

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



БОНДАРЕНКО ІРИНА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 625.1/.3: 0.45/.049(043.5)

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ОЦІНКИ РОБОТИ
ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ПІД ВПЛИВОМ РУХОМОГО СКЛАДУ**

Спеціальності: 05.22.06 – залізнична колія;
05.22.12 – промисловий транспорт
27 - транспорт

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпро – 2017

Дисертацією є рукопис.

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

Наукові консультанти: – доктор технічних наук, професор

РИБКІН Віктор Васильович,

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, завідувач кафедри «Колія та колійне господарство»;

доктор технічних наук, професор

МЯМЛІН Сергій Віталійович,

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, проректор з наукової роботи.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

ЄРШОВА Ніна Михайлівна,

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, завідувач кафедри «Прикладна математика», м. Дніпро;

доктор технічних наук, с.н.с.

РАДЧЕНКО Микола Олексійович,

Інститут транспортних систем і технологій НАН України, провідний науковий співробітник, м. Дніпро;

доктор технічних наук, професор

ШИРІН Леонід Нікіфорович,

ДВНЗУ «Національний гірничий університет», завідувач кафедри «Транспортні системи і технології», м. Дніпро.

Захист відбудеться «01» червня 2017 року о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010,

м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна та на сайті університету <http://diit.edu.ua/> (Наука – Захисти у раді Д 08.820.01).

Автореферат розісланий «30» квітня 2017 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01,

доктор технічних наук, професор



А. М. Муха

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Залізничний транспорт є провідною галуззю в транспортно-дорожньому комплексі України, який забезпечує 58% вантажообігу і 36% пасажирообігу країни. Більше половини вантажів, що перевозяться магістральними залізницями, навантажуються на коліях промислових підприємств. Наразі загальною частиною елементів інфраструктури залізниць практично вичерпано технічний ресурс через велику ступінь фізичного зносу та відхилення від необхідного обсягу проведення регламентних ремонтних та відновлювальних робіт, що ставить під загрозу їх подальше ефективне та безпечне функціонування.

В рамках концепції подальшого розвитку інфраструктури залізничного транспорту України передбачено дотримання міждержавних стандартів Європейського Співтовариства. У Директиві 2008/57/ЄСІ зазначено «Існують суттєві відмінності між національними регламентами та внутрішніми правилами, технічними специфікаціями, які застосовуються на залізницях, оскільки вони включають технології, що є специфічними для галузей національної промисловості, та передбачають спеціальні розміри, прилади та характеристики... Зокрема, необхідно встановити чітку межу між стандартами чи частинами стандартів, які мають бути обов'язковими з метою досягнення цілей цієї Директиви, та «гармонізованими» стандартами, що були розроблені у дусі нового підходу до технічної гармонізації та стандартизації». За Директивою 2004/49/ЄС «Національні правила безпеки, які часто базуються на національних технічних стандартах, повинні поступово замінюватися правилами, які базуються на загальних стандартах, встановлених технічними стандартами експлуатаційної сумісності. Введення нових особливих національних правил, які не базуються на таких загальних стандартах, повинно зводитися до мінімуму. Нові національні правила повинні відповідати законодавству Співтовариства та полегшувати перехід до загального підходу до безпеки на залізниці.». Отже, з'явилась необхідність у розробці механізму приведення нормативної бази застосованої на транспорті в Україні до законодавства Співтовариства, про що зазначено у «Транспортній стратегії України на період до 2020 року», яка затверджена Розпорядженням Кабінету Міністрів України № 2174-р від 20.10.2010 р. У зв'язку з цим основним напрямком удосконалення нормативної бази на залізничному транспорті України за останні роки стало врахування реального технічного стану елементів інфраструктури та рухомого складу з безумовним дотриманням вимог безпеки руху. Оцінка показників безпечної експлуатації конструкцій магістральної та промислової залізничної колії, як підсистеми інфраструктури залізничного транспорту, повинна базуватись на дотриманні вимог з її надійної та функціонально безпечної роботи. Відсутність методів і критеріїв оцінки та прогнозування роботи колії під впливом рухомого складу з урахуванням довговічності та рівня повноти безпеки взаємодії колії та рухомого складу потребує проведення додаткового наукового дослідження.

Удосконалення методів оцінки роботи колії під впливом рухомого складу за такими показниками надійності як коефіцієнт готовності та коефіцієнт технічної готовності, які поєднують технічний, економічний та функціональний аспекти роботи колії, надасть можливість: оцінювати та прогнозувати транспортно-експлуатаційний стан і терміни безпечної експлуатації залізничної колії протягом терміну її експлуатації, що характеризує тривалість життєвого циклу роботи колії; вирішувати завдання з улаштування та утримання елементів конструкції залізничної колії для забезпечення показників довговічності та систематизувати вимоги до стану колії та рухомого складу для забезпечення необхідного рівня безпеки їх взаємодії. Тому тема дисертаційної роботи, що пов'язана з розробкою наукових основ оцінки роботи залізничної колії під впливом рухомого складу з урахуванням довговічності та рівня повноти безпеки взаємодії колії та рухомого складу, є актуальною для залізничного магістрального та промислового транспорту.

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

Напрямок досліджень дисертаційної роботи пов'язаний з Концепцією формування сталої національної транспортної політики всіх видів транспорту та засад (стратегії), Транспортною стратегією України на період до 2020 року, що затверджена Розпорядженням Кабінету Міністрів України № 2174-р від 20.10.2010 р., та Державною цільовою програмою реформування залізничного транспорту на 2010-2019 рр., що затверджена Постановою Кабінету Міністрів України №1390 від 16.12.2009 р., а також зобов'язань у частині імплементації законодавства ЄС у рамках Угоди про асоціацію, та з виконанням науково-дослідних робіт у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, що виконувались за завданням Департаменту колії та споруд господарства ПАТ «Укрзалізниця» та промислових підприємств з виробництва та експлуатації рухомого складу і елементів інфраструктури. За наступними науково-дослідними роботами: «Дослідження параметрів деформативності колії та розробка критеріїв її оцінки» (ДР №0107U005240); «Експериментальні дослідження впливу на колію та стрілочні переводи двох дослідних зразків напіввагонів на візках моделі ICG Motion-Control з навантаженням на вісь 25 тс та напіввагона-еталона на візках моделі 18-100 з навантаженням на вісь 23,5 тс.» (ДР №0108U003889); «Проведення досліджень та розробка нормативів щодо умов укладання безстикової колії з рейками типу UIC60 та перспективними конструкціями проміжних скріплень» (ДР №0108U003893); «Проведення досліджень захисного шару земляного полотна та розробка рекомендацій щодо його оптимальної жорсткості» (ДР №0110U006297); «Проведення досліджень фізико-механічних властивостей матеріалів "відпрацьованого" баластного шару, розробка рекомендацій щодо повторного використання цих матеріалів або їх утилізації» (ДР №0111U010324); «Розробка наукових основ і техніко-економічне обґрунтування етапів впровадження швидкісного та високошвидкісного руху

поїздів в Україні» (ДР №0114U002549), автор є керівником та виконавцем і співавтором науково-технічних звітів.

Мета і задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є розвиток наукових основ оцінки роботи залізничної колії під впливом рухомого складу шляхом розробки сучасних методів визначення раціонального, з точки зору технічного використання колії, співвідношення фактичних умов експлуатації колії, періодичності міжремонтних схем та характеристик елементів конструкції колії.

Задачі досліджень: Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Проаналізувати нормативну базу та результати основних напрямків дослідження параметрів взаємодії залізничної колії та рухомого складу.

2. Удосконалити метод визначення напружено-деформованого стану елементів конструкції залізничної колії з урахуванням просторового розповсюдження пружних хвиль при взаємодії колії і рухомого складу.

3. Розробити метод теоретичної оцінки деформативної роботи колії за параметрами взаємодії колії та рухомого складу на основі математичного моделювання роботи колії під впливом рухомого складу.

4. Розробити математичну модель просторових коливань елементів конструкції залізничної колії, як механічної системи, з урахуванням зовнішнього впливу рухомого складу на динамічні деформативні процеси в елементах конструкції залізничної колії із застосуванням положень теорій пружності та просторового розповсюдження пружних хвиль.

5. Провести експериментальну оцінку достовірності розробленої математичної моделі просторових коливань залізничної колії.

6. Визначити вихідні дані для теоретичних досліджень, що пов'язані з параметрами процесу контакту коліс з рейками в залежності від технічного стану рейок з урахуванням горизонтальних переміщень колісної пари при її звивистому русі залізничною колією.

7. Сформулювати комплекс оціночних умов за допустимими відхиленнями при влаштуванні й утриманні рейкової колії, в якості основи класифікації надійності залізничної колії.

Об'єкт досліджень – процес динамічної навантаженості конструкції залізничної колії під впливом рухомого складу.

Предмет досліджень – параметри взаємодії залізничної колії та рухомого складу залізниць магістрального та промислового транспорту.

Методи досліджень. В роботі використано комплексний метод досліджень на основі системного підходу, який включає теоретичну та експериментальну частини. Для проведення теоретичних досліджень у вигляді аналітично-чисельних розрахунків при описі впливу рухомого складу на колію та визначенні напружено-деформованого стану в елементах конструкції колії від взаємодії колії і рухомого складу використано методи математичного та фізичного моделювання, розрахунку елементів конструкції колії на вигин та

кручення із застосуванням теорій пружності та розповсюдження пружних хвиль. При описі передачі силової хвилі між елементами механічної системи використовуються методи аналізу і синтезу. Експериментальні дані отримано з використанням методів тензометрії та вимірювання параметрів колії контрольно-вимірювальною системою з аналого-цифровим перетворенням електричних сигналів. Обробку експериментальних даних проведено на ПЕОМ із застосуванням загально використовуваних методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів

Вперше:

- формалізовані поняття «статична деформативність колії», «динамічна деформативність колії», «деформативна робота колії», «життєвий цикл деформативної роботи колії», які характеризують явища, що відбуваються в елементах та конструкції колії під впливом рухомого складу протягом терміну її експлуатації, що дозволило сформулювати загальні методи оцінки роботи залізничної колії магістрального та промислового транспорту;

- формалізовані додаткові критерії оцінки роботи елементів та конструкції колії під впливом рухомого складу, які, на відміну від існуючих, враховують деформативні властивості елементів та конструкції магістральних та промислових колій і забезпечують необхідні показники довговічності, як на стадії проектування, так і експлуатації;

- розроблено метод теоретичної оцінки деформативної роботи колії за параметрами взаємодії колії та рухомого складу, який на відміну від існуючих дозволяє визначати раціональне, з точки зору технічного використання колії, співвідношення фактичних умов експлуатації колії, періодичності міжремонтних схем та характеристик елементів конструкції колії;

- отримано аналітичні залежності з визначення особливостей розповсюдження динамічного навантаження, які на відміну від існуючих, враховують два види частот передачі динамічного навантаження, змінну направленість в часі та зв'язок між амплітудами коливань як усередині елементів, так і при переході від одного елемента до іншого, та дозволяють описати процес розповсюдження силової хвилі в конструкції колії магістральних та промислових колій від впливу рухомого складу;

- розроблено математичну модель просторових коливань елементів конструкції залізничної колії як механічної системи, яка відрізняється від існуючих математичних моделей більш досконалим врахуванням фізико-механічних та геометричних параметрів елементів конструкції колії, та дозволяє при моделюванні зовнішньої дії рухомого складу, виконувати дослідження динамічних деформативних процесів системи елементів конструкції залізничної колії із застосуванням положень теорій пружності та просторового розповсюдження пружних хвиль і отримувати результати розповсюдження деформативного процесу колії за часом їх впливу з урахуванням зворотної реакції елементів;

- в якості основи класифікації надійності залізничної колії, розроблено нову систему оціночних умов технічних станів колії за станами надійності з використанням відомих принципів оцінки колії за допустимими відхиленнями при влаштуванні й утриманні рейкової колії, що дозволяє оцінювати та прогнозувати транспортно-експлуатаційний стан залізничної колії магістрального та промислового транспорту;

- доведена залежність між формою деформації елементів колії під впливом рухомого складу та співвідношенням часу дії навантаження до часу розповсюдження силових хвиль в елементах за напрямками розповсюдження, що дозволяє пояснити основну відмінність роботи колії промислових підприємств, та встановлювати умови сприймання навантажень елементами конструкції колії;

- досліджено поведінку процесу виникнення та розповсюдження силових хвиль в елементах і конструкції колії і показано можливість спрямованого регулювання процесу деформативності залізничної колії магістрального та промислового транспорту шляхом зміни характеристик матеріалів та конструкції елементів залізничної колії, що дозволяє обирати конструкцію колії або заходи щодо її посилення із забезпеченням певного рівня повноти безпеки та терміну служби.

Удосконалено:

- метод розрахунку елементів конструкції колії на вигин, як елементів певних профілів та довжин з визначеними характеристиками і міжелементними зв'язками, що дає можливість, на відміну від існуючих методів, враховувати хвильовидну природу передачі навантажень при взаємодії елементів конструкції колії, та дозволяє моделювати контактні площини і сили в залежності від тривалості процесу;

- метод розрахунку елементів конструкції колії на кручення, як елементів певних профілів та довжин з певними характеристиками і міжелементними зв'язками, що дає можливість, на відміну від існуючих методів, враховувати дії динамічних сил певної інтенсивності та часу дії, та досліджувати переміщення рейко-шпальної решітки під час руху рухомого складу з урахуванням не тільки навантаження, а і зворотної реакції залізничної колії;

- метод розрахунку характеристик і конструкцій захисного шару, який забезпечує несучу здатність нижньої будови колії, її пружні залишкові деформації в нормативних межах при розв'язанні задачі раціонального устрою залізничної колії, що дає можливість, на відміну від існуючих методів, враховувати напрямок та інтенсивність діючих навантажень, та обирати характеристики і конструкцію захисного шару з певними дисипативними властивостями.

Отримали подальший розвиток:

- комплекс функціональних моделей елементів конструкції колії на основі використання теорій пружності та розповсюдження хвильового процесу, що дає можливість, на відміну від існуючих моделей, визначати просторовий деформативний стан елементів конструкції колії, встановлювати концентрації

напружень і деформацій, прогнозувати подальший розвиток поведінки як окремих елементів, так і конструкції в цілому;

-метод синтезу моделей елементів конструкції колії та рухомого складу на основі використання теорій пружності та розповсюдження хвильових процесів, що дає можливість, на відміну від існуючих методів, передавати силову хвилю від взаємодії коліс з рейками за допомогою імпульсів, та розв'язати проблему відображення фізики процесу при взаємодії колії і рухомого складу з врахуванням часу та інтенсивності силового впливу рухомого складу.

Практичне значення отриманих результатів Практичне значення отриманих в дисертації результатів досліджень полягає в тому, що запропоновані та обґрунтовані моделі і методи дозволяють у кожному конкретному випадку залежно від конструктивних особливостей устрою колії встановлювати раціональний режим експлуатації даної ділянки, і, навпаки, дає можливість для заданих умов експлуатації визначити за критеріями деформативності та надійності конструкцію колії, або технічні заходи щодо її посилення.

Результати проведених досліджень, можуть бути використані в інженерній практиці: при оцінці рівня вібрацій як конструкції, так і окремих елементів залізничної колії; при проведенні експертиз зі сходу з рейок коліс рухомого складу.

На основі аналітико-числового аналізу розроблених математичних моделей можна: прогнозувати транспортно-експлуатаційний стан залізничної магістральної та промислової колій; оцінювати ефективність віброзахисних заходів та пружний опір руху поїздів підвищеного навантаження промислових підприємств; обирати матеріали з певними властивостями для досягнення раціонального рівня напружено-деформованого стану конструкції колії та забезпечення певного терміну служби.

Розвинений в дисертації теоретично-експериментальний напрямок дозволяє оцінювати ефективність нових конструктивних рішень залізничної колії, особливо в умовах високих швидкостей руху, а також вплив вібрації на довколишні будівлі, споруди, інфраструктуру.

Використання запропонованих в дисертації теоретичних положень дозволяє удосконалити методи оцінки та прогнозування роботи колії під впливом рухомого складу з урахуванням довговічності та рівня повноти безпеки взаємодії колії та рухомого складу. Та на їх основі створити механізм приведення національних технічних стандартів застосованих на магістральному та промислового залізничному транспорті в Україні до законодавства Співтовариства.

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними актами: в початковий процес при викладанні дисциплін «Надійність та технічна діагностика залізничної колії», «Залізнична колія» при підготовці бакалаврів за напрямком підготовки «Залізничні споруди та колійне господарство» (від 19.12.2016 р., 20.12.2016 р.), ПАТ «Укрзалізниця»

Департаментом колії та споруд (від 20.02.2017 р.), Львівським науково-дослідним інститутом судових експертиз (від 9.12.2016 р.).

Особистий внесок здобувача. Постановку задачі дисертаційного дослідження виконано сумісно з науковим консультантом. Наукові, методичні і практичні положення, винесені на захист, є авторськими. У наукових працях, що опубліковані в співавторстві, особистий внесок автора наступний: [12, 14, 21, 24] – визначення критеріїв оцінки якості роботи колії, [16, 19, 28] – питання щодо формування показників експлуатаційної надійності роботи стрілочних переводів, [11, 15, 22, 27, 29, 31, 33-35] – сформульовано принципи вирішення задач надійності засобами моделювання залізничної колії на основі теорії розповсюдження пружних хвиль, [20, 26, 30, 44] – запропоновано критерій оцінки результатів визначення модуля пружності колії, [25] – розрахунки стійкості безстикової колії, [5, 32] – питання щодо моделювання напружено-деформованого стану в елементах скріплення, [38] – питання адаптації європейських технологій щодо відновлення земляного полотна на залізницях України. Роботи [1-4, 6-10, 13, 17, 18, 23, 36, 37, 39-43] – надруковані без співавторів.

Апробація результатів дисертації. Основі положення та результати дисертації усно докладалися на: XII-й, XIII-й, XIV-й Міжнародних науково-практичних конференціях по проблемах механіки залізничного транспорту (м. Дніпропетровськ, травень 2008, 2012, 2016 рр.), 69-й, 71-й, 74-й, 75-й Міжнародних науково-практичних конференціях по проблемах та перспективах розвитку залізничного транспорту (м. Дніпропетровськ, травень 2009, 2011, 2014, 2015 рр.), V-й Міжнародній науково-практичній конференції по проблемах та перспективах розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту (м. Київ, квітень 2013 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу», присвяченій 100-річчю професора М.А. Фрішмана (м. Дніпропетровськ, вересень 2013 р.), Міжнародному технічному семінарі «Перспективні технології ремонту земляного полотна та верхньої будови колії» (м. Львів, березень 2015 р.), VI-й Міжнародній науково-практичній конференції «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості» (сmt. Воловець, Закарпатської обл., Воловецький р-н, червень 2015 р.), Міжнародній науково-практичній конференції ім. Сокола Е. М. «Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд» (м. Львів, вересень, 2015 р.).

В повному обсязі дисертація доповідалась на міжкафедральному семінарі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна (27.12.2016 р.).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані у 44-х наукових працях, з них 21 науково-технічна стаття у фахових виданнях [1-9, 12-23], дев'ять з яких включені до міжнародних наукометричних баз («Scopus» - [1, 2] та «Index Copernicus» – [3-9]), 2 статті в іноземних виданнях [10, 11], 1 додаткова стаття [44], та 20 тез доповідей на наукових конференціях [24-43].

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та п'яти додатків. Повний обсяг складає 328 сторінок друкованого тексту, у тому числі: 47 рисунків, 41 таблиця, список літератури з 391 найменувань займає 40 сторінок, додатки викладено на 33 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У першому розділі узагальнено багаторічний досвід досліджень напружено-деформованого стану колії. Проведено ретроспективний огляд удосконалювання розрахункової схеми та методики врахування ймовірного характеру діючих на колію впливів. Описано розвиток математичних методів розв'язання динамічних задач теорії пружності і в'язкопружності та методів оцінки роботи залізничної колії магістрального та промислового транспорту. Приведено методики експериментального визначення напружено-деформованого стану колії.

Фундаментальні дослідження в області проблем механіки суцільних середовищ пов'язані з іменами таких учених-механіків як В.Г. Альбрехт, Д. Ахенбах, В.А. Бабешко, Є.П. Блохін, М.Ф. Вериги, Є. Вінклер, Е.І. Даніленка, В.Д. Данович, А.Н. Даренський, Д. Друккер, М.М. Герсєванов, О.П. Єршков, Н.М. Ершова, К. Кноте, О.Я. Коган, В.А. Лазарян, В.С. Лисюк, С.В. Мямлін, В.О. Певзнер, В. Прагер, Л. Прандтль, К. Поппа, Н.П. Пузиревський, М. О. Радченко, В.В. Рибкін, Сен-Венан, Е.М. Сокол, К. Терцагі, В.Ф. Ушкалов, М.А. Фрішман, Ф. Ходжа, Х. Циммерман, Г.М. Шахунянц, Л.Н. Ширін, Н.А. Шульга та інші.

Проблема з оцінки та прогнозування надійної та функціонально-безпечної роботи колії є частиною загального розуміння і підходу до управління показниками надійності і безпеки об'єктів залізничного транспорту з позицій оцінки ризиків і вартості життєвого циклу. Над її вивченням і рішенням працювали та продовжують працювати не тільки окремі вчені, але й окремі організації ВНДІЗТ, ДНУЗТ, МГУПС, ПГУПС та інші.

Аналіз розвитку існуючих досліджень показав, що основними прийомами, якими користуються при рішенні задач за сучасними методиками, є детерміністична постановка проблеми та застосування апроксимуючих функцій. При наявності численних результатів досліджень роботи елементів конструкції залізничної колії окремо, конструкції залізничної колії в цілому, впливу рухомого складу на колію та роботи системи «екіпаж – колія» до сих пір відсутня фізично обґрунтована загально признана методика з визначення механізмів передачі навантажень від рухомого складу на колію в часі. Існує проблема, пов'язана з відсутністю методу визначення параметричних даних розповсюдження взаємодії колії та рухомого складу.

Аналіз нормативної бази стосовно оцінки роботи залізничної колії показав, що основними параметрами оцінки є параметри міцності елементів колії та

стійкості рейко-шпальної решітки й нижньої будови колії, при дотриманні яких діагностуються геометричне положення колії у плані та профілі, наявність габаритів, а також проведення неруйнівного контролю стану рейок та стрілочних переводів (його елементів) із застосуванням відповідного обладнання. Але зазначені параметри та діагностування призначені для фіксування відхилень або дефектів та не дозволяють прогнозувати виконання превентивних робіт з обслуговування та ремонту об'єктів інфраструктури і недопущення змін у їх технічному стані, який не забезпечує необхідний рівень безпеки руху та обсяги перевезень. Оскільки без встановлення зв'язку між умовами функціонування елементів колії та роботою конструкції колії не може бути забезпечено повноту рівня безпеки протягом терміну експлуатації через ризик, що при певних умовах роботи елементів колія не буде задовольняти певним функціям безпеки.

На основі аналізу нормативної бази та результатів основних напрямків дослідження параметрів взаємодії залізничної колії та рухомого складу, сформульована проблема з оцінки роботи колії під впливом рухомого складу та основні комплексні підходи і напрямлення її рішення.

У другому розділі розроблено метод теоретичної оцінки деформативної роботи колії за параметрами взаємодії колії та рухомого складу на основі математичного моделювання роботи колії під впливом рухомого складу.

Для дослідження розвитку процесів, що відбуваються в конструкції колії під впливом рухомого складу, були введені поняття та критерії оцінки роботи елементів та конструкції колії, які розкривають суть досліджень та встановлюють зв'язки між умовами функціонування елементів колії та роботою конструкції колії. До введених понять відносяться:

- статична деформативність колії - виникнення пружних деформацій у навантаженій конструкції колії, викликаних як пружними змінами форми або розмірів елементів конструкції колії чи їхніх частин, так і обумовлені цими змінами переміщення окремих точок конструкції колії;

- динамічна деформативність – виникнення під впливом навантаження конструкції колії деформацій, викликаних змінами форми, розмірів або об'єму елементів, вібрацією елементів конструкції колії чи їхніх частин, змін властивостей матеріалів елементів та обумовлені всіма перемінами переміщення окремих точок конструкції колії;

- деформативна робота колії - процес динамічної деформативності, що відбуваються під впливом рухомого складу;

- життєвий цикл деформативної роботи колії - сукупність взаємопов'язаних, послідовно здійснюваних процесів деформативності роботи колії від початкового укладання до виведення з експлуатації та утилізації.

До введених критеріїв оцінки роботи елементів та конструкції колії відносяться:

а) робота елементу - робота сили, що діє на елемент конструкції колії :

$$A = \int_{t_1}^{t_2} P u dt, \quad (1)$$

де P - сила, що діє на елемент конструкції колії;

u - переміщення, яке сила викликає під час впливу $[t_1, t_2]$.

б) робота колії, як сума робіт, що виконують всі елементи конструкції колії в одному перетині від впливу рухомого складу з урахуванням часу сприймання та реакції елементів на вплив:

$$A = \sum_{i=1}^n \int_{t_1}^{t_2} A_i, \quad (2)$$

де A_i - робота окремого елементу конструкції колії в інтервалі часу переробки впливу сили на елемент $[t_1; t_2]$,

n - кількість елементів, що сприймають навантаження від впливу рухомого складу в одному перетині колії.

Новий підхід в оцінці роботи залізничної колії під впливом рухомого складу полягає в оцінці деформативної роботи колії, яка, характеризує інтенсивність використання колії при різних умовах навантаження та характеристиках конструкції. За базові значення приймаються величини деформативної роботи колії, що розраховані за нормативними навантаженнями та характеристиками конструкції колії відповідно до категорій колії. Збільшення навантажень, або погіршення характеристик конструкції колії призводять до збільшення значень деформативної роботи, більших амплітуд коливання колії при тієї ж кількості циклів роботи, що передбачені нормативами. Такі умови призводять до інтенсивнішого використання елементів колії та, як наслідок, зменшенню їх ресурсу. Отже, запропоновані критерії будуть використані для оцінки та прогнозування життєвого циклу функціонування залізничної колії.

Постановка динамічної задачі з визначення процесу деформативної роботи елементів залізничної колії зводиться до того, що в заданій області Ω необхідно знайти поля напружень σ_{ij} , деформацій ε_{ij} , переміщень u_i та щільності ρ_i , що задовольняють рівнянням в будь-який момент часу t :

руху:

$$\nabla^2 u_i + \frac{1}{1-2\nu} \Theta_{,i} = -\frac{\rho}{\mu} \left(f_i - \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} \right); \quad (3)$$

граничним умовам:

$$\sigma_{ij} n_j = \tau_i; \quad (4)$$

залежностям Гуку:

$$\begin{aligned} \sigma_{ij} &= \lambda \Theta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij}, \\ \Theta &= j_1(\varepsilon_{ij}) = \text{div} u; \end{aligned} \quad (5)$$

залежностям Коші:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}); \quad (6)$$

збереженню маси:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \operatorname{div} \bar{v} = 0. \quad (7)$$

Одиничність рішення досягається шляхом формування початкових:

$$\begin{cases} u|_{t=0} = \phi_0(x, y, z), \\ \left. \frac{\partial u}{\partial t} \right|_{t=0} = \phi_1(x, y, z), \end{cases} \quad (8)$$

та граничних умов:

$$u|_s = f(x, y, z, t). \quad (9)$$

Рішення рівнянь за ф. 3...9, приводять до системи рівнянь щодо визначення складових переміщення u_x, u_y, u_z :

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} + \frac{1}{1-2\nu} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = \frac{\rho k s_x}{\mu V_i} + \frac{\rho h \partial s_x}{\mu \partial t} - \rho K g + \frac{\rho}{\mu} \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial z^2} + \frac{1}{1-2\nu} \cdot \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = \frac{\rho k s_y}{\mu V_i} + \frac{\rho h \partial s_y}{\mu \partial t} - \rho L g + \frac{\rho}{\mu} \frac{\partial^2 u_y}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} + \frac{1}{1-2\nu} \cdot \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = \frac{\rho k s_z}{\mu V_i} + \frac{\rho h \partial s_z}{\mu \partial t} - \rho M g + \frac{\rho}{\mu} \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2}; \\ \left(\lambda \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) + 2\mu \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) Z = \tau_z. \end{cases} \quad (10)$$

Всі рівняння належать до неоднорідних диференціальних рівнянь гіперболічного типу другого порядку з частковими похідними. Вони мають одну послідовність розв'язання, тому далі наведено цю послідовність, де складова за напрямком, відносно якої йде розв'язання, позначена як j :

$$\left(\frac{\partial^2 u_j}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_j}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_j}{\partial z^2} \right) \frac{\mu}{\rho} + \left(K g - \frac{k}{V_i} s_j - \frac{h}{V_i} \frac{\partial s_j}{\partial t} \right) = \frac{\partial^2 u_j}{\partial t^2}. \quad (11)$$

Загальне рішення визначається як:

$$u_j = \int_0^t v_j(x, y, z, t, \tau) d\tau, \quad (12)$$

$$\frac{\partial^2 u_j}{\partial t^2} = \int_0^t \frac{\partial^2 v_j}{\partial t^2} dt + \left(K g - \frac{k}{V_i} s_j - \frac{h}{V_i} \frac{\partial s_j}{\partial t} \right), \quad (12)$$

$$v_j = T(t) X(x) Y(y) Z(z). \quad (13)$$

Залежності незалежних змінних визначаються з рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{\rho}{\mu} \frac{\partial^2 T(t)}{\partial t^2} + k_1^2 T(t) &= 0, \\ \frac{\partial^2 X(x)}{\partial x^2} + k_2^2 X(x) &= 0, \end{aligned} \quad (14)$$

$$\frac{\partial^2 Y(y)}{\partial y^2} + k_4^2 Y(y) = 0 ,$$

$$\frac{\partial^2 Z(z)}{\partial z^2} + k_5^2 Z(z) = 0 .$$

Отже:

$$v_j = \frac{\sqrt{\rho}}{2\sqrt{\mu k_1}} (Kg + K_U sj - K_T s j t) \sin\left(\frac{\sqrt{\mu k_1}(t - \tau)}{\sqrt{\rho}}\right),$$

$$k_1 = \sqrt{\frac{\pi^2(n^2 + l^2)}{C_i^2 t^2} + \frac{\pi^2 m^2}{C_i^2 t^2}} .$$
(15)

Далі в заданій області Ω за напрямками розповсюдження, які характеризують V_i об'єм, що займає імпульс в певний час, визначаються поля напружень σ_{ij} , деформацій ε_{ij} та щільності ρ_i на момент часу t для розглянутого інтервалу Δt .

Якщо розглядати колію як модель створену засобами теорії розповсюдження пружних хвиль, що уявляє собою систему об'єктів, яка володіє властивістю замкнутої системи, то цілком можливо використовувати всі закони збереження, що таким чином, дає можливість говорити про зміну енергії як системи в цілому, так і кожного елементу колії зокрема за будь-який час роботи, тобто протягом деякого часу. Адаптація зміни енергії конструкції колії і кожного елемента зокрема до норм та допусків улаштування та утримання надає можливість перейти до визначення її (та їх) стану в залежності від умов експлуатації та утримання. Величини зміни енергії дозволяють прогнозувати стан колії, тобто оцінювати та передбачати поведінку колії та її об'єктів з визначеною імовірністю, із врахуванням впливу кожного об'єкту конструкції колії та кожного параметру впливу самого об'єкту при певних впливах рухомого складу.

За законом термодинаміки:

$$\delta K + \delta U = \delta A + \delta Q$$
(16)

Значення зміни кінетичної енергії становить:

$$\delta K = \left(\frac{\partial K}{\partial t} \right) \delta t = \iiint_V \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} \delta u_i \rho dV$$
(17)

Значення зміни роботи, що здійснюється зовнішніми силами за той же елемент часу δt , становить:

$$\delta A = \iiint_V (\sigma_{ij,j} + \rho f_i) \delta u_i dV + \iiint_V \sigma_{ij} \delta u_{i,j} dV$$
(18)

Зміна внутрішньої енергії тіла δU дорівнює сумі зміни роботи деформації та теплової енергії δQ , що передається тілу:

$$\delta U = \iiint_V \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV + \delta Q$$
(19)

Для рішення питання стосовно забезпечення повноти безпеки роботи конструкції колії протягом терміну експлуатації запропоновано, по-перше,

сформуванати комплекс оціночних умов за допустимими відхиленнями при влаштуванні й утриманні рейкової колії відповідно міждержавному стандарту ГОСТ 32192-2013. По-друге, для кожного елементу конструкції колії сформуванати комплекс оціночних умов станів надійності елементів колії за допустимими відхиленнями конструкції та властивостей матеріалу, що відбуваються в процесі експлуатації та впливають на їх функціонування протягом експлуатації. По-третє, з використанням запропонованих критеріїв деформативної роботи, визначити вплив сукупної зміни станів елементів на функціонування конструкції колії та за існуючими вимогами влаштування й утримання конструкції колії сформуванати комплекс оціночних умов станів колії за допустимими відхиленнями в елементах конструкції колії. Перша пропозиція реалізована в роботі, друга пропозиція передбачає проведення подальших додаткових експериментів, для третьої пропозиції розроблено математичну модель, що дозволить, на основі першої і другої пропозицій та існуючої нормативної документації, сформуванати комплекс оціночних умов станів надійності конструкції колії за станами надійності елементів колії.

Для оцінки та прогнозування життєвого циклу функціонування залізничної колії, на основі вищенаведених пропозицій, запропоновано алгоритм методу оцінки деформативної роботи колії за параметрами взаємодії колії та рухомого складу, рис. 1. За ним для певної ділянки колії визначається раціональне, з точки зору технічного використання колії, співвідношення між умовами експлуатації, періодичності міжремонтних схем та конструкцією колії шляхом оцінки втрат при їх різних варіаціях.

Для застосування зазначеного методу розроблено математичну модель роботи конструкції залізничної колії з урахуванням просторового розповсюдження пружних хвиль при взаємодії колії та рухомого складу. Алгоритм розрахунку за розробленою моделлю наступний:

$$\begin{aligned} L_F &= \{\{a_1, a_2, a_i, \dots\}, \{b_1, b_2, b_i, \dots\}, \{\delta_1, \delta_2, \delta_i, \dots\}\}, \quad P_F = f(L_F, V, F), \quad T = \{\{t_1, t_2, t_i, \dots\}\}, \\ K &= \{\{\omega_1, \omega_2, \omega_i, \dots\}, \{s_1, s_2, s_i, \dots\}\}, \quad \omega_i = \{\{g_{i1}, g_{i2}, g_{ij}, \dots\}, \{\varphi_{i1}, \varphi_{i2}, \varphi_{ij}, \dots\}\}, \\ F_A &= \{\{A_{11}, A_{12}, A_{pl}, \dots\}, \{B_{11}, B_{12}, B_{sm}, \dots\}\}, \quad Y = \{\{y_{11}, y_{12}, y_{ik}, \dots\}\}, \\ (\forall S_F &= f(K, P_F, F_A)) (\exists R_F = f(K, F_A), \forall \omega_i | K) (Y = f(P_F, R_F, T)), \end{aligned} \quad (20)$$

де L_F, a_i, b_i, δ_i - відповідно: траєкторія руху коліс, довжина та ширина площадки контакту, зазор між колесом та рейкою в момент контакту;

$V, F, P_F, T, \omega_i, F_A, R_F, Y$ - множина відповідно: навантажень, швидкостей руху, параметрів імпульсу навантажень, часу, елементів колії, силових хвиль за напрямком, реакційних хвиль за напрямком, деформативних станів моделі;

$K, s_i, g_{ij}, \varphi_{ij}, A_{pl}, B_{sm}, y_{ik}$ - відповідно: збірка елементів колії, зв'язки між елементами, j -й елемент множини геометричних розмірів та фізико-механічних властивостей елементу ω_i , l -й, m -й елемент множини параметрів розповсюдження поздовжніх та поперечних хвиль за напрямком, k -й елемент деформативних станів елементу ω_i .

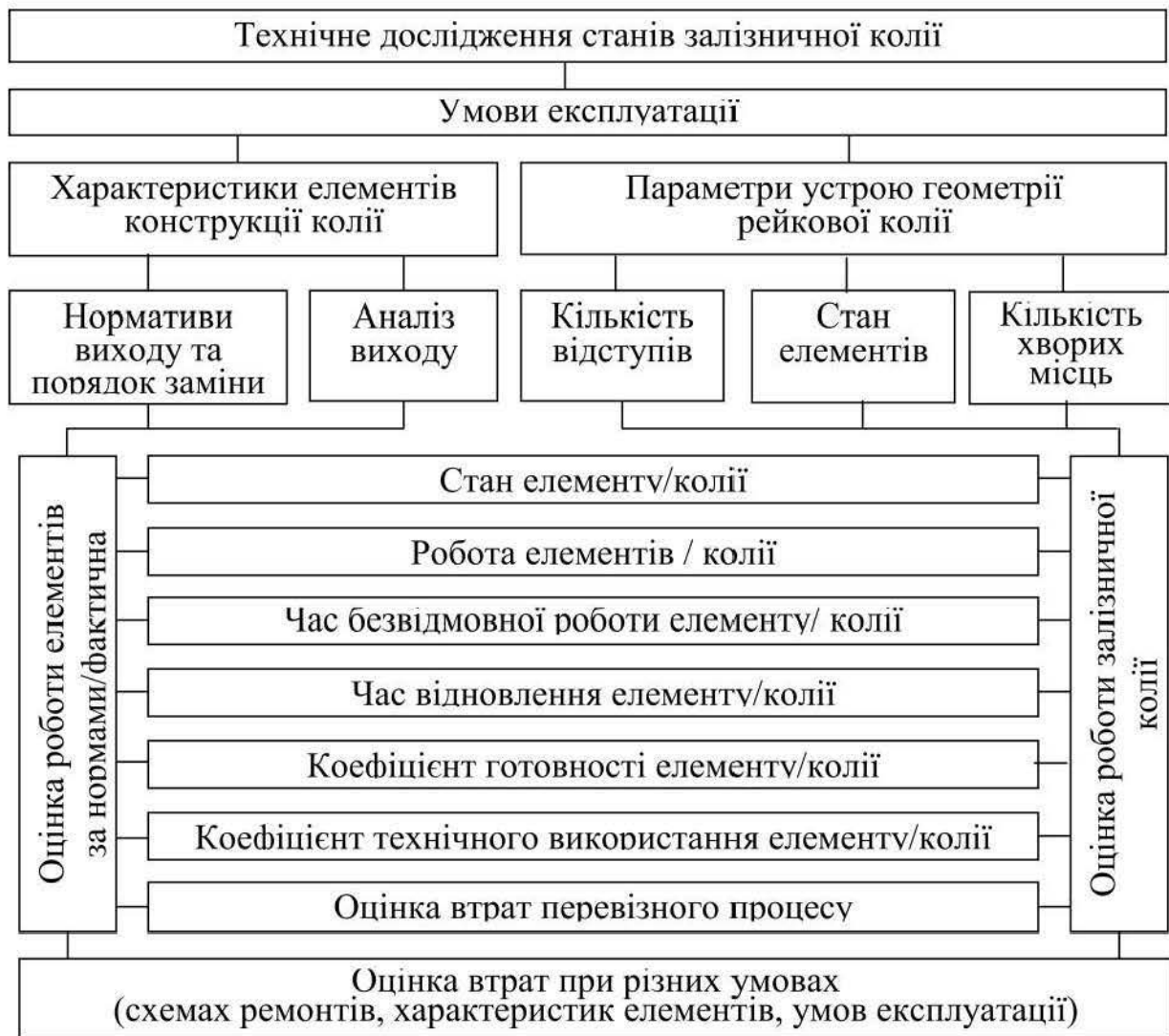


Рис. 1 Алгоритм методу оцінки деформативної роботи колії.

Розроблена модель дозволяє перейти від дискретних методів передачі навантажень на колію в одному перетині до безперервних просторових. Механізм передачі впливу рухомого складу на колію описано у виді імпульсів, що передаються за траєкторією руху коліс по контактним площадкам колеса та рейки за часом, в залежності від швидкості руху. Передача імпульсу по конструкції колії за часом здійснюється за напрямками розповсюдження силових хвиль. Для опису розповсюдження в елементах конструкції колії та між ними використано властивості хвиль. Дисипативні сили враховано наявністю сил внутрішнього тертя в елементах та сил тертя, що виникають при контактуванні взаємодіючих елементів колії. Такий підхід забезпечує врахування часу та неоднорідності розповсюдження навантажень від рухомого складу в елементах конструкції колії з урахуванням реакції елементів на вплив.

Отже, в розділі удосконалено метод визначення напружено-деформованого стану елементів конструкції залізничної колії з урахуванням просторового розповсюдження пружних хвиль при взаємодії колії і рухомого складу; розроблено метод теоретичної оцінки деформативної роботи колії за параметрами взаємодії колії та рухомого складу; розроблено математичну модель просторових коливань елементів конструкції залізничної колії, як механічної системи, з

урахуванням зовнішнього впливу рухомого складу на динамічні деформативні процеси в елементах конструкції залізничної колії із застосуванням положень теорій пружності та просторового розповсюдження пружних хвиль.

У третьому розділі проведено експериментальну оцінку достовірності розробленої моделі. За порівнянням параметрів напружено-деформованого стану колії під впливом пасажирського рухомого складу, встановлено, що напруження в кромках рейок, отриманих за запропонованою моделлю просторових коливань конструкції залізничної колії відрізняються від отриманих експериментально на 2,3%, та демонструє якісний збіг результатів. Різниця результатів розрахунку та експерименту за вертикальними прогинами рейок становить 19,5%, що обумовлено особливостями розташування прогиномірів, виміри яких не враховують прогини баластного шару та земляного полотна.

За допомогою розміщення датчиків на нейтральну вісь рейки (аналогічно вимірам вертикальної сили, але направленими вздовж колії), підтверджено фіксування датчиками всіх видів деформацій рейки в певному перетині від впливу пасажирського рухомого складу. Так, при проходженні коліс над перетином виміру, датчики фіксували деформації від впливу вертикальної сили. Загальний стрибок від впливу вертикальних сил, при всіх записах незалежно від швидкості руху, мав форму трапеції. Бічні сторони мали різні кути нахилу до основ, але зберігалась постійна залежність: кути бокової сторони до основи трапеції при наїзді на перетин крутіші, ніж при віддаленні від нього.

За допомогою моделі пояснено особливості виміру горизонтальної сили за методом Шлюмпфа. Запропоновано для колії на залізобетонних шпалах дотримуватись зміщення датчиків при наклеїці за величиною меншою, ніж для колії на дерев'яних шпалах, де це зміщення становить 100 мм. Це пов'язано з тим, що для колії на залізобетонних шпалах при розповсюдженні впливу рухомого складу на колію відбиті коливання на 11% більші, ніж на дерев'яних шпалах, кути заломлення для поздовжніх хвиль менші на 4%, значення кутів заломлення для поперечних хвиль більші у 4,2 рази, швидкості передачі коливань за глибиною менші у 2,9...3,8 разів. Величина зміщення залежить від наявності зносу рейок і стану колеса. За методом Шлюмпфу при проведенні експерименту, порівняли виміри при наклеїці датчиків в одному перетині, зі зміщенням на 50 мм та зі зміщенням на 100 мм. Процеси, що записувались датчиками, наклеєними без зміщення, дуже сильно відрізнялись від двох інших як за знаком, так і за значеннями горизонтальної сили, які були у 1,26...1,63 разів вище, ніж зафіксовані датчиками при зміщенні на 50 мм. Процеси записані датчиками зі зміщенням 50 мм та 100 мм схожі за характером. Датчики, що наклеєні зі зміщенням 100 мм, фіксують значення сили у 1,1...1,84 рази нижче, ніж датчики зі зміщенням 50 мм.

Наведений аналіз вказує на те, що результати, отримані за запропонованою моделлю, підтверджуються експериментальними даними, що свідчить про достовірність розробленої математичної моделі просторових коливань залізничної колії. Показано можливість використання методу розповсюдження

імпульсу пружними хвилями при вирішенні задач розміщення датчиків.

У четвертому розділі проаналізовано види контактів рейок та коліс в залежності від технічного стану рейок, що використовуються на магістральних коліях та коліях промислових підприємств, з урахуванням горизонтальних переміщень колісної пари при її звивистому русі залізничною колією; та отримано аналітичні залежності з визначення особливостей розповсюдження динамічного навантаження від рухомого складу на елементи конструкції колії.

Вплив співвідношення ширини колії та параметрів коливання рухомого складу в поперечній площині оцінено y - ординатами геометричного центру контакту рейки та колісної пари відносно центрального положення колісної пари в прямій або в кривій:

$$y = y_0 \cos \omega x - y_R - y_p - y_{\text{вн}}, \quad (21)$$

де y_0 - максимальна амплітуда відхилення;

y_R - зміщення кінетичного центру кривої відносно її вісі;

y_p - відхилення положення рейки від плану (рихтовка),

$y_{\text{вн}}$ - динамічні відхилення рейки (віджими).

Центральне положення коліс в колії пов'язано величиною зазору між робочими боковими гранями рейок та коліс $\delta = S - g$, отже при відомих величинах зазорів обох контактів відомими є ординати центрального положення колісної пари в кривої та радіуси кочення по них обох коліс, але в ф. 21 не враховано вплив форми рейок при контакті з колесом. За аналізом зміни поверхні кочення рейки в залежності від наявності вертикального зносу спостережено різні умови щодо параметрів контактування з колесом. Так, в табл. 1 наведено значення ширини зони контактів з бандажем колеса та зазору між рейкою та гребенем колеса при контактуванні колеса зоною з конусністю 10 (ухил 1/20).

Таблиця 1

Ширина зони контактів рейки з бандажем в залежності від зносу рейки

Вертикальний знос, мм	Горизонтальний знос, мм	Зони контактів, мм	Зазор між рейкою та гребенем колеса
0,1	-	20	$0 < \delta < 22 \text{ мм}$
1,7	-	49,1	$0 < \delta < 6,5 \text{ мм}$
2	-	51,5	$0 < \delta < 6 \text{ мм}$
	7	39,63	$0 < \delta < 17,9 \text{ мм}$
	15	31,58	$0 < \delta < 25,9 \text{ мм}$
	18	28,58	$0 < \delta < 28,9 \text{ мм}$
3	-	56,55	$0 < \delta < 4,5 \text{ мм}$
	7	42,16	$0 < \delta < 18,9 \text{ мм}$
	15	34,17	$0 < \delta < 26,9 \text{ мм}$
	18	31,17	$0 < \delta < 29,9 \text{ мм}$
4	-	59,94	$0 < \delta < 2 \text{ мм}$
	7	43,85	$0 < \delta < 18,1 \text{ мм}$
	15	35,86	$0 < \delta < 26,1 \text{ мм}$
	18	32,86	$0 < \delta < 29,1 \text{ мм}$

При контактi нових колiс по поверхнi кочення з новою рейкою, її вершина, як найвища точка, контактує з колесами зоною з конусністю 10 при зазорах $0 < \delta < 34 \text{ мм}$ при всіх нахилах рейки, при $\delta \geq 34 \text{ мм}$ колесо контактує ребром пересічення поверхнi з ухилами 1/20 та 1/7 та зоною з конусністю 3,5. При контактi нових колiс з новою рейкою, відбуваються одноточковий або двоточковий контакти. При контактi колiс i рейок, що мають знос до наведених значень, необхідно додати до кожного зазору величини бокового зносу рейки $h_{бок}$, зносу колеса Δh та різницю з урахуванням рівнів обміру ширини гребеня та ширини колiї (що коливається в межах 0,8...1,73 мм в залежності від куту нахилу гребеня β), тобто: $+h_{бок} + \Delta h + 3ctg\beta \text{ мм}$. Старопридатна рейка в початковий період має кут на викружці та одноточковий контакт по викружці при контактах з будь-якими колесами. Для інших випадків в режимах кочення i ковзання та в режимі ковзання відбуваються одноточковий та двоточковий конформні контакти.

Аналіз положення рухомого складу в кривих ділянках колiї з урахуванням зміщення кінетичної вісі відносно центральної вісі кривої показав, що існують параметри, для яких при певних величинах ширини колiї зовнішні рейки в кривих завжди піддаються боковому сточуванню по всій довжині кривої. На думку автора, основним фактором, що впливає на знос рейок та колiс в кривій ділянці колiї, є фактична величина зазору між зовнішньою рейкою та колесом. На величину зазору впливають наступні чинники: співвідношення геометричних розмірів величин ширини колiї та колісної пари, положення кінематичної осі кривої, динамічні відхилення рейки та відхилення положення рейки від плану. Перший, другий та четвертий чинники прямим чином пов'язані з величиною ширини колiї, яка вважається визначальною при боротьбі зі зносом. Але при цьому, саме значення ширини колiї є непрямим (побічним) фактором у фізичному процесі зносу. Третій чинник є незалежним від величини ширини колiї, тому надалі встановлено допустимі значення динамічних розширень колiї для формування класифікації станів надійної та функціонально безпечної роботи колiї.

Для зменшення зносу рейок, величина ширини колiї в кривих ділянках має передбачати наявність фактичного зазору між колесом та зовнішньою рейкою, який дорівнює або більше за зміщення між центральною та кінематичною осями кривої, але при цьому зазор між колесом та внутрішньою рейкою має бути не більшим за умов безпечного руху, тобто коли бандаж опирається на головку рейки тією частиною, що має ухил 1/20. При наявності менше зазначеного зазору між зовнішньою рейкою та колесом відбувається збільшення довжини контактування рейок та колiс за рахунок неможливості втілення звивистого руху колiс в поперечній площині відносно колiї.

Аналіз розповсюдження процесу деформативності колiї дозволив сформулювати наступні положення.

По-перше, кожне динамічне навантаження має два види частот: перший вид частоти відображає частоту імпульсу сили, а другий – частоту прикладання сили в одному перетині. Перша відповідає за щільність та інтенсивність передачі

імпульсу сили в окремому коливанні, друга – за щільність та інтенсивність передачі імпульсу сил в сукупності коливань.

По-друге, кожне коливання має свою частоту та зону дії. Колеса передають навантаження на колію через контактну площадку за час, що залежить від швидкості руху. За час дії навантаження t , який формує частоту передачі імпульсу на площу контакту ω_f (частота збудження імпульсом сили перетину рейки), що при швидкостях від 10 до 120 км/год. коливається від 1361,6204 до 14266,598 с-1 за t час від 4,62 до 0,44 мс. Геометрична зона дії колеса залежить від розташування контактної площадки. Передача навантаження від колеса є коливанням, що повторюється по довжині рейки. Розкид (діапазон) параметрів коливання залежить від швидкості руху та параметрів контакту; впливи візків і вагонів характеризують частоту прикладання сили в одному перетині. Отже загальний вид навантаження, що діє зі сторони рухомого складу на колію в одному перетині рейки, має вид:

$$F = F_0 \sin(\omega_f t) (k_{it} \sin(\omega_t t) + k_{iw} \sin(\omega_w t) + k_{ius} \sin(\omega_{rs} t) + k_{isl} \sin(\omega_{sl} t)), \quad (22)$$

де F_0 – максимальне значення, що набуває сила в перетині;

k_i – коефіцієнт, що враховує згасання сили за відповідним напрямком;

$\omega_t, \omega_w, \omega_{rs}, \omega_{sl}$ – частота збудження відповідно: рейок візком, вагонами, поїздом, вагонами опор.

По-третє, кожен елемент конструкції має свою частоту, амплітуду, цикл та швидкість коливання, які є результуючими діючих на них коливань. Особливістю сприймання навантаження рейками є властивість розподілення цього навантаження по її довжині. При розповсюдженні навантаження різниця значень радіусів розповсюдження сили та часу її досягнення шпал залежать від швидкості розповсюдження. Остання залежить від куту між напрямком дії сили та радіусом розповсюдження сили. Різниця значень кутів для різних типів рейок, при однакових умовах прикладання сили, залежить від геометричних розмірів перетину рейки та призводить до нерівномірного залучення мас рейок в процес переробки навантаження по довжині колії. Так, при збільшенні кутів розповсюдження сили для Р65 з UIC60 та Р65 з Р50 відповідно на 0,08...1,1% та 0,3...3,7% зменшується швидкість розповсюдження сили відповідно на 0,002...0,4% та 0,005...0,7% та збільшення маси відповідно на 5...11% та 18...26%. Цю особливість необхідно застосовувати при розробці оптимальних розмірів рейок. За час проходження силою прокладки товщиною у 8 мм залучається в роботу додаткових 180 мм рейки, які збільшують масу опору конструкції в залежності від типу рейок на 18...23,4 кг, та зменшують значення амплітуди коливань, що надходять до неї в 1,99 рази. Особливістю роботи шпал є збудження коливань з частотою збудження вагонами опор ω_{sl} . Окрім того, шпали мають значну масу, що збільшує масу опору конструкції на 487,6 кг/пог. м, та тільки на 3% зменшують амплітуду коливань, що надходять до неї. За час проходження силою баластного шару товщиною у 40 мм залучається в роботу додаткових 6,76 м рейки та 12 шпал, які збільшують масу опору конструкції в

залежності від типу рейок на 3856...4058,8 кг, та зменшують значення амплітуди коливань, що надходять до нього в 1,96 рази. Основною особливістю роботи земляного полотна є демпфірування коливань. Значення амплітуди коливань, що надходять до нього зменшуються в 1,73 рази.

По-четверте, кожна конструкція має свою частоту, амплітуду та швидкість коливання, які є результуючими коливань складових елементів.

Отже, в розділі визначено вихідні дані для теоретичних досліджень, що пов'язані з параметрами процесу контакту коліс з рейками в залежності від технічного стану рейок з урахуванням горизонтальних переміщень колісної пари при її звивистому русі залізничною колією.

У н'ятому розділі описано особливості математичної моделі просторового розповсюдження імпульсу з урахуванням умов переходу імпульсу з одного елементу в інший та досліджено процес розповсюдження деформативності залізничної колії магістрального та промислового транспорту.

Кожний імпульс має час своєї дії, отже він характеризує фронт хвилі – поверхні, що відокремлює точки середовища тих, що є в спокої від тих, що задіяні в певний час вимушеним імпульсом. Фронт хвилі при новому контакті має еліпсоїдну форму, та швидкість за напрямком розповсюдження становить:

$$u(r) = \frac{(C_t - V \sin \beta) C_t}{\sqrt{(C_t - V \sin \beta)^2 \cos^2 \alpha + C_t^2 \sin^2 \alpha}}, \quad (23)$$

де C_t , C_l , V - відповідно поперечна та поздовжня швидкості розповсюдження хвилі в певному середовищі та швидкість руху;

α - кут між радіусом розповсюдження хвилі в певній точці середовища до напрямку розповсюдження імпульсу сил (кут в вертикальній площині);

β - кут між радіусом розповсюдження хвилі в певній точці середовища до позитивного горизонтально поперечної напрямку розповсюдження сили (кут в горизонтальній площині).

На підставі запропонованої моделі автором отримано залежності розповсюдження імпульсу в конструкції колії від часу у графічному вигляді. Зокрема розглянуто вертикальні коливання центральної точки підшви рейки, що опирається на опору, при центральному впливі вертикальної сили. При яких, перше, враховано час, що витрачається на досягнення максимального значення сили в розглянутому перетині. Так, за результатами спостерігається залежність, при якій збільшення швидкості руху призводить до збільшення значення сили та зменшення часу дії сили, частоти імпульсу коливання та самого значення імпульсу коливання. По-друге, враховано час сприймання імпульсу навантаження та реакції на нього елементів конструкції колії за глибиною, рис. 2, 3. По-третє, враховано переміщення самого навантаження по довжині рейки в цей час.

Залежність між амплітудами вимушених коливань за напрямком розповсюдження для конструкції колії, викликаними імпульсом навантаження, наведено на рис. 2 – для швидкостей руху 10–60 км/год, на рис. 3 – для швидкостей руху 70–120 км/год.

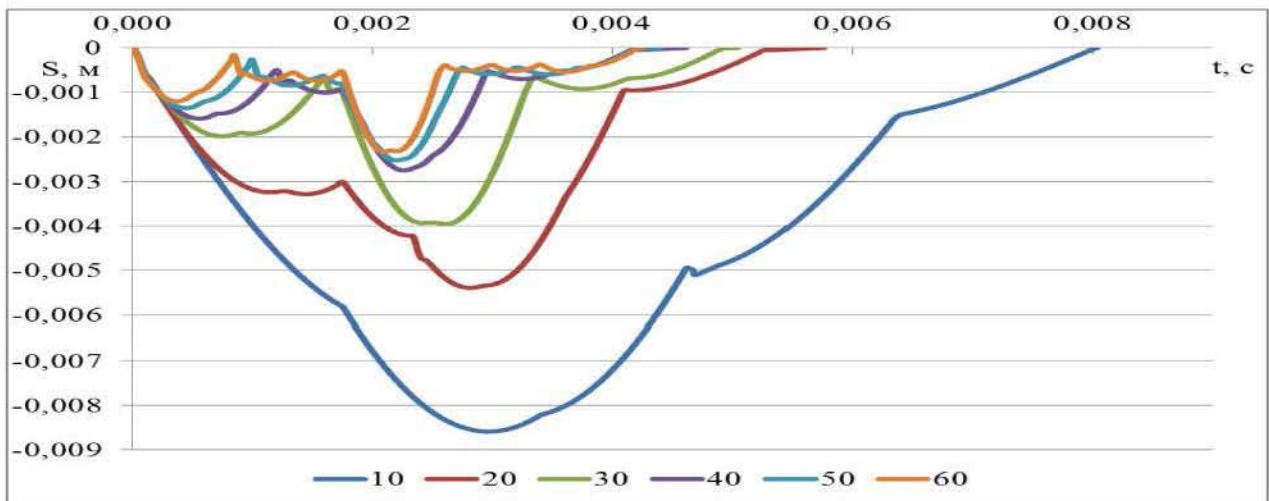


Рис. 2. Залежність амплітуд загальних коливань конструкції колії за напрямком розповсюдження від швидкості руху рухомого складу.

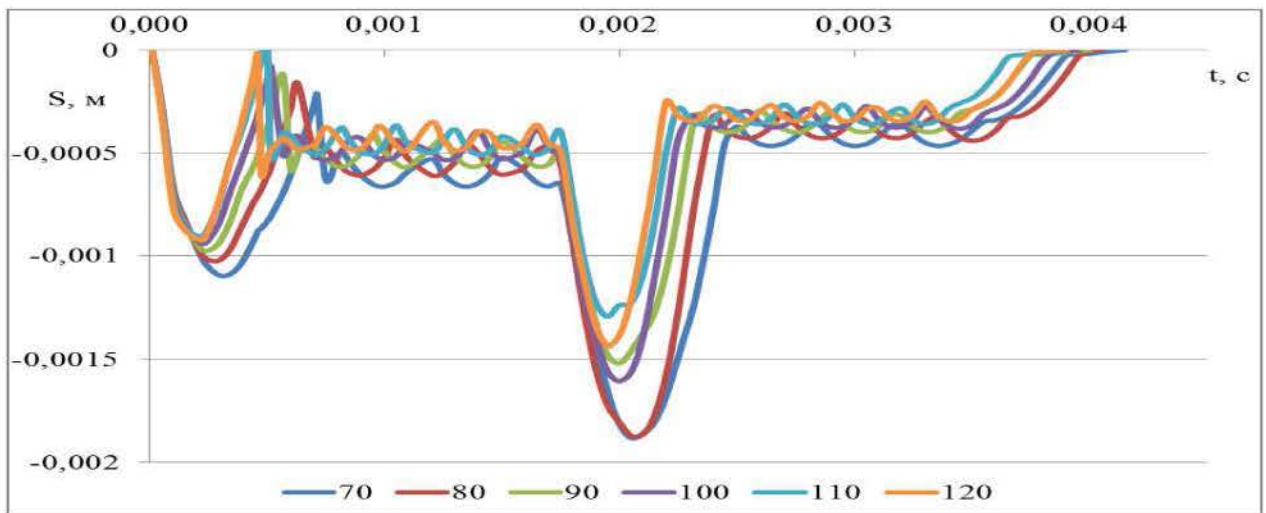


Рис. 3. Залежність амплітуд загальних коливань конструкції колії за напрямком розповсюдження від швидкості руху рухомого складу.

За наведеними результатами на рис. 2, 3 спостерігаються залежності, при яких:

- збільшення швидкості руху призводить до зменшення значень амплітуд в рейках за напрямком розповсюдження та часу реалізації цих амплітуд за рахунок збільшення довжини контактної площадки, що сприймає імпульс навантаження. Час закінчення процесу коливання перетину рейки за напрямком залежить і від швидкості руху поїздів, і від властивостей та геометричних розмірів підрейкової основи та становить (1,74...8,85) часу безпосередньої дії сили за напрямком;

- процес коливання прокладок від прямої дії сили в перетині починається на 0,032 мс пізніше від моменту прикладання імпульсу до рейки. Час початку процесу коливання прокладки не залежить від швидкості руху поїздів і визначається властивостями матеріалу та геометричними розмірами рейки. Час закінчення процесу коливання прокладки залежить від властивостей матеріалу і геометричних розмірів самої прокладки та від швидкості руху поїздів, оскільки перетин прокладки сприймає коливання при знаходженні сили на 2,18 м від нього

в обидві сторони. Час проходження силових хвиль прокладки менше за час дії сили в перетині, отже форма деформації прокладки не залежить від швидкості руху;

- процес коливання шпал від прямої дії сили в перетині починається на 0,0738 мс пізніше від моменту прикладання імпульсу до рейки. Час роботи шпал щодо передання навантаження на баласт залежить від швидкості руху поїздів та властивостей матеріалу і геометричних розмірів шпал, оскільки перетин шпали сприймає коливання при знаходженні сили на 1,64 м від нього в обидві сторони. Час проходження силових хвиль шпали менше за час дії сили в перетині, отже форма деформації її не залежить від швидкості руху;

- процес коливання баластного шару від прямої дії сили в перетині починається на 0,171575 мс пізніше від моменту прикладання імпульсу до рейки. Час роботи баласту щодо передання навантаження на земляне полотно за напрямком становить 3...7 мс, та залежить від швидкості руху поїздів, властивостей матеріалів баласту і земляного полотна та геометричних розмірів баласту, оскільки перетин сприймає навантаження, що знаходиться на довжині не більше ніж 1,1 м від нього. Час проходження силових хвиль баластного шару більше за час дії сили в перетині, отже форма деформації змінна. При співвідношенні часу дії сили до часу розповсюдження силових хвиль в баластному шарі за напрямком розповсюдження в межах 0,5...1,2 амплітуди коливання баластного шару більші за амплітуди коливання земляного полотна;

- процес коливання земляного полотна від прямої дії сили в перетині починається на 3,479747 мс пізніше від моменту прикладання імпульсу до рейки. Час роботи земляного полотна залежить від швидкості руху поїздів, оскільки перетин виконує роботу при знаходженні сили на 0,63 м від нього в обидві сторони, величини амплітуди коливань, що надходять до нього, та властивостей матеріалу, оскільки вони визначають глибину сприймання навантажень. Час проходження силових хвиль земляного полотна більше за час дії сили в перетині, отже форма деформації залежить від швидкості руху;

- імпульс, що діє на конструкцію колії, сприймається її елементами за напрямком розповсюдження в залежності від геометричних параметрів елементів та швидкостей їх деформації. Час впливу імпульсу в перетині колії зменшується зі збільшенням швидкості руху, а час передачі імпульсу силовими хвилями елементам конструкції колії залишається постійним для певної конструкції колії. Це призводить до того, що чим менше швидкість руху, тим більша за довжиною та глибиною частина конструкції колії, що задіяна силовими хвилями при розповсюдженні імпульсу навантаження. Але чим більша швидкість руху, тим більша довжина колії контактує з колесом за певний час. Та при цьому сприйняття навантажень всіма елементами конструкції колії за напрямком розповсюдження відбувається пізніше знаходження сили в перетині колі. Отже, співвідношення максимальних значень прогинів конструкції колії при різних швидкостях руху не відповідають співвідношенням максимальних значень сил при тих же швидкостях руху;

- імпульс вимушених коливань викликає параметричні коливання як елементів, так і конструкції колії. Форма коливань за напрямком розповсюдження змінюється за часом розповсюдження та пов'язана зі співвідношенням часу дії сили та часом розповсюдження силових хвиль в елементах конструкції колії за напрямком розповсюдження. Так, при швидкостях руху 70-120 км/год форма коливань за час розповсюдження за напрямком однотипна. Відношення часу коливання конструкції колії від безпосередньої дії сили за напрямком до часу процесу коливання перетину за напрямком становить для 70 км/год - 0,172, для 120 км/год – 0,113, і складає від того ж співвідношення для 10 км/ год. відповідно 29,89% та 19,66%, та розкид за цими значеннями складає 10,23 %. Таким чином, спостерігається залежність, при якій, чим менше різниця між значеннями відношень часу коливань під впливом навантаження за напрямком до загального часу коливання за напрямком, тим більша однотипність форми коливань за напрямком в часі.

Оскільки навантаження на залізничну колію промислових підприємств більші за ті, що мають місце на магістральному транспорті, було досліджено вплив збільшення сили на коливання конструкції колії, при якому мала місце характерна пропорційність залежності збільшення коливань елементів та конструкції колії при збільшенні навантажень. Виконання цієї залежності обумовлено характером перерозподілу силових хвиль при розповсюдженні за напрямком. Так, при сприйнятті навантажень прокладкою на шпалу передаються тільки поздовжні хвилі. Отже, прокладка формує передачу силових хвиль за напрямком як однотипний цикл, відповідний певній швидкості руху поїздів. А розташування прокладок, відповідно епюрі шпал, формує цикл передачі навантажень від рейок. Основну різницю між характером деформативної роботи колії на промислових підприємствах та магістральних коліях, формують швидкості руху, що застосовані на промислових підприємствах. Так, в табл. 2 наведено співвідношення величин деформативної роботи, яка виконується елементами та конструкцією колії при різних швидкостях руху поїздів.

За результатами табл. 2, при менших швидкостях руху величини прогинів конструкції та часу дії навантаження більші, ніж аналогічні величини при більших швидкостях руху, але довжина колії, що сприймає навантаження, менше. Це призводить до різних співвідношень деформативної роботи при різних швидкостях руху. Оцінка роботи елементів та конструкції колії за час дії навантаження характеризує інтенсивність роботи елементів і конструкції колії при різних швидкостях руху. При підвищенні швидкостей руху, збільшується інтенсивність використання прокладок та баластного шару, за рахунок збільшення довжини сприйняття навантаження, на фоні загального характеру зниження інтенсивності використання конструкції колії.

За результатами досліджень коливань конструкції колії від впливу імпульсу навантажень на площадку контакту при русі, максимальні значення амплітуди мають місце при передачі навантажень земляному полотну баластним шаром при будь-яких швидкостях руху. Величини вертикальних прогинів від

деформативності рейко-шпальної решітки у 1,52...1,81 разів менше, ніж величини максимальних прогинів від деформативності всієї конструкції колії при поодинокому навантаженні колії. Але з врахуванням суперпозиції впливу навантажень це співвідношення зменшується до 1,18...1,22 рази. Залежність однотипності форми коливань за часом від відношень часу коливання під впливом навантаження за напрямком до загального часу коливання за напрямком при русі навантажень зберігається.

Таблиця 2

Коефіцієнти співвідношення величин деформативної роботи при різних швидкостях руху

V, км/год.	конструкція	прокладка	шпала	баласт	земполотно
$A_V / A_{V=10}$					
10	1	1	1	1	1
30	0,17	0,18	0,09	0,469	0,134
60	0,03	0,08	0,03	0,121	0,044
90	0,02	0,07	0,02	0,055	0,025
120	0,01	0,06	0,01	0,044	0,018
деформативна робота в одиницю часу $I_V / I_{V=10}$					
10	1	1	1	1	1
30	0,487	0,513	0,255	1,088	0,391
60	0,159	0,498	0,159	0,679	0,245
90	0,141	0,565	0,129	0,444	0,202
120	0,133	0,655	0,117	0,466	0,184

Процес переходу силових хвиль з одного елемента до іншого відбувається за властивістю хвиль, які залежать від фізико-механічних параметрів матеріалів елементів та куту падіння хвиль. Так, поздовжні силові хвилі, що падають на прокладку під кутами від 00 до 800, сприймаються прокладкою та подовжують розповсюдження у вигляді поздовжніх та поперечних хвиль під кутами відповідно 0,68...15,990 та 0,34...2,690. Поперечні силові хвилі, що передаються прокладці рейкою, при тих же кутах падіння, розповсюджуються подовжніми хвилями під кутами 1,16...28,830 та поперечними - 0,62...4,720. Але передача силових хвиль шпалам від прокладки відбувається тільки поздовжніми силовими хвилями, оскільки поперечні хвилі не проходять в шпалу за рахунок відбиття. Отже, величина енергії, що переносилась поперечними хвилями демпфірується прокладками. Коефіцієнти відбиття та заломлення хвильового процесу в контактуючих парах також залежать від кутів падіння хвиль та властивостей матеріалів. В якості підтвердження, в табл. 3 наведено коефіцієнти відбиття та заломлення в контактуючій парі рейка.

Таблиця 3

Коефіцієнти відбиття та заломлення хвильового процесу в контактній парі рейки з прокладками при дії поздовжніх/поперечних хвиль

$K_{p-пад}$	$K_{p-відб}$	$K_{s-відб}$	$K_{p-зал}$	$K_{s-зал}$
10	0,941/0,847	0,392/0,389	1,950/0,378	0,380/1,943
20	0,820/0,467	0,727/0,712	1,852/0,722	0,732/1,824
30	0,646/0,029	0,963/0,968	1,701/0,965	1,047/1,725
40	0,450/0,708	1,081/5,656	1,512/0,064	1,302/6,964
50	0,272/-	1,085/-	1,302/-	1,482/-
60	0,148/-	0,997/-	1,083/-	1,558/-
70	0,131/-	0,835/-	0,855/-	1,485/-
80	0,318/-	0,573/-	0,569/-	1,120/-

Оскільки величина енергії, що переноситься хвилею, пропорційна квадрату амплітуд, то й співвідношення величин енергії у відбитих та заломлених хвилях різні при різних кутах падіння. Використання наведених властивостей хвиль при переході з одного елемента в інший надає можливість спрямованого прогнозування процесу деформативності залізничної колії шляхом зміни характеристик матеріалів та конструкції елементів залізничної колії за рахунок вивчення процесу виникнення та розповсюдження силових хвиль.

Отже, в розділі за запропонованою моделлю просторових коливань залізничної колії досліджено особливості коливання колій магістрального та промислового транспорту.

У шостому розділі автором запропоновано ввести класифікацію станів надійної та функціонально безпечної роботи залізничної колії за існуючими допустимими відхиленнями при влаштуванні й утриманні рейкової колії, що забезпечить виконання вимог стосовно надійної роботи колії за міждержавним стандартом ГОСТ 32192-2013. Також, на основі досліджень четвертого розділу, автором запропоновано класифікацію станів надійної та функціонально безпечної роботи залізничної колії за допустимими значеннями ширини колії та допустимими динамічними розширеннями колії від дії різних типів рухомого складу в залежності від співвідношення ширини колії та параметрів коливання рухомого складу в поперечній площині відносно колії, табл. 4.

Сформовані класифікації станів дозволили доповнити методику дослідження сходу з рейок рухомого складу при розпиранні рейкової колії.

На основі проведених в п'ятому розділі досліджень, автором запропоновано доповнення методики дослідження сходу з рейок рухомого складу при вкочуванні колеса на рейку. Так, з урахуванням параметричних залежностей прогину конструкції колії під впливом рухомого складу, при визначенні достатньої умови вкочування колеса на головку рейки враховувати зміни прогинів за рахунок роботи прокладок $f = h_{зреб} + h_{прокладки}$. Надано значення $h_{прокладки}$ для скріплення

КПП-5-К при різних швидкостях руху рухомого складу.

Таблиця 4

Класифікація станів надійної та функціонально безпечної роботи залізничної колії за допустимими значеннями ширини колії та допустимими динамічними розширеннями колії

Параметр		Стан надійності		
		справний	несправний	непрацездатний
експлуатаційні умови		$[S] / \delta S$	$[S] / \delta S$	$[S] / \delta S$
$V_{\text{пас}} > 140-160$ та $V_{\text{вант}} > 80-120$ км/год.	P65	1545/19	1546/20	1568/42
	UIC60	1544/18	1545/19	1567/41
$V_{\text{пас}} > 120-140$ та $V_{\text{вант}} > 80-120$ км/год.	P65	1546/18	1547/18	1570/29
	UIC60	1545/17	1546/17	1569/28
$\leq 120 / \leq 80$ км/год. $B > 10$ млн т км бр./км рік	P65	1549/21	1550/21	1573/24
	UIC60	1548/20	1549/20	1572/23
	P50	1547/19	1548/19	1571/22
$B \leq 10$ млн т км бр./км рік	P65	1550/22	1551/22	1574/25
	UIC60	1549/21	1550/21	1572/23
	P50	1548/20	1549/20	1571/22
приймально-відправні колії	P65	1551/23	1552/23	1574/25
	UIC60	1550/22	1551/22	1572/23
	P50	1549/21	1550/21	1571/22

Надалі автором розглянуто:

- можливість застосування запропонованого методу теоретичної оцінки деформативної роботи колії за параметрами взаємодії колії та рухомого складу при формуванні класифікації станів колії за умовами стійкості рейко-шпальної решітки. Надано алгоритм та рекомендації з формування оціночних умов щодо забезпечення безпеки здвигу рейко-шпальної решітки в поперечній площині.

- фізична сутність процесів руйнування залізничної колії на основі методу розповсюдження імпульсів пружними хвилями. Показано залежність розповсюдження процесу деформативності колії від фізико-конструктивних характеристик елементів колії. Так, для розглянутого матеріалу прокладки при матеріалі зі значенням коефіцієнту Пуассону меншим ніж 0,4 поперечні хвилі не впливатимуть на її роботу. Отже, при значеннях коефіцієнту Пуассону, при реакції прокладки на силовий вплив поперечні хвилі будуть відбиватись, що зменшить силове навантаження на прокладку. Також, надано алгоритми та рекомендації щодо вирішення задач з улаштування конструкції залізничної колії для забезпечення її довговічності.

Таким чином, в розділі запропоновано класифікацію станів надійної та

функціонально безпечної роботи залізничної колії за допустимими відхиленнями колії при її улаштуванні та утриманні, та на її основі доповнено існуючу методику дослідження сходу з рейок рухомого складу при розпиранні рейкової колії. Запропоновано доповнення до методики дослідження сходу з рейок рухомого складу при вкочуванні колеса на рейку. Розроблено рекомендації та алгоритми застосування запропонованої в дисертації моделі просторових коливань конструкції залізничної колії при вирішенні задач з улаштування конструкції залізничної колії для забезпечення її довговічності та повноти безпеки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі виконаних досліджень набули розвитку наукові основи рішення актуальної науково-прикладної проблеми оцінки роботи залізничної колії під впливом рухомого складу шляхом розробки сучасних методів визначення раціонального, з точки зору технічного використання колії, співвідношення фактичних умов експлуатації колії, періодичності міжремонтних схем та характеристик елементів конструкції колії. Основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації дисертації полягають у такому:

1. На підставі аналізу, з точки зору гармонізації національних та європейських технічних стандартів, нормативної бази та результатів основних напрямків дослідження з визначення параметрів взаємодії залізничної колії та рухомого складу, сформульована проблема щодо відсутності фізично обґрунтованого загально призаного методу з визначення механізмів передачі навантажень від рухомого складу на колію в часі та методу визначення параметричних даних розповсюдження взаємодії колії та рухомого складу. Існуючі методи з оцінки роботи колії потребують удосконалення, яке повинно бути направлене на прогнозування виконання робіт з обслуговування та ремонту залізничної колії і недопущення змін у її технічному стані, який не забезпечує необхідний рівень безпеки руху та обсяги перевезень, шляхом встановлення зв'язку між умовами функціонування елементів колії та роботою конструкції колії.

2. Введення і використання понять та критеріїв деформативної роботи, які запропоновані в дисертації, дозволяють створити зв'язок між технічними станами елементів і конструкції колії, характеризують явища, що відбуваються в елементах та конструкції колії під впливом рухомого складу протягом терміну її експлуатації, та дозволили сформулювати загальні підходи до оцінки роботи залізничної колії, що враховує деформативні властивості елементів залізничної колії.

3. Завдяки формалізації поняття та критерію деформативної роботи і сформованому комплексу оціночних умов, в якості основи класифікації надійності залізничної колії, що запропоновані в роботі, розроблено метод теоретичної оцінки деформативної роботи колії за параметрами взаємодії колії та рухомого складу, який дозволяє дослідити зв'язок між фактичними умовами експлуатації колії, періодичністю міжремонтних схем та технічними станами

елементів і конструкції колії для визначення їх раціонального співвідношення, з точки зору технічного використання колії, при забезпеченні довговічності та повноти безпеки колії.

4. Основні особливості розробленої моделі просторових коливань конструкції залізничної колії як механічної системи елементів, обумовлені застосуванням положень теорії розповсюдження пружних хвиль, що дозволило: описати механізм передачі навантажень від рухомого складу на колію імпульсами, які задаються контактними площадками параметрично за траєкторією рухомого складу вздовж колії; отримати аналітичні залежності з визначення особливостей розповсюдження динамічного навантаження, які на відміну від існуючих, враховують частоту імпульсу сили, що залежить від швидкості руху, частоту прикладання сили в одному перетині, що залежить від характеристик рухомого складу, змінну направленість в часі та зв'язок між амплітудами коливань як усередині елементів, так і при переході від одного елемента до іншого; описати процес розповсюдження імпульсу силовими хвилями в конструкції колії за часом з урахуванням зворотної реакції елементів на них; показати можливість спрямованого регулювання розповсюдження навантаження, користуючись властивостями силових хвиль.

При аналізі результатів моделювання встановлено співвідношення між часом дії сили та часом і характером прогинів елементів і конструкції колії. При дії рухомого складу на колію для всіх швидкостей руху максимальні значення амплітуди коливання конструкції колії мають місце при передачі навантажень баластним шаром земляному полотну. Величини вертикальних прогинів від деформативності рейко-шпальної решітки у 1,52...1,81 разів менше, ніж величини максимальних прогинів від деформативності всієї конструкції колії при поодинокому навантаженні колії. Але з врахуванням суперпозиції впливу силових хвиль при русі поїздів це співвідношення зменшується до 1,18...1,22 рази.

5. Урахування змін напружено-деформованого стану елементів колії від швидкості і напрямку розповсюдження силових хвиль в елементах колії та інтенсивності і часу впливу рухомого складу під час руху колією, дозволило удосконалити метод визначення параметрів напружено-деформованого стану елементів конструкції залізничної колії.

6. Проведено експериментальну оцінку достовірності розробленої моделі. За порівнянням параметрів напружено-деформованого стану колії, встановлено, що напруження в кромках рейок, отриманих за запропонованою моделлю просторових коливань конструкції залізничної колії, відрізняються від отриманих експериментально на 2,3%, та підтверджує достовірність розробленої моделі. Різниця результатів розрахунку та експерименту за вертикальними прогинами рейок становить 19,5%, що обумовлено особливостями розташування прогиномірів, виміри яких не враховують прогини баластного шару та земляного полотна. Для підтвердження врахування особливостей розповсюдження силових хвиль запропонованою моделлю, проведено експеримент зі встановлення місць розташування датчиків виміру горизонтальних сил та фіксації датчиками

поздовжніх сил, яким пояснено фізичну природу розкиду величин, що фіксуються датчиками при експерименті.

7. В залежності від наявності вертикального та бокового зносів рейок визначено параметри ширини контактної зони на поверхні кочення рейки, величини яких коливаються в межах 12,82...59,94 мм.

Визначено величини зазорів між колесом та рейкою, при яких відбувається безпечний рух (бандаж опирається на головку рейки частиною з уклоном 1/20) в залежності від наявності вертикального та бокового зносів рейок. При контакті коліс зі старопридатною рейкою з боковими зносами 7, 15 та 18 мм в неробочій грані контактування по поверхні кочення відбувається по зоні з конусністю 10 при наявності вертикального зносу 2 мм відповідно $0 < \delta < 17,9 \text{ мм}$, $0 < \delta < 25,9 \text{ мм}$, $0 < \delta < 28,9 \text{ мм}$; при наявності вертикального зносу 3 мм відповідно $0 < \delta < 18,9 \text{ мм}$, $0 < \delta < 26,9 \text{ мм}$, $0 < \delta < 29,9 \text{ мм}$; при наявності вертикального зносу 4 мм відповідно $0 < \delta < 18,1 \text{ мм}$, $0 < \delta < 26,1 \text{ мм}$, $0 < \delta < 29,1 \text{ мм}$. При більших значеннях зазору контакт відбувається по зоні з конусністю 3,5.

8. Застосування розробленої моделі просторових коливань конструкції залізничної колії дозволило:

- доповнити методику дослідження сходу з рейок рухомого складу при вкочуванні гребня колеса на головку рейки шляхом врахування динамічних прогинів рейок при розвантаженні коліс. Для конструкції колії зі скріпленням КПП-5-К величини різниць між висотами точок контактування правого та лівого коліс при різних швидкостях руху поїздів при швидкості руху рухомого складу 10 км/год становлять 3,7 мм, при швидкості руху 60 км/год – 2,4 мм, при 120 км/год – 1,5 мм;

- пояснити фізичну сутність передачі силових хвиль за конструкцією колії та показати можливість спрямованого регулювання процесу деформативності залізничної колії шляхом зміни характеристик матеріалів та конструкції елементів залізничної колії. Запропоновано для прокладки скріплень КПП-5-К застосовувати матеріал з коефіцієнтом Пуассону менше ніж 0,4. Застосування пропозиції призводить до зменшення силового впливу на прокладку, шляхом сприймання його рейкою, що зменшить інтенсивність експлуатації прокладки.

9. Встановлено, що особливість роботи залізничної колії промислових підприємств пов'язана зі швидкостями руху, які застосовані на промислових підприємствах, оскільки вони формують основну різницю між характером деформативної роботи колії на промислових підприємствах та магістральних коліях, що полягає в різному сприйнятті навантажень елементами колії. Обертання рухомого складу зі швидкостями меншими ніж 60 км/год сприяє збільшенню прогинів конструкції ніж при обертанні рухомого складу з більшими швидкостями руху, навіть при однаковому навантаженні на неї, за рахунок участі меншої довжини колії, що сприймає навантаження. Для швидкостей руху менших за 40 км/год, що притаманні промислового транспорту, основним елементом, який сприймає навантаження є баластний шар.

10. Запропоновано ввести класифікацію станів надійної та функціонально

безпечної роботи залізничної колії за існуючими допустимими відхиленнями при влаштуванні й утриманні рейкової колії, що забезпечить виконання вимог стосовно надійної роботи колії за міждержавним стандартом ГОСТ 32192-2013. Та запропоновано розподіл допустимих значень ширини колії та допустимих значень динамічних розширень колії від дії рухомого складу за класифікацію станів надійності залізничної колії в залежності від співвідношення ширини колії та параметрів коливання рухомого складу в поперечній площині відносно колії. Застосування зазначених класифікацій дозволило доповнити методику дослідження сходу з рейок рухомого складу при розпиранні рейкової колії.

11. Використання запропонованих в дисертації теоретичних положень дозволяє удосконалити методи оцінки роботи колії під впливом рухомого складу, шляхом врахування вимог стосовно надійної роботи колії, направленими на недопущення змін у її технічному стані, який не забезпечує необхідний рівень безпеки руху та обсяги перевезень. Та на їх основі створити механізм приведення національних технічних стандартів застосованих на залізничному транспорті в Україні до законодавства Співтовариства. Метод визначення параметричних даних розповсюдження взаємодії колії та рухомого складу, шляхом опису процесу розповсюдження імпульсу навантаження силовими хвилями в конструкції колії за часом з урахуванням зворотної реакції елементів на них, є новим та дозволяє вирішувати задачі з улаштування й утримання конструкції залізничної колії при забезпеченні її довговічності та повноти безпеки.

Основні положення та результати дисертації опубліковано у роботах:

- включених до міжнародної наукометричної бази «Scopus»:

1. Bondarenko I. Modeling for establishment of evaluation conditions of functional safety of the railway track / I. Bondarenko. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – №1/7(79). – С. 4–10.

2. Bondarenko I. Development of algorithm for calculating dynamic processes of railroad track deformability work / I. Bondarenko. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – №6/7(84). – С. 28–36.

- включених до міжнародної наукометричної бази «Index Copernicus»:

3. Бондаренко І. О. Стосовно питань моделювання життєвого циклу деформативної роботи елементів залізничної колії / І. О. Бондаренко. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2015. – №55. – С. 78–89.

4. Бондаренко І. О. Стосовно визначення функціонально-безпечної ширини колії / І. О. Бондаренко. // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2016. – №12. – С. 74–80.

5. Настечик М. П. Дослідження напруженого стану в елементах вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 під дією рухомого складу / М. П. Настечик, І. О. Бондаренко, Р. В. Маркуль. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2015. – №56. – С. 146–156.

6. Bondarenko I. O. Formation of estimated conditions for life cycle of deformation work of the railway track / I. O. Bondarenko. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2015. – №57. – С. 107–111.

7. Бондаренко І. О. Особливості дослідження процесу деформативної роботи елементів залізничної колії / І. О. Бондаренко. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2015. – №58. – С. 87–98.

8. Бондаренко І. О. Особливості процесу розповсюдження коливань при деформативній роботі залізничної колії / І. О. Бондаренко. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2015. – №59. – С. 75–83.

9. Бондаренко І. О. Особливості деформативної роботи залізничної колії / І. О. Бондаренко. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2015. – №60. – С. 45–56.

- в іноземних виданнях:

10. Бондаренко И. А. К вопросу об оценке влияния воздействий подвижного состава на путь / И. А. Бондаренко. // Проектирование развития региональной сети железных дорог. – 2015. – №3. – С. 65–70.

11. Курган Д. Н. Модель напряженно-деформированного состояния железнодорожного пути на основе волновой теории распространения напряжений / Д. Н. Курган, И. А. Бондаренко. // Problemy Kolejnictwa-Zeczyt. – 2013. – №159. – С. 99–111.

- включених до фахових видань, затверджених МОН України:

12. Харлан В. І. Вирішення задач вибору раціональних швидкостей руху поїздів за допомогою математичного моделювання процесу експлуатації залізничної ділянки / В. І. Харлан, Д. М. Курган, І. О. Бондаренко. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – №16. – С. 41–44.

13. Бондаренко И. А. К вопросу о повышении качественной оценки работоспособности железнодорожного пути / И. А. Бондаренко. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – №18. – С. 46–50.

14. Курган Д. М. Вплив стану залізничної ділянки і структури поїздопотоку на життєвий цикл колії / Д. М. Курган, І. О. Бондаренко. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – №19. – С. 78–83.

15. Бондаренко І. О. Застосування теорії розповсюдження пружних хвиль для вирішення задач напружено-деформаційного стану залізничної колії / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган. // Транспортні системи і технології. – 2011. – №18. – С. 14–18.

16. Рыбкин В. В. Методика оценки эксплуатационной надежности стрелочных переводов и их элементов / В. В. Рыбкин, Е. М. Баль, И. А. Бондаренко. //

Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2010. – №35. – С. 124–128.

17. Бондаренко І. О. Рекомендацій щодо проектування конструкцій нижньої будови залізничної колії / І. О. Бондаренко. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2011. – №36. – С. 100–104.

18. Бондаренко І. О. Щодо забезпечення якості проектування конструкції земляного полотна залізничної колії / І. О. Бондаренко. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2011. – №37. – С. 120–123.

19. Рибкін В. В. Аналіз експлуатаційної стійкості елементів стрілочних переводів / В. В. Рибкін, О. М. Баль, І. О. Бондаренко. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2011. – №38. – С. 127–133.

20. Бондаренко І. О. Визначення методики розрахунку модуля пружності підрейкової основи за результатами експериментальних вимірювань показників взаємодії колії і рухомого складу / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган, В. Е. Савлук. // Будівництво, реконструкція та експлуатація конструкцій і споруд залізничного транспорту. – 2012. – №31. – С. 225–230.

21. Бондаренко І. О. Стосовно питань щодо підвищення стабільності земляного полотна залізничної колії / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган. // Транспортні системи і технології. – 2011. – №21. – С. 22–27.

22. Бондаренко І. О. Вирішення задач надійності системи на основі моделювання напружено-деформаційного стану залізничної колії засобами теорії розповсюдження пружних хвиль / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2013. – №43. – С. 139–148.

23. Бондаренко І. О. Вплив контакту рейки та колеса на деформативну роботу залізничної колії / І. О. Бондаренко. // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2015. – №10. – С. 77–81.

- які засвідчують апробацію матеріалів дисертації на наукових конференціях та семінарах:

24. Курган Д. М. Вплив стану залізничної ділянки і структури поїздопотоків на життєвий цикл колії / Д. М. Курган, І. О. Бондаренко. // Тези XII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту», 28-30.05.2008. - Дніпропетровськ, 2008. - С. 45.

25. Патласов О. М. Дослідження щодо умов укладання безстикової колії з рейками типу UIC60 / О. М. Патласов, Д.М.Курган, І.О.Бондаренко. // Тези 69 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», 21-22.05.2009. - Дніпропетровськ, 2009. - С. 160-161.

26. Патласов О. М. Використання цифрової вимірювальної техніки для експериментальних досліджень взаємодії колії і рухомого складу / О. М. Патласов,

Д. М. Курган, І. О. Бондаренко, В. Є. Савлук. // Тези 71 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», 14-15.04.2011. – Дніпропетровськ, 2011. - С. 176-177.

27. Бондаренко І. О. Застосування теорії розповсюдження пружних хвиль для вирішення задач напружено-деформаційного стану залізничної колії / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган // Тези 71 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», 14-15.04.2011. – Дніпропетровськ, 2011. - С. 177-178.

28. Рибкін В. В. Аналіз експлуатаційної стійкості елементів стрілочних переводів / В. В. Рибкін, О. М. Патласов, О. М. Баль, І. О. Бондаренко. // Тези 71 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», 14-15.04.2011. – Дніпропетровськ, 2011. - С. 178-179.

29. Бондаренко І. О. Вирішення задач надійності системи на основі моделювання напружено-деформаційного стану залізничної колії засобами теорії розповсюдження пружних хвиль / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган. // Тези XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту», 23-25.05.2012. - Дніпропетровськ, 2012. - С. 27-28.

30. Бондаренко І. О. Визначення методики розрахунку модуля пружності підрейкової основи за результатами експериментальних вимірювань показників взаємодії колії і рухомого складу / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган, В.Є. Савлук. // Тези XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту», 23-25.05.2012. - Дніпропетровськ, 2012. - С. 28-29.

31. Бондаренко І. О. Розрахунки напружень у пружному напівпросторі земляного полотна залізничної колії складу / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган. // Тези VI Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології», 11-12.04.2013. – Київ, 2013. - С. 96.

32. Рибкін В. В. Оцінка втомлено-міцнісних характеристик елементів вузла проміжного рейкового скріплення типу КБ та КПП-5 при повторно-змінних циклах навантаження конструкції / В. В. Рибкін, І. О. Бондаренко, Р. В. Маркуль. // Тези Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу», 18-20.09.2013. - Дніпропетровськ, 2013. - С. 39.

33. Курган Д. М. До вирішення задач моделювання напружено-деформованого стану залізничної колії з урахуванням часового параметру / Д. М. Курган, І. О. Бондаренко. // Тези Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу», 18-20.09.2013. - Дніпропетровськ, 2013. – С. 73-74.

34. Бондаренко І. О. До вирішення задач з прогнозування стану залізничної колії засобами теорії розповсюдження пружних хвиль [Текст] / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган. // Тези Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу», 18-20.09.2013. - Дніпропетровськ, 2013. – С. 74-75.

35. Бондаренко І. О. Стосовно питань визначення надійності роботи земляного полотна залізничної колії / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган. // Тези 74 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», 15-16.05.2014. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 14.

36. Бондаренко І. О. Щодо застосування геоматеріалів в конструкціях земляного полотна залізничної колії / І. О. Бондаренко. // Тези 74 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», 15-16.05.2014. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 22

37. Бондаренко І. О. Особливості, що необхідно враховувати при відновленні стану земляного полотна / І. О. Бондаренко. // Тези Міжнародного технічного семінару «Перспективні технології ремонту земляного полотна та верхньої будови колії», 25.09. 2015. - Львів, 2014. – С. 7-8.

38. Стеллей М. Перспективи дослідження модульної колійної техніки в Україні / М. Стеллей, Р. Голтгаус, О. М. Баль, М. А. Арбузов, І. О. Бондаренко, В. Є. Савлук. // Тези 75 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», 14-15.05.2015. – Дніпропетровськ, 2015. – С. 216-218.

39. Бондаренко І. О. Особливості, що необхідно враховувати при відновленні стану земляного полотна / І. О. Бондаренко. // Тези 75 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», 14 -15.05.2015. – Дніпропетровськ, 2015. – С. 218-219.

40. Бондаренко І.О. Особливості процесу розповсюдження коливань при деформативній роботі залізничної колії / І. О. Бондаренко. // Тези 75 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», 14-15.05.2015. – Дніпропетровськ, 2015. – С. 219-220.

41. Бондаренко І. О. Надійність і ресурсозбереження залізниць / І. О. Бондаренко. // Тези VI Міжнародної науково-практичної конференції «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості». 10.06-13.06.2015. – Дніпропетровськ, 2015. – С. 26-27.

42. Бондаренко І. О. Стосовно оцінки впливу дії рухомого складу на залізничну колію / І. О. Бондаренко. // Тези Міжнародної науково-практичної конференції ім. Сокола Е. М. «Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд», 9-11.09.2015. – Львів, 2015. – С. 57-59.

43. Бондаренко І. О. Аналіз впливу колісної пари на процес деформативної роботи колії / І. О. Бондаренко. // Тези XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту», 25-27.05.2016. - Дніпропетровськ, 2016. – С. 26-27.

- які додатково відображають наукові результати дисертації:

44. Бондаренко І. О. Використання цифрової вимірювальної техніки для експериментальних досліджень взаємодії колії і рухомого складу / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган, О. М. Патласов, В.Є. Савлук. // Вісник Дніпропетровського

національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2011. – №37. – С. 124–128.

АНОТАЦІЯ

Бондаренко І. О. Розвиток наукових основ оцінки роботи залізничної колії під впливом рухомого складу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.06 – «Залізнична колія» та 05.22.12. – «Промисловий транспорт» (275 – Транспортні технології). - Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2017.

Дисертація присвячена проблемі створення основ нормативної бази для оцінки життєвого циклу роботи залізничної колії за умов забезпечення надійності залізниць.

Завдяки формалізації поняття та критерію деформативної роботи і сформованій класифікації станів надійної та функціонально безпечної роботи залізничної колії за допустимими відхиленнями колії при її улаштуванні та утриманні, що запропоновані в роботі, розроблено метод теоретичної оцінки деформативної роботи колії за параметрами взаємодії колії та рухомого складу, який дозволяє дослідити зв'язок між фактичними умовами експлуатації колії, періодичності міжремонтних схем та технічними станами елементів і конструкції колії.

Розроблено метод опису передачі впливу рухомого складу на колію засобами теорії розповсюдження пружних хвиль. Механізм впливу рухомого складу на колію представлено імпульсами, які збуджують площадки контакту рейок з колесами, що розташовані за траєкторією руху колісної пари, з урахуванням часу появи та дії навантажень в них, що залежать від швидкості руху поїздів та надалі поширюється силовими хвилями. Поширення силової хвилі в елементах конструкції колії описано як процес виникнення (збудження) та розповсюдження об'ємних поздовжніх та поперечних сферичних хвиль, з урахуванням їх властивостей.

Показано можливість спрямованого регулювання процесу деформативності залізничної колії шляхом зміни характеристик матеріалів та конструкції елементів залізничної колії.

Ключові слова: надійність колії, функціонально-безпечна робота колії, деформативна робота, динамічне навантаження, амплітуда коливань, частота збудження імпульсом сили, розповсюдження коливань.

АННОТАЦИЯ

Бондаренко И. А. Развитие научных основ оценки работы железнодорожного пути под влиянием подвижного состава. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.06 - железнодорожный путь, и 05.22.12. – промышленный транспорт (275 – Транспортные технологии). - Днепропетровский национальный

университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепр, 2017.

Диссертация посвящена проблеме развития основ нормативной базы для оценки жизненного цикла работы железнодорожного пути при условии обеспечения надежности железных дорог.

Предложено ввести классификацию состояний надежной и функционально безопасной работы железнодорожного пути по допустимым отклонениям при устройстве и содержании рельсовой колеи, что обеспечит выполнение требований по надежности работы пути согласно межгосударственному стандарту ГОСТ 32192-2013.

Благодаря формализации понятия и критерия деформационной работы и сформированной классификации состояний надежной и функционально безопасной работы железнодорожного пути, по допустимым отклонениям пути при его устройстве и содержании, которые предложены в работе, разработан метод теоретической оценки деформационной работы пути по параметрам взаимодействия пути и подвижного состава, который позволяет исследовать связь между фактическими условиями эксплуатации пути, периодичностью межремонтных схем и техническими состояниями элементов и конструкции пути.

Разработан метод описания передачи воздействия подвижного состава на путь. В нем предложено в качестве динамического воздействия подвижного состава на путь рассматривать параметрическое влияние импульсов, действующих в месте контактов рельсов с колесами и распространяющихся с соблюдением свойств упругих волн. Характерной особенностью метода является применение положений теории распространения волн в твердых телах, что позволило обеспечить возможность определения фронта волны при нестационарном волновом процессе, возникающем при движении источника колебаний в неподвижной среде, обладающим эффектом Доплера при его регистрации в экспериментах.

Учтено, что особенностью передачи динамической нагрузки являются: время действия нагрузки на рельсы, что определяет частоту колебания импульса, который передается конструкции пути; переменная направленность импульса колебания во времени, которая обусловлена изменениями моды, поляризации и формы волн при распространении. Это позволило получить пространственные параметры распространения процесса деформативности в конструкции пути; прогнозировать изменения напряженно-деформированного состояния элементов конструкции и самой конструкции в зависимости от характеристик материалов и строения элементов конструкции пути; решать задачи взаимодействия контактирующих поверхностей при распространении нагрузок с учетом связей между амплитудами колебаний при переходе волн из одного элемента в другой.

Предложенные в диссертации теоретические положения позволяют усовершенствовать методы оценки работы пути под влиянием подвижного состава путем учета требований по надежности пути, направленными на недопущение изменений в его техническом состоянии, которое не обеспечивает

необходимый уровень безопасности движения и объемы перевозок. Метод определения параметрических данных распространения взаимодействия пути и подвижного состава, путем описания процесса распространения импульса нагрузки силовыми волнами в конструкции пути во времени с учетом обратной реакции элементов на них, является новым и позволяет решать задачи по устройству и содержанию конструкции железнодорожного пути с обеспечением его долговечности и полноты безопасности.

Ключевые слова: надежность пути, функционально-безопасная работа пути, деформативная работа, динамическая нагрузка, амплитуда колебаний, частота возбуждения импульсом силы, распространения колебаний.

ANNOTATION

Bondarenko I. O. Development of the scientific basis for evaluate the work of the railway track under the influence of rolling stock. - Qualifying scientific work on the manuscript.

The dissertation theses for the scientific degree of Doctor of Technical Science in the specialty 05.22.06 – Railway track and 05.22.12. – Industrial transport (275 - Transport technologies). - Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, 2017.

The work is aimed at improving the methods of assessing the operation of the track under the influence of rolling stock.

Owing to the formalization of concepts and criteria of deformation work, a method for the theoretical evaluation of the deformation work of the track has been developed in terms of the interaction parameters of the track and the rolling stock. It allows to investigate the relationship between the actual operating conditions of the track, the frequency of the overhauling schemes and the technical conditions of the elements and the design of the track.

As a basis for the classification of railway track reliability, a new system of evaluation terms for technical conditions of the track for reliability states has been developed.

The method for determining the parametric data of the propagation of the interaction of the track and the rolling stock (based on the description of the process of propagation of the load pulse by power waves in the design of the path in time, taking into account the reciprocal reaction of the elements on them) is new, and allows to solve problems in the design and content of the railway durability and completeness of safety.

Keywords: railway reliability, functional and safe operation of the railway, deformability work, dynamic load, amplitude of oscillations, excitation frequency by force pulse, oscillations propagation.

БОНДАРЕНКО ІРИНА ОЛЕКСАНДРІВНА

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ОЦІНКИ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ
КОЛІЇ ПІД ВПЛИВОМ
РУХОМОГО СКЛАДУ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Формат 60x84 1/16.

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

Видавництво Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.03

вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010