахувати параметри механічної взаємодії вагона з рейковою колією на ділянці з ізолюваною стиковою нерівністю;

– вперше отримано результати чисельного аналізу параметрів динамічної взаємодії вагона з рейкою в зоні стику, що дозволило визначити і проаналізувати величини та діапазони зміни доударної швидкості, горизонтальної координати ударного імпульсу, а також прогинів приймаючої рейки при варіюванні швидкості, завантаження вагона і висоти ступіні стику;

– доопрацьовано структурну класифікаційну схему конструктивної кінематичної взаємодії вагона і рейкової колії в місці стикового з’єднання, яка дозволяє згрупувати типи стиків рейкової колії з урахуванням особливостей експлуатації і технології виготовлення, а також привести до термінологічної однаковості їх найменування;

– доопрацьовано метод оптимізації експлуатаційних і конструктивних параметрів транспортного засобу і верхньої будови колії з урахуванням їх взаємодії в зоні стикової

нерівності, що дозволило розв'язати задачу визначення швидкості транспортного засобу в зоні стикової нерівності, яка мінімізує максимальний прогин приймаючої рейки під першою шпалою на фазі його зростання.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.

Аналіз методів та засобів, які використовувались в дисертаційній роботі для вирішення поставленої задачі, дає змогу зробити висновок, що результати, одержані в дослідженнях, в достатній мірі обґрунтовані й достовірні. Середня похибка збіжності теоретичних та експериментальних даних прогинів реальної рейкової колії не перевищує 7,89%. Достовірність отриманих результатів підтверджена апробованістю підходів, що рекомендовані для прикладних задач у техніці: формуванням вихідної інформаційної бази даних на основі реальних експериментальних досліджень експлуатаційних і конструктивних характеристик вагона і верхньої будови колії; коректністю математичних постановок задач проведених досліджень; зіставленням отриманих результатів з даними аналогічних досліджень інших авторів.

Наукове значення роботи полягає в розробці ефективних методів визначення експлуатаційних і конструктивних параметрів механічної взаємодії в транспортному системному комплексі «вагон – рейкова колія в зоні стикової нерівності» з урахуванням експлуатаційних, механічних і геометричних параметрів транспортного засобу, рейки, стикових накладок, шпали і баластового шару, а також граничних умов закріплення і прогинів віддаючої і приймаючої рейок.

Практичне значення отриманих результатів дисертації полягає в створенні експериментально-теоретичного комплексу для дослідження, розрахунків та вдосконалення параметрів вагона і верхньої будови колії шляхом їх раціонального вибору і оптимізації. Виконані в дисертації результати досліджень розповсюджуються, відповідно до ДСТУ 3725-98, на електричні трамваї і їх рейкові колії як на залізниці, прокладені у населених пунктах.

Особистий внесок здобувача. В роботах з співавторами особистий вклад автора полягає в наступному: [1] – досліджено параметри силової ударної і динамічної взаємодії колісної пари з приймаючою рейкою в місці ізольованої стикової нерівності рейкової колії на базі розрахованих базових імовірнісних характеристик стику при варіюванні механічних характеристик і геометричних параметрів транспортного засобу, колеса і стику; [3] – на основі моделювання процесів ударної взаємодії в механічному комплексі "двовимірна дискретна пружно дисипативна система – нерозрізна багатопрогонова балка на пружних опорах" проаналізовано і встановлено динамічні параметри прогинів віддаючої рейки в місці стику, з урахуванням характеристик жорсткості баластового шару, стикових накладок, швидкості руху вагона і його завантаження; [4] – розроблено узагальнену методичку статистичного аналізу геометричних параметрів стиків і на її основі визначено базові статистичні характеристики стиків реальної рейкової колії; [5] – виконано класифікацію рейкових стиків на основі аналізу взаємодії вагона з рейковою колією; [6] – визначено і проаналізовано параметри напружень в рейках під

вагонним навантаженням рухомого складу; [7,8] – однакова участь співавторів в розробленні пристроїв.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідалися на міжнародній науково–практичній конференції "Dynamical System Modeling and Stability Investigation" (27–30 травня 2003 р.), на Всеукраїнській науково–практичній конференції "Проблеми і перспективи енерго–, ресурсозбереження житлово–комунального господарства (Алушта, вересень 2005 р., червень 2006 р.).

Результати роботи доповідались і були схвалені на загальних науково–практичних семінарах кафедр "Електричний транспорт" і "Теоретичної і будівельної механіки" Харківської національної академії міського господарства (Харків, листопад 2005 р., травень 2006 р.); на XXXI, XXXII, XXXIII науково–технічних конференціях викладачів, аспірантів і співробітників Харківської національної академії міського господарства (2004–2006 р.); на науково–технічній раді Служби Колії Харківського комунального підприємства "Міськелектротранс" (Харків, квітень 2006р.).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 15 наукових праць. Серед них 8 – основні в спеціалізованих виданнях, затверджених ВАК України (6 статей, 2 патенти України), а також 7 додаткових (тези доповідей на конференціях).

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел із 116 найменувань (на 9 стор.) і чотирьох додатків. Повний обсяг складає 223 сторінки друкованого тексту, включаючи 73 рисунка та 19 таблиць, та 4 додатки на 57 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження.

Перший розділ присвячено аналізу стану питання в області взаємодії рухомого складу та залізничної колії та її оптимізації. Аналіз робіт відомих вітчизняних і закордонних учених: Блохіна Є.П., Бутько Т.В., Веріго М.Ф., Вершинського С.В., Головка В.Ф., Голубенка О.Л., Дановського Л.Ю., Дьоміна Ю.В., Загарія Г.І., Кельріха М.Б., Когана А.Я., Кудрявцева М.Н., Куценка С.М., Лазаряна В.А., Маслієва В.Г., Мороза В.І., Савчука О.М., Чернишева М.А., Черняка Г.Ю., Шпачука В.П., Ушкалова В.Ф., Winkler E., Zimmermann H, Esveld C., Kalker J., показує, що в даний час постановка задачі удосконалення параметрів вагона і верхньої будови колії з урахуванням їх механічної взаємодії є актуальною. На підставі цього аналізу визначено цілі та задачі дослідження.

В **другому** розділі розроблено структурну класифікаційну схему конструктивної кінематичної взаємодії вагона і рейкової колії в місці стикового з'єднання. Створено адаптовану до механічної системи «вагон – рейкова колія в зоні стикової нерівності»

етапізовану методику статистичного аналізу параметрів їх конструктивної кінематичної взаємодії. На базі енергетичного підходу і узагальнених теорем динаміки досліджено з застосуванням поверхневих характеристик параметри силової ударної (імпульс сили) і динамічної взаємодії вагона з приймаючою рейкою колії в місці ізольованих стикових нерівностей типу «зазор» і «зазор – ступінь вниз».

Розглянуто суцільнокатане і підгумове колеса вагона. Виконано для стику типа "зазор" дослідження залежності величини та діапазонів зміни ударного імпульсу $S_{ду}$ від швидкості вагона V_x і величини зазору Δ і висоти ступіні h стику (рис. 1).

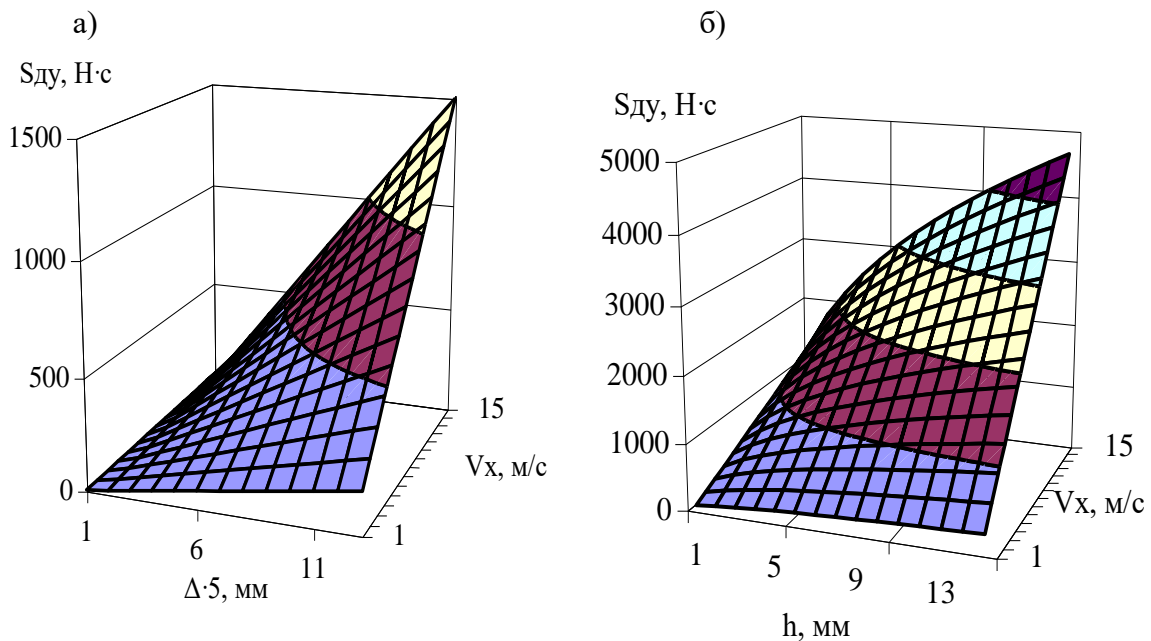


Рис. 1. Залежність ударного імпульсу $S_{ду}$ від швидкості вагона V_x і величини: а) зазору Δ стику для стику типа "зазор"; б) висоти ступіні h стику для стику типу "зазор – ступінь вгору"

Встановлено залежності зусиль динамічної взаємодії $R_{ду}$ при змінному завантаженні вагона (порожній вагон, середнє і максимальне завантаження). Процеси механічної взаємодії поділено на фази ударної імпульсної і після ударної динамічної взаємодії, що дозволило дослідити зусилля динамічної взаємодії колеса з приймаючою рейкою одночасно з урахуванням швидкості руху вагона, зазору і висоти стику, геометричних (кутові і лінійні координати схеми взаємодії) і механічних (коефіцієнти жорсткості і демпфірування підвіски вагона, приведені маси колеса і вагона) параметрів транспортного засобу.

Отримано, що зусилля динамічної взаємодії по величині змінюється при $V_x = [1 \div 15]$ м/с у діапазонах:

для стику типу "зазор" при зазорі 30 мм в залежності від завантаження в діапазоні $[52,387 \div 85,888]$ кН;

для стику типу "зазор – ступінь вгору" при висоті стику 7 мм в залежності від завантаження в діапазоні $[50,405 \div 90,624]$ кН.

Розроблено структурну класифікаційну схему конструктивної кінематичної взаємодії вагона з рейковою колією в місці стикового з'єднання. Належність стиків класифікаційної схеми реальному рейковому

шляху підтверджено фотографічними дослідженнями. Вона дозволяє згрупувати з урахуванням технології виготовлення й особливостей експлуатації основні типи рейкових стиків. У результаті найменування рейкових стиків стає термінологічно однаковим, що підвищує ефективність теоретичних і практичних робіт в області взаємодії рухомого складу і колії, а також робіт, зв'язаних із проведенням наукової і технічної експертизи на транспорті.

Розроблено методику статистичного аналізу параметрів конструктивної кінематичної взаємодії в системі «вагон – рейкова колія в зоні стикової нерівності». Вона включає 8 етапів і забезпечує визначення довірчого інтервалу для генерального середнього (ширини, висоти стику) з урахуванням величини вибіркового середнього квадратичного відхилення. Методика використовується при чисельному аналізі ударної взаємодії вагона з рейковою колією в місці стикової нерівності, розрахунку параметрів доударної швидкості, горизонтальної координати ударної взаємодії. Вона використовується в Харківському комунальному підприємстві "Міськелектротранс", а також в локомотивному депо Харків – Сортувальний.

У **третьому** розділі створено динамічну модель системи с урахуванням підгумового і суцільнокатаного коліс, що описує взаємодію в транспортному механічному комплексі «вагон – рейкова колія в місці ізольованої стикової нерівності» з урахуванням експлуатаційних, механічних і геометричних параметрів транспортного засобу і верхньої будови колії, прогинів віддаючої і приймаючої рейок колій, а також перших п'яти власних форм коливань приймаючої рейки.

Отримано диференціальні рівняння руху даної механічної системи для підгумового колеса:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^{IV} w(t, x)}{\partial x^4} + \frac{\rho F}{EJ} \cdot \frac{\partial^{II} w(t, x)}{\partial t^2} = \frac{c(y_3 - w(t, l^*))\delta(x - l^*)}{EJ} - \\ - \sum_{i=1}^j \frac{c_1 w(t, l_i)\delta(x - l_i)}{EJ} - \frac{m_1}{EJ} \frac{\partial^{II} w(t, l)\delta(x - l^*)}{\partial t^2}, \quad j = 1 \div 23; \\ \dots \\ m_3 \ddot{y}_3 + (c + c_r) y_3 = c_r w(t, l^*) + c y_2; \\ \dots \\ m_2 \ddot{y}_2 + c y_2 = c y_3, \end{array} \right.$$

де w – прогин рейки; l^* – відстань від краю рейки до колеса в момент зіткнення; l_i – відстань до i -тої шпали і між шпалами; ρ , E – щільність і модуль пружності матеріалу рейки; J – момент інерції перерізу рейки відносно нейтральної осі; $\delta(x-x_0)$ – імпульсна функція; m_1, m_2, m_3 – зведені маси колеса (бандажа з центром), вагона і маточини з віссю; c, c_r, c_1 – коефіцієнти жорсткості підвіски вагона, гумових дисків і баластового шару відповідно.

Механічна модель для розрахунку впливу завантаження чотиривісного вагона на висоту h ступіні стику приведена на рис. 3.

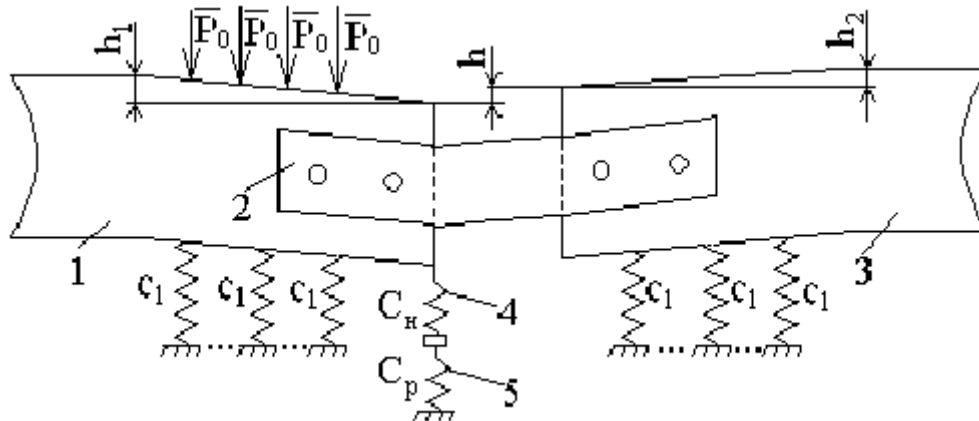


Рис. 3. Механічна модель взаємодії в системі «вагон – рейкова колія в місці стику»: 1,3 – віддаюча і приймаюча рейки стику колії, 2 – накладка, 4,5 – пружні елементи, що моделюють жорсткість c_n , c_p накладки і приймаючої рейки, P_0 – поточне навантаження, що приходиться з боку вагона на одне колесо колісної пари, c_1 – жорсткість опори, що моделює пружні властивості баластового шару, h – висота стику; h_1 , h_2 – прогини кінців віддаючої і приймаючої рейок стику.

Досліджено вплив конструктивних і механічних параметрів вагона на фазі балістичного руху дискретної системи «вагон – колесо» на прогини рейкової колії для стику типу «зазор – ступінь вниз». Розглянуто варіанти закріплення лівого і правого кінців рейки: затиснений, накладка абсолютно жорстка; накладки допускають кутову піддатливість приймаючої рейки; вільний: накладка не функціонує. Отримані величини доударної і післяударної швидкостей і лінійної координати ударної взаємодії використовуються при розрахунку параметрів динамічної взаємодії вагона з рейковою колією в місці ізольованої стикової нерівності з урахуванням експлуатаційних факторів. Проаналізовано схему навантаження віддаючою рейки, а також досліджено характеристики жорсткості накладки рейки Р-65 з урахуванням плоскої деформації стикової накладки:

$$c_n = (2J_n G_n \Delta^3 + 3E_n J_n \Delta e_n^2) / (3E_n J_n G_n),$$

де Δ – довжина накладки, J_n – момент інерції перерізу накладки, E_n , G_n – модулі пружності першого і другого роду матеріалу накладки, $e_n^2 = 0,5h_n(b_n)^{1/2}$, b_n – товщина і h_n – висота накладки.

У четвертому розділі виконано чисельний аналіз параметрів механічної взаємодії вагона з рейковою колією в місці ізольованої стикової нерівності типів «зазор – ступінь вниз» і «зазор». Дослідження проведено на базі поверхневих функціональних залежностей величин доударної швидкості і геометричної координати ударного імпульсу від швидкості руху, його завантаження, жорсткості амортизаторів підвіски вагона, висоти і ширини стику.

Кінематичні характеристики ударної взаємодії вагона з приймаючою рейкою в місці стику типу "зазор – ступінь вниз" при жорсткості амортизатора $c = 8 \cdot 10^5$ Н/м приведено на рис. 4,5.

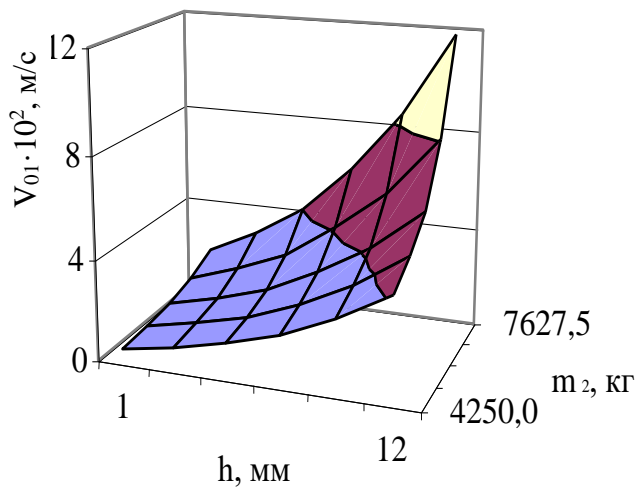


Рис. 4. Залежність вертикальної доударної швидкості V_{01} колеса від завантаження вагона m_2 і висоти стику при жорсткості підвіски $c = 8,0 \cdot 10^5$ Н/м

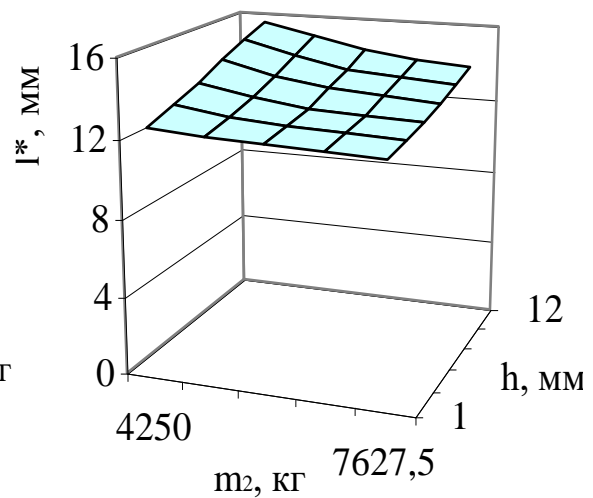


Рис. 5. Залежність горизонтальної координати I^* ударного імпульсу від завантаження вагона m_2 і висоти стику при жорсткості підвіски $c = 8,0 \cdot 10^5$ Н/м

Методом чисельного експерименту отримано динамічні характеристики взаємодії в системі «вагон – рейкова колія в місці стикового з'єднання» (рис. 6,7) з урахуванням завантаження вагона, граничних умов закріплення віддаючої і приймаючої рейок, геометричних і механічних характеристик рейки, стикових накладок, шпали і баластового шару.

Встановлено вплив завантаження вагона (рис. 6) на прогини під першою шпалою приймаючої рейки при зміні завантаження вагона і висоти стику в діапазонах $m_2 = [4250 \div 7627,5]$ кг, $h = [1 \div 12]$ мм: залежність $y_1 = y_1(m_2, h = 6,5 \text{ мм})$ при $V_x = 15 \text{ м/с}$, $c_1 = 1,5 \cdot 10^8 \text{ Н/м} = \text{const}$ і $\Delta = 22,65 \text{ мм} = \text{const}$ змінюється в діапазоні $y_1 = [1,36 \div 2,82]$ мм. Досліджено вплив завантаження вагона $m_2 = [4250 \div 7627,5]$ кг на прогини під першою шпалою приймаючої рейки при зміні жорсткості $c_1 = [0,5 \div 2] \cdot 10^8 \text{ Н/м}$ (рис. 7).

Встановлено, що збільшення завантаження вагона в діапазоні $m_2 = [4250 \div 7627,5]$ кг при швидкості вагона $V_x = 10 \text{ м/с}$, жорсткості $c_1 = 1 \cdot 10^8 \text{ Н/м}$ приводить до збільшення прогину в діапазоні $z = [0,66 \div 1,15]$ мм.

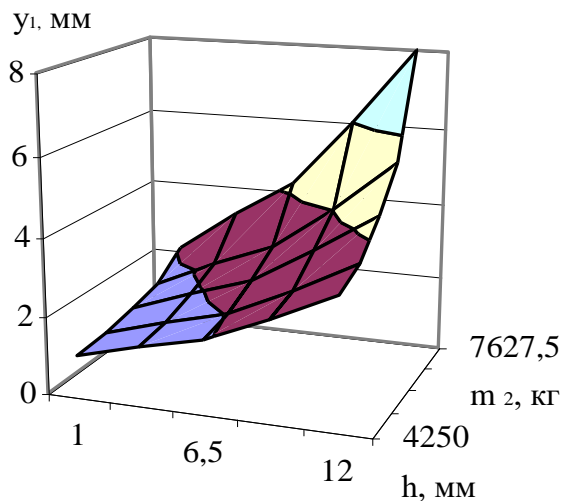


Рис. 6. Вплив завантаження вагона і висоти стику на прогини під першою шпалою приймаючої рейки при швидкості $V_x = 15$ м/с для стику «зазор – ступінь вниз»

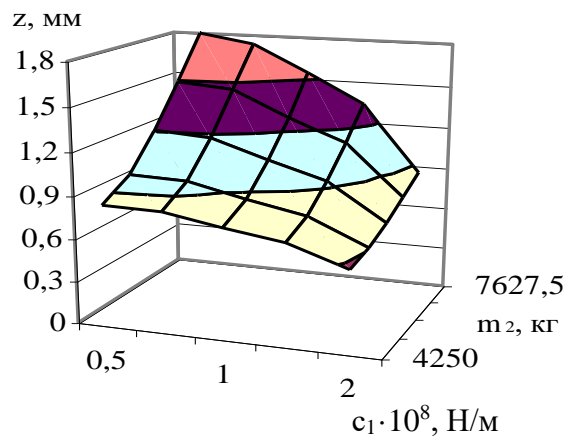


Рис. 7. Вплив завантаження вагона і жорсткості баластового шару на прогини під першою шпалою приймаючої рейки при швидкості $V_x = 15$ м/с для стику "зазор"

Результати використовуються на практиці відповідно до практичних рекомендацій щодо вибору експлуатаційних і конструктивних параметрів вагону і верхньої будови колії, при проектуванні нових і удосконаленні існуючих транспортних засобів. Також при розробці швидкісних режимів руху вагонів з урахуванням їх завантаження, жорсткості підвіски вагону, а також реального стану рейкової колії, що визначається жорсткістю баластового шару, місцем розташування, типом і конструктивними характеристиками стикового з'єднання. Наприклад, якщо вагон, що проходить рейковий стик типу «зазор» при схемі закріплення 2 (накладки допускають кутову піддатливість приймаючої рейки, а правий кінець рейки затиснений) має механічні параметри: жорсткість підвіски $c = 8 \cdot 10^5$ Н/м; завантаження – максимальне. Також стикове з'єднання рейкової колії (рейка Р–65) виконано у виді симетричних шпальних ґрат з нормальною епюрою (шпала залізобетонна типу КШ–63П) і має зазор $\Delta = 19,8$ мм. Тоді при жорсткості баластового шару $c_1 = 1 \cdot 10^8$ Н/м його конструктивна швидкість руху, що забезпечує приналежність параметрів динамічної взаємодії вагону з рейковою колією в місці стикової нерівності області припустимих максимальних прогинів, а також питомих тисків в баластовому шарі під першою шпалою, має бути по величині $V_x \leq 12,0$ м/с. Розроблені практичні рекомендації щодо швидкісних режимів руху вагону на ділянках рейкової колії зі стиковими з'єднаннями використовуються в Харківському комунальному підприємстві "Міськелектротранс", а також в локомотивному депо Харків – Сортувальний.

У п'ятому розділі роботи приведено результати оптимізації експлуатаційних і конструктивних параметрів вагону з урахуванням взаємодії з верхньою будовою колії в зоні стику.

Загальна механічна постановка задачі дослідження: розв'язати задачу визначення величини швидкості руху транспортного засобу на ділянці стикової нерівності, що мінімізує максимальний прогин приймаючої рейки під першою шпалою рейкової колії на фазі його зростання. При цьому як задані параметри прийняти механічні і геометричні

параметри вагона і верхньої будови колії. Врахувати перші п'ять власних форм коливань рейки, а в якості варійованих – прийняти ексцентриситет "e" стикового зазору.

Математична постановка задачі дослідження

$$\text{Знайти} \quad \min_{V_x, e} \left(\max_t w(t, x = l_{\text{пр.п.1}}(e)) \right)$$

$$\text{при} \quad w(t, x) = \sum_{j=1}^5 z^j(x) \cdot D_j(V_x, e, S_{\text{дв}}) \cdot \sin \omega_j t$$

$$\text{і обмеженнях} \quad w(t, l_{\text{пр.п.1}}) \leq [w(t, l_{\text{пр.п.1}})], \quad e = [0; 0,5], \quad V_x = [1 \leq 15] \text{ м/с,}$$

де ω – власна частота системи; $z(x)$ – власна форма прогину рейки; $l_{\text{пр.п.1}}$ – координата першої опори приймаючої рейки.

При цьому розглянуто два варіанти задачі оптимізації: для нормальної і посиленої шпальної епюри колії. Аналіз залежностей швидкості V_x від величини параметра e показує наступне: оптимальна швидкість руху транспортного засобу, що забезпечує мінімізацію максимального прогину приймаючої рейки, змінюється в діапазоні $V_x = [1 \div 15]$ м/с (збільшується в 15 разів) при зміні ексцентриситетів нормальних і посиленних шпальних грат у діапазонах $e = [0,452 \div 0,355]$ і $e = [0,415 \div 0,327]$ відповідно.

Встановлено особливість залежності величини оптимальної швидкості руху вагона $V_x^{\text{опт}}$ від типу шпальних грат при $e = \text{const}$. Наприклад, швидкість руху вагона, що мінімізує максимальний прогин приймаючої рейки під першою шпалою при $e = 0,38 = \text{const}$ і переході від нормальних шпальних грат до посиленних, по величині знижується на 42% і відповідає значенням $V_x^{\text{опт}} = 12,4$ м/с і $V_x^{\text{опт}} = 8,42$ м/с відповідно.

Шостий розділ присвячено створенню новітніх пристроїв для виміру і контролю параметрів конструктивної кінематичної взаємодії вагона з рейковою колією в місці стикового з'єднання. Пристрої електромеханічного (патент України №4874) і електромагнітного принципу дії (патент України №7936) забезпечують підвищення точності виміру, а також розширення функціональних можливостей.

Пристрої для виміру і контролю геометричних параметрів рейкових стиків залізничної та трамвайної колій використано при створенні колієвимірювального візка. На практиці використання візка автоматизує процеси збору, обробки і обліку геометричних характеристик стиків рейкової колії, що забезпечує скорочення часу обстеження стану нерівностей колії. При цьому зведений коефіцієнт скорочення тривалості обстеження рейкової колії на Харківському комунальному підприємстві «Міськелектротранс» складає величину 1,57.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розв'язано науково-технічну задачу раціонального вибору і оптимізації експлуатаційних і конструктивних параметрів вагона і верхньої будови колії, які забезпечують задані характеристики їх механічної взаємодії на ділянці з ізольованою стиковою

нерівністю. На підставі проведеної роботи отримано наступні результати та зроблено такі висновки:

1. На базі енергетичного підходу і загальних теорем динаміки досліджено з застосуванням поверхневих характеристик параметри силової ударної (імпульс сили) і динамічної взаємодії вагона з приймаючою рейкою колії в місці ізольованих стикових нерівностей типу «зазор» і «зазор – ступінь вниз» з урахуванням експлуатаційних і конструктивних факторів: швидкості руху вагона, його завантаження, механічних і геометричних характеристик вагона і стику колії. Визначено, що для стику типа "зазор" при швидкості вагона $V_x = [1 \div 15]$ м/с, стиковому зазорі $\Delta = [1 \div 60]$ мм ударний імпульс змінюється в діапазоні $S_{ду} = [3,14 \div 1504,98]$ Н·с.

2. Базуючись на результатах аналізу стану проблеми, розроблено структурну класифікаційну схему конструктивної кінематичної взаємодії вагона і рейкової колії в місці стикового з'єднання. У результаті термінологічно найменування параметрів взаємодії в системі «вагон – рейкова колія у місці стику» стає однаковим, що підвищує ефективність теоретичних і практичних робіт в області взаємодії рухомого складу і колії, конструкції рухомого складу і колії, а також колійному господарстві рейкового транспорту, у тому числі, науково–дослідних робіт, а також робіт, зв'язаних із проведенням наукової і технічної експертизи на транспорті.

3. Створено адаптовану до механічної системи «вагон – рейкова колія в зоні стикової нерівності» етапізовану методику статистичного аналізу параметрів їх конструктивної кінематичної взаємодії, що включає етапи: визначення необхідного обсягу вибірки; формування варіаційного ряду; обґрунтування нульової гіпотези; визначення і підтвердження закону розподілу; визначення вибіркового середнього, дисперсії і коефіцієнта варіації; побудова гістограми накопичених частот; побудова емпіричної функції розподілу; визначення довірчих інтервалів для генерального середнього. Методика апробована на ділянці рейкових колій шляху. Для стику типа "ступінь вниз" встановлено на базі критеріїв Смирнова і Пірсона: вибіркоче середнє висоти ступені $\bar{a} = 6,08$ мм; середнє квадратичне відхилення $S_1 = 3,64$ мм; довірчий інтервал $5,22 \text{ мм} < a < 6,93 \text{ мм}$.

4. Створено динамічну модель, що описує взаємодію в транспортному механічному комплексі «вагон – рейкова колія в місці ізольованої стикової нерівності» з урахуванням експлуатаційних, механічних і геометричних параметрів транспортного засобу і верхньої будови колії, прогинів віддаючої і приймаючої рейок колій, а також перших п'яти власних форм коливань приймаючої рейки.

5. Виконано чисельний аналіз параметрів динамічної взаємодії вагона з рейковою колією в місці ізольованої стикової нерівності типу «зазор – ступінь вниз». Отримано поверхневі функціональні залежності величин доударної швидкості і геометричної

координати ударного імпульсу від швидкості руху вагона, його завантаження, жорсткості амортизаторів підвіски вагона, висоти і ширини стику. Встановлено, що при максимальному завантаженні вагона, жорсткості $c = 8 \cdot 10^5$ Н/м, збільшенні висоти стику в діапазоні $h = [1 \div 12]$ мм доударна швидкість змінюється в діапазоні $V_{01} = [1,75 \div 11,75]$ м/с.

6. Методом чисельного експерименту отримано механічні характеристики взаємодії в системі «вагон – рейкова колія в місці стикового з'єднання» з урахуванням завантаження вагона, граничних умов закріплення віддаючої і приймаючої рейок, геометричних і механічних характеристик рейки, стикових накладок, шпали і баластового шару. Встановлено збільшення прогину під першою шпалою приймаючої рейки при завантаженні вагона $m_2 = [4250 \div 7627,5]$ кг, швидкості $V_x = 10$ м/с, жорсткості $c_1 = 1 \cdot 10^8$ Н/м в діапазоні $[0,66 \div 1,15]$ мм.

7. Розроблено метод оптимізації експлуатаційних і конструктивних параметрів транспортного засобу і верхньої будови колії з урахуванням їх взаємодії в зоні стикової нерівності. При цьому розв'язана задача визначення швидкості руху транспортного засобу в зоні стикової нерівності, що мінімізує максимальний прогин приймаючої рейки під першою шпалою рейкової колії на фазі його зростання. Як задані параметри прийняті механічні і геометричні параметри вагона і верхньої будови колії, враховані перші п'ять власних форм коливань рейки, а в якості варійованих – ексцентриситет "e" стикового зазору. Отримано, що при нормальній шпальній епюрі, жорсткостях $c = 4,225 \cdot 10^5$ Н/м, $c_1 = 1 \cdot 10^8$ Н/м, лінійних координатах колій: $l = 0,585$ м, $L_1 = 12,5$ м, $e = 0,416$, зазорі стику $\Delta = 19,8$ мм оптимальна швидкість вагону складає $V_x^{opt} = 8$ м/с.

8. Розроблено оригінальні пристрої електромеханічного й електромагнітного принципів дії для виміру і контролю параметрів конструктивної кінематичної взаємодії в системі «вагон – рейкова колія в зоні стикового з'єднання», що забезпечують підвищення точності виміру, а також розширення функціональних можливостей.

9. Розроблено практичні рекомендації щодо розробки швидкісних режимів руху вагонів на ділянках зі стиковими з'єднаннями на маршруті. Результати використовуються в Харківському комунальному підприємстві "Міськелектротранс", а також в локомотивному депо Харків – Сортувальний.

Основні положення дисертації опубліковані в роботах:

1. Шпачук В.П., Коваленко А.В. Ударное и динамическое взаимодействие трамвая с принимающим рельсом в месте изолированной стыковой неровности с учетом эксплуатационных факторов. К.: Техника, 2005. Научно–технический сборник “Коммунальное хозяйство городов”/ Выпуск – 60, с. 229–235.

2. Коваленко А.В. Ударное взаимодействие трамвая с принимающим рельсом в месте изолированной стыковой неровности. //Східно–Європейський журнал передових технологій, випуск 2/2 (14), 2005. – С. 31–33.

3. Шпачук В.П., Коваленко А.В. Прогибы рельсового пути в месте изолированной стыковой неровности с учетом фаз доударного баллистического и послеударного безотрывного движений. Киев, Техника, 2005. научно-технический сборник “Коммунальное хозяйство городов”/ Выпуск – 63, с. 216–225.

4. Шпачук В.П., Коваленко А.В. Статистический анализ геометрических параметров стыков трамвайного пути/ Киев, Техника, 2003. Научно–технический сборник “Коммунальное хозяйство городов”/ Выпуск – 51, с. 176–180.

5. Шпачук В.П., Коваленко А.В. Влияние конструкций стыковых соединений рельсов на надёжность путей и потребление ресурсов. Киев, Техника, 2003. Научно–технический сборник “Коммунальное хозяйство городов”/ Устойчивое развитие городов Проблемы и перспективы энергоресурсосбережения жилищно–коммунального хозяйства. Выпуск – 49, с. 202–206.

6. Скурихин И.Л., Коваленко А.В. Определение влияния колёс вагонов на рельсовый путь. Киев, Техника, 2002. Республиканский межведомственный научно–технический сборник. Выпуск – 38, “Коммунальное хозяйство городов”, с. 305–309.

7. Шпачук В.П., Коваленко А.В., Чупринин О.О. Пристрій для виміру висоти рейкових стиків залізничної і трамвайної колій. Деклараційний патент на корисну модель №4874 E01B 35/00, опубл. 15.02.2005. Бюл. №2.

8. Шпачук В.П., Коваленко А.В., Чупринин О.О., Личкатий Є.О. Пристрій для виміру і контролю геометричних параметрів рейкових стиків залізничної та трамвайної колій. Деклараційний патент на корисну модель №7936 E01B 35/00, опубл. 15.07.2005. Бюл. №7.

9. Шпачук В.П., Коваленко А.В., Бабчинская Я.М. Моделирование нестационарных процессов ударного взаимодействия в дискретно–континуальных системах/ Тезисы докладов международной конференции "Dynamical System Modeling and Stability Investigation" (27–30 мая 2003 г.) – Київ: Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2003. – С. 380.

10. Шпачук В.П., Коваленко А.В., Солодовченко Е.С. Динамическое взаимодействие колёсной пары с виньольевским рельсом на щебневом балластном слое в месте симметричного тупого стыка на весу/ Тезисы докладов. XXXI научно–техническая конференция преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской государственной академии городского хозяйства (22–24 мая 2002 г.), 2002.– С. 74-75

11. Шпачук В.П., Коваленко А.В., Чупрынин А.А. Расчет прогибов рельсов трамвайного пути под шпалами в зоне изолированных стыковых неровностей/ Тезисы докладов. XXXII научно–техническая конференция преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства. Часть 2, с. 53–54.

12. Шпачук В.П. Коваленко А.В. Уменьшение интенсивности износа рельсов трамвайного пути/ Проблеми та перспективи енерго–, ресурсозбереження житлово–комунального господарства: Матеріали Всеукраїнської науково–практичної конференції. – Алушта: ХО НТТ КГ та ПО, ХНАМГ, 2005, с. 184–187.

13. Коваленко А.В. Методы оценки технического состояния рельсового пути трамвая/ Тезисы докладов. XXXI научно–техническая конференция преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской государственной академии городского хозяйства (22–24 мая 2002 г.), 2002. – С. 5.

14. Коваленко А.В. Дослідження впливу експлуатаційних і конструктивних характеристик трамвая й умов закріплення приймаючої рейки на прогини віддаючої і приймаючої рейок у місці стику типу "зазор"/ Тезисы докладов. XXXIII научно–техническая конференция преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской государственной академии городского хозяйства (11–13 мая 2006 г.), 2006. С. 30–32.

15. Шпачук В.П., Коваленко А.В., Головина Е.А., Плотницкая Я.В. Повышение ресурса подвижного состава и верхнего строения трамвайного пути путем внедрения перспективных технологий снижения параметров их ударно–динамического взаимодействия./ Проблемы та перспективи енерго–, ресурсозбереження житлово–комунального господарства: Матеріали II Всеукраїнської науково–практичної конференції. – Алушта: ХО НТТ КГ та ПО, ХНАМГ, 2006. С. 150–154.

АНОТАЦІЯ

Коваленко А.В. Удосконалення параметрів вагона і верхньої будови колії з урахуванням їх механічної взаємодії. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2007.

Дисертація присвячена удосконаленню параметрів вагона і верхньої будови колії з урахуванням їх взаємодії в зоні з ізольованою стиковою нерівністю. У дисертації вперше стосовно до транспортного механічного комплексу "вагон – рейкова колія в місці стикової нерівності" отримано залежності прогинів приймаючої рейки колії під першою шпалою на фазі їх зростання від експлуатаційних і конструктивних параметрів транспортного засобу і верхньої будови колії. Методами чисельних досліджень з урахуванням отриманих залежностей розв'язано задачу визначення механічних параметрів вагона і колії раціонального й оптимального типів, які забезпечують задані характеристики їх взаємодії. Отримані результати використовуються у вигляді практичних рекомендацій щодо вибору експлуатаційних і конструктивних параметрів вагона і верхньої будови колії на етапах проектування і удосконалення транспортних засобів, а також розробці їх швидкісних режимів руху.

Ключові слова: вагон, верхня будова колії, стикова нерівність, взаємодія, експлуатація, конструкція, надійність, геометричний параметр, ексцентриситет.

АННОТАЦИЯ

Коваленко А.В. Усовершенствование параметров вагона и верхнего строения пути с учетом их механического взаимодействия. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – Подвижный состав железных дорог и тяга поездов. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2007.

Диссертация посвящена усовершенствованию параметров вагона и верхнего строения пути с учетом их взаимодействия в зоне с изолированной стыковой неровностью, при этом под эксплуатационными параметрами подразумевается: скорость вагона, его загрузка, конструктивными – жесткость подвески вагона, балластного слоя, геометрические параметры стыка, эксцентриситет стыкового зазора, прогиб балластного слоя под первой шпалой принимающего рельса стыка, а под параметрами взаимодействия – импульс ударного взаимодействия, а также усилие динамического взаимодействия в системе вагон – рельсовый путь".

В работе исследованы параметры динамического взаимодействия вагона с принимающим рельсом пути в месте изолированных стыковых неровностей, разработана структурная классификационная схема конструктивного кинематического взаимодействия вагона и рельсового пути в месте стыкового соединения. В результате терминологически наименования параметров взаимодействия в системе «вагон – рельсовый путь в месте стыка» становятся одинаковыми, что повышает эффективность теоретических и практических работ в области взаимодействия подвижного состава и пути, а также путевого хозяйства рельсового транспорта, а также работ, связанных с проведением научной и технической экспертизы на транспорте. Создана адаптированная к механической системе «вагон – рельсовый путь в зоне стыковой неровности» этапизованная методика статистического анализа параметров их конструктивного кинематического взаимодействия, которая апробирована на участке рельсовых путей.

Создана динамическая модель, описывающая взаимодействие в транспортном механическом комплексе «вагон – рельсовый путь в месте изолированной стыковой неровности»; выполнен численный анализ параметров динамического взаимодействия вагона с рельсовым путем в месте изолированной стыковой неровностью; получены механические характеристики взаимодействия в системе «вагон – рельсовый путь в месте стыкового соединения». Разработан метод оптимизации эксплуатационных и конструктивных параметров вагона и верхнего строения пути с учетом их взаимодействия в зоне стыковой неровности, при этом решена задача идентификации величины скорости движения транспортного средства в зоне стыковой неровности, которая минимизирует максимальный прогиб принимающего рельса под первой шпалой рельсового пути на фазе его роста.

Разработаны оригинальные способы технической реализации устройств для измерения и контроля параметров конструктивного кинематического взаимодействия в системе «вагон – рельсовый путь в зоне стыкового соединения»; разработаны практические рекомендации относительно рационального выбора эксплуатационных и конструктивных параметров вагона и верхнего строения пути.

Ключевые слова: вагон, верхнее строение пути, стыковая неровность, взаимодействие, эксплуатация, конструкция, надежность, геометрический параметр, эксцентриситет.

ABSTRACT

Kovalenko A.V. The improvement of a rail car design and the structure of the upper part of the railway track with due account of their mechanical interaction. – Manuscript.

Thesis for Master' degree in technical sciences in speciality 05.22.07 – Rolling stock of railways and traction of trains. Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkiv, 2007.

The thesis is dedicated to the improvement of operational properties and the design of a rail car and the structure of the upper part of the railway track with due account of their interaction within a section having an isolated rugged butt. The thesis pioneers the discussion of interrelation between the depressions of the carrying track rail under the first sleeper on the stage of their increase resulting from operational properties and the design of a vehicle and the structure of the upper part of the railway track regarding the transport mechanical complex 'rail car – track rail at the point of isolated rugged butt'. On the basis of numerical study and taking into account the functions obtained the problem of defining the mechanical parameters of a rail car and track rail of both rational and optimum kind has been solved which provide the predetermined parameters of their interaction. The results obtained have been used as practical recommendations for defining the operational properties and design of the upper part of the railway track on the stage of design and improvement of vehicles as well as while working out the modes of high-speed movement.

Key words: rail car, upper part of the railway track, rugged butt, interaction, operation, design, reliability, geometric parameter, eccentricity.

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі теоретичної і будівельної механіки Харківської національної академії міського господарства МОН України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Шпачук Володимир Петрович,
Харківська національна академія міського
господарства, завідувач кафедри "Теоретичної і
будівельної механіки"

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Головко Владислав Федорович,
Українська державна академія залізничного
транспорту, завідувач кафедри "Вагони"

– доктор технічних наук, професор
Маслієв В'ячеслав Георгійович,
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут",
професор кафедри "Електричний транспорт і
тепловозобудування"

Провідна установа: Східноукраїнський національний університет
ім. В. Даля, кафедра "Залізничний транспорт",
Міністерство освіти і науки України (м. Луганськ)

Захист відбудеться "__" _____ 2007 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.
З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий "__" _____ 2007 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Ломотько Д.В.

Коваленко Андрій Віталійович

УДК 625.03:629.45/.46.015

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВАГОНА І ВЕРХНЬОЇ
БУДОВИ КОЛІЇ З УРАХУВАННЯМ ЇХ МЕХАНІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск доц. Чупринін О.О.

Підп. до друку 14.04.07

Друк на ризографі.

Замовл. №

Формат 60x84 1/16

Умовн.-друк. арк. 0,9

Тираж 100 прим.

Папір офісний

Облік – вид. арк. 1,1

61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції,12

Сектор оперативної поліграфії ІОЦ ХНАМГ

61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції,12