

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



МАРКУЛЬ РУСЛАН ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 625. 172: 625.143.5

**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ КОНТРОЛЮ ТА УТРИМАННЯ
ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ІЗ СКРІПЛЕННЯМ ТИПУ КПП-5**

Спеціальність 05.22.06 – залізнична колія

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2015

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор

РИБКІН Віктор Васильович,

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

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

ДАРЕНСЬКИЙ Олександр Миколайович,

Український державний університет залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедру «Колія і колійне господарство», м. Харків;

кандидат технічних наук, доцент.

ТВЕРДОМЕТ Володимир Миколайович,

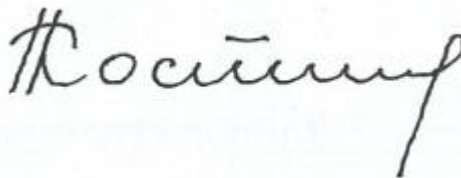
Державний економіко-технологічний університет транспорту, доцент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство», м. Київ.

Захист відбудеться «25» грудня 2015 р. о 13 годині 00 хвилин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01 у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: ауд. 314, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, 49010.

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

Автореферат розіслано « 23 » листопада 2015 р.

В. о. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради,
д. т. н, професор



М. О. Костін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Як відомо, стратегічним напрямком розвитку залізничного транспорту України є підвищення швидкості руху поїздів, що суттєво залежить від покращення якості ведення колійного господарства. Одночасно, для колійного господарства стратегічним напрямком є впровадження ресурсозберігаючих інноваційних технологій утримання залізничної колії з метою досягнення найбільшого економічного ефекту від їх впровадження, з дотриманням норм безпеки руху поїздів при підвищенні швидкості руху. Реалізація цієї мети можлива за рахунок розробки рекомендацій та технології щодо утримання залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5. На сьогоднішній день елементи скріплення типу КПП-5 згідно нормативно-технічної документації ремонту не підлягають і замінюються на нові.

Існує проблема, що пов'язана з відсутністю методики та технології контролю за роботою вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, а саме, контроль за роботою окремих його елементів, так як вони визначають надійність роботи вузла скріплення в цілому. Приведені вище твердження вказують на актуальність даної тематики дисертаційної роботи, яка може покращити принципи ведення колійного господарства за рахунок обґрунтування і розробки технології контролю та утримання залізничної колії із використанням скріплення типу КПП-5. Це дозволило б підсилити роботу вузла скріплення з одночасним збереженням працездатності вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 протягом всього міжремонтного терміну експлуатації залізничної колії.

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

Обраний напрямок досліджень, які були розроблені у межах дисертаційної роботи, був застосований при виконанні науково-дослідних робіт у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, що виконувались за завданням Головного управління колійного господарства Укрзалізниці. Дисертант був відповідальним виконавцем і співавтором документів і звітів нижче наведених науково-дослідних робіт:

- «Розробка наукових основ і техніко-економічне обґрунтування етапів впровадження швидкісного та високошвидкісного руху поїздів в Україні (№ДР 0114U002549)»;
- «Розробка пристрою для контролю сили притискання рейки до підрейкової основи у випадку застосування скріплення типу КПП-5 та регулювання сили притискання клеми КПП-5 при втраті пружності. Дослідження з метою розробки рекомендацій щодо утримання колії в залежності від сили притискання рейки до підрейкової основи при використанні скріплення типу КПП-5 (№ДР 0113U002079)».

Мета і задачі досліджень. Метою даної дисертаційної роботи є розробка технології контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5 за рахунок дослідження силової роботи вузла скріплення в процесі

експлуатації колії у відповідності критеріям безпеки руху, та впливу на колію рухомого складу.

Задачі досліджень:

1. Виконати аналіз розвитку досліджень роботи проміжних скріплень для залізобетонних шпал, в тому числі і скріплення типу КПП-5, та визначити шляхи покращення їх експлуатаційного ресурсу.
2. Для обґрунтування напруженого стану пружних клем типу КПП-5 виконати подальші дослідження моделювання залізничної колії із використанням метода кінцевих елементів, в якому врахувати особливості взаємодії рейок та підрейкових опор зі скріпленням типу КПП-5 при зовнішньому впливі рухомого складу.
3. Виконати експериментальні дослідження роботи залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5 для оцінки напруженого стану пружних клем типу КПП-5 з метою перевірки адекватності математичної моделі реальним умовам експлуатації.
4. Розробити методику та практичні засоби контролю за станом роботи пружних елементів рейкового скріплення типу КПП-5.
5. Дослідити та обґрунтувати оцінку стану пружних і залишкових деформацій у елементах рейкового скріплення типу КПП-5 та їх вплив на силову роботу вузла скріплення під час експлуатації.
6. З допомогою розробленої методики і практичних засобів розробити та обґрунтувати технологію контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5; визначити економічну ефективність від її впровадження.

Об'єкт досліджень – процес силового взаємозв'язку у вузлі скріплення типу КПП-5 як закономірність між пружними і залишковими деформаціями у його елементах.

Предмет досліджень – проміжні рейкові скріплення залізничної колії.

Методи досліджень. У дисертаційній роботі використано комплексний метод досліджень, який враховує теоретичну і експериментальну частини. Для теоретичних досліджень застосовували метод математичного моделювання на основі використання метода кінцевих елементів (МКЕ), а також методи математичної статистики для обробки результатів експлуатаційних досліджень та експериментальних випробувань роботи залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5. Усі теоретичні дослідження виконували за допомогою ПЕОМ у операційній системі Windows на базі програмного забезпечення. Математичне моделювання взаємодії колії та рухомого складу виконувались у програмних комплексах ANSYS, та NASTRAN. Обробку експериментальних даних проводили у програмних комплексах ANSYS, та NASTRAN.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному.

1. Отримала подальший розвиток математична модель залізничної колії із врахуванням проміжного скріплення типу КПП-5, яка на відміну від існуючих враховує кінематичні та силові взаємозв'язки між елементами скріплення, що дозволяє визначити напружений стан найбільш напруженого елемента – клеми у вузлі скріплення типу КПП-5.

2. Вперше встановлені закономірності напруженого стану пружних клем скріплення типу КПП-5, що дозволило більш достовірно дослідити напружений стан пружних клем у вузлі скріплення одночасно по внутрішній та зовнішній стороні рейкової нитки.

3. Одержана невідома раніше математична залежність зміни сили притискання рейки до підрейкової основи при скріпленні типу КПП-5 в процесі експлуатації, яка дозволяє враховувати важливу складову величини інтенсивності зниження сили притискання і монтажної сили притискання, а також робить можливим оцінки зміни сили притискання рейки до підрейкової основи при різних пропущених тоннажах.

4. Вперше запропоновано та використано методику, яка дозволила більш повно, в порівнянні із діючими, використовувати експлуатаційні ресурси елементів скріплення типу КПП-5 за рахунок своєчасного контролю та підсилення силової роботи вузла скріплення під час експлуатації в колії. На основі даної методики розроблено технологію контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що отримані в роботі наукові положення та результати являються базою для вирішення важливої задачі – розробка технології контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5.

Розроблені та обґрунтовані наукові результати дозволяють підвищити ефективність експлуатації залізничної колії із скріпленням типу КПП-5, що є важливим у сучасних умовах ринкової економіки, а саме в даній дисертації.

1. Запропонована методика контролю за станом роботи пружних елементів скріплення типу КПП-5 дозволила розробити конструкцію колійного пристрою, призначеного для визначення пружності та сили притискання клеми при скріпленні типу КПП-5, який прийнято до попереднього використання у вигляді акту впровадження «Розробка пристрою для контролю сили притискання рейки до підрейкової основи у випадку використання скріплення типу КПП-5» в колійному господарстві Придніпровської залізниці. Із появою даної конструкції пристрою появляється можливість встановити контроль за силовою роботою вузла скріплення типу КПП-5 під час експлуатації колії.

2. Із використанням запропонованої методики та розробленої конструкції колійного пристрою було визначено допустиме мінімальне значення сили притискання, при якій стабільно буде притискатись рейка до підрейкової основи із одночасним збереженням оптимальної величини опору поздовжньому переміщенню рейкової нитки.

3. Отримані в дисертації результати силової роботи вузла скріплення типу КПП-5 дозволили розробити технологію контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5. Розроблена технологія базується на проведенні контролю та своєчасного підсилення силової роботи вузла скріплення типу КПП-5 у вказані терміни експлуатації колії.

Отримані в дисертації висновки та рекомендації щодо технології контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5 використовуються у навчальному процесі при підвищенні кваліфікації фахівців

колійного господарства Укрзалізниці в навчально-науково-методичному центрі післядипломної освіти Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Особистий внесок здобувача. Автор спільно з науковим керівником сформулював мету, задачі досліджень, а також обговорював отримані результати. Основні наукові положення, результати теоретичних та експериментальних досліджень дисертаційної роботи отримані особисто автором. У наукових працях, що опубліковані в співавторстві, особистий внесок автора такий: у роботі [1] – досліджено заходи щодо можливості укладання анкеризованих залізобетонних шпал у колію із вітчизняними проміжними рейковими скріпленнями типу КПП-5 та СКД65-б, з метою збільшення стійкості залізничної колії в повздовжній та поперечній площині; у [2] – приведені дослідження впливу різних факторів на силову роботу вузла скріплення типу КПП-5; у [3] – розроблена технологія контролю та утримання залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5; у [4] - удосконалено математичну модель роботи залізничної колії з проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 під дією рухомого складу для дослідження найбільш імовірних місць появи напруженого стану в елементах вузла скріплення; у [5] проаналізовано напружено-деформований стан колії із скріпленням типу КПП-5 для підтвердження адекватності математичної моделі та визначення місць встановлення вимірювальних датчиків за результатами математичного моделювання взаємодії колії та рухомого складу; у [6] - досліджено техніко-економічне порівняння можливості укладання конструкції безстикової колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5; у [7] - проведено дослідження нормативів улаштування колії на інтенсивність бічного зношення головки рейки в кривих ділянках досліджено вплив різних параметрів улаштування колії на інтенсивність бічного зношення головки рейки в кривих ділянках, з одночасним зменшенням величини сили притискання рейки до підрейкової основи при скріпленні типу КБ та КПП-5; у [8] – досліджено заходи щодо удосконалення конструкції колії при застосуванні шурупно-дюбельного кріплення для скріплень типу КБ та СКД, з одночасним зменшенням елементів у вузлі скріплення в порівнянні з нероздільним скріпленням типу КПП-5; у [9] - розглянуто та обґрунтовано можливості укладання конструкції безстикової колії у кривих, радіусом менше 300 м, із використанням сучасних видів скріплення; у [10] – моделювання взаємодії залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 та КБ та рухомого складу в горизонтальній площині; у [11] - досліджено напружено-деформований стан в елементах проміжного рейкового скріплення типу КБ та КПП-5 при повторно змінних циклах навантаження; у [12] - розробка пристрою для розрядки температурних напружень у плітях безстикової колії; у [13] - розробка конструкції пристрою для контролю сили притискання клеми типу до рейки в проміжному рейковому скріпленні, проведення полігонних досліджень з метою визначення пружних характеристик та її силової роботи при експлуатації; у [14] - досліджено вплив множини факторів на величину сили притискання рейки до підрейкової основи у випадку використання проміжного рейкового скріплення типу КПП-5; у [15] –

отримано патент на корисну модель, з метою покращення роботи вузла проміжного рейкового кріплення типу КБ та СКД при експлуатації; у [16] - розроблено патент на корисну модель, з метою зміцнення конструкції залізничної колії в повздовжній та горизонтальних площинах при використанні анкеризованих шпал.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації докладалися та обговорювалися на Міжнародних наукових конференціях: «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», присвяченій 150-річчю заснування українських залізниць, 10-річчю вітчизняного пасажирського вагонобудівництва (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, травень 2011 р.); «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу», яка присвячена 100-річчю професора Мойсея Абрамовича Фрішмана (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, вересень 2013 р.); «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, квітень 2014 р.); «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, травень 2015 р.); у повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на між кафедральному семінарі кафедр «Колія та колійне господарство», «Проектування та будівництво доріг» та «Колієвипробувальної науково-дослідної галузевої лабораторії» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, березень 2015 р.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані у 16 наукових працях, у тому числі: 7 статей – у фахових виданнях, затверджених МОН України та включених до міжнародної наукометричної бази "Index Copernicus" [2, 3, 4, 5, 7, 8, 9]; 2 статті - у закордонному фаховому виданні [1, 6]; 5 робіт є тезами наукових міжнародних конференцій [10-14], 2 роботи – пройшли стадію патентування та зареєстровані в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі [15-16].

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та п'яти додатків.

Повний обсяг складає 250 сторінок друкованого тексту, у тому числі: 130 рисунків викладено на 78 сторінках, 59 таблиць на 70 сторінках, список літератури з 120 найменувань займає 16 сторінок, та п'ять додатків викладено на 78 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 виконано аналіз розвитку досліджень роботи проміжних скріплень для залізобетонних шпал, в тому числі і скріплення типу КПП-5, та визначено шляхи покращення їх експлуатаційного ресурсу.

Значний вклад у розвиток методик теоретичних та експериментальних досліджень роботи рейкових скріплень внесли такі вчені, як С. В. Амелін, С. В. Андреев, С. М. Бельфер, Ю. Д. Волошко, О. І. Гасанов, В. В. Говоруха, Е. І. Даніленко, О. М. Даренський, А. А. Демидов, Б. А. Євдокимов, А. Ф. Золотарський, І. А. Іванов, М. І. Карпущенко, М. Д. Костюк, П. І. Кузнєцов, В. В. Купцов, Т. О. Лапідус, В. С. Лисюк, В. І. Матвецов,

М. П. Настечик, Ф. Реззі, В. В. Рибкін, В. М. Твердомед, С. М. Фарнам, М. А. Фрішман, Г. М. Шахунянц, М. Р. Ширі, В. Я. Шульга та ін.

Починаючи з 70-80-их років минулого століття для збереження оптимального силового притискання рейки до підрейкової основи, стабільності просторової жорсткості вузла скріплення та пружної передачі динамічної дії коліс рухомого складу на колію було вирішено поступово перейти на тип скріплення з пружними клемами пруткового типу. Практично всі раніше виконані методики досліджень скріплень достовірно не давали чітких та науково-обґрунтованих результатів силової роботи всього вузла скріплення під дією сил, що передавались окремо на елементи проміжного рейкового скріплення від дії рухомого складу. Донедавна математичні моделі, що характеризують роботу проміжних рейкових скріплень були розроблені на базі математичної статистики, теорії надійності, взаємодії колії та рухомого складу у кінематичній постановці. Але зазначені методи досліджень не дають змоги встановити якісну картину силової роботи вузла скріплення.

На сьогоднішній день у зв'язку з використанням конструкцій скріплень типу КПП-5, які на даний час прийняті для широкої експлуатації по всій мережі залізниць України, підчас математичного моделювання необхідною та достовірною умовою є врахування геометричних форм та реальні умови роботи конструкції, а саме, розподілення зовнішнього навантаження, умови закріплення, а також механічні властивості використаних матеріалів, що в загальному представляють собою експлуатаційні та конструктивні характеристики роботи вузла проміжного рейкового скріплення в цілому. В подальшому це дозволить отримати якісну оцінку роботи вузла скріплення типу КПП-5, і розробити методику та технологію контролю і утримання його в процесі експлуатації.

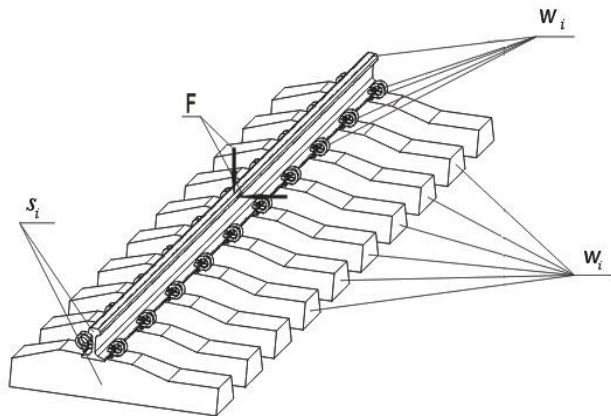
Сформульована мета і основні задачі дисертаційної роботи.

У *другому розділі* подані результати удосконалення математичної моделі роботи залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 під дією рухомого складу.

Найбільш достовірні місця напруженого стану в елементах вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, в яких в подальшому підчас тривалої експлуатації можуть виникнути напруження втоми, що призведе до його пошкодження, визначались в основному експериментальними методами або поелементно. Дані досліджень достовірно не давали науково обґрунтованих відповідей та чітких результатів роботи всього вузла проміжного рейкового скріплення під дією сил, що передавалась на його елементи від рухомого складу. В той же час удосконалена математична модель дозволяє врахувати фізико-механічні властивості дослідних елементів та геометричні умови закріплення, що представляють собою конструктивні та експлуатаційні характеристики роботи всього вузла скріплення.

В основі теоретичного дослідження роботи залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5, з детальною оцінкою напруженого стану в його проміжних елементах від дії рухомого складу лежить методика, що базується на теорії методу кінцевих елементів (МКЕ). Схема

просторової математичної моделі для дослідження та детальної оцінки роботи всього вузла рейкового скріплення типу КПП-5 з метою отримання достовірних результатів напруженого стану елементів від зовнішньої дії сил, що передаються від коліс рухомого складу, зображена на рис. 1.



Позначення:

W_i - тверdotілий i -ий елемент (об'єкт) сукупності елементів колії;

F - сукупність навантажень;

S_i - множина (сукупність) зв'язків між об'єктами.

Рис. 1 Схема просторової математичної моделі конструкції залізничної колії із скріпленням типу КПП-5

Враховуючи велике розсіювання характеристик залізничної колії та залізничних екіпажів, точність вимірювання вказаних величин під час моделювання знаходиться з допустимою похибкою на рівні $E = 10\%$. Міра змін цієї величини встановлюється коефіцієнтом варіації « ν », значення якого було прийнято $\nu = 10\%$. При математичному моделюванні під час виконання дискретизації конструкції кількість кроків (рівнів) розбивки області на кінцеві елементи (далі КЕ), визначалась виходячи з різниці у результатах не більше чим 5 %.

На основі попередньо проведених досліджень було створено наступний алгоритм:

$$R = f_{MKE}(\Omega, F, P, n | \Delta = 5\%), \quad (1)$$

де:

$$\Omega = \{\{\omega_1, \omega_2, \omega_i \dots\}, \{S_1, S_2, S_i \dots\}\}, \quad (2)$$

$$\omega_i = \{\{g_{i1}, g_{i2}, g_{ij} \dots\}, \{\varphi_{i1}, \varphi_{i2}, \varphi_{ij} \dots\}\}, \quad (3)$$

звідси:

$$R = \{\{\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{1k} \dots \sigma_{ik} \dots\}, \{y_{11}, y_{12}, y_{1k} \dots y_{ik} \dots\}\}, \quad (4)$$

де Ω - збірка елементів колії;

ω_i - тверdotілий i -ий елемент (об'єкт) сукупності елементів колії (клема, прокладка, рейка та ін.);

g_{ij} , φ_{ij} - відповідно j -ий елемент сукупності геометричних параметрів і множина фізико-механічних властивостей об'єкта ω_i ;

$S = \{S_1, S_2, S_i \dots\}$ - множина (сукупність) зв'язків між об'єктами;

F, P - сукупність навантажень та закріплень;

n - кількість циклів розрахунку;

Δ - %-на схожість суміжних результатів;

σ_{ik} , y_{ik} - k -ий елемент напружень та деформацій об'єкта ω_i ;

R - стан моделі відповідно розрахункам МКЕ.

Напруження, що пов'язані із деформаціями, описуються співвідношенням:

$$\{\sigma\} = [D] \{\varepsilon^{el}\}, \quad (5)$$

де $\{\sigma\}$ - вектор напружень;

$[D]$ - матриця жорсткості;

$\{\varepsilon^{el}\}$ - вектор пружної деформації.

Вектор напружень визначається з виразу:

$$\{\sigma\} = [\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \sigma_{xy}, \sigma_{yz}, \sigma_{xz}]^T. \quad (6)$$

Вихідний масив, виражений вектором пружної деформації, описується виразом:

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon^{th}\} + [D^{-1}] \{\sigma\}, \quad (7)$$

де $\{\varepsilon\}$ - вектор повної деформації;

$\{\varepsilon^{th}\}$ - вектор температурної деформації.,

звідси:

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yz}, \varepsilon_{xz}\}. \quad (8)$$

Вектор температурної деформації визначається з виразу:

$$\{\varepsilon^{th}\} = \Delta T [\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z, 0, 0, 0]^T, \Delta T = T - T_{REF}, \quad (9)$$

де $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$ - коефіцієнт температурного розширення елемента в напрямку площини x, y, z ;

T - існуюча температура в певній точці;

T_{REF} - температура, при якій деформації відсутні.

Вектори деформацій (ε) в певних точках x, y, z, xy, yz, xz описуються наступними рівняннями:

$$\varepsilon_x = \Delta_x \Delta T + \sigma_x / E_x - \nu_{xy} \sigma_y / E_y - \nu_{xz} \sigma_z / E_z,$$

$$\varepsilon_y = \Delta_y \Delta T + \sigma_y / E_y - \nu_{xy} \sigma_x / E_x - \nu_{yz} \sigma_z / E_z,$$

$$\varepsilon_z = \Delta_z \Delta T + \sigma_z / E_z - \nu_{xz} \sigma_x / E_x - \nu_{yz} \sigma_y / E_y,$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{G_{xy}}, \quad (10)$$

$$\varepsilon_{zy} = \frac{\sigma_{zy}}{G_{zy}},$$

$$\varepsilon_{zx} = \frac{\sigma_{zx}}{G_{zx}},$$

де $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ - величини деформацій елемента в напрямку осей x, y, z ;

$\varepsilon_{xy}, \varepsilon_{zy}, \varepsilon_{zx}$ - деформації зсуву КЕ-точок в площинах xy, xz, yz ;

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ - напруження в елементах по осі x, y, z ;

$\sigma_{xy}, \sigma_{zy}, \sigma_{zx}$ - напруження зсуву в площинах xy, xz, yz .

Згідно (5), обернена матриця описується наступним виразом:

$$[D^{-1}] = \begin{vmatrix} 1/E_x & -\nu_{yx}/E_y & -\nu_{zx}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{yx}/E_x & 1/E_y & -\nu_{zy}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{zx}/E_z & -\nu_{zy}/E_y & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_y & 1/G_z \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad (11)$$

де E - модуль Юнга по осях x, y, z ;

ν - коефіцієнт Пуансона;

G - модуль зсуву в площинах xy, xz, yz .

Напруження (σ), що виникають в елементах в напрямку осей x, y, z , та напруження зсуву в площинах xy, xz, yz , описуються за наступними виразами:

$$\sigma_x = E_x / h \left[1 - (\nu_{yx}^2) E_y / E_z \right] (\varepsilon_x - \Delta_x \Delta T) + E_x / h \left[\nu_{yx} + \nu_{zx} \nu_{yz} E_y / E_z \right] \times (\varepsilon_y - \Delta_y \Delta T) + E_x / h \left[\nu_{zx} + \nu_{yz} \nu_{zx} \right] \times (\varepsilon_z - \Delta_z \Delta T), \quad (12)$$

$$\sigma_y = E_y / h \left[1 - (\nu_{zx}^2) E_x / E_z \right] (\varepsilon_y - \Delta_y \Delta T) + E_x / h \left[\nu_{yx} + \nu_{zx} \nu_{yz} E_y / E_z \right] \times (\varepsilon_x - \Delta_x \Delta T) + E_y / h \left[\nu_{yx} + \nu_{xz} \nu_{yx} E_x / E_z \right] \times (\varepsilon_z - \Delta_z \Delta T), \quad (13)$$

$$\sigma_z = E_z / h \left[1 - (\nu_{yx}^2) E_x / E_z \right] (\varepsilon_z - \Delta_z \Delta T) + E_x / h \left[\nu_{zx} + \nu_{zy} \nu_{yx} \right] \times (\varepsilon_x - \Delta_x \Delta T) + E_y / h \left[\nu_{yz} + \nu_{xz} \nu_{yx} E_x / E_y \right] \times (\varepsilon_y - \Delta_y \Delta T), \quad (14)$$

$$\sigma_{zy} = G_{zy} \varepsilon_{zy}, \quad (15)$$

$$\sigma_{zx} = G_{zx} \varepsilon_{zx}, \quad (16)$$

де

$$h = 1 - (\nu_{xy}^2) E_x / E_y - (\nu_{zy}^2) E_y / E_z - (\nu_{xz}^2) E_x / E_z - 2\nu_{xy} \nu_{zy} \nu_{xz} E_x / E_z. \quad (17)$$

Модуль зсуву в площинах xy, xz, yz описується наступними виразами:

$$G_{xy} = (E_x E_y) / (E_x + E_y + 2\nu_{yx} E_x), \quad (18)$$

$$G_{zy} = (E_y E_z) / (E_y + E_z + 2\nu_{yz} E_y), \quad (19)$$

$$G_{xz} = (E_x E_z) / (E_x + E_z + 2\nu_{zx} E_z). \quad (20)$$

Для вибору розрахункової довжини ділянки, було розглянуто моделі довжиною 3, 4, 5 м, що склались з рейки, шпал та елементів проміжного рейкового скріплення типу КПП-5. Встановлено, при розгляді ділянки колії довжиною 5 м і більше, що також доказано багатьма вченими-колієниками, лінії впливу загасають на відстані 2-3 м від місця прикладання сили. Тому для подальших розрахунків та досліджень прийнята ділянка залізничної колії, довжиною 5 м.

У *третьому розділі* проведено експериментальні дослідження взаємодії рухомого складу та залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5. Дослідження проводили галузевою Колієвипробувальною науково-дослідною лабораторією ДНУЗТу на ділянці Нижньодніпровськ-Вузол - Самарівка (в кривій радіусом 400 м) Придніпровської залізниці. Дослідна ділянка розміщувалась в зоні кругової кривої.

Вертикальні сили визначали розшифровкою експериментальних даних, отриманих «Колієвипробувальною науково-дослідною лабораторією» ДНУЗТу. Для їх реєстрації використовували підсилювачі. Бокові динамічні сили, що діють від коліс на рейки в залежності від значень напружень, отриманих експериментально в кромках підшви рейки та головки рейок, розраховували за методикою О. П. Єршкова.

Максимальні значення бічних сил не перевищують 81,27 кН. Максимальні значення вертикальних сил досягають 170,7 кН. Ці значення не перевищують рекомендованих максимальних відповідно 150 кН та 200 кН. Значення напружень, в кромках підшви рейок залежності розподілялись в діапазоні від 130 МПа до 172 МПа під локомотивами та від 95,9 МПа до 162 МПа під вагонами, що значно менше 240 МПа.

Оскільки задачею досліджень являлась оцінка роботи в експлуатаційних умовах вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, для проведення експериментальних досліджень, (відповідно), було укладено в колію партію із 10 залізобетонних шпал типу СБ-3 під проміжне рейкове скріплення типу КПП-5 в межах кругової кривої. Вибір місць наклейки тензодатчиків на елементи скріплення було визначено теоретично з допомогою вище представленої методики математичного моделювання - МКЕ, за умови імовірнісної появи максимальних напружень по всій довжині прутка клеми. Верифікація удосконаленої математичної моделі та експериментально-отриманих значень напружень у прутках клеми наведена на рис. 1 і 2.

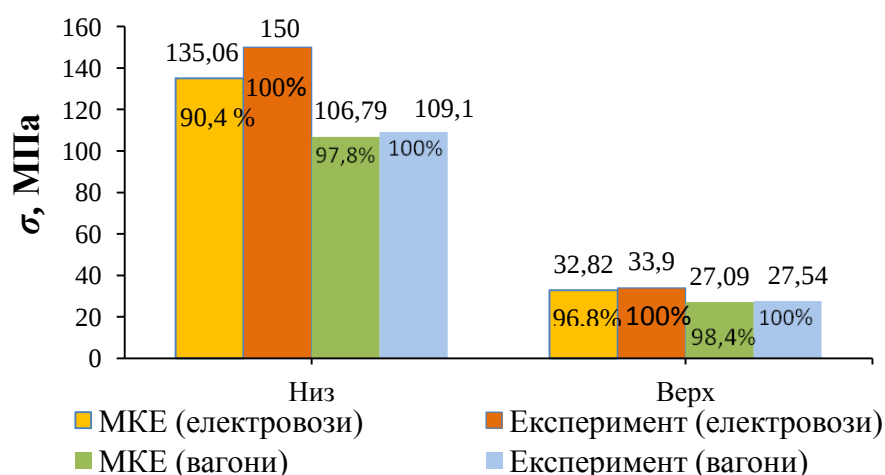


Рис. 1 Порівняльні значення напружень в клемі №1 (внутрішня сторона рейкової нитки) при різних методиках для локомотивів та вагонів

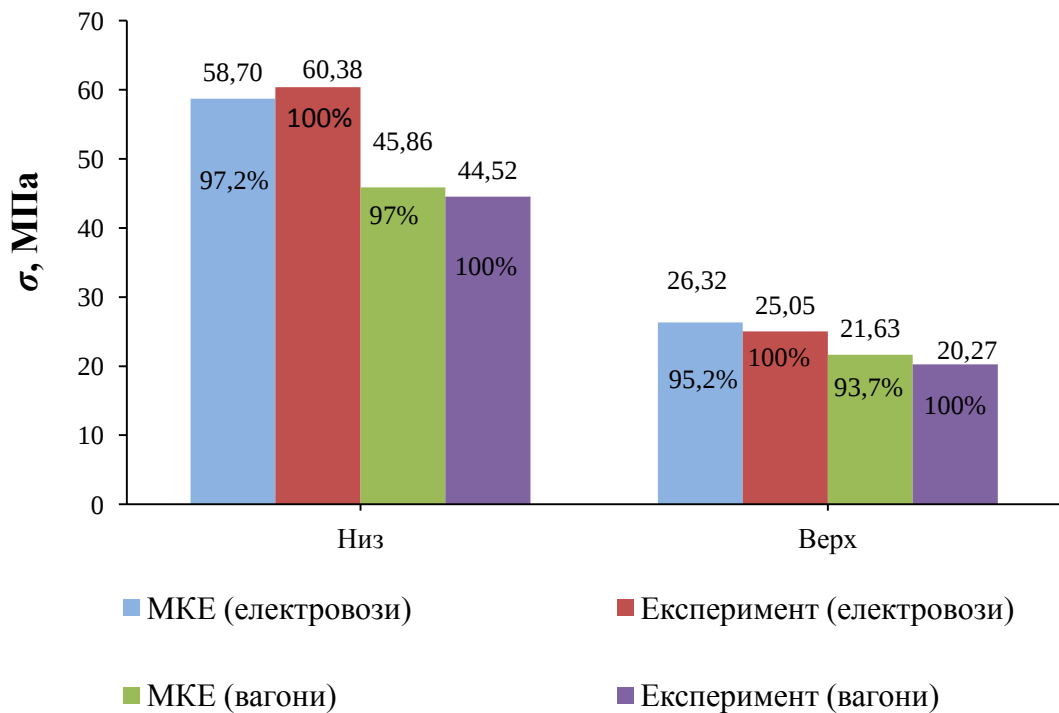


Рис. 2 Порівняльна значення напружень в клемі №2 (зовнішня сторона рейкової нитки) при різних методиках для локомотивів та вагонів

Порівняльна характеристика отриманих експериментальних даних з теоретичними підтверджує достовірність результатів, отриманих моделюванням. В місцях технологічних згинів прутка клеми, де виникають максимальні напруження від згину під час експлуатації, будуть виникати концентратори напружень в металі клеми, що в подальшому можуть призвести до втрати пружних властивостей та появи зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи з одночасною можливою появою угону колії.

У *четвертому розділі* приведено результати дослідження пружних властивостей елементів рейкового скріплення типу КПП-5 та їх вплив на силу притискання рейки до підрейкової основи. Для попередження можливого виникнення угону плітей безстикової колії, а також прискореного подальшого руйнування окремих елементів скріплення, що частково пов'язаного з недостатнім притисканням рейки до підрейкової основи, автором спільно з кафедрою «Колія та колійне господарство» ДНУЗТу у 2014 р. розроблена конструкція колійного пристрою, призначеного для визначення пружних властивостей клеми типу КП та її сили притискання до рейки під час експлуатації.

З метою дослідження жорсткісних властивостей клеми скріплення типу КПП-5 проведені дослідження, що супроводжувались встановленням залежності між робочим ходом клеми при різних приростах навантаження (P , кН). Було досліджено клеми із найбільш імовірними діаметрами прутка, який становить – 16 мм, 16,5 мм та 17 мм, що було отримано під час замірів. Якісна оцінка зміни пружного ходу клеми, що виникає при різних приростах навантаження, показана на рис. 3.

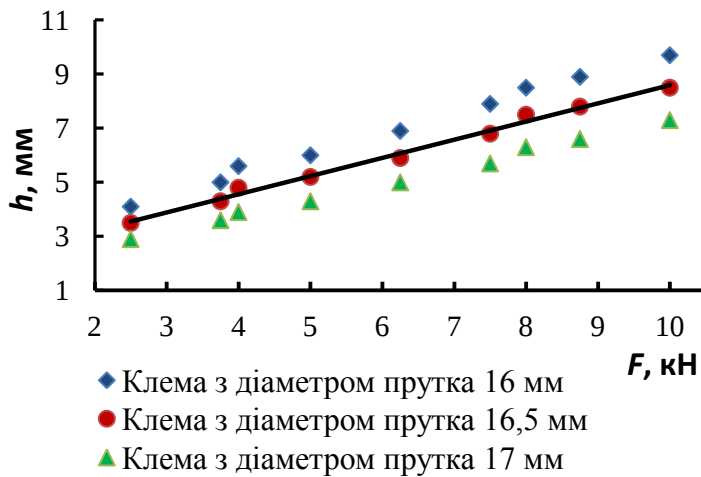


Рис. 3 Апроксимація результатів величини пружного ходу клеми в залежності від приросту навантаження

Встановлено, що середнє значення жорсткості та пружного ходу нової клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 становить відповідно $J_K = 1,192 \text{ кН/мм}$, $y = 8,5 \text{ мм}$, що входить в діапазон допусків, згідно попередніх досліджень вчених-колійників. Значення пружного ходу клеми носить випадковий характер, що також залежить від розташування вісі отвору анкера відносно підрейкової площадки залізобетонної шпали після замонолічення його в шпалу. Схема вимірювання центрування осей отвору анкера показана на рис. 4.

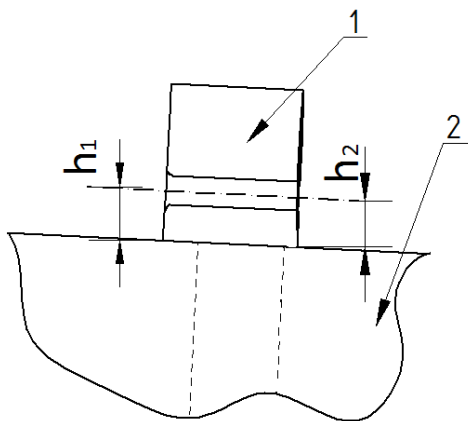


Рис. 4 Схема вимірів центрування осей отвору анкер відносно підрейкової площадки залізобетонної шпали

Позначення:

1 – анкер; 2 – шпала типу СБЗ-0.

Проаналізувавши отримані дані, було встановлено, що вірогідна оцінка очікуваного значення величини ходу клеми при її монтажі в робоче положення коливається в межах $\delta = 11 \dots 15 \text{ мм}$, середнє значення якого становить відповідно - $\delta_{\text{сер}} = 13 \text{ мм}$. При цьому, значення величини сили притискання у відповідності до діапазону значень ($\delta = 11 \dots 15 \text{ мм}$) становитиме $P_T = 13,58 \dots 19,54 \text{ кН}$. Середнє значення монтажно́ї сили притискання клемою рейки до підрейкової основи становитиме $P_T^{\text{сер}} = 16,56 \text{ кН}$. Для більш детальної оцінки стабільності роботи силового ланцюжка «рейка-клема-прокладка» були проведені експериментальні полігонні дослідження по визначенню сили притискання клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 до рейки підчас експлуатації. Дослідження проводились на ділянках з пропущеним тоннажем: 147, 160, 173, 185, 277,9 та 447,3 млн. т. бр. Отримані номінальні середні значення величини пружного ходу, жорсткості клеми та її сили притискання до рейки при одночасно зношених прокладках на ділянках колії із

різним пропущеним тоннажем зображені відповідно на рис. 5-7.

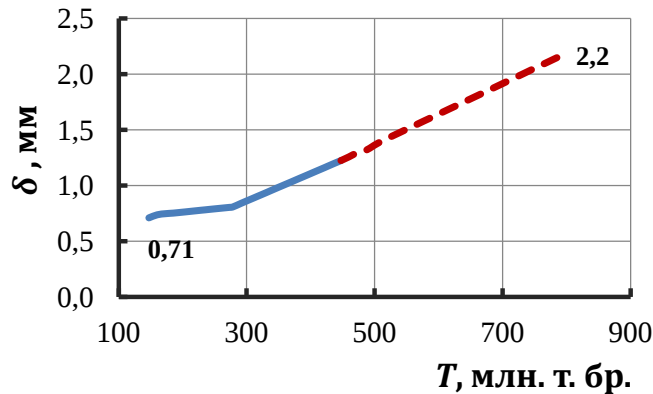


Рис. 5 Залежність пружного ходу клеми при експлуатації відносно пропущеного тоннажу

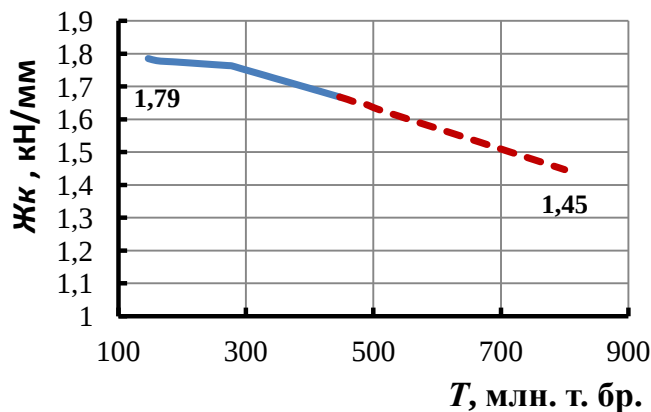


Рис. 6 Зміна жорсткості клеми при експлуатації відносно пропущеного тоннажу

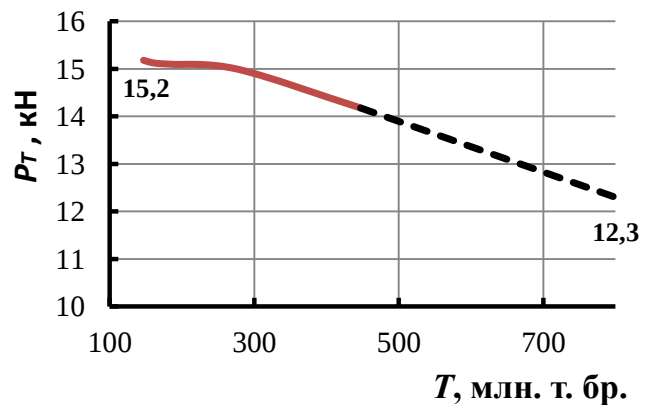


Рис. 7 Зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи в залежності від релаксації клеми

Для більш детальної оцінки силової роботи пружних клем були виконані дослідження по визначенню пружної деформації клеми в залежності від технологічного процесу – «монтаж-демонтаж». Дослідження проводились над вибіркою клем типу КП-5 при багато-циклового виконанні – «монтаж-демонтаж». Результати спостережень залежності величини пружної деформації від виконання – «монтаж-демонтаж» було апроксимовано. Характер зміни величини пружної деформації крайньої консолі (носіка) клеми носить нелінійний характер, що описується виразом:

$$y = 0,0009x^3 - 0,025x^2 + 0,2722x - 0,2381. \quad (21)$$

Підставивши значення першого виконання – «монтаж-демонтаж» в функцію «у», встановили, що величина пружної залишкової деформації клеми становитиме $y=0,01$ мм.

З метою дослідження роботи підрейкових прокладок по впливу на величину сили притискання були виконані заміри їх пружних залишкових деформацій при експлуатації у вузлі рейкового скріплення типу КПП-5. Отримані експериментальні дані наочно зображено на рис. 8

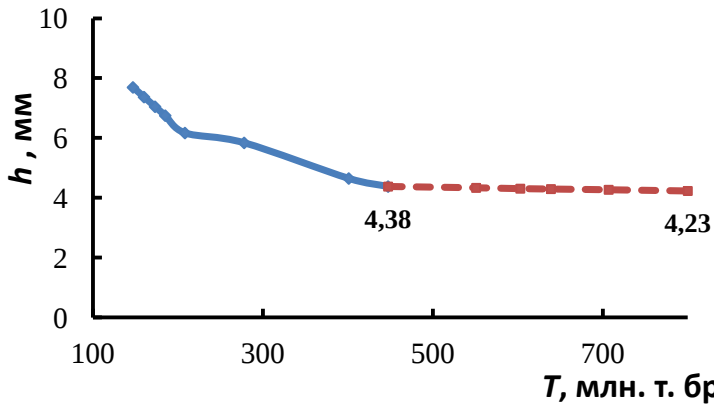


Рис. 8 Зміна товщини підрейкової прокладки в залежності від пропущеного тоннажу

Згідно теоретично виконаних досліджень, можна передбачити, що товщина підрейкової прокладки підчас експлуатації при пропущеному тоннажі від $T=400$ млн. т. бр. до $T=800$ млн. т. бр. практично не змінюється, що становить 9 %. Доцільним можна припустити, що поліуретанові прокладки типу ПРП-2.1 мають високу жорсткість, при якій не виконується пружна передача динамічної дії коліс рухомого складу на колію. Виникає зношення (стирання) рифлів (випуклостей) на поверхні прокладки.

Враховуючи залежність сили притискання рейки до підрейкової основи у вузлі проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 від різних факторів, що розглядались та досліджувались вище, було встановлено загальне передбачуване зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи протягом $T=0-800$ млн. т. бр., (рис. 9) та їх вплив у процентному співвідношенні (рис. 10).

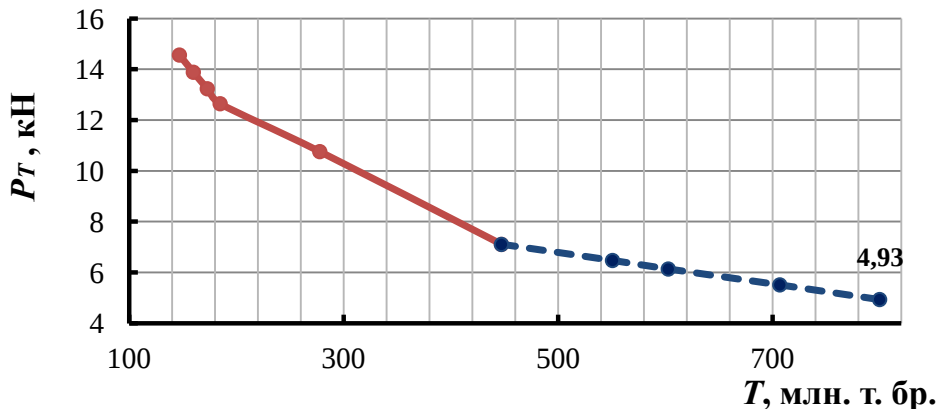


Рис.9 Графік загального зменшення сили притискання із врахуванням всіх факторів

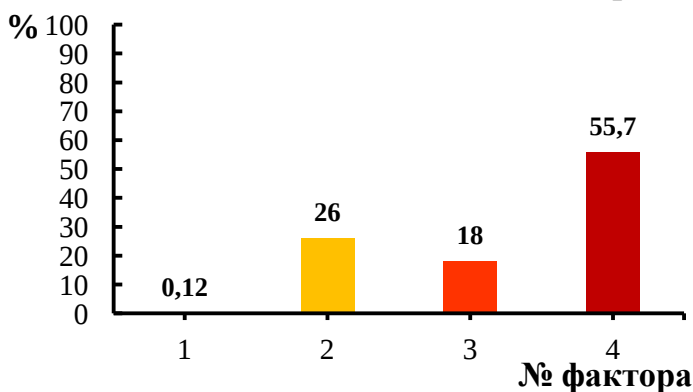


Рис. 10 Вплив факторів на силу притискання рейки до підрейкової основи в рейковому скріпленні типу КПП-5:
1-«монтаж-демонтаж клеми»;
2-релаксація клеми;
3-розташування осей анкера;
4-знос прокладки.

У *п'ятому розділі* розроблено технологію контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5.

Опір поздовжньому переміщенню рейкової нитки в основному залежить від стабільного притискання рейки до підрейкової основи пружною клемою типу КП на протязі всього міжремонтного терміну експлуатації, а також від матеріалу і якості підрейкових амортизуючих прокладок. Згідно нормативної документації, у безстиковій колії рейкові пліти та рейки зрівнювальних прольотів до залізобетонних шпал, дозволяється прикріплювати проміжними рейковими скріпленнями, що забезпечують достатній опір поздовжньому переміщенню рейкових плітей, який становить 25-30 кН/м. Тому було емпірично визначено можливе зменшення величини погонного опору рейкової нитки поздовжньому переміщенню в залежності від зміни сили притискання при проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5 (рис. 11).

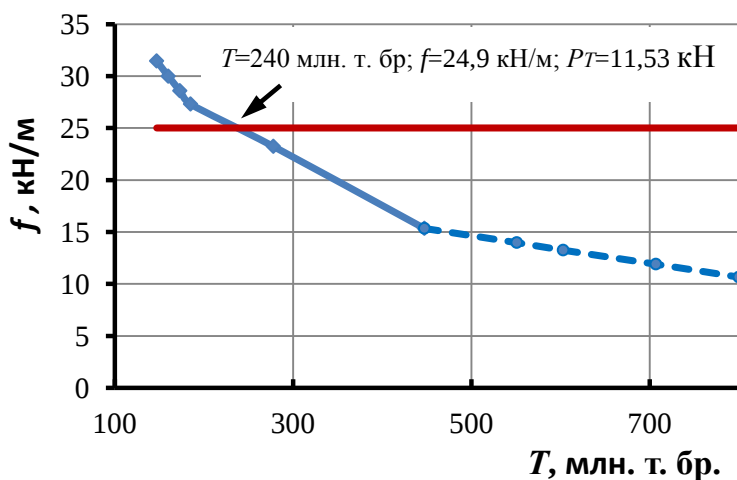


Рис. 11 Залежність зміни опору поздовжньому переміщенню рейкової нитки від пропущеного тону

Встановлено мінімальне значення сили притискання, при якій стабільно буде притискатись рейка до підрейкової основи із одночасним збереженням оптимальної величини опору поздовжньому переміщенню рейкової нитки — має бути $P_{\min} = 11,53$ кН при $T = 240$ млн. т. бр. Для попередження можливого виникнення угону плітей безстикової колії при скріпленні типу КПП-5, а також прискореного подальшого руйнування окремих елементів вузла, що частково пов'язано із недостатнім притисканням рейки до підрейкової основи, було розроблено конструкцію регулювальної пластини. Призначення пластини — підсилення та продовження роботи вузла проміжного рейкового кріплення типу КПП-5 під час експлуатації.

Товщина регулюючої пластини згідно попередніх досліджень, з метою підвищення надійної силової роботи вузла скріплення типу КПП-5 протягом усього міжремонтного періоду, проектувалась товщиною 4 мм. З використанням регулюючої пластини було визначено підвищення величини сили притискання рейки до підрейкової основи (рис. 12) та погонного опору переміщенню рейкової нитки (рис. 13) при проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5.

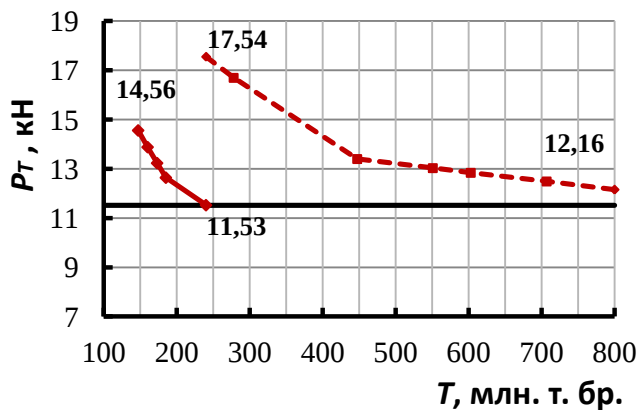


Рис. 12 Підвищення сили притискання клеми до підшви рейки з використанням регулюючих пластин

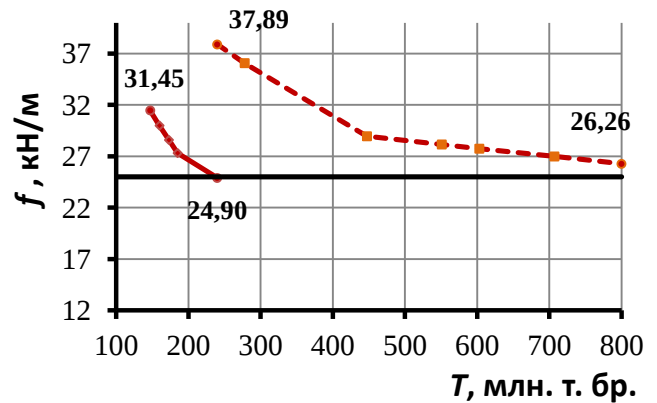


Рис. 13 Підвищення погонного опору зміщенню рейкової нитки з використанням регулюючих пластин

Встановлено, що сила притискання рейки до підрейкової основи починаючи з $T=240$ млн. т. бр. при застосуванні регулюючих пластин – підвищується на $P_T=34,26$ %, а величина погонного опору зміщенню рейкової нитки підвищується на $f=34,28$ %, що збільшує термін експлуатації вузла скріплення типу КПП-5 із одночасним забезпеченням оптимального рівня силового ланцюжка – «рейка-клема-прокладка» з $T=240$ млн. т. бр. до $T=800$ млн. т. бр. Згідно із вище представленими дослідженнями, було запропоновано рекомендації щодо технології контролю та утримання залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 протягом всього міжремонтного терміну експлуатації, які показані на рис. 14.

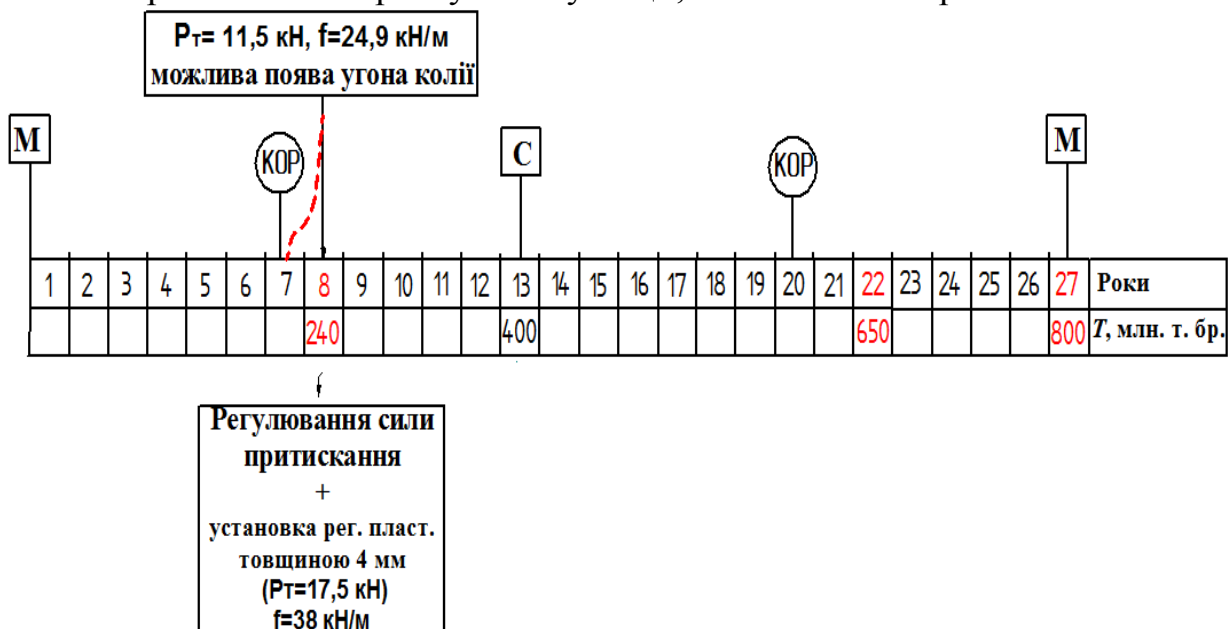


Рис. 14 Технологія контролю та утримання залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5 з використанням регулювальних пластин товщиною – 4 мм

У шостому розділі приведено результати техніко-економічної ефективності від запропонованих рекомендацій по утриманню залізничної колії із скріпленням типу КПП-5. На підставі економічних розрахунків встановлено, що використання запропонованої технології контролю та регулювальних

пластин з метою підсилення конструкції вузла проміжного рейкового кріплення типу КПП-5 протягом усього міжремонтного терміну дозволяє економити практично по всіх видах проміжних ремонтів та поточного утримання (рис. 15).

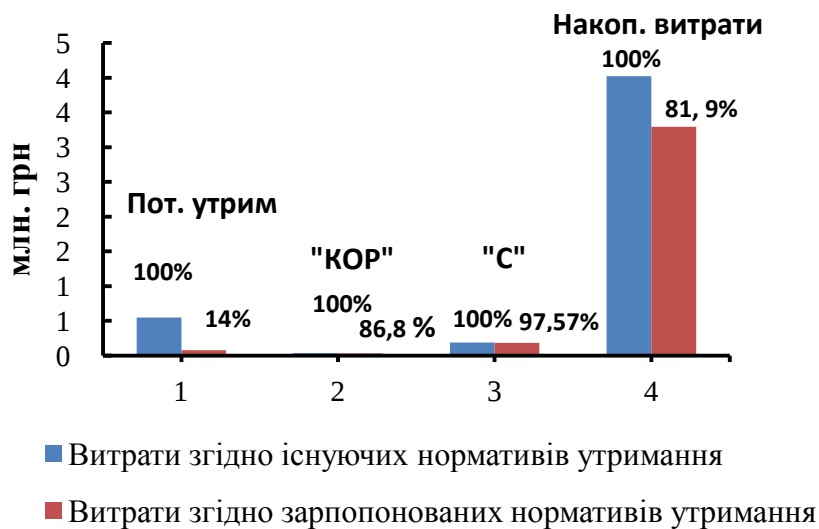


Рис. 15 Економічний ефект від впровадження запропонованої технології контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5

Результати розрахунків економічного ефекту від впровадження запропонованої технології контролю та утримання 1 км залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 за весь міжремонтний термін дозволить зменшити витрати на 18,04 % в основному за рахунок зменшення витрати часу на заміну елементів вузла скріплення та економії матеріалів ВБК.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішена важлива наукова задача розробки технології контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5. Отримані результати у сукупності мають суттєве значення для колійного господарства залізничного транспорту України.

Основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації полягають в наступному.

1. Аналіз розвитку існуючих досліджень показав, що підчас тривалої експлуатації у скріпленні типу КПП-5 виявляється ряд недоліків, пов'язаних із передчасним виходом його елементів з ладу. Причиною цього є недостатньо вивчена силова робота в колії пружних елементів вузла скріплення. Згідно існуючої нормативно-технічної документації, елементи скріплення ремонту не підлягають, а замінюються на нові. Отже, існує проблема, пов'язана з відсутністю методики та технології контролю і утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5.

2. Застосування розробленої математичної моделі взаємодії рухомого складу та залізничної колії із скріпленням типу КПП-5, що базується на базі «МКЕ», дозволяє підвищити точність теоретичних розрахунків з дослідженням найбільш імовірних місць появи напруженого стану в елементах вузла скріплення, за рахунок якісного збігу результатів моделювання з експериментальними. Середні значення НС в прутках клеми відрізняються від

експериментальних: для локомотивів – на 5,2 %; для вагонів – на 3,3 %.

3. Доведено, що в місцях технологічних згинів прутка клеми середні значення напружень згину по зовнішній стороні рейкової нитки на 48-50 % менше, ніж напруження, які виникають в прутках клеми по внутрішній стороні рейкової нитки.

4. З метою контролю силової роботи вузла рейкового скріплення типу КПП-5 розроблена конструкція колійного пристрою, для визначення пружності та сили притискання клеми при скріпленні типу КПП-5.

5. Дослідження по впливу різних факторів на процес зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи при скріпленні типу КПП-5 у %-му співвідношенні показують, що за рахунок релаксації клеми 26 %, зношення підрейкової прокладки -55,7 %, центрування отворів анкерів 18 %, виконання технологічного процесу – «монтаж-демонтаж» 0,12 %. Ізолюючий вкладиш типу ВПІ не приймали до уваги, так як зношення опорної його поверхні, що примикає до підшви рейки підчас полігонних досліджень не спостерігалось. Передбачуване значення зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи протягом 0-800 млн. т. бр. з врахуванням впливу вище приведених факторів може досягати $4,9 \approx 5 \text{ кН}$. Мінімальне значення сили, при якій стабільно буде притискатись рейка до підрейкової основи із одночасним збереженням оптимальної величини опору поздовжньому переміщенню рейкової нитки має бути 11,5 кН при 240 млн. т. бр.

6. Розроблена технологія контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5. Із використанням регулювальних пластин (товщина 4 мм) при пропущеному тоннажі 240 млн. т. бр., сила притискання клеми до підшви рейки починаючи з 240 млн. т. бр. підвищується на 34,2 % а величина погонного опору зміщенню рейкової нитки на 34,3 %. Одночасно забезпечується оптимальна робота силового ланцюжка – «рейка-клема-прокладка» протягом з 240 млн. т. бр. до 800 млн. т. бр.

7. Економічний ефект від впровадження розробленої технології контролю та утримання на 1 км залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 при поточному утриманні складає що становить – 86 %, при комплексно-оздоровчого ремонті 13 %; при середньому ремонті колії 2,5 %. За весь міжремонтний термін дозволить зменшити витрати на 18,04 %.

Основні положення та результати дисертації опубліковано у наступних роботах:

Основні праці:

1. Rybkin V. V. Stability issues of the continuous welded rail track on the concrete sleepers on the curves with radius $R \leq 300 \text{ m}$. / V. V. Rybkin, N. P. Nastechik, R.V. Marcul // Sciences in Cold and Arid Region – Beijing, 2013. – Vol. 5, Iss. 654. – 658.

2. Настечик М. П. Вплив пружних деформацій в елементах скріплення типу КПП-5 на величину сили притискання рейки до підрейкової основи / М. П. Настечик, Р. В. Маркуль, В. В. Савицький // Вісник Дніпропетровського національного ун-ту залізн. тр-ту, Д. – 2015 № 4. – С. 110-120.

3. Маркуль Р. В. Розробка технології контролю та утримання залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5 / Р. В. Маркуль // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту, К. – 2015. № 26. – С. 95-106.

4. Настечик М. П. Дослідження напруженого стану в елементах вузла скріплення типу КПП-5 під дією рухомого складу / М. П. Настечик, І. О. Бондаренко, Р. В. Маркуль // Вісник Дніпропетровського національного ун-ту залізн. тр-ту, Д. - 2015. № 2. – С. 146-156.

5. Настечик М. П. Експериментальні дослідження взаємодії рухомого складу та залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 / М. П. Настечик, Р. В. Маркуль // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту, К - 2014. № 25. – С. 80-91.

6. Настечик М. П. Економічна ефективність укладання безстикової колії в кривих малого радіуса / М. П. Настечик, В. В. Рибкін, Р. В. Маркуль М. А. Арбузов, К. Л. Каленик // Збірник наукових праць Донецького ін-ту залізн. тр-ту, - 2013. № 32. - С. 216-226.

7. Рибкін В. В. Дослідження параметрів улаштування колії на інтенсивність бічного зношення головки рейки в кривих ділянках / В. В. Рибкін, М. П. Настечик, М. А. Арбузов, К. Л. Каленик, Ю. О. Макаров, Р. В. Маркуль // Збірник наукових праць Донецького ін-ту залізн. тр-ту, - 2013. № 34. - С. 155-162.

Додаткові праці:

8. Рибкін В. В. Удосконалення конструкції колії при застосуванні шурупно-дюбельного кріплення для скріплень типу КБ та СКД / В. В. Рибкін, М. П. Настечик, Р. В. Маркуль // Збірник наукових праць Донецького ін-ту залізн. тр-ту, - 2013. № 34. - С. 162-168.

9. Рыбкин В. В., Н. П. Настечик, Р. В. Маркуль Исследование вопросов внедрения конструкции бесстыкового пути на железобетонных шпалах в кривых радиусом менее 300 м / В. В. Рыбкин, Настечик Н. П., Маркуль Р. В. // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути: Тр. X-ой научно технической конференции с международным участием – Москва: Изд-во МГУПС, 2013. С. 198-201

10. Рибкін В. В. Оцінка впливу величини бічної горизонтальної сили, що передається від дії рухомого складу на особливості роботи елементів вузла проміжного рейкового скріплення типу КБ та КПП-5 / В. В. Рибкін, М. П. Настечик, Р. В. Маркуль // Праці Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу» ДНУЗТ 2013. – Д., 2013. – С. 38-39.

11. 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 // Праці Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу» ДНУЗТ 2013. – Д., 2013. – С. 39.

12. Рибкін В. В. Пристрій для розрядки температурних напружень в плітях безстикової колії / В. В. Рибкін, М. П. Настечик, Р. В. Маркуль // Праці Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу» ДНУЗТ 2013. – Д., 2013. – С. 47-48.

13. Рибкін В. В. Конструкція пристрою для контролю сили притискання клеми до рейки в проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5 / В. В. Рибкін, М. П. Настечик, Р. В. Маркуль, Савицький В. В. // Тези доповіді на 74 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» ДНУЗТ 2014. – Д., 2014. – С. 257-258.

14. Настечик М. П. Дослідження силової роботи вузла рейкового скріплення типу КПП-5 / М. П. Настечик, Р. В. Маркуль // Тези доповіді на 75 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» ДНУЗТ 2015. - Д., 2015. – С. 250-251.

15. Пат. 78583 Україна МПК⁵¹ : E01B 9/00, E01B 9/14, E01B 9/30, E01B Дюбельний вузол для анкерного кріпильного вузла рейкового кріплення / Настечик М. П., Рибкін В. В., Рагулін П. В., Маркуль Р. В., Юрковський Є. Ю., Жак В. І.; заявники та власники Настечик М. П., Рибкін В. В., Рагулін П. В., Маркуль Р. В., Юрковський Є. Ю., Жак В. І. - № u201210512 заявл. 05.09.2012, опубл. 25.03.2013, бюл. № 6.

16. Пат. 74528 Україна МПК⁵¹ : E01B 3/00 Підрейкова опора / Настечик М. П., Рибкін В.В., Маркуль Р. В., Юрковський Є. Ю.; заявники та власники Настечик М. П., Рибкін В.В., Маркуль Р. В., Юрковський Є. Ю. - № u201210484 заявл. 05.09.2012, опубл. 25.10.2012, бюл. № 20.

АНОТАЦІЯ

Маркуль Р. В. Розробка технології контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.06 – залізнична колія. - Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2015.

Дисертація присвячена розробці технології контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5 шляхом якісної оцінки силової роботи вузла скріплення в процесі експлуатації.

Проведено аналіз розвитку досліджень за роботою проміжних рейкових скріплень типу КПП-5 та шляхи покращення їх експлуатаційного ресурсу.

З метою дослідження напружених процесів у елементах вузла скріплення розроблено просторову математичну модель взаємодії рухомого складу та залізничної колії з проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5.

Обґрунтовано експериментальні дослідження роботи залізничної колії із скріпленням типу КПП-5, для оцінки напруженого стану в елементах вузла скріплення, та силової взаємодії колії й рухомого складу.

Досліджено основні положення та методику оцінки стану пружних і залишкових деформацій у елементах рейкового скріплення типу КПП-5 та їх вплив на силову роботу вузла скріплення під час експлуатації.

Розроблено та обґрунтовано технологію контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5.

Ключові слова: скріплення типу КПП-5, метод кінцевих елементів, сила притискання рейки, жорсткість клеми, угон колії, безпека руху, технологія контролю та утримання, залізнична колія.

АНОТАЦІЯ

Маркуль Р. В. Разработка технологии контроля и содержания железнодорожного пути со скреплением типа КПП-5. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.06 - железнодорожный путь. - Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2015.

Диссертация посвящена разработке технологии контроля и содержание железнодорожного пути со скреплением типа КПП-5 путем качественной оценки силовой работы узла скрепления в процессе эксплуатации.

Проведен анализ развития исследований по работе промежуточных рельсовых скреплений типа КПП-5 и пути улучшения их эксплуатационного ресурса.

Разработано пространственную математическую модель взаимодействия подвижного состава и железнодорожного пути с промежуточным скреплением типа КПП-5, основанной на теории «МКЭ». В математической модели учтено геометрические формы и реальные условия работы конструкции скрепления, а именно: распределение внешней нагрузки, условия закрепления, механические свойства использованных материалов, в основном представляют собой эксплуатационные и конструктивные характеристики работы всего узла промежуточного рельсового скрепления в целом. Математическая модель позволяет повысить точность теоретических расчетов исследования наиболее вероятных мест появления напряженного состояния в элементах узла скрепления типа КПП-5 за счет качественного совпадения результатов моделирования с экспериментальными.

С целью получения эксплуатационных данных были проведены экспериментальные исследования взаимодействия подвижного состава и железнодорожного пути с промежуточным рельсовым скреплением типа КПП-5. Установлено, что в местах технологических изгибов прутка клеммы, где возникают наибольшие изгибные напряжения, в дальнейшем могут привести к потерям клеммой своих упругих свойств с одновременным появлением релаксации.

Исследовано основные положения, методика оценки состояния упругих и остаточных деформаций в элементах рельсового скрепления типа КПП-5 и их влияние на силовую работу узла скрепления во время эксплуатации. С целью контроля силовой работы узла промежуточного скрепления КПП-5 при эксплуатации разработана конструкция путевого устройства для определения упругости и силы прижатия клеммы при скреплении типа КПП-5. Устройство простое в эксплуатации недорогое при изготовлении. Установлено, что

главными факторами, влияющими на процесс уменьшения силы прижатия рельса к подрельсовому основанию при скреплении типа КПП-5, является: процесс износа подрельсовой прокладки, релаксация клеммы, центровка осей отверстия анкера относительно подрельсового основания железобетонной шпалы.

Разработана и обоснована технология контроля и содержания железнодорожного пути со скреплением типа КПП-5. Принцип данной технологии заключается в том, что в указанные сроки эксплуатации, с помощью вышеупомянутой конструкции устройства, выполняется контрольная проверка силовой работы узла скрепления. В случае, когда сила прижатия меньше минимально допустимой величины, выполняется усиления силовой работы узла скрепления типа КПП-5 с помощью регулирующих пластинами, толщиной 4 мм. Экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии контроля и содержания 1 км при текущем содержании составляет 86%, в основном за счет уменьшения расхода времени на замену элементов узла скрепления, и экономии материалов ВБК.

Ключевые слова: скрепление типа КПП-5, метод конечных элементов, сила прижатия рельса, жесткость клеммы, угон пути, безопасность движения, технология контроля и содержания, железнодорожный путь.

ABSTRACT

Marcul R. V. Development of technology of control and the maintenance of a track with a fastening type КПП-5.

Thesis for the degree of Ph.D. in the specialty 05.22.06 – railway track. - Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnepropetrovsk, 2015.

The thesis is dedicated to development of technology of control and the maintenance of a railway track with a fastening type КПП-5, by quality standard of power work of knot of a fastening in use. The analysis of development of researches on work of intermediate rail fastenings type КПП-5, and ways of improvement of their operational resource.

It is developed spatial mathematical model of interaction of a rolling stock and a railway track with an intermediate rail fastening like КПП-5 with a research objective of force and intense processes in fastening knot elements.

Grounded experimental research of railway track with a fastening type КПП-5 to assess the state of stress in the elements of fasteners, power and interaction track and rolling stock. The method and practical means of monitoring the state of the elements of the rail fastening type КПП-5.

Basic provisions and technique of an assessment of a condition of elastic and residual deformations in elements of a rail fastening type КПП-5, and their influence on force work of a fastening are investigated during operation. The technology is developed of control and the maintenance of a railway track with a fastening type КПП-5.

Keywords: fastening type КПП-5, a method of final elements, force of pressing of a rail, elasticity terminal, stealing of a track, traffic safety, technology of control and the maintenance of a way with a fastening type КПП-5.

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

МАРКУЛЬ РУСЛАН ВОЛОДИМИРОВИЧ

**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ КОНТРОЛЮ ТА УТРИМАННЯ
ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ІЗ СКРІПЛЕННЯМ ТИПУ КПП-5**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Формат 60x84 1/16.

Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0. Тираж 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, Дніпропетровськ, 49010