

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

**Безрукавий Назар Васильович**



УДК 629.463.027.1.004.69

**ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ КОЛІСНИХ ПАР ВАНТАЖНИХ  
ВАГОНІВ ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОФІЛІВ КОЛІС**

Спеціальність 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Галузь знань 27 – транспорт

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпро – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України (ІТМ НАНУ і ДКАУ).

**Наукові керівники:** член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор

**Ушкалов Віктор Федорович**,

ІТМ НАНУ і ДКАУ;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
**Мокрій Тетяна Федорівна**, ІТМ НАНУ і ДКАУ.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор

**Горобець Володимир Леонідович**,

Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна;

доктор технічних наук, професор

**Кельріх Мусій Борисович**,

Державний університет інфраструктури та технологій

Захист відбудеться « 14 » травня 2021 р. об 11 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314 (зал засідань).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2 або на сайті <http://diit.edu.ua/> (Наука – Аспірантура і докторантура – Захисти у спеціалізованій вченій раді Д08.820.02)

Автореферат розісланий « 8 » квітня 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
доктор технічних наук, професор



В. Жуковицький

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми** Мережа залізниць представляє собою одну з найбільш металоємних і енергоємних галузей економіки України. В зв'язку з чим актуальною є розробка та впровадження ресурсозберігаючих технологій. Одне із важливих питань для залізниць – це підвищення ресурсу елементів ходових частин вагонів та колії, зокрема системи «колесо – рейка».

Актуальність даної проблеми визначається перш за все значними експлуатаційними витратами, що пов'язані з ремонтами одиниць рухомого складу та утриманням рейкової колії. На сучасному етапі розвитку залізничного транспорту України та країн СНД гостро стоїть проблема понаднормативної інтенсивності зношення гребенів коліс рухомого складу та бічних поверхонь рейок. В інших країнах також широко ведуться численні дослідження проблем взаємодії колеса з рейкою, що обумовлено не тільки економічними причинами, а й питаннями безпеки руху поїздів. Починаючи з 80-х років минулого століття, фактична інтенсивність зношення пари «колесо – рейка» перевищувала в 3-8 разів (за оцінками різних експертів) передбачену нормами з експлуатації рухомого складу та колії величину. Враховуючи масштабність застосування залізничного транспорту, зменшення інтенсивності зношення коліс та рейок здійснюватиме вагомий внесок у справу ресурсозбереження та мінімізації експлуатаційних витрат.

Також не менш важливими є питання безпеки руху, адже інтенсивне зношення гребенів коліс та бічних поверхонь рейок може стати причиною сходу рухомого складу з рейкової колії, і як наслідок, значних матеріальних збитків та людських жертв. Тому вирішення проблеми поліпшення показників динамічної взаємодії колеса з рейкою є основною запорукою безпеки руху на залізничному транспорті.

**Зв'язок теми з науковими програмами, планами, темами.** Тематику дисертації включено в плани наукових досліджень Національної академії наук України за наступними темами:

– по фундаментальній науково-дослідній темі III-84-14 «Дослідження динаміки і взаємодії з колією рейкових екіпажів перспективних конструкцій» (номер держреєстрації 0114U001178, затверджена постановою Бюро Відділення механіки НАН України на 2014-2018 роки, протокол № 3 від 02.10.13);

– по прикладній науково-дослідній темі III-80-12 «Прикладні дослідження для науково-методичного, інженерного та інформаційного забезпечення розробки перспективних технічних систем» (номер держреєстрації 0112U001323, затверджена постановою Бюро Відділення механіки НАН України на 2012-2014 роки, протокол № 4 від 12.10.11);

– по прикладній науково-дослідній темі III-81-14 «Розробка методів дослідження та вирішення актуальних науково-технічних проблем створення та удосконалення перспективних машин та систем» (номер держреєстрації 0112U001324, затверджена постановою Бюро Відділення механіки НАН України на 2012-2014 роки, протокол № 5 від 08.11.11).

**Мета роботи** полягає в підвищенні ресурсу колісних пар вантажних вагонів шляхом вдосконалення профілів коліс.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

– проаналізувати проблеми взаємодії вантажних вагонів з колією, характерні для залізничного транспорту України, а також можливі шляхи їх вирішення;

– розробити математичну модель взаємодії вантажного вагона і колії, що ураховує параметри технічного стану ходових частин екіпажів, а також можливість виникнення фаз одноточкового, двоточкового та конформного контакту на поверхнях обода колеса і головки рейки;

– виконати оцінку впливу на процеси взаємодії коліс і рейок зміни параметрів технічного стану рухомого складу та встановити, які з параметрів технічного стану візків вагона є головними причинами зниження його динамічних якостей;

– провести аналіз впливу форми профілю обода коліс вантажних вагонів на їх взаємодію з колією та дослідити ефективність застосування зносостійких профілів коліс;

– виконати аналіз щодо можливості підвищення ресурсу колісних пар за рахунок зменшення технологічного зносу при застосуванні нового ремонтного профілю коліс;

– виконати дослідження щодо розробки форми зносостійких профілів та оцінки впливу їх застосування в візках різних конструкцій на динамічні якості екіпажів та взаємодію коліс і колії.

**Об'єктом дослідження** є процес взаємодії вантажного вагона і рейкової колії.

**Предмет дослідження** – покращення показників взаємодії вантажних вагонів з колією та ресурсних показників залізничного колеса.

**Методи дослідження.** При дослідженнях динамічних якостей вантажних вагонів та показників їх взаємодії з рейковою колією використано методи математичного та комп'ютерного моделювання, статистичної динаміки, чисельного інтегрування, скінченних елементів. При обробці експериментальних даних щодо інтенсивності зношення коліс вантажних вагонів використовувалися методи математичної статистики.

#### **Наукова новизна отриманих результатів.**

У роботі вирішено наукове завдання підвищення ресурсу колісних пар вантажних вагонів шляхом вдосконалення профілів коліс. До основних наукових результатів, отриманих автором особисто, відносяться наступні положення:

1. Удосконалено просторову математичну модель взаємодії залізничного екіпажа і колії, яка дозволяє визначати положення і розміри нееліптичних контактних плям, у тому числі при конформному контакті, та розподіл по них нормальних і дотичних сил взаємодії. На відміну від існуючих моделей, у запропонованій моделі реалізовано спрощений підхід знаходження розподілу сил взаємодії по контактних плямах за рахунок вирішення методом скінченних елементів статичної контактної задачі.

2. Отримано теоретичні залежності величини технологічного зносу від геометричних параметрів ободів зношених коліс при переточуваннях ободів

колісних пар за різними профілями залежно від видів несправності коліс та етапу їх експлуатації.

3. Вперше запропоновано підхід щодо розробки ряду нових профілів ободів вагонних коліс при одночасному аналізі двох функцій мети: динамічних показників вантажного вагону та зносу його коліс. Із сімейства побудованих профілів коліс обирався профіль, при завданні якого в розрахунках досягалися мінімально можливі значення цих функцій. За допомогою цього підходу визначено геометричні параметри профілів поверхонь кочення коліс, що дозволяють отримати конформний контакт з середньозношеними рейками українських залізниць та забезпечують необхідний рівень динамічних показників вантажного вагону.

**Практичне значення отриманих результатів.** Запропонований ремонтний профіль колеса ІТМ-73-01 впроваджено на всій мережі залізниць України. Його застосування при переточуванні зношених коліс дозволяє як значно знизити інтенсивність зносу коліс при експлуатації, так і збільшити число їх можливих переточувань, що суттєво підвищує ресурс колісної пари. Використання запропонованих профілів коліс ІТМ-73-02 та ІТМ-73-03 для перспективних одиниць рухомого складу за прогнозними даними дозволить забезпечити вимоги до вагонів нового покоління щодо пробігу до першого деповського ремонту без обточування колісних пар за зносом гребенів коліс. Отримані результати роботи використовуються:

- у ІГТМ НАНУ, в частині взаємодії колеса та рейки в зоні їх контакту знайшли використання в роботах інституту, направлених на удосконалення взаємодії з колією рейкового транспорту промислових підприємств;

- у навчальному процесі Львівської філії ДНУЗТ у лекційних курсах з дисциплін: «Вагони магістрального та промислового транспорту і контейнери», «Технологія ремонту вагонів та вагоноремонтні машини», «Ресурсозберігаючі технології», які викладаються студентам денної форми навчання за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт»;

- у науковій роботі та при дослідженні залізнично-транспортних пригод у Львівському науково-дослідному інституті судових експертиз Міністерства юстиції України.

**Особистий внесок здобувача** в кожному з опублікованих у співавторстві робіт полягає в наступному:

- участь в розробці математичної моделі, підготовка вихідних даних для розрахунків, виконання чисельного моделювання руху вагона з візками різної конструкції та з різним технічним станом, обробка отриманих результатів [4, 5, 6, 13];

- участь в експериментальних дослідженнях вантажних вагонів та збір статистичних даних щодо інтенсивності зношення коліс із різними початковими профілями ободів [1, 2, 11, 12];

- оцінка параметрів технологічного зносу коліс, вибір раціональних варіантів профілю для переточки коліс за геометричними параметрами обода колеса [3, 10, 14];

– участь у розробці зносостійких профілів, дослідження динамічних якостей вантажних вагонів та їх взаємодії з рейковою колією [7, 8, 15, 16].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювалися на:

– Міжнародній науково-практичній конференції «Вагони нового покоління – із ХХ в ХХІ сторіччя», Харків, 2013 [9];

– 17th International wheelsets congress , Kiev, 2013 [10];

– 75 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», Дніпропетровськ, 2015 [11];

– XIV Міжнародній конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту – Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження», Дніпро, 2016 [12];

– 77 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», Дніпро, 2017 [13];

– XV Міжнародній конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту – Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження», Дніпро, 2020 [14].

Повністю результати дисертаційної роботи заслухано і обговорено на:

– наукових семінарах відділу статистичної динаміки та динаміки багатомірних механічних систем Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України, Дніпро, 2018-2020;

– засіданні Вченої Ради Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України, Дніпро, 2020;

- міжкафедральному науковому семінарі Дніпровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2021 р.

**Публікації.** Основні результати дисертації опубліковано в 16 роботах [1-16], серед яких 8 статей в фахових наукових журналах [1-8] і 8 додаткових робіт [9-16]. Одну статтю [8] включено до міжнародної наукометричної бази даних Scopus, без співавторів опубліковано 1 тези доповіді [9].

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційна робота викладена на 180 сторінках, у тому числі 90 рисунків та 2 таблиці, містить вступ, основну частину з чотирьох розділів, висновок і список використаних джерел, який включає 120 найменувань і займає 9 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано її мету та завдання, визначено об'єкт та предмет досліджень, наведено методи дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, надано відомості щодо їх апробації. Викладено загальну характеристику дисертації.

У **першому розділі** проведено аналіз джерел і попередніх досліджень, де розкрито основні проблеми взаємодії вантажних вагонів з колією. Відмічено, що на початку двадцятого сторіччя основи теорії коливань вагонів були

закладені в працях М.Е. Жуковського, О.М. Крилова, С.П. Тимошенка та ін. Значний внесок у подальший розвиток проблем динаміки вагонів та у вирішення питань взаємодії системи «колесо – рейка» зробили такі вчені як М.Ф. Веріго, С.В. Вершинський, В.Н. Данилов, В.А. Лазарян, І.І. Челноков, М.А. Фрішман, В.С. Лисюк, Є.П. Блохін, В.Ф. Ушкалов, М.Л. Коротенко, М.О. Радченко, Л.А. Манашкін, В.Д. Хусідов, В.Д. Данович, С.Ф. Редько, В.Л. Горобець, Г.І. Богомаз, М.Б. Кельріх та ін. Серед іноземних вчених значних успіхів у вирішенні цих питань досягли Г. Шеффель, І. Калкер, В. Кік, І. Рокар, У. Дж. Харрис, Ф. Картер та ін.

Виконано аналіз основних проблем взаємодії рухомого складу з рейковою колією, характерних для мережі вітчизняних залізниць. Наведено основні причини інтенсивного зношування гребенів коліс та розглянуто основні шляхи вирішення цієї проблеми.

Проаналізовано конструкції перспективних одиниць рухомого складу для оновлення парку вантажних вагонів та поліпшення взаємодії з рейковою колією. Виконано огляд робіт, присвячених вдосконаленню форми профілів ободів коліс. Проаналізовано передовий світовий досвід у питаннях оптимізації форми профілів коліс.

Показано, що подальше вдосконалення форми профілів коліс вантажних вагонів здатне вирішити низку проблем, пов'язаних з покращанням взаємодії вантажних вагонів та колії. При цьому впровадження нових зносостійких профілів коліс на мережі залізниць України не потребує значних витрат у порівнянні з удосконаленням екіпажної частини рухомого складу і може дати значний техніко-економічний ефект.

**Другий розділ** присвячено дослідженням впливу технічного стану візків вантажних вагонів на їх динамічні показники і процеси взаємодії з колією. Метою даного розділу був пошук та наукове обґрунтування найбільш ефективного шляху поліпшення взаємодії вантажних вагонів з рейковою колією. Для цього виконано оцінку впливу на показники взаємодії коліс і рейок зміни параметрів технічного стану візків вантажного рухомого складу у процесі його експлуатації, та встановлено, які зміни цих параметрів є головними причинами зниження динамічних якостей вагона.

Для проведення вказаних досліджень розроблено просторову математичну модель взаємодії вагона і колії довільного окреслення в плані, яка дозволяє враховувати зміну в процесі експлуатації параметрів технічного стану вагонів зі стандартними і перспективними візками, а також можливість виникнення різних фаз контакту поверхонь обода колеса і головки рейки.

В математичній моделі враховано такі особливості конструкції рейкових екіпажів:

- а) спирання кузова на візки за допомогою плоских п'ятників;
- б) встановлення пружнодисипативних ковзунів постійного контакту у вузлах спирання кузова на візки;
- в) можливість взаємних поступальних переміщень бічної рами і надресорної балки в вертикальному і горизонтальному поперечному напрямках,

а також їх взаємних поворотів в плані в ресорному комплекті центрального підвішування;

г) жорсткий (або через адаптер) зв'язок бічної рами через буксовий вузол з колісною парою в вертикальному напрямку;

д) наявність зазорів в щелепних отворах буксових вузлів, що створює можливість горизонтальних поперечних і поздовжніх, а також кутових в плані взаємних переміщень бічних рам і колісних пар в межах цих зазорів.

Модель процесу взаємодії екіпажа і колії дозволяє враховувати можливість виникнення фаз одно- і двоточкового контакту на поверхнях обода колеса і головки рейки, а також їх конформного контакту. Вважається, що дотичні сили взаємодії є силами крипу. Модель сил крипу враховує їх нелінійну залежність від геометричних параметрів контактуючих поверхонь, змінне навантаження від колеса на рейку, різні кути нахилу площини контакту до горизонту і набігання колісної пари на рейку. Відповідно до цієї моделі сили крипу визначаються за формулою:

$$T = -F\varepsilon \left[ \left( \frac{F\varepsilon}{\mu N} \right)^m + 1 \right]^{-\frac{1}{m}},$$

$$F = 350m\sqrt{Nr},$$

$$m = 3,5,$$
(1)

де  $T$  і  $\varepsilon$  – сила крипу і показник крипу відповідно;

$N$  – нормальний тиск колеса на рейку;

$\mu$  – коефіцієнт тертя;

$r$  – миттєвий радіус колеса в точці контакту.

Показник крипу  $\varepsilon$  визначається з урахуванням двох кутів: нахилу дотичної в точці контакту на колесі до горизонту  $\alpha$  і набігання колісної пари на рейку  $\psi_S$ , тобто

$$\varepsilon = (\varepsilon_\psi^2 + \varepsilon_\alpha^2)^{1/2} = \left[ (\varepsilon_x \sec \psi_S)^2 + (\varepsilon_y \sec \alpha)^2 \right]^{1/2},$$
(2)

де  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$  – показники крипу в поздовжньому і поперечному напрямках.

Складові сил крипу визначаються наступним чином

$$T_\psi = \frac{\varepsilon_\psi}{\varepsilon} T, \quad T_\alpha = \frac{\varepsilon_\alpha}{\varepsilon} T.$$
(3)

Нормальний тиск  $N$  дорівнює:

$$N = S_z \sec \alpha,$$
(4)

де  $S_z$  – вертикальна сила взаємодії, яка обчислюється як реакція колії



$$S_z = m_{rz}\ddot{z}_r + K_{rz}(\gamma\dot{z}_r + z_r), \quad (5)$$

де  $m_{rz}$ ,  $m_{ry}$  – маси колії, зведені до одного колеса в вертикальному і горизонтальному поперечному напрямках;

$K_{rz}$ ,  $K_{ry}$  – відповідні жорсткості колії;

$\gamma$  – коефіцієнт, що характеризує розсіювання енергії в колії.

У фазі двоточкового контакту сила  $S_z$  розподіляється між двома точками при вирішенні системи алгебраїчних рівнянь.

$$\begin{cases} N_1 \cos \alpha_1 + N_2 \cos \alpha_2 = N_z \\ N_1 \sin \alpha_1 + N_2 \sin \alpha_2 = N_y, \end{cases} \quad (6)$$

де  $N_y$  – рівнодіюча проекцій на вісь  $y$  нормальних сил в першій і другій точках контакту, яка пов'язана з вертикальною силою  $N_z$  співвідношенням

$$N_y = N_z \Delta z';$$

$\Delta z'$  – похідна вертикального зміщення колеса відносно рейки  $\Delta z$  по їх взаємному зсуву в горизонтальному поперечному напрямку  $\Delta y$ ;

$\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  – кути між поперечною віссю і дотичними до профілю поверхні колеса в точках контакту.

Із системи рівнянь (6) отримуємо:

$$N_1 = \frac{N_z(\operatorname{tg} \alpha_2 - \Delta z')}{(\cos \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2 - \sin \alpha_1)}, \quad N_2 = \frac{N_z(\operatorname{tg} \alpha_1 - \Delta z')}{(\cos \alpha_2 \operatorname{tg} \alpha_1 - \sin \alpha_2)}. \quad (7)$$

Конформний контакт розглядається як багатоточковий: контактна пляма розбивається на малі елементи, в кожному з яких взаємодія вважається одноточковою, і сила  $S_z$  розподіляється між точками пропорційно величинам взаємного вертикального проникнення обода колеса і головки рейки в кожному елементі, знайденим при вирішенні геометричної контактної задачі. Векторні складові сил крипа представлені у вигляді:

$$\vec{T}_\Psi = \begin{cases} \vec{T}_\Psi & \text{в фазі одноточкового контакту,} \\ \vec{T}_\Psi^{(1)} + \vec{T}_\Psi^{(2)} & \text{в фазі двоточкового контакту,} \\ \sum_{i=1}^k \vec{T}_\Psi^{(i)} & \text{в фазі конформного контакту,} \end{cases} \quad (8)$$

$$\vec{T}_\alpha = \begin{cases} \vec{T}_\alpha & \text{в фазі одночкового контакту,} \\ \vec{T}_\alpha^{(1)} + \vec{T}_\alpha^{(2)} & \text{в фазі двотчкового контакту,} \\ \sum_{i=1}^k \vec{T}_\alpha^{(i)} & \text{в фазі конформного контакту,} \end{cases}$$

де  $k$  – кількість елементів розбиття плями контакту.

Геометричні параметри конформного контакту визначаються в залежності від взаємних поперечних переміщень тіл контактної пари  $\Delta u$ , кута бічної хитавиці  $\theta_{ws}$  і виляння  $\psi_{ws}$  колісної пари. Як вихідні використовуються функції, що описують профілі поверхонь обода колеса  $f_W(y)$  і головки рейки  $f_R(y)$ .

Початок системи координат  $O$ , загальний для даної пари тіл «колесо - рейка», розташований на профілі колеса в точці, через яку проходить його коло катання.

Розв'язок задачі виконується в два етапи. На першому етапі розглядається випадок, коли тіла доторкуються без передачі нормального навантаження, тобто при відомих переміщеннях даних тіл визначаються точки їх контакту. Виконується перебір із заданим кроком  $S$  поперечних перерізів колеса, паралельних осі колісної пари. На рис. 1 показано переріз колеса, де  $\xi$  – відстань розглянутого перерізу від вертикальної площини симетрії колеса,  $h_\xi$  – висота точки  $A$  на колі кочення колеса в перерізі над рівнем точки початку координат  $O$ .

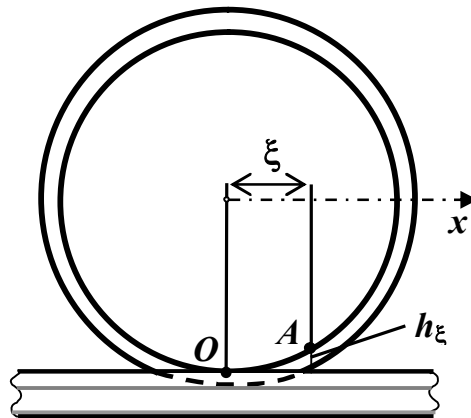


Рис. 1 – Переріз колеса

Для кожного  $\xi$  обчислюється функція  $D(y, \xi) = f_R(y, \xi) - f_W(y, \xi)$ , що представляє собою залежність зміни відстані у вертикальному напрямку між профілями поверхонь катання колеса і рейки. Значення  $y$  и  $\xi$ , при яких досягається  $\min D(y, \xi)$ , визначають координати точки контакту. При наявності двох і більше мінімальних значень перевіряється розташування точок контакту:

якщо відстань між ними хоча б в одному (поперечному або поздовжньому) напрямку перевищує заданий можливий розмір контактної плями, то знайдена точка іншої плями контакту.

На другому етапі визначаються розміри плям контакту з урахуванням деформації колеса і рейки в контактній зоні. Для цього в точці контакту, знайденій на першому етапі при вирішенні геометричної задачі взаємодії, колесо вдавлюється в рейку уздовж нормалі до поверхонь на деяку величину  $\lambda$ , відповідну можливій деформації пари тіл при даних умовах навантаження. Величина  $\lambda$  визначається наступним чином. Задається значення навантаження від колеса на рейку в розглянутому режимі руху вагона і при відомих взаємних положеннях пари тіл  $\theta_{WS}$ ,  $\psi_{WS}$ ,  $\Delta u$  методом скінченних елементів вирішується статична контактна задача, в результаті чого визначаються деформації тіл. Потім проводиться перебір поперечних перерізів колеса, проникнення  $\lambda_\xi$  (рис. 2) в яких вважається обернено пропорційним висоті  $h_\xi$ , на яку піднято профіль колеса в перерізі відносно профілю центрального перетину.

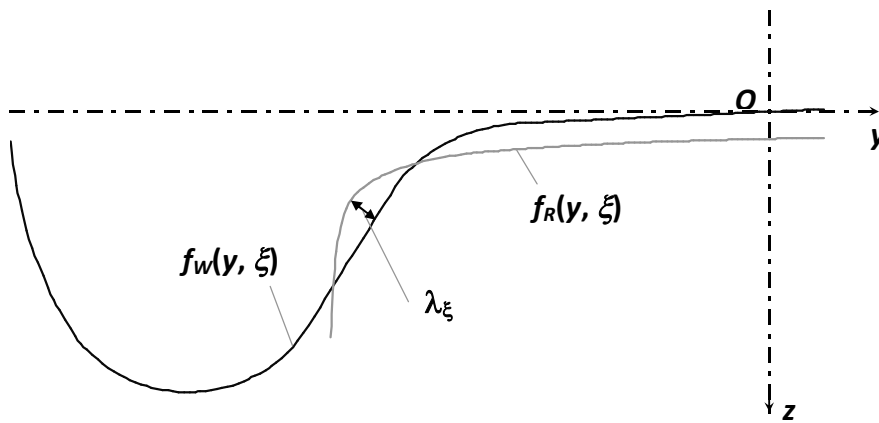


Рисунок 2 – Схема контакту колеса та рейки

Для кожного перерізу проводиться обчислення функції  $F(y, \xi) = f_R(y, \xi) - f_W(y, \xi)$  і область значень  $y$ , при яких ця функція негативна, визначає поперечний розмір контактної плями в даному перетині. Повністю контактна пляма складається із поперечних смуг шириною, яка дорівнює кроку  $S$  перебору перетинів колеса, а її поздовжній розмір дорівнює сумі найменшого ( $\xi_{min}$ ) і найбільшого ( $\xi_{max}$ ) значень  $\xi$ , в яких знайдені точки контакту (рис. 3).

Слід зазначити, що плавність лінії, що окреслюють пляму, залежить від величини кроку  $S$  – чим він дрібніше, тим більш гладкою виходять її границі.

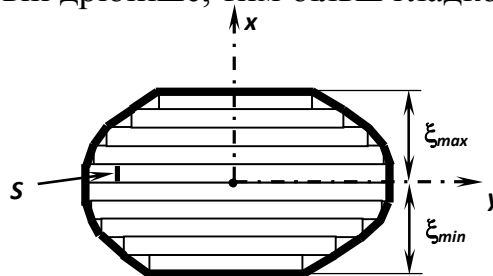


Рисунок 3 – Схема контактної плями

Далі виконується розподіл сил взаємодії по поверхні контактної плями. Для цього пляма ділиться на малі скінченні елементи, в кожному з яких контакт приймається одноточковим і обчислюються елементарні сили. У поперечному напрямку розподіл плями контакту на елементи здійснюється за заданим кроком, наприклад, 0,5 мм, в поздовжньому – з кроком  $S$  перебору перерізів. Дотичні елементарні сили вважаються силами крипу. Для їх обчислення використовується модель, наведена вище.

Складові елементарних сил крипа в  $k$ -ому елементі визначаються наступним чином

$$T_{\psi k} = \frac{\varepsilon_{\psi k}}{\varepsilon_k} T_k, \quad T_{\alpha k} = \frac{\varepsilon_{\alpha k}}{\varepsilon_k} T_k. \quad (9)$$

Повна поздовжня і поперечна складові розподіленої сили крипу дорівнюють сумі відповідних елементарних сил

$$T_x = \sum_{k=1}^n T_{\psi k} \cos \psi_{ws}, \quad T_y = \sum_{k=1}^n T_{\alpha k} \sin \alpha_k, \quad (10)$$

де  $n$  – загальна кількість елементів розбиття плями контакту.

Елементарні вертикальні сили взаємодії обчислюються шляхом розподілу повної вертикальної сили  $N_z$  між елементами плями контакту пропорційно значенням функції  $F(y, \xi)$ , яка визначає проникнення колеса в рейку в кожному елементі. Якщо мають місце дві плями контакту, сила  $N_z$  на першому етапі рішення геометричній контактній задачі розподіляється між плямами при вирішенні системи алгебраїчних рівнянь (6). Потім отримані складові розподіляються по елементах контактних плям.

Питома потужність сил крипу  $P_k$  для  $k$ -го елемента плями контакту визначається виразом:

$$P_k = \frac{1}{dE} \left( \left| T_{\psi k} \varepsilon_{\psi k} \cos^2 \psi_{ws} \right| + \left| T_{\alpha k} \varepsilon_{\alpha k} \cos^2 \alpha_k \right| \right) \quad (11)$$

де  $dE$  – площа елемента плями контакту.

Питома робота сил крипу (показник зносу) для елемента плями визначається по потужності взаємодії протягом періоду часу  $\Delta t$ :

$$dA_k = P_k \Delta t. \quad (12)$$

На базі створеної математичної моделі розроблено програмне забезпечення, що дозволяє шляхом чисельного інтегрування оцінювати динамічні якості вантажного вагона та знос пари «колесо – рейка».

Проаналізовано вплив на характеристики екіпажу зміни таких параметрів, що характеризують технічний стан візка вагона: знос гребенів колісних пар, стан фрикційного гасителя коливань, різниця баз боковин, сумарний зазор в буксовому отворі, сумарний зазор ковзунів візка, знос п'ятникового вузла.

Розглянуто рух вагонів зі стандартними візками моделі 18-100, а також візками, обладнаними елементами комплексної модернізації. Досліджувалися нормовані динамічні показники вагона (рамна сила у долях осьового

навантаження, горизонтальні поперечні прискорення п'ятників кузова у долях прискорення вільного падіння, коефіцієнт запасу стійкості проти сходу коліс з рейок), показники зносу пари «колесо – рейка» (питома робота сил крипа, кут набігання колеса на рейку) та показники взаємодії між колесом і рейкою (сумарна горизонтальна поперечна і поздовжня сили, поперечне відтискання рейки, коефіцієнт динаміки рейки у вертикальному напрямку).

За результатами моделювання руху вагонів з візками різного технічного стану побудовано залежності досліджуваних показників від швидкостей руху.

Виконано аналіз отриманих результатів. Показано, що застосування комплексної модернізації візків моделі 18-100 дозволяє не тільки знизити інтенсивність зносу елементів і вузлів ходових частин, а й зменшити його негативний вплив на динамічні якості вагона.

Встановлено, що найбільший вплив на динамічні показники системи «вагон – колія» із розглянутих параметрів технічного стану ходових частин екіпажа чинить знос поверхонь кочення та гребенів колісних пар.

В **третьому розділі** виконано дослідження шляхів поліпшення показників взаємодії існуючих вантажних вагонів з колією за рахунок застосування зносостійких профілів коліс.

1. Проведено аналіз впливу форми профілю коліс вантажних вагонів на їх взаємодію з колією. Оцінено можливість поліпшення процесів вписування візків вантажних вагонів у криволінійні ділянки колії за рахунок зміни конусності профілів коліс. Виконано аналіз типів контакту рейок та коліс з різними профілями поверхонь катання ободів при різних взаємних зміщеннях контактуючих тіл (одноточковий, двоточковий, близький до конформного). Показано, що найбільш оптимальним з позиції мінімізації контактних напружень, а відтак і зниження зносів контактуючих тіл, є конформний контакт колеса та рейки. З метою забезпечення такого контакту розроблено низку профілів з урахуванням форми середньозношених рейок: ремонтний профіль коліс ІТМ-73-01, профіль коліс ІТМ-73-02 для вагонів з комплексно модернізованими візками моделі 18-100 і візками моделі 18-7020 (з осьовим навантаженням 23,5 тс), профіль коліс ІТМ-73-03 для вагонів нового покоління з візками 18-9817 (з осьовим навантаженням 25 тс).

2. Представлено результати експериментальних досліджень ефективності застосування розроблених профілів коліс, отриманих при проведенні, у тому числі за участю автора, численних оглядів технічного стану вагонів у період їх планових ремонтів. Під час оглядів виконувався збір статистичних даних щодо інтенсивності зносу коліс вантажних вагонів, обладнаних візками різних конструкцій та з різними профілями коліс. Найбільший інтерес представляють дані оглядів вагонів, які були включені до дослідного маршруту Кривий Ріг – Кошице. Цей маршрут пролягає через Карпатський перевал та має найбільш складні умови експлуатації вантажних вагонів з точки зору зносу коліс. Отримані експериментальні залежності зносу гребенів коліс від пробігу вагонів із серійними візками зі стандартними колесами та з комплексно модернізованими візками і візками моделі 18-7020 з профілем коліс ІТМ-73

свідчать, що використання профілю ІТМ-73 дозволило зменшити інтенсивність зносу гребенів коліс більш ніж в 2 - 2,5 рази. В роботі наведено також результати експлуатаційних випробувань партії дослідних піввагонів з комплексно модернізованими візками, обладнаними колесами з профілем ІТМ-73-01. Для цього було відібрано 23 вагони, колеса яких під час виконання деповського ремонту було переточено за профілем ІТМ-73-01. Як показали результати випробування цих вагонів, застосування спочатку для незношених коліс профілю ІТМ-73, а потім, при обточках, профілю ІТМ-73-01 дозволяє збільшити ресурс коліс (у порівнянні зі стандартними колесами) більш ніж у чотири рази.

Виконано порівняння ефективності застосування різних профілів коліс у вагонах нової будови з існуючими візками, що мають пружнодисипативні ковзуни постійного контакту. Для цього за розпорядженням адміністрації Укрзалізниці було відібрано для спостереження ряд вагонів нової будови, що мали початковий профіль ободів коліс за ГОСТ 9036-88 та ІТМ-73. Ці вагони було включено до дослідного маршруту Кривий Ріг – Кошице. За результатами комісійного огляду даних вагонів встановлено, що після пробігу меншого ніж назначений до першого деповського ремонту у вагонах з початковим профілем ободів коліс за ГОСТ 9036-88 були наявні колісні пари, що мали недопустимі або граничні розміри товщини гребенів коліс. Проведений аналіз розподілу товщин гребенів обміряних коліс показав, що 40% коліс із початковим профілем ободів за ГОСТ 9036-88 мали товщину гребеня 26 мм та менше. В той же час вагони, що мали колеса з профілем ІТМ-73, після такого ж пробігу мали значний запас ресурсу по товщині гребеня (85% коліс мали товщину гребеня більше 28 мм). За результатами даного дослідження зроблено висновок, що застосування профілю коліс ІТМ-73 при побудові нових вагонів є доцільним для забезпечення нормативних строків експлуатації вагона до першого деповського ремонту.

3. В останні роки спостерігається тенденція зростання частки колісних пар, причиною обточування яких є дефекти поверхонь катання. При цьому для відновлення профілю колеса необхідно знімати значний шар металу по товщині обода, що призводить до зменшення ресурсу колісної пари. З метою подальшого збільшення терміну експлуатації вагонних коліс запропоновано профіль ІТМ-73-01, який дозволяє знімати при обточуванні менший шар металу, що збільшує число можливих обточок коліс за весь період їх експлуатації, а, отже, і ресурс колісної пари.

Виконано аналіз впливу технологічного зносу на ресурс колісної пари та встановлено основні фактори, що впливають на його величину, при застосуванні нового ремонтного профілю коліс ІТМ-73-01.

Для кількісної оцінки зниження технологічного зносу при використанні профілю ІТМ-73-01 використано схему відновлення геометрії поверхні катання колеса зі зношеним гребенем (рис. 4).

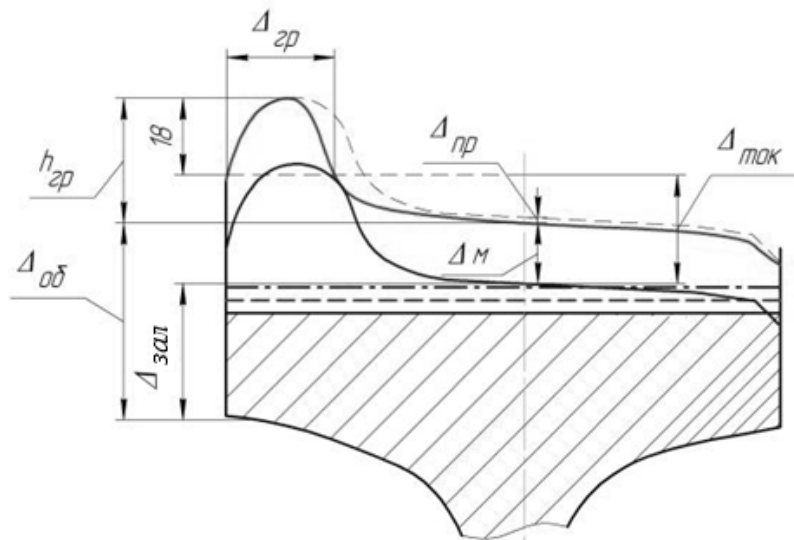


Рисунок 4 – Схема вимірювання контрольованих розмірів при обточуванні колеса

На основі проведеного аналізу побудовано залежності величини технологічного зносу колісних пар від геометричних параметрів профілів зношених коліс при обточуваннях за різними профілями (рис. 5).

Виконано порівняльну оцінку варіантів переточки коліс з запропонованими профілями з позиції збільшення ресурсу колісної пари і розроблено раціональні варіанти переточки обода коліс в залежності від видів їх несправності та етапу експлуатації. Для оцінки ефективності застосування профілю ІТМ-73-01 при обточуванні за поверхневими дефектами розглянуто ідеалізований випадок експлуатації, при якому колісні пари потрапляють у ремонт з однаковою товщиною гребенів коліс протягом усього терміну їх експлуатації.

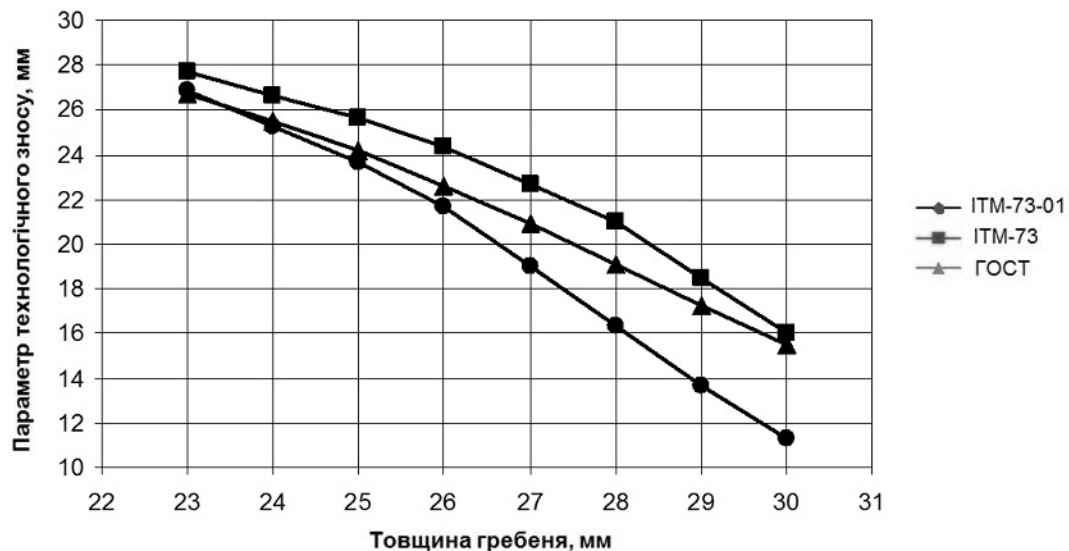


Рисунок 5 – Залежності параметра технологічного зносу від товщини гребеня зношеного колеса для різних профілів

На рис. 6 приведено залежності числа можливих обточок від заданої товщини гребеня зношеного колеса для двох варіантів зносостійких профілів.

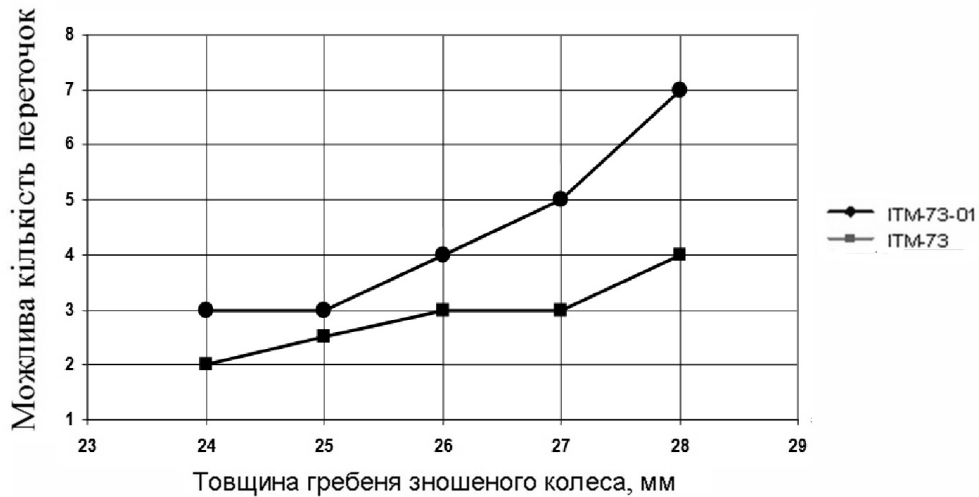


Рисунок 6 – Залежність кількості переточувань колеса від заданої товщини гребеня

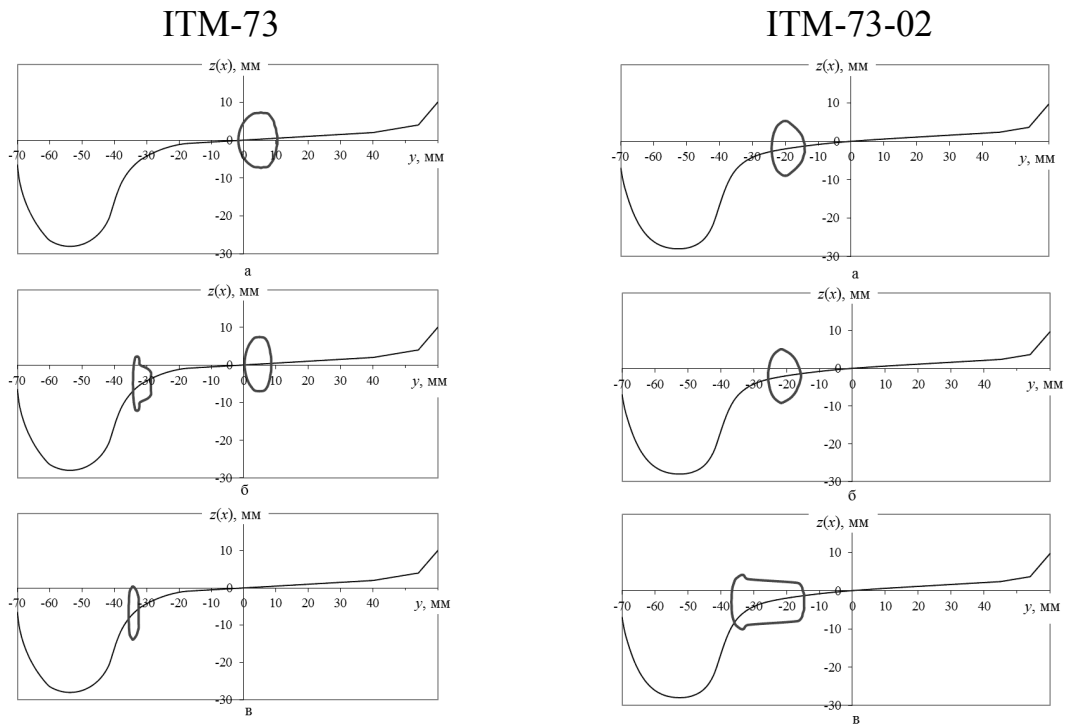
Показано, що додатковим шляхом збільшення терміну служби вагонних коліс, окрім зниження їх природного зносу, є збільшення можливого числа їх переточувань. Застосування профілю ІТМ-73-01 при обточуваннях коліс, як за зносом гребенів, так і за поверхневими дефектами дозволяє знімати менший шар металу, що істотно збільшує ресурс колеса.

В результаті проведених досліджень отримано, що при використанні профілів ІТМ-73 і ІТМ-73-01 значно скорочується інтенсивність природного зносу коліс, а при їх обточуванні за профілем ІТМ-73-01 суттєво знижується також і технологічний знос. Таким чином, найбільш раціональним є використання профілю ІТМ-73 при механічній обробці нових колісних пар, а ІТМ-73-01 при їх ремонті.

**Четвертий розділ** пов'язаний з вирішенням проблеми оновлення вантажного парку вітчизняних залізниць з метою підвищення динамічних якостей екіпажів, збільшення ресурсу ходових частин, зниження зносу елементів рухомого складу та колії. В даному розділі приведено результати досліджень щодо розробки форми зносостійких профілів та оцінки впливу їх застосування на динамічні якості та взаємодію з колією в візках різних конструкцій для вантажних вагонів нового покоління.

Найбільш перспективним з точки зору оптимізації процесів взаємодії колеса та рейки вважається їх конформний контакт, у зв'язку з чим розроблено новий зносостійкий профіль коліс ІТМ-73-02 з конформним контактом для рейок Р65 з урахуванням форми зносу їх головок (дивись, наприклад, рис. 7).





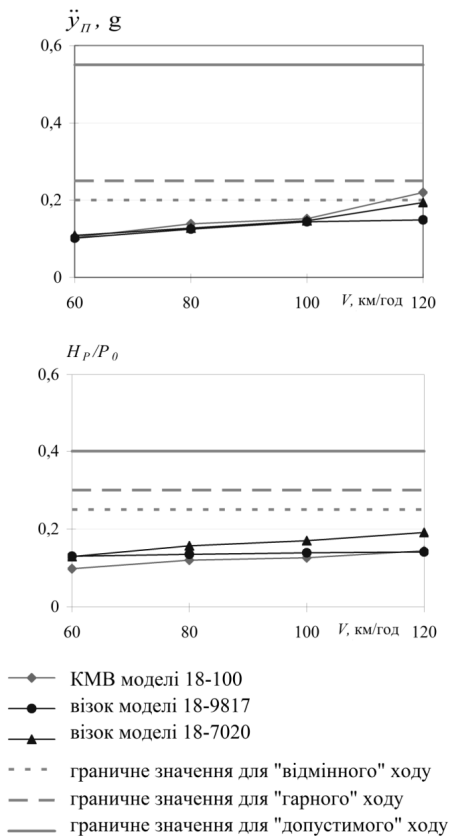
а –  $\Delta y = 11,0$  мм; б –  $\Delta y = 11,5$  мм; в –  $\Delta y = 12,0$  мм;

Рисунок 7 – Розміри і розташування плям контакту на незношеному колесі з профілем ІТМ-73 та ІТМ-73-02 при різних значеннях його поперечного зсуву відносно малозношеної рейки Р65

Виконано оцінку впливу використання нового зносостійкого профілю в візках моделі 18-7020 на динамічні показники екіпажа та його взаємодію з колією. За результатами дослідження показано, що застосування профілю коліс ІТМ-73-02 за прогнозними оцінками дозволить задовольнити за інтенсивністю зносу коліс вимоги, що пред'являються до перспективних вантажних вагонів.

Проведено аналіз можливості застосування нового зносостійкого профілю ІТМ-73-02 для використання у візках різних конструкцій. Виконано порівняльну оцінку прогнозних динамічних показників і зносу коліс вантажних вагонів з комплексно модернізованими візками моделі 18-100 (КМВ) і новими візками моделей 18-7020 і 18-9817 (рис. 8).

Колеса з профілем ІТМ-73



Колеса з профілем ІТМ-73-02

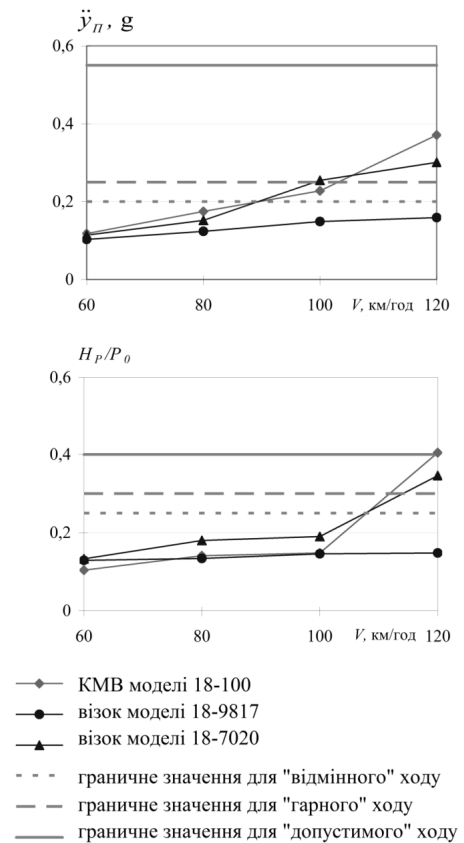


Рисунок 8 – Залежності максимальних значень горизонтальних прискорень п'ятників кузова в долях прискорення вільного падіння і рамних сил в долях статичного осьового навантаження від швидкості руху по прямих ділянках колії порожніх піввагонів з різними візками

Для нових візків моделі 18-9817 (з підвищенням до 25 тс осьовим навантаженням) запропоновано профіль коліс ІТМ-73-03 (рис. 9), використання якого дозволить при забезпеченні високих динамічних якостей вантажного вагона помітно поліпшити процес взаємодії екіпажа і колії і значно знизити гребеневий знос коліс.

Виконано оцінку впливу застосування профілю коліс ІТМ73-03 на показники взаємодії з рейкової колією і динамічні якості вантажного вагона зі звичайним навантаженням на вісь 23,5 тс. Показано, що використання нового профілю ІТМ-73-03 для обточування коліс вантажних вагонів з візками нового покоління моделі 18-7020 (з осьовим навантаженням 23,5 тс) цілком допустимо.

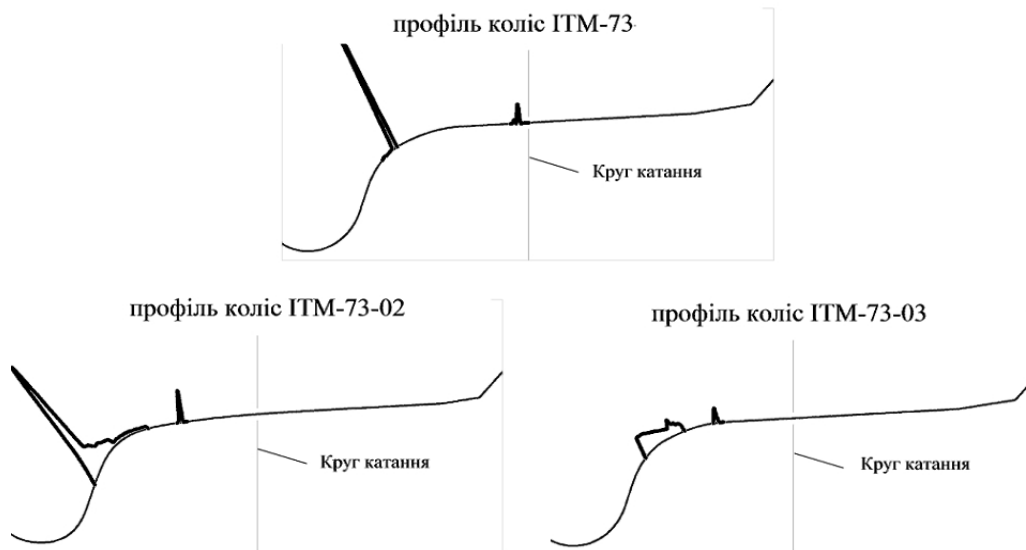


Рисунок 9 – Розподіл показника зносу по поверхні набігаючого на зовнішню рейку колеса ведучої колісної пари навантажених піввагонів з візками 18-9817 та різними профілями коліс

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують актуальне наукове завдання підвищення ресурсу колісних пар вантажних вагонів шляхом вдосконалення профілів ободів коліс. Основні наукові результати дисертаційної роботи полягають у наступному:

1 Виконано аналіз проблем взаємодії вантажних вагонів з колією, характерних для залізничного транспорту України, який показав, що одним із актуальних завдань залишається зменшення інтенсивності зношення гребенів коліс. Передовий вітчизняний та світовий досвід свідчить, що низку цих проблем можна вирішити за рахунок подальшого вдосконалення форми профілю коліс. При цьому впровадження нових зносостійких профілів коліс на мережі залізниць України не потребує значних витрат у порівнянні з удосконаленням екіпажної частини рухомого складу і може дати значний техніко-економічний ефект.

2 Розроблено просторову математичну модель взаємодії вантажного вагона і колії довільного окреслення в плані, яка дозволяє враховувати особливості конструкції різних візків (стандартних і перспективних), зміну в процесі експлуатації параметрів технічного стану ходових частин екіпажів, а також можливість виникнення фаз одноточкового, двоточкового та конформного контакту на поверхнях обода колеса і головки рейки. Удосконалена математична модель взаємодії залізничного екіпажа і колії дозволяє визначати положення і розміри нееліптичних контактних плям та розподіл по них нормальних і дотичних сил взаємодії.

3 За результатами моделювання коливань вагонів з візками різного технічного стану отримано залежності від швидкості руху екіпажів показників їх динамічних якостей та інтенсивності зносу пари «колесо – рейка». Установлено, що найбільший вплив на динамічні показники системи «вагон –

колія» із розглянутого ряду параметрів технічного стану ходових частин екіпажа чинить знос ободів коліс. Так, у порожнього вагона, обладнаного візками моделі 18-100 зі зношеними ободами коліс, при швидкості руху вище 60 км/год відбувається збільшення рамних сил в 2,3 рази, горизонтальних прискорень п'ятників кузова – в 1,7 рази, сили взаємодії колеса та рейки збільшуються майже вдвічі. Показано, що застосування комплексної модернізації візків моделі 18-100 дозволяє не тільки знизити інтенсивність зносу елементів і вузлів ходових частин, а й зменшити його негативний вплив на динамічні якості вагона.

4 Виконано аналіз впливу форми профілю коліс вантажних вагонів на їх взаємодію з колією, який показав, що забезпечення конформного контакту пари «колесо – рейка» дозволяє значно зменшити інтенсивність їх зношення. Приведено результати експериментальних досліджень ефективності застосування зносостійких профілів коліс ІТМ-73 і ІТМ-73-01. Наведені експериментальні залежності зносу гребенів коліс від пробігу вагонів із серійними візками зі стандартними колесами, з комплексно модернізованими візками і візками моделі 18-7020 з профілем коліс ІТМ-73 свідчать, що використання профілю ІТМ-73 дозволило зменшити інтенсивність зносу гребенів коліс більш ніж в 2 - 2,5 рази, а застосування в вантажних вагонах спочатку для незношених коліс профілю ІТМ-73, а потім, при обточках, профілю ІТМ-73-01 дозволило зменшити знос гребенів коліс (у порівнянні зі стандартними колесами) більш ніж у чотири рази.

5 Показано, що додатковим шляхом збільшення терміну служби вагонних коліс, окрім зниження їх природного зносу, є збільшення можливого числа їх переточувань. Застосування профілю ІТМ-73-01 при обточуваннях коліс, як за зносом гребенів, так і за поверхневими дефектами дозволяє знімати менший шар металу, що істотно збільшує ресурс колеса. Найбільш раціональним є використання профілю ІТМ-73 при механічній обробці нових колісних пар, а ІТМ-73-01 при їх ремонті. При цьому значно зменшується як природний, так і технологічний знос коліс. При глибині вищербин до 3 мм застосування нового профілю ІТМ-73-01 дозволяє зменшити товщину шару металу, що знімається при обточуванні колеса в 2,5 рази, що сприяє продовженню терміну експлуатації коліс.

6 Розроблено нові зносостійкі профілі коліс (ІТМ-73-02, ІТМ-73-03) та виконано оцінку впливу їх застосування в візках різних конструкцій на динамічні якості екіпажів та показники їх взаємодії з колією. Нові профілі розроблялися при одночасному аналізі двох функцій мети: динамічних показників вантажного вагону і зносу його коліс. Із сімейства побудованих профілів колеса обирався профіль, при завданні якого в розрахунках досягалися мінімально можливі значення цих функцій. Показано, що використання запропонованих профілів ободу коліс у візках перспективних конструкцій моделей 18-7020 і 18-9817 дозволить при забезпеченні високих динамічних якостей екіпажів знизити інтенсивність зносу пари «колесо – рейка» в 4-5 разів в порівнянні з випадком використання коліс з профілем ІТМ-73 і в 10-11 разів – коліс зі стандартним профілем.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

**Основні праці:**

1. Пасичник С.С., Рухлов И.В., Пальянов А.А., Резник Д.О., Безрукавый Н.В. Анализ состояния элементов тележек грузовых вагонов нового поколения при плановом ремонте. Вагонный парк Украины. Харьков: 2012. Вып. 8. С. 4 – 6.
2. Ушкалов В.Ф., Мокрий Т.Ф., Малышева И.Ю., Машенко И.А., Лапина Л.Г., Пасичник С.С., Подьельников И.В., Безрукавый Н.В. Обновление парка грузовых железнодорожных вагонов с повышением эксплуатационных качеств и увеличением ресурса ходовых частей. Техническая механика. 2013. № 4. С. 136 – 145.
3. Ушкалов В.Ф., Безрукавый Н.В. Увеличение ресурса колесных пар за счет использования износостойких профилей колес. Техническая механика. 2015. № 1. С. 97 – 103.
4. Ушкалов В.Ф., Мокрий Т.Ф., Малишева И.Ю., Безрукавый Н.В. Прогнозирование изменения профиля колес железнодорожного экипажа вследствие износа в процессе эксплуатации. Техническая механика. 2015. № 4. С. 148 – 154.
5. Ушкалов В.Ф., Мокрий Т.Ф., Малышева И.Ю., Безрукавый Н.В. Влияние изменения формы профилей колес в процессе эксплуатации на динамические качества грузовых вагонов и показатели их взаимодействия с рельсовым путем. Техническая механика. 2017. № 1. С. 65 – 71.
6. Ушкалов В. Ф., Мокрий Т.Ф., Малишева И.Ю., Безрукавый Н.В. Усовершенствование ходовых частей перспективного грузового вагона. Техническая механика. 2017. № 4. С. 79 – 88.
7. Ушкалов В.Ф., Мокрий Т.Ф., Малишева И.Ю., Безрукавый Н.В. Износостойкий профиль колеса для грузового вагона с повышенной осевой нагрузкой. Техническая механика. 2018. № 1. С. 20 – 29.
8. Ushkalov V., Mokriy T., Malysheva I., Lapina L., Pasichnik S. and Bezrukavyy N. Reduction of freight car wheel wear of 1520 mm gauge railways// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 985 (2020) 012004 doi:10.1088/1757-899X/985/1/012004.

**Праці апробаційного характеру:**

9. Безрукавый Н.В. Рациональное использование износостойких профилей для увеличения срока эксплуатации вагонных колес. Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Вагони нового покоління – із ХХ в ХХІ сторіччя». Харків. 2013. С. 305.
10. Ushkalov V.F., Mokriy T.F., Malysheva I.Yu., Pasichnik S.S. , Podyelnikov I.V., Bezrukavyy N.V. Extension of the wheelset operation life at 1520 mm track railways. 17 International wheelsets congress. Kiev: 2013. P. 91 – 98.
11. Ушкалов В.Ф., Пасичник С.С., Безрукавий Н.В. Порівняння застосування різних профілів коліс у вагонах нової будови. Тези доповідей 75

Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». Дніпропетровськ. 2015. С. 58 – 59.

12. Ушкалов В.Ф., Мокрий Т.Ф., Малишева І.Ю., Пасичник С.С., Безрукавий Н.В. Модернизация ходовых частей грузовых вагонов – эффективный путь обновления парка грузового подвижного состава. Тези доповідей V Міжнародної партнерської конференції Eurotrain «Сучасний рухомий склад: пріоритети, інновації, перспективи». Львів. 2015. С. 54 – 55.

13. Ушкалов В.Ф., Мокрий Т.Ф., Малишева І.Ю., Пасичник С.С., Безрукавий Н. В. Оценка влияния различного технического состояния тележек вагонов на процессы их взаимодействия с рельсовым путем. Тезисы докладов XIV Международной научно-технической конференции «Проблемы механики железнодорожного транспорта». Дніпро. 2016. С. 112.

14. Ушкалов В.Ф., Мокрий Т.Ф., Малишева І.Ю., Безрукавий Н.В. Технологія раціонального застосування зносостійких профілів коліс рухомого складу для підвищення їх ресурсу. Тези доповіді в матеріалах 77 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». Дніпро. 2017. С. 279 – 280

#### **Додаткові праці, які відображають наукові результати дисертації:**

15. Ушкалов В.Ф., Мокрий Т.Ф., Малишева І.Ю., Подъяельников И.В., Безрукавий Н.В. Патент Российской Федерации на полезную модель "Колесо железнодорожного грузового вагона". № 135965 – 24.07.2013. Бюл. № 36.

16. Ушкалов В.Ф., Мокрий Т.Ф., Малишева І.Ю., Под'ельніков І.В., Безрукавий Н.В. Патент України на корисну модель "Колесо вантажного залізничного вагона". №84375– 25.10.2013. Бюл. № 20.

#### **АНОТАЦІЯ**

*Безрукавий Н.В.* Підвищення ресурсу колісних пар вантажних вагонів шляхом вдосконалення профілів коліс. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Інститут технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України; Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2021.

Дисертацію присвячено вирішенню питання підвищення ресурсу колісних пар вантажних вагонів за рахунок поліпшення процесів взаємодії з колією, що досягається шляхом вдосконалення форми профілів ободів коліс. Проведено аналіз впливу форми профілю коліс вантажних вагонів на показники їх взаємодії з колією та виконано дослідження ефективності застосування зносостійких профілів коліс. Показано, що додатковим шляхом збільшення терміну служби вагонних коліс, окрім зниження їх природного зносу, є збільшення можливого числа їх переточувань. Застосування зносостійкого профілю ІТМ-73-01 при обточуваннях коліс, як за зносом гребенів, так і за

поверхневими дефектами дозволяє знімати менший шар металу, що істотно збільшує ресурс колеса.

Виконано розробку зносостійких профілів коліс для вантажних вагонів перспективних конструкцій, у тому числі з підвищеним осьовим навантаженням. Показано, що використання запропонованих зносостійких профілів обода коліс для перспективних одиниць вантажного рухомого складу дозволить при забезпеченні високих динамічних якостей екіпажів помітно поліпшити процеси взаємодії контактної пари «колесо – рейка» та значно знизити гребневий знос коліс.

*Ключові слова:* вантажні вагони, зносостійкі профілі коліс, ресурс колісних пар, знос гребенів коліс, технологічний знос колісних пар.

### АННОТАЦІЯ

*Безрукавий Н.В.* Повышение ресурса колесных пар грузовых вагонов путем усовершенствования профилей колес. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов. – Институт технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины; Днепровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепр, 2021.

Диссертация посвящена решению вопроса повышения ресурса колесных пар грузовых вагонов за счет улучшения взаимодействия с путем, что достигается за счет усовершенствования профилей ободьев колес. Проведен анализ влияния формы профиля колес грузовых вагонов на показатели их взаимодействия с рельсовым путем и выполнены исследования эффективности использования износостойких профилей колес.

Показано, что дополнительным путем продления срока службы вагонных колес, кроме снижения их естественного износа, является увеличение возможного числа их переточек. Применение износостойкого профиля ИТМ-73-01 при обточке колес как по износу гребней, так и по поверхностным дефектам позволяет снимать меньший слой металла, что существенно увеличивает ресурс колеса.

Выполнена разработка износостойких профилей колес для грузовых вагонов перспективных конструкций, в том числе с повышенной осевой нагрузкой. Показано, что использование предложенных износостойких профилей обода колес для перспективных единиц грузового подвижного состава позволит при обеспечении высоких динамических качеств экипажей заметно улучшить процессы взаимодействия контактной пары «колесо – рельс» и значительно снизить гребневой износ колес.

*Ключевые слова:* грузовые вагоны, износостойкие профили колес, ресурс колесных пар, износ гребней колес, технологический износ колесных пар.

## ABSTRACT

Bezrukavyy N.V. Increasing the freight cars wheelsets' life by improving wheel profiles. - Qualification scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences on the specialty 05.22.07 – Rolling stock of railways and traction of trains - Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and the State Space Agency of Ukraine; Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, 2021.

The dissertation is devoted to the problem of freight cars wheelsets resource increase by the improvement of interaction with a track which is reached by perfection of wheel rim profiles. Development of wear-resistant wheel profiles for freight cars of perspective design including ones with the increased axial loading is done. Rational variants of wheels regrinding to wear-resistant profiles to increase wheelsets resource by the technological wear minimization are offered.

The first section analyzes the main problems of interaction between rolling stock and railway track typical for domestic railway network. The main causes of intensive wheel ridges wear are shown and the main ways to solve this problem are considered. The advanced world experience in optimizing the shape of wheel profiles is analyzed. It is shown that further improvement of the shape of the freight cars wheel profile can solve a number of problems associated with improving the interaction of freight cars and track. At the same time, the introduction of new wear-resistant wheel profiles on the railway network of Ukraine does not require significant costs compared to the improvement of the rolling stock and can give a significant technical and economic effect.

In the second section the research on influence of freight car bogies technical conditions on their dynamic characteristics and processes of interaction with a track is executed. A spatial mathematical model of the interaction of the car and the arbitrary shaped track is developed, which allows to take into account the change of car technical condition parameters in operation for standard and prospective cars, as well as the possibility of single-point, two-point and conformal contact phases. The motion of cars with standard 18-100 type bogies, as well as with the same bogies equipped with complex modernization elements is considered. Standard dynamic parameters of the car, indicators of wear intensity and interaction between the wheel and the rail were studied. The dependencies of the studied indicators on the motion speed are received in accordance with the simulation results. The analysis of the obtained results is performed and it is established that the wheelset wear has the greatest influence on the dynamic characteristics of the "car-track" system. It is shown that the use of 18-100 type bogies complex modernization allows not only to reduce its elements and components wear, but also to reduce the negative impact of these wear on the car dynamic qualities.

The third section analyzes the influence of the shape of the freight car wheel profiles on their interaction with the track. The analysis of contact wheel/rail interaction for different profiles of rim rolling surfaces at their different mutual displacements is performed. Possible types of contact are analyzed and ways of wheel profiles optimization are chosen.



The conducted operational researches of freight cars with different bogie designs and initial wheel profiles testify that the use of the wear-resistant ITM-73 profile allowed to reduce wheel wear intensity up to more than 2 – 2.5 times in comparison with a standard profile, and ITM-73-01 profile use gives the wear reduction up to more than four times.

The analysis of technological wear influence on a wheelset resource is carried out, the basic factors influencing its value are established. The dependences of the wheelset technological wear on the geometric parameters of the worn wheel profiles at their turning with different profiles are constructed. The comparative estimation of wheels regrinding variants for wear-resistant profiles from the position of wheelset resource increase and development of wheel regrinding rational variants in dependence on their malfunction types and an operation stage is done. It is shown that an additional way to increase the service life of car wheels together with the reducing their natural wear is to increase the possible number of regrindings. Application of the ITM-73-01 profile at wheels turning both on ridges wear and surface defects allows to remove a smaller layer of metal that essentially increases a resource of a wheel. As a result of the conducted researches it is received that at use of wearproof profiles of ITM-73 and ITM-73-01 types the intensity of wheels natural wear decreases considerably, and at their turning on the ITM-73-01 profile the technological wear also decreases considerably.

The fourth section is related to solving the problem of updating the domestic railways freight fleet in order to improve vehicles dynamic qualities, increase running gear life, reduce rolling stock and track wear. This section presents the results of research to improve the existing wear-resistant profiles shape and assess their use impact in different design bogies for freight cars of the new generation on their dynamic qualities and interaction with the track.

The new ITM-73-02 wheel profile with conformal contact for the rails P65 type has been developed. The impact of the new wear-resistant profile use in the 18-7020 type bogies on the vehicle dynamic characteristics and its interaction with the track is evaluated. According to the results of the study, it is shown that the use of the ITM-73-02 wheel profile according to forecast simulations meet the requirements on wheel wear intensity for prospective freight cars.

For new bogies of 18-9817 model (with increased axle load up to 25 tons) the wheel profile ITM-73-03 is proposed, the use of which will significantly improve the process of interaction between the vehicle and the track and significantly reduce ridge wear. The influence of ITM-73-03 wheel profile application on the characteristics of wheel/rail interaction and dynamic qualities of a freight car with a normal axle load of 23.5 tons was evaluated. It is shown that the use of the new ITM-73-03 profile for turning the freight cars wheels of the new generation 18-7020 bogie model (with an axial load of 23.5 tons) is quite acceptable.

**Keywords:** freight cars, wear-resistant wheel profiles, resource of wheelset, wear of wheel ridges, technological wear of wheelsets.

**БЕЗРУКАВИЙ НАЗАР ВАСИЛЬОВИЧ**

**ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ КОЛІСНИХ ПАР ВАНТАЖНИХ  
ВАГОНІВ ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОФІЛІВ  
КОЛІС**

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 0,9.

Тираж 100 примірників. Зам. №185

Підписано до друку 06.04.21. Папір офсетний

Віддруковано ПП Видавництво «Нова ідеологія»

м. Дніпро, пр. Поля, б. 103, тел. 056 745 07 07

Свідоцтво ДК № 191 від 20.09.2000