

Володимир Демченко^{1*}, Олексій Демченко²

¹ Доцент, Кафедра Електромеханіка та рухомий склад залізниць, Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. <https://orcid.org/0000-0002-2478-364X>

² Аспірант, Кафедра Залізничної колії та колійного господарства, Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. <https://orcid.org/0000-0001-5344-9301>

* Автор, відповідальний за листування: dem4enko.vo@gmail.com

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПОВЕРХНІ КОЛЕСА ТА ЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ НА ВЗАЄМОДІЮ З КОЛІЄЮ

Для підготовки та під час виконання роботи були проведені експериментальні та теоретичні дослідження щодо впливу стану профілю поверхні кочення колісної пари на рівень сил взаємодії між елементами рейкової колії та рухомого складу в експлуатації на залізницях України. Отримали подальший розвиток підходи до моделювання впливу профілю поверхні катання колісних пар на стійкість руху колісної пари та силову взаємодію з рейковою колією. Виконані експериментальні дослідження зносу поверхні катання колісних пар рухомого складу, досліджено інтенсивність їхнього зносу залежно від пробігу локомотива. Проаналізовані дослідження впливу технічних характеристик твердості при взаємодії рейки та колеса і їхнього впливу на термін експлуатації на залізницях України. Після початку експлуатації колісних пар з збільшеним значенням твердості порушилося оптимальне співвідношення твердості рейкової і колісної сталі. З різних джерел щодо взаємодії рейки та колеса відомо, що кращу зносостійкість в парі тертя виявляють метали з приблизно однаковою твердістю. На основі отриманих даних проведений їхній аналіз з розробкою рекомендацій щодо подальшої експлуатації.

Ключові слова: рейкова колія, стійкість руху, горизонтальні сили, поздовжні сили, проміжні кріплення.

Вступ. Залізничний транспорт України розвинута галузь господарства з потужною інфраструктурою це особливо відчувається під час війни яку веде наша держава проти сусідньої росії, держави агресора. Особливо в теперішній час на вітчизняних залізницях досить складні умови експлуатації, які характеризуються низкою проблем, які в мирний час не виникали, але однією з таких проблем є суміщений рух поїздів, при якому одними магістралями рухаються як пасажирські поїзди, так і вантажні поїзди. Все це ускладнює умови експлуатації. Тому проблема взаємодії рейкової колії та колісних пар була і залишається досить актуальною і на даний час.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Виникнення досліджень по даній проблемі спонукав підвищений знос пари «рейка-колесо», які були розпочаті ще в минулому столітті, і на даний час окрім значної економічної складової мають безпосередній вплив на безпеку руху. Дослідження таких питань продовжується і в теперішній час. Перші теоретичні дослідження та розрахунки силових взаємодій базувались на параметрах нових взаємодіючих елементів рейки та колісних пар. У процесі розвитку теоретичних досліджень першим був врахований діаметр колеса, але півний профіль поверхні кочення не було враховано, більш детально дане питання розкрито в роботі [1]. Наведено аналіз впливу змінних умов експлуатації та технічних характеристик взаємодії пари рейка – колесо на знос поверхні кочення колісних пар та поверхні рейок.

Проблема вибору оптимального співвідношення твердості колісних пар та рейок залишається не вирішеною на даний час.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є експериментальне дослідження впливу параметрів колісних пар на величину горизонтальних поперечних сил із врахуванням повного профілю поверхні кочення колісної пари рухомого складу та аналіз існуючої інформації щодо впливу співвідношення твердості взаємодіючої пари «рейка-колесо». Відповідно до мети в роботі були поставлені такі завдання дослідження:

1. Провести аналіз існуючих методів контролю параметрів профілю колісних пар в експлуатації;
2. Можливостей програмного забезпечення для моделювання силової взаємодії між рейками та колесами рухомого складу при різних ступенях їхнього зносу.
3. Виконати експериментальні дослідження зі змін профілю поверхні катання колісних бандажів у процесі експлуатації.
4. На основі даних контролю про стан профілю колісних пар розробити метод перетворення цих даних у цифровий вигляд для проведення теоретичних досліджень та моделювання динамічної взаємодії коліс рухомого складу та рейок.

Основні експериментальні дослідження профілів колісних пар проводились в основному локомотивному депо. Крім того частина експериментальних даних щодо твердості колісних пар та поверхні рейок була отримана з технічної документації.

У мережі залізниць України експлуатується рухомий склад із значним навантаженням на вісь колісної пари локомотиви пасажирські від 205 кН до 220 кН, локомотиви вантажні від 230 кН до 250 кН, відповідно встановленим інструкціям на залізничних магістралях України прийняті максимальні швидкості руху для різних категорій поїздів, для пасажирських поїздів 140 км/год., рефрижераторних поїздів 120 км/год., вантажних поїздів 90 км/год. Додаткові вимоги до руху пасажирських поїздів із швидкостями більше 140 км/год. встановлюється відповідною інструкцією Державної адміністрації залізничного транспорту України. Залізницями України які мають експлуатаційну довжину колії 22,5 тисячі км виконується значний об'єм перевезень. В Європі залізниці України посідають четверте місце, а в світі одинадцяте за експлуатаційною довжиною колії.

Протяжність безстикової колії за той же період зросла на 24,5% і нині складає 71% від загальної протяжності головних колій; кількість стрілочних переводів на залізобетонних брусах зросла на 44,5% і на даний час складає біля 47% від загальної кількості стрілочних переводів, вкладених на усіх коліях Укрзалізниці, при цьому на головних коліях переводів на залізобетоні більше 71%.

Від стану верхньої будови колії залежить швидкість руху поїздів, безперебійність руху потягів, допустимі навантаження на вісь вагонів і локомотивів, об'ємів перевезень на дільницях колії, безпека руху поїздів. Від безпечної та якісної роботи насамперед колійного господарства залежить забезпечення безперервного та безпечного руху поїздів і з встановленими швидкостями.

З аналізу змін характеристик конструкції верхньої будови колії (ВБК) на вітчизняних залізницях можна бачити, що найбільш характерними рисами модернізації колій на залізницях України стало підвищення потужності ВБК, перехід на більш потужні рейки Р65, впровадження більш жорстких конструкцій підрейкової основи, а також впровадження більш твердих і більш зносостійких термозміцнених рейок на головних коліях мережі залізниць України.

З позицій взаємодії пари «колесо-рейка» особливе значення в питаннях інтенсивності зносу обох взаємодіючих елементів займає співвідношення мас, що беруть участь в взаємодії, а також співвідношення жорсткостей механічних систем, що представляють собою конструкції колії та рухомого складу, і крім того питання співвідношення твердості безпосередньо в контакті колеса і рейки.

Питання співвідношення твердості поверхні кочення колеса і рейки набуло останнім часом гостроту через те, що спеціалісти рухомого складу звернули увагу на те що в колію почали вкладатись термічно зміцнені рейки з твердістю 341-388 од. НВ. В такому випадку логічно було б збільшувати і твердість колісних пар, але при цьому потрібно витримувати встановлене раніше

раціональне співвідношення між твердістю рейки та колеса 1,1-1,2 / 1,0 на користь рейки. Результати виміру зносу гребенів і поверхні кочення бандажа (прокат) показали, що із зменшенням товщини гребеня в результаті його фізичного зносу до товщини 30-29 мм, подальша інтенсивність його зносу значно знижується. Це свідчить про те, що передача сили тяги через гребінь зменшується. Таким чином в результаті виконаного аналізу можна зробити такі висновки щодо причин збільшення зносу:

1. По рухомому складу:
 - 1.1. Суттєво збільшилась потужність локомотивів;
 - 1.2. Зросли навантаження від коліс на рейки у локомотивів і вагонів;
 - 1.3. З переходом на інший тип рейки залишилась незмінною відстань між внутрішніми гранями бандажів колісних пар, Змінився коефіцієнт тертя в контакті рейки та колеса;
 - 1.4. Відхилення від нормативних вимог в бік збільшення, геометричних параметрів установки колісних пар при виготовлення та в експлуатації;
 - 1.5. Перевищення встановлених норм по різниці діаметрів поверхні катання коліс, однієї колісної пари;
 - 1.6. Змінилось співвідношення якості і твердості металу колісних пар та рейок;
 - 1.7. Використання різних методів зміцнення коліс і рейок, їх хімічний склад, мікроструктура;
2. По конструкції верхньої будови колії:
 - 2.1. Збільшилась потужність і маса конструкцій колії, що приймає участь при взаємодії пари колесо-рейка;
 - 2.2. Збільшилась жорсткість підрейкової основи, за рахунок впровадження залізобетонних шпал;
 - 2.3. Збільшилась твердість поверхні кочення рейок, що взаємодіють з колесами, за рахунок широкого впровадження термозміцнених рейок;
 - 2.4. Відповідно зі збільшенням вертикальних навантажень від коліс рухомого складу на рейки та з урахуванням збільшення потужності тягових двигунів від кожного колісно-моторного блоку локомотивів – збільшились величини контактних дотичних напружень в верхніх шарах головки рейки і внаслідок цього зросла інтенсивність накопичення контактної втоми в верхніх шарах головки рейки і внаслідок цього зросла інтенсивність накопичення контактної втоми в верхніх шарах головки рейки і знос верхніх шарів поверхні кочення залізничних рейок;
 - 2.5. Зменшились нормативи ширини колії в прямих та кривих ділянках. Результати аналізу багатьох наукових досліджень свідчать, що необхідно на противагу збільшенню навантаження на вісь, а також потужності яка передається колісною парою на рейки, передбачити низку заходів, які могли б зменшувати знос бічної грані головки рейки та поверхні кочення колісної пари.

До таких заходів можна віднести:

зменшення сили тяги, що передається однією колісною парою. На електротяговому рухомому складі який експлуатується це можливо зробити тільки зменшенням ваги вантажного поїзда. При проектуванні процесу перевезень на залізницях потрібно це враховувати;

зменшення відстані між внутрішніми поверхнями гребенів колісної пари в межах допусків;

збільшення твердості поверхні рейки, але в зв'язку з можливими боковими підрізами гребенів в межах раціонального підняття співвідношення твердості колеса і рейки;

нанесення на поверхню гребенів коліс змашувального матеріалу, що підвищує стійкість до зносу;

можливе зменшення відсотку сили тяги, що передається через поверхню гребеня, шляхом зменшення сили тертя в контакті «рейка-гребінь», але це в свою чергу може знизити використання потужності локомотива.

Використання кожного із заходів щодо зниження зносу пари «рейка-колесо» в експлуатаційних умовах, що існують на залізницях, залежить від:

1. Підбору раціональної твердості матеріалів із яких виготовляються рейки та бандажі колісних пар, також їх раціональних співвідношень;

2. В сучасних умовах універсальними заходами для всіх залізниць є: зміцнення робочої поверхні гребеня та зменшення його товщини;

3. Нанесення мастила в контакт «рейка-колесо» доповнюють вищезгадані заходи і його використовують залежно від профілю ділянки залізниці. Ефективність нанесення мастила залежить від інтенсивності зносу гребеня, від зміцнення поверхні гребеня та зменшення його товщини. Це не має сенсу на тих залізницях, де ресурс бандажа складає менше 700 тис. км пробігу. Але зміцнення поверхні бандажа, як уже згадувалось, вирішення проблеми не дасть.

Однією з проблем є відсутність досліджень впливу зміни профілю бандажа коліс тягового рухомого складу на взаємодію з колією та знос гребенів колісних пар. З моменту переходу на електротягу минуло багато часу, а таких досліджень не проводилось. Наприклад, на локомотивах які експлуатуються на Львівській залізниці вже через 3500 тис. км, параметри профілю бандажа вже мають значні відхилення від початкового (значний підріз гребенів). Дані отримані із звіту про заміри параметрів бандажів колісних пар в експлуатації який подається до служби локомотивного господарства кожної залізниці України.

Виходячи з цього потрібно зробити висновок, що до зносу гребеня з 33 мм до 25 мм 90 % пробігу до наступної обточки бандаж колісної пари працює на профілі, що не відповідає початковому. Такий стан речей має дійсно велике значення у вирішенні питань динаміки, сил, що діють на різні системи робочих частин рухомого складу та колії.

В теперішній час широко проводяться дослідження проблеми зниження силової та фрикційної взаємодії в системі «рейка-колесо», що окрім економічної складової, має значний вплив на безпеку руху. Актуальність цього питання пов'язана з витратами на заміну рейок і коліс локомотивів внаслідок підвищеного зносу цієї пари.

Через збільшення навантаження на вісь змінилась конструкція верхньої будови колії. В локомотивному господарстві в 90-х роках середній знос гребня колісної пари локомотива на 10 тисяч км становив понад 1 мм, причому в літній період знос становив майже 3 мм, для порівняння на початку 80-х років зносив лише 0,15 мм. Проаналізувавши динаміку сучасного розвитку вимірювальних систем профілю коліс, можна зробити висновок, що на теперішній час засоби, що застосовуються для контролю поверхні кочення колісних пар, мають потужні джерела випромінювання, сприйняття фотозображень, швидкодіючі пристрої оброблення інформації, що дало змогу збільшити точність вимірювань [2, 3, 4].

Основними елементами систем є засоби обробки отриманої інформації та джерела випромінювання. Із наведеної табл. 1 видно, що значення швидкості рухомого складу для різних систем значно відрізняються і мають великий діапазон, але вони достатні, щоб вимірювання проводились під час руху.

Для безпосереднього проведення експериментальних досліджень розроблена методика виконання робіт на діючих локомотивах що експлуатуються на магістральних ділянках залізничної колії на території України. Для вимірювання параметрів колісних пар використовувався лазерний профілометр рис. 1 [5, 6].

Технічні характеристики лазерного профілометра наведені в табл. 2. До програмного забезпечення роботи профілометра належить програма перегляду профілів. Програма перегляду дозволяє працювати з даними завантаженими з УЦІ, а також із раніше завантаженими даними. Програмне забезпечення дозволяє розрахувати знос поверхні кочення відносно нового профілю який називається еталонним і знаходиться в пам'яті профілометра.

Зі збільшенням швидкостей на залізничному транспорті підвищуються вимоги до безпеки руху поїздів і надійності взаємодіючих елементів в системі колесо-рейка, в тому числі геометричні параметри профілю колісної пари в експлуатації. Інтенсивність зносу профілю колісної пари як правило вища ніж інтенсивність зносу рейки.

Таблиця 1. Технічні характеристики систем контролю параметрів колісних пар

Система	Параметри які вимірюються	Похибка вимірювання, мм	Швидкість руху рухомого складу, км/год
Tread View	Профіль колеса, висота и товщина гребеня	$\pm 0,5$	8
WPMS	Висота и товщина гребеня, товщина обода, прокат на поверхні кочення		60
WheelSpec	Профіль колеса, висота и товщина гребеня, діаметр колеса, товщина обода, прокат на поверхні кочення, повзуни	Нема даних	100
WIS	Профіль и діаметр колеса, висота и товщина гребеня, товщина обода	$>\pm 0,2$; для діаметра колеса $\pm 0,4$	80
Argus	Профіль и діаметр колеса, повзуни, форма коліс	$\pm 0,2$	12
WheelScan	Висота и товщина гребеня, товщина обода, ширина поверхні кочення яка зношується	$\pm 0,05$	30

Оцінку зносу робочого профілю бандажів коліс визначають вимірюванням профілю бандажа в фіксованих точках поверхні кочення. На даний час на залізницях України вимірювання виконується в основному фахівцями по обміру колісних пар ручними шаблонами. Актуальність автоматизованих методів вимірювання параметрів колісних пар локомотивів в наш час значно збільшилась в зв'язку з необхідністю своєчасного контролю стану колісних пар при підвищених швидкостях руху. Проаналізувавши динаміку сучасного розвитку вимірювальних систем можна зробити висновок що на теперішній час засоби що застосовуються для контролю поверхні катання колісних пар мають потужні джерела випромінювання, сприйняття фото зображень, швидкодіючі пристрої оброблення інформації, що дало можливість збільшити точність вимірювань.



Рис. 1. Лазерний профілометр ІКП-5

Таблиця 2. Технічні характеристики профілометра ІКП-5

Найменування		Значення
Діапазон вимірювання:	висота гребеня, мм	20...40
	товщина гребеня, мм	20...40
	крутизна гребеня, мм	1...15
Похибка вимірювання:	висоти гребеня, мм	$\pm 0,1$
	товщини гребеня, мм	$\pm 0,1$
	крутизни гребеня, мм	$\pm 0,2$
Дискретність індикації:	висоти гребеня, мм	0,01
	товщини гребеня, мм	0,01
	крутизни гребеня, мм	0,01

Діапазон зчитування профілю	від вершини гребеня до 140 мм від грані ободу бандажа
Дискретність побудови профілю, не гірше, мм	0,2
Джерело живлення	вмонтована акумуляторна батарея 4,8 В
Час безперебійної роботи, не менше, годин	8
Об'єм пам'яті УЦІ	125 замірів

До збуджуючих факторів, що викликають коливання системи рейка-колійна пара, а відповідно і динамічну взаємодію колії та рухомого складу, відносять:

- геометричні нерівності рейкових ниток;
- геометричні нерівності на поверхні кочення коліс;
- пружні нерівності рейко-шпальної решітки;
- інерційні сили від обертання невідновжених мас на колесах;
- неврівноважені інерційні сили, що виникають при переміщеннях мас рухомого складу;
- автоколивальні та резонансні явища в системі;
- люфти та зазори в елементах колії та рухомого складу.

За думкою вчених перші три фактори практично повністю визначають формування сил інерції необросорених мас, за рахунок яких фактично повністю відбувається формування силової взаємодії. Саме дія цих факторів призводить до переміщення колеса у вертикальній площині, а одночасний вплив на траєкторію руху нерівностей від зношеного профілю колеса, сумісно з існуючим зазором між рейковою колією і колісними парами, призводять не тільки до вертикальних, а і до горизонтальних переміщень колісних пар під час руху по залізничній колії. Саме таким чином утворюється вертикальна і горизонтальна силова взаємодія між колесами рухомого складу та рейковою колією.

Приклади нерівностей на поверхні кочення рейкових ниток та поверхні кочення коліс рухомого складу приведені на рис. 2.

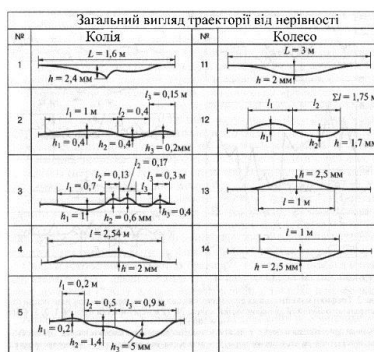


Рис. 2. Форми розрахункових нерівностей на рейкових нитках і колесах рухомого складу

Від значення бокових сил безпосередньо залежить можливість наповзання колеса на рейку. Враховуючи вищезгадане вибрано методик, яка найбільшою мірою враховує геометричний профіль поверхні колійної пари.

За вибраною методикою буде теоретично визначатись максимальна швидкість руху магістрального локомотива із врахуванням стану поверхні взаємодії рейки та колеса, розрахунки виконуватимуться для нових та зношених рейок і колісних пар. Швидкість розраховується із врахуванням критерію комфортабельності та безпеки руху, значення величини непогашеного прискорення розраховується, але із досліджень відомо що його значення повинно бути в межах $0,7 - 1,2 \text{ м/с}^2$, щоб людина, яка знаходиться в середині рухомого

складу, який входить в криву ділянку, почувала себе комфортно. Безпека руху визначається значенням бокових сил які діють на рейки. Надмірне значення бокових сил може призвести до повзання колеса на рейку.

За даними досліджень проф. Е.І. Даніленка допустимі значення бокових сил, що діють на рейки від коліс поїзда (за умовами забезпечення поперечної стійкості рейкової колії) обмежується величиною $Y_{\text{бок}} \leq 100-130$ кН, причому перша цифра відповідає нестабілізованому баластовому шару верхньої будови колії, в якому він як правило перебуває після колійних ремонтів.

Для визначенні впливу горизонтальних сил на стійкість руху будуть використані методики [5, 6], згідно яких значення поперечних горизонтальних сил визначаються залежно від відцентрового прискорення, яке змінюється залежно від швидкості руху, радіуса кривої, профілю коліс та підвищення зовнішньої рейки.

Визначення непогашеного прискорення проводиться по узагальненій формулі:

$$a_m = \frac{v^2}{3.6^2 \cdot R} - g \frac{h}{S}, \quad (1)$$

де v – швидкість руху екіпажу, км/год;

3,6 – коефіцієнт переведу розмірності швидкості руху км/год в м/с;

S – середня відстань між точками контакту лівого та правого колеса на рейки, 1600 мм;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

R – радіус кривої, м;

h – підвищення зовнішньої рейки, мм.

Одним із завдань даної роботи було крім загального визначення горизонтальних бокових сил, також визначення рівня бокових сил при яких колісна пара не буде вкочуватись на рейку, значенні бокових сил визначались за методикою що отримала подальший розвиток в частині яка враховує профілю колеса викладеною в роботі [1, 7].

Отримано результати розрахунків взаємодії нижче наведено приклад для зношеної поверхні кочення колісної пари що були використані для моделювання силової взаємодії. На рис. 3 наведено результат розрахунку сумарної поперечної сили взаємодії рейки та колеса при швидкості 60 км/год в прямій ділянці колії стан поверхні кочення колісної пари зношений.

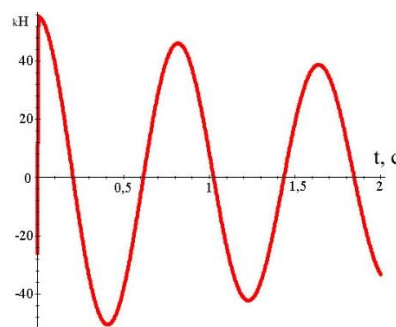


Рис. 3. Графік бокової горизонтальної сили в парі «колесо – рейка»

Із графіка наведеного на рис. 3 можна зробити висновок, що при проходженні нерівностей колії колісною парою з зношеною поверхнею кочення та швидкістю 60 км/год виникають максимальні значення поперечних бокових сил (що становлять 42 кН), амплітуда коливального руху з часом зменшується – коливання затухають, що відповідає стійкому руху, та забезпечується безпека руху.

Щодо визначення оптимального відношення твердості рейок та коліс є складною задачею. В певний період на залізниця України значно зросли показники скорочення терміну експлуатації колісних пар через інтенсивний підріз гребня. Висунута думка що одною із причин значного зносу

поверхні катання колісних пар є порушення співвідношення твердості між колесами та рейками, яке і призвело до зниження термінів роботи колісних пар [8, 9, 10, 11]. Величина такого співвідношення після тривалих досліджень була встановлена на рівні 1,2. Після проведеного аналізу досліджень можна дійти наближених висновків що співвідношення твердості колеса та рейки постійно змінюється від 0,75 до 1,2. По 2002 рік співвідношення становило 0,85, з 2003 року на залізницях України це співвідношення становить 0,75. Саме через такі розбіжності і спостерігаються на залізницях України такі процеси як інтенсивне зношування рейок, фахівці колійники підвищили твердість поверхні рейок, вносять пропозиції щодо обмеження застосування скріплення типу КПП-5 – в результаті збільшилось інтенсивне зношування поверхні колісних пар [12, 13, 14, 15]. На даний час поверхня кочення колісних пар перевищує значення твердості рейок що призводить до інтенсивного їхнього зношування.

Проведення експерименту із рейками, які мають підвищену твердість до 370-390 НВ, та як це вплине на знос поверхні катання колісних пар дуже складна задача. Такі дослідження були виконані в лабораторних умовах, результатом цих досліджень стало визначення оптимальної твердості рейок та коліс на рівні 370-390 НВ. Важливим значенням для збільшення терміну роботи також є показник пластичності, зміцнюючи поверхню колеса понад 400 НВ, структура металу набуває схильності до розтріскування, враховуючи такі показники дослідження показали, що збільшення твердості призводить до зменшення зносу як рейки, так і колеса. Експериментальні дослідження впливу інтенсивності зносу рейки та колеса підтверджують, що збільшення твердості металу із 280 НВ до 360 НВ призводить до зменшення зносу.

Для визначення достовірності результатів розрахунки були порівняні із вже отриманими результатами під час динамічних випробувань локомотивів та з іншими працями, які вже були виконані раніше. Отримані значення звісно відрізняються, але похибка становить менше 15 %.

Висновки. За результатами проведених досліджень та розрахунків можна зробити такі висновки:

1. Виконано аналіз існуючих методів контролю параметрів профілю колісних пар в експлуатації;
2. Проаналізовані можливості використання програмного забезпечення на основі даних контролю про стан профілю колісних пар отримали подальший розвиток у методі перетворення цих даних у цифровий вигляд для проведення теоретичних досліджень моделювання силової взаємодії між рейками та колесами рухомого складу.
3. За результатами експериментальних досліджень та після теоретичних розрахунків отримано значення силової взаємодії колісних пар з рейками у процесі експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Демченко В.О. Теоретичні дослідження та розрахунки сил взаємодії колії та коліс рухомого складу різного ступеню зносу. Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. пр. ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2015. №2(30). С. 51-64. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.30.2015.52387>.
2. Демченко В.О. Вплив профілю колісного бандажа на силову взаємодію з рейковою колією: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.06. ДЕТУТ. Київ, 2014. 184 с.
3. Венедиктов А.З., Демкин В.Н., Доков Д.С. Измерение параметров колесных пар подвижного состава в движении. Железные дороги мира, 2003. №9. С. 41-44.
4. Демченко В.О., Демченко О.В. Вплив стану поверхні колісної пари на стійкість руху. Сборник научных трудов часть 1. Переяслав-Хмельницкий Октябрь 2018 «Актуальные научные исследования в современном мире», 2018.10(42). С. 71-76.
5. Демченко В.О., Гулак С.О., Демченко О.В., Заїка Д.О. Вплив профілю колеса та твердості на стійкість колії з різними конструкціями скріплень. Збірник наукових праць державного університету інфраструктури та технологій серія «транспортні системи і технології». Київ ДУІТ, 2022. № 39. С. 5-12. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-39>.
6. Лазерный профилометр поверхности катания колесных пар. URL:<https://riftek.com/ru/roducts/~show/equipment/railway-devices/railway-wheel-profile-gauge-ikp> (дата звернення: 21.05.2014).
7. Вербицкий В., Новак А., Даниленко Э. Введение в теорию устойчивости колесных экипажей и рельсового пути: Монография. М. Ситаж. – Катовице – Киев (Польша – Украина) 2006–2007. – Донецк : «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. 255 с.

8. Slobodyanyuk M., Gorobchenko O.(2020) Structural analysis of territorial transport systems based on classification methods – *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020. Vol. 1(4(103). P. 23–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.194158>.
9. Мойсеєнко К.В., Суслов В.М., Татуревич А.А. Обґрунтування необхідності скасування обмеження застосування скріплення типу КПП-5 за критерієм вантажонапруженості. *Залізничний транспорт України: науково-практичний журнал*, 2017. № 2. С. 55–64.
10. Демченко В.О., Демченко О.В. Вплив співвідношення твердості на технічні характеристики взаємодії пари «колесо-рейка». *Актуальные научные исследования в современном научном мире*, 2021. № 7. С. 150-153.
11. Демченко В.О., Демченко О.В., Експериментальні дослідження поздовжньої стійкості рейкових плітей з різними конструкціями рейкових скріплень *Актуальные научные исследования в современном научном мире*, 2018. № 5. С. 70-79.
12. Бойко В.Д., Потапов Д.М., Молчанов В.М., Демченко В.О., Демченко О.В., Діагностика та експериментальні дослідження стійкості колії з використанням різних типів скріплення *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Харків, 2021. №198 С. 100-110.
13. Демченко В.О., Демченко О.В., Письменний І.М. Аналіз методів діагностики та контролю поверхні кочення коліс рухомого складу. *Матеріали в всеукраїнської інтернет-конференції здобувачів Вищої освіти, молодих вчених та викладачів «технічні науки в Україні: сучасні тенденції розвитку» 17-18 листопада 2022 року м. Київ*. С. 201-203.
14. Демченко В.О., Демченко О.В. Дослідження впливу твердості на технічні характеристики взаємодії пари «колесо-рейка» *Fundamental and applied research in the modern world Proceedings of X International Scientific and Practical Conference Boston, USA 12-14 May 2021*. 283-287 c. <https://sci-conf.com.ua/>
15. Horobchenko O., Demchenko V., Demchenko O. Simulation of the influence of the rolling surface profile on the stability of a wheel pair movement on the railway track. *Transport means 2022 Sustainability: Research and Solutions Proceedings of the 26th international scientific conference 854-861 p. part II October 05-07, 2022 Online Conference - Kaunas, Lithuania*. <https://drive.google.com/file/d/1kKuIIReu3vr1wV0qYpQXK0V8Ez8Dxfhm/view>

REFERENCES

1. Demchenko, V.O. (2015). Theoretical studies and calculations of the forces of interaction between the track and the wheels of the rolling stock with different degrees of wear *Bulletin of the Pryazovsky State Technical University: coll. of science Ave*, 30(12), 51-64 [in Ukrainian].
2. Demchenko V.O. (2014). Vplyv profilu kolisnogo bandagy na sulovy vzaemodii z reukovou kolieu [Influence of a profile of a wheel bandage on force interaction with a rail track]: dis. ... *Candidate's thesis* : Kyiv: DUIT [in Ukrainian].
3. Venediktov, A. Z., Dyomkin, V. N., & Dokov, V. S. (2003). Yzmerenye parametrov kolesnykh par podvyzhnogo sostava vo vremia dvizheniya [Measuring the parameters of wheelsets of rolling stock during movement]. *Zheleznyye dorohy myra - Railways of the world*, 9, 33-36 [in Russian].
4. Demchenko, V.O., & Demchenko, O.V (2018). Vplyv stany poverhnikolisnoy paru na stiukist ruhu. *Collection of scientific works part 1 Peryaslav-Khmelnitsky October 2018 "Current scientific research in the modern world*, 10(42), 71-76 [in Ukrainian].
5. Demchenko V.O., Hulak S.O., Demchenko O.V., & Zayka D.O. (2022). Vplyv profilu kola ta tverdosti na stiukist kolii z riznymi konstruktsiaymy skriplen [Effect of wheel profile and hardness on track stability with different binding designs]. *Zbirnyk naukovykh prats derzhavnoho universytetu infrastruktury ta tekhnologii serii «transportni systemy i tekhnologii»*. Kyiv DUIT - *Collection of scientific works of the State University of Infrastructure and Technologies, series "transportation systems and technologies"*, Kyiv DUIT, 39, 5-12. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-39>.
6. Lazernyu profilometr poverhnosti kataniya kolesnykh par [Laser profilometer of the rolling surface of wheelsets] *riftek.com/ru*. Retrieved <https://riftek.com/ru/roducts/~show/equipment/railway-devices/railway-wheel-profile-gauge-ikp> [in Russian].
7. Verbitskii, V., Novak, A., & Danilenko, E. (2007). Vvedenie v teoriyu ustoichivosti kolesnykh ekipazhey i relsovogo puti: Monografiya / V. Verbitskii, A. E. M. Sitazh. – *Katovitse – Kiev (Polsha - Ukraine) 2006 – 2007. – Donetsk: «Veber» (Donetskoe otделение)*, 255. [in Russian].
8. Slobodyanyuk M., & Gorobchenko O.(2020) Structural analysis of territorial transport systems based on classification methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(4(103)), 23–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.194158>.
9. Moiseyenko K.V., Suslov V.M., & Taturevych A.A. (2017). Obgryntyvanny neobhidnosti skasyvanny obmegenny zastosyvanny skriplenny tupy KPP-5 za kryteriem vantagonapruzenosti. *Railway transport of Ukraine: a scientific and practical journal*, 2, 55–64. http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&S21P03=FI&LA=&S21STR=ZTU_2017_2_11
10. Demchenko V.O., & Demchenko O.V.(2021) Vplyv spivvidnoshenny tverdosti na tehnicni charakterystiku paru «koleso-reyka» [Influence of hardness ratio on technical characteristics of wheel-rail interaction]. *Aktualnie yauchnie issledovaniya v sovremennom nauchnom mire – Actual scientific research in the modern scientific world*, 7, 150-150 [in Ukrainian].

11. Demchenko V.O., & Demchenko O.V. (2018) Eksperimentalni doslidzhennya pozdovgnoistiykosti reykovich plitey z riznumu konstrukciyamu reikovuh skriplen [Experimental studies of the longitudinal stability of rail slabs with different designs of rail fasteners]. *Aktualnie yauchnie issledovaniya v sovremennom nauchnom mire – Actual scientific research in the modern scientific world*, 5, 70-79 [in Ukrainian].
12. Boyko, V.D., Potapov, D.M., Molchanov, V.M., Demchenko, V.O., & Demchenko, O.V., Diagnostika ta eksperimentalni doslidzhennya stiukosti z vukorustannym riznuh tupiv skriplenny. *Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport*. Kharkiv, 198, 100-110. <https://scholar.google.com.ua>.
13. Demchenko, V.O. (2014). Profile kolisnogo bandagy na sulovy vzaemodiu z reukovou kolieu [Influence of a profile of a wheel bandage on force interaction with a rail track]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv: DUIT [in Ukrainian].
14. Demchenko, V.O., & Demchenko, O.V. (2021, May) Doslidzhennya vplyvy tverdosti na tehnschns charakterustuku vzaemodii paru «koleso-reuka» Fundamental and applied research in the modern world Proceedings of X International Scientific and Practical Conference Boston, USA 12-14 May 2021. (pp. 283-287). <https://sci-conf.com.ua/>
15. Horobchenko, O., Demchenko, V., & Demchenko, O. (2022, October). Simulation of the influence of the rolling surface profile on the stability of wheel pair movement on the railway track. Transport means 2022 Sustainability: Research and Solutions Proceedings of the 26th international scientific conference part II October 05-07 , 2022 Online Conference – Kaunas, Lithuania. (pp. 854-861). https://drive.google.com/file/d/1kKuIIReu3vr1wV0q_YpQXK0V_8Ez8Dxfhm/view

Volodymyr Demchenko ^{1*}, Oleksii Demchenko ²

¹ Associate Professor, Department of Electromechanics and Rolling Stock, The State University of Infrastructure and Technology, Kyrylivska street, 9, Kyiv, 04071, Ukraine. <https://orcid.org/0000-0002-2478-364X>

² Postgraduate, Department of Railway Track and Track Management, The State University of Infrastructure and Technology, Kyrylivska street , 9, Kyiv, 04071, Ukraine. <https://org/0000-0001-5344-9301>

* The corresponding author: dem4enko.vo@gmail.com

INFLUENCE OF WHEEL PROFILE AND HARDNESS ON TRACK STABILITY WITH DIFFERENT STRUCTURE STRUCTURES

For the preparation and during the execution of the work, experimental and theoretical studies were carried out on the influence of the state of the rolling surface profile of the wheelset on the level of interaction forces between the elements of the rail track and rolling stock in operation on the railways of Ukraine. Approaches to modeling the influence of the rolling surface profile of wheelsets on the stability of the wheelset movement and force interaction with the rail track were further developed. Experimental studies of the wear of the rolling surface of wheelsets of rolling stock were carried out, the intensity of their wear depending on the mileage of the locomotive was investigated. Studies of the influence of technical characteristics of hardness in the interaction of rail and wheel and their impact on the service life on the railways of Ukraine are analyzed. After the beginning of operation of wheelsets with increased hardness value, the optimal ratio of hardness of rail and wheel steel was violated. From various sources on the interaction of rails and wheels it is known that the best wear resistance in a friction pair is shown by metals with approximately the same hardness. Based on the data obtained, their analysis was carried out with the development of recommendations for further operation.

Keywords: rail track, stability of movement, horizontal forces, longitudinal forces, intermediate fastenings.