

УДК 625.282:625.032.07

Світлана Сапронова¹, Віктор Ткаченко², Надія Брайковська³, Євген Зуб⁴

¹ Кафедра вагонів та вагонного господарства, Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1482-1665>

² Кафедра електромеханіки та рухомого складу залізниць, Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5513-2436>

³ Кафедра вагонів та вагонного господарства, Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1556-4020>

⁴ Кафедра вагонів та вагонного господарства, Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. ORCID: orcid.org/0000-0001-6560-0662

Автор, відповідальний за листування: doc.sapronova@gmail.com

НАУКОВИЙ ПІДХІД ДО МЕТОДІВ ЗБІЛЬШЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ КОЛІСНИХ ПАР РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Величину життєвого циклу коліс рухомого складу визначає періодичність технічного обслуговування, в процесі якого здійснюється обточка для відновлення профілів поверхонь кочення, або заміна повністю зношених коліс. Від технічного стану коліс локомотивів та вагонів залежить безпека руху. На технічне обслуговування та ремонт колісних пар припадає близько 30% всіх витрат підрозділів з ремонту рухомого складу Укрзалізниці. Технології ремонту коліс засновані на повному відновленні профілів коліс шляхом обточки, з використанням якої, їх життєвий цикл зменшується, а витрати збільшуються на 20% і більше. На залізницях України використовується застаріла, необґрунтована, неефективна система контролю формування поверхонь кочення в експлуатації. Тому існує необхідність створення науково обґрунтованого підходу до методів подовження життєвого циклу коліс локомотивів та вагонів при забезпеченні безпеки руху залізничного рухомого складу. Відповідно до запропонованого наукового підходу, профіль коліс відновлюється за оптимальними параметрами, що забезпечує подовжений життєвий цикл колісних пар. В результаті розробленого наукового підходу на 15...25% збільшиться життєвий цикл колісних пар і значно зменшаться витрати залізниці на їх ремонт.

Ключові слова: колісна пара, життєвий цикл, рухомий склад, відновлення, оптимізація, ремонтний профіль.

Вступ. Величину життєвого циклу коліс рухомого складу визначає періодичність технічного обслуговування, в процесі якого здійснюється обточка для відновлення профілів поверхонь кочення, або заміна повністю зношених коліс. Від технічного стану коліс локомотивів та вагонів залежить безпека руху.

Від допускових значень таких показників зносу, як товщина гребеня, параметр крутості гребеня і товщина бандажа суттєво залежать важливі техніко-економічні експлуатаційні показники роботи рухомого складу, а саме: пробіг колісних пар між обточками бандажів, сумарна кількість обточок бандажів за їх експлуатаційний життєвий цикл, загальний ресурс бандажів. Тому існує необхідність створення науково обґрунтованих методів визначення оптимальних ремонтних профілів, що забезпечить зменшення витрат на утримання і ремонт і подовження експлуатаційного життєвого циклу бандажів коліс локомотивів.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Головною задачею практично всіх відомих досліджень зношування гребенів коліс було збільшення пробігів колісних пар між

обточками – міжремонтних пробігів, а також сумарних пробігів колісних пар за життєвий цикл бандажів за рахунок зменшення інтенсивності зношування. Технологічний знос під час відновлення коліс, при цьому, зовсім не враховується. Відповідно до [1, 11, 12] при досягненні хоча б одним з параметрів профілю (товщина гребеня, параметр крутості гребеня) одного з коліс колісної пари свого мінімально-допустимого значення колесо обточують. При цьому профіль повністю відновлюється і набуває геометрію нового ремонтного профілю [2, 3, 10, 13, 14, 15].

Більшість існуючих методів оптимізації профілю залізничних коліс мають на меті зниження зносу з врахуванням показників зносу [9, 16-18].

Укрзалізниця використовує стандартні (виробничі) профілі, які формуються на нових колісних парах і бандажах, і ремонтні профілі (табл. 1), які створюють на бандажах при відновленні профілю при першій і наступних обточках. Найбільш поширеними з ремонтних профілів є локомотивний і мотор-вагонний профілі ЗАТ «МІНТЕК». При досягненні на одному з коліс колісної пари мінімальної товщини бандажа вони замінюються на нові із виробничим профілем ДСТУ 11018:2005 [3].

Перехід зі стандартного профілю на ремонтний більш привабливий через те, що при такому варіанті відновлення має місце менша втрата товщини бандажа (табл. 1).

Таблиця 1. Втрата товщини гребеня за одну обточку при різних варіантах відновлення профілів, мм і прогнозована кількість обточок за життєвий цикл

Первинний профіль	Відновлюваний профіль	
	ДСТУ 11018:2005	ЗАТ «МІНТЕК»
ДСТУ 11018:2005	18,1/2	8,9/4
ЗАТ «МІНТЕК»	18,2/2	11,4/3

За даними експлуатації інтенсивність підрізу гребенів як у період припрацювання, так і середня між обточками у ремонтних профілів нижча ніж у стандартного профілю. Це можна пояснити тим, що геометрія ремонтних профілів ближча до природно-зношених, припрацьованих.

Існує велика кількість способів відновлення коліс локомотивів, в якій виділимо три основних види: механічне відновлення бандажів коліс одно - і багатолезовим інструментом за копіром, або програмою; відновлення профільним інструментом; комбіноване відновлення. Повна характеристика цих способів відображена в табл. 2.

Ще з 60-х років минулого сторіччя для відновлення профілів коліс рухомого складу використовувалась фасонна фреза [4], в якій були встановлені рядками циліндричні різальні пластини, розташовані у відповідності з профільною лінією фрези, адекватною профілю колеса. Ножі цієї фрези закріплювались в корпусі за допомогою клинів і заживних гвинтів. Твердосплавні пластини у процесі їх зношування повертали навколо своїх вісів, чим досягалося повне використання кругової різальної кромки (кожна пластинка без переточки працювала в 20 позиціях).

На базі вищезазначеної фрези ЗАТ «МІНТЕК» була розроблена нова фасонна фреза для відновлення профілю колеса рухомого складу залізничного транспорту [5], яка використовується в більшості локомотивних депо Укрзалізниці з 2000 року. Під час обточки профілю колісних пар процес різання починається врізанням різальних пластин ножа. В залежності від провороту фрези в роботу послідовно вступають ножі, які здійснюють знімання шару металу.

Фрези працюють в комплекті з двох штук – правої і лівої, які одночасно обробляють обидва колеса колісної пари. Колісно-фрезерні верстати КЖ-20 найпоширеніші в локомотивних депо України. При обточуванні бандажів забезпечується одержання точного профілю і рівності діаметрів коліс по поверхні кочення бандажа відповідно до сучасних вимог відновлення фасонного профілю коліс під локомотивом.

В результаті обточки бандажів знімається значний шар металу, що є основною причиною скорочення життєвого циклу бандажів в експлуатації. Фасонна фреза, яка використовується на

цих станках має значну вартість. В процесі її експлуатації ножі дуже часто доводиться міняти. Не всі депо можуть дозволити собі часту заміну деталей фрези і тому часто верстати КЖ-20М знаходяться в неробочому стані.

Таблиця 2. Характеристика способів відновлення профілів коліс локомотивів

Механічне відновлення бандажів коліс одно багатозалізним інструментом за копіром або програмою	Відновлення профільним інструментом	Комбіноване відновлення
<ul style="list-style-type: none"> - точіння за копіром, або програмою одним або декількома різакми, встановленими з послідовним зміщенням вздовж вісі колеса, або по різних сторонах колеса; - точіння за копіром, або програмою одною або декількома обергальними головками різакми, які встановлено послідовним зміщенням вздовж вісі колеса, або по різних сторонах колеса; - точіння за копіром, або програмою одною або декількома дисковими фрезами, які встановлено послідовним зміщенням вздовж вісі колеса, або по різних сторонах колеса; - точіння за копіром, або програмою одною або декількома торцевими фрезами, які встановлено послідовним зміщенням вздовж вісі колеса, або по різних сторонах колеса 	<ul style="list-style-type: none"> - точіння одним, або декількома широкими різакми з подачею в радіальному або тангенціальному напрямку; - точіння спіральною протяжкою зовнішнього або внутрішнього торкання; - фрезкування одною, або декількома фасонними фрезами зовнішнього або внутрішнього торкання; - врізне профільне високошвидкісне шліфування фасонним кругом зовнішнього або внутрішнього торкання; - фрезкування комплектом фрез, встановлених із зміщенням вздовж осі колеса; - відновлення поверхні кочення обкатним інструментом 	<ul style="list-style-type: none"> - відновлення з попередньою термообробкою шляхом індукційного нагріву струмами високої частоти поверхні обода; - відновлення з термообробкою для відновлення фізико-механічних властивостей матеріалу поверхні обода колеса; - відновлення з попереднім наплавленням і наступною термообробкою наплавленого шару на ободі колеса; - відновлення з одночасним плазмовим нагріванням шару, який зрізається

Для відновлення профілю бандажів використовуються колесо-токарні верстати двох типів: напільні – з викочуванням колісних пар з-під локомотива і підпільні – без викочування колісних пар з-під локомотива. З огляду на ефективність ремонтних підприємств і залізничних депо перевагу слід віддати підпільним верстатам. Колесо-токарні верстати використовуються, як для обточування поверхні кочення коліс під час планових ремонтів (для підтримки нормованого профілю колеса протягом всього терміну служби), так і для усунення повзунів і інших поточних дефектів. На токарних верстатах з ЧПУ можна також в автоматичному режимі вимірювати геометричні параметри зношених коліс і розраховувати оптимальну товщину шару металу, що знімається, для отримання нормативного профілю колеса.

Підпідлоговий (підрейковий) колісно-токарний верстат А-41 (Trading House, London) призначений для обточки колісних пар без викочування в умовах локомотивного депо [6]. Колісно-токарний верстат UBE-150-N– двох-супортний спеціальний верстат для обточування профілів коліс залізничного рухомого складі. Колісну пару укочують на верстат і викочують після обточки по рейках.

Технологія відновлення профілів поверхонь кочення коліс шляхом наплавлення гребенів вперше було впроваджено на технологічному транспорті ВАТ «Северсталь». Сьогодні технологія відновлення профілів бандажів плазмовим наплавленням досить розповсюджена. Наплавлення зношених гребенів дозволяє приблизно в півтора рази скоротити зняття металу бандажів при обточуванні для отримання нормального профілю і подовжити термін служби бандажа [7].

Аналіз існуючих методів відновлення профілів коліс дає можливість зробити висновок про необхідність створення нових більш економічних і науково обґрунтованих методів відновлення ремонтних профілів з оптимальними параметрами.

Мета і завдання дослідження. Метою є наукове обґрунтування методів збільшення життєвого циклу колісних пар рухомого складу залізниць. Для цього поставлено задачі дослідження впливу параметрів ремонтних профілів коліс локомотивів на експлуатаційні витрати їх утримання і розробку наукового підходу до визначення оптимальних ремонтних профілів коліс локомотивів та розробка цільової функції для оптимізації профілів.

Матеріали і результати дослідження. Дослідження динаміки показників зношування поверхонь кочення коліс дозволили зробити висновок про недоцільність повного відновлення профілю поверхні кочення колеса в ситуації, коли при досягненні мінімально-допустимого значення одним з параметрів інші параметри мають значний запас. У такому випадку більш доцільним було б застосування неповного репрофілювання, завдяки якому відновлюється тільки той параметр, який досяг граничного значення. На цьому принципі заснований метод неповного репрофілювання поверхонь кочення бандажів [8]. Метод відновлення профілю бандажа шляхом неповного обточування, дозволяє збільшити експлуатаційний життєвий цикл бандажів приблизно в 20...40%.

Вибір оптимальних ремонтних профілів поверхонь кочення коліс локомотивів, заснований на оптимізації за мінімумом питомих експлуатаційних витрат на одиницю життєвого циклу бандажів.

Новий підхід заснований на отриманій залежності середньої інтенсивності зносу гребеня Іср від параметра крутості відновленого профілю (qR) (рис. 1).

Тут і далі оптимальні параметри відновленого профілю будуть позначатися жирним шрифтом у круглих скобках: (bг) і (qR).

Запропонований підхід полягає в тому, що при обточуванні замість повного відновлення профілю бандажів виконується їх часткове відновлення, при якому товщина гребеня (bг) і параметр крутості (qR) визначаються, як оптимальні, і набувають значень відповідно (bг) і (qR). На рис. 1, у координатах bг–qR, показано схеми повного і часткового (неповного) відновлення профілів бандажів. Лінії «а», «б», «в», «г», «д», аналогічно означають певні обмеження можливих значень параметрів bг і qR. Точка $C(bг, [qR])$ відповідає параметрам зношеного профілю у момент прийняття рішення про обточку. Точка $C^*(bг^*, qR^*)$ – параметрам профілю при повному відновленні. Точка $C(bг, (qR))$ – оптимальним параметрам при неповному відновленні.

Значення (bг) і (qR) вибираються як оптимальні для наступної цільової функції

$$\frac{V_{жц}}{L_{жц}} = f [(qR), (bг)] \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $\frac{V_{жц}}{L_{жц}}$ – питомі експлуатаційні витрати на одиницю експлуатаційного життєвого циклу бандажа; $V_{жц}$ – експлуатаційні витрати на придбання, формування, ремонт й утримання бандажів протягом експлуатаційного життєвого циклу; $L_{жц}$ – експлуатаційний життєвий цикл.

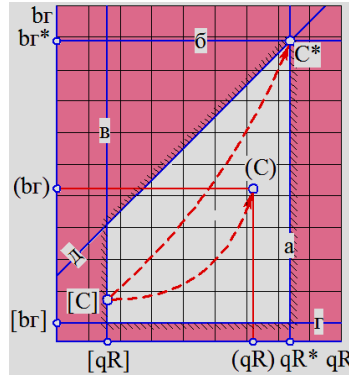


Рис. 1. Схема повного і неповного відновлення параметрів профілю коліс

За одиницю експлуатаційного життєвого циклу бандажа прийнято пробіг бандажа протягом 10^4 км.

Експлуатаційні витрати за функцією (1) мають наступну структуру:

$$V_{\text{жц}} = f(\Pi, V_{\text{ф}}, V_{\text{м}}, V_{\text{о}}, n), \quad (2)$$

в яку входять: Π – вартість пари бандажів; $V_{\text{ф}}$ – витрати на формування колісної пари; $V_{\text{м}}$ – вартість монтажних робіт з заміни колісної пари; $V_{\text{о}}$ – вартість обточки бандажів колісної пари; n – кількість обточок протягом експлуатаційного життєвого циклу.

Кількість обточок, які витримує бандаж протягом експлуатаційного життєвого циклу залежить від товщини нового бандажа d^* , мінімально-допустимої товщини бандажа $[d]$ та середніх значень експлуатаційного і технологічного зносів на момент обточування – $\bar{\delta}_e$ і $\bar{\delta}_T$

$$n = \frac{d^* - [d]}{\bar{\delta}_e + \bar{\delta}_T}. \quad (3)$$

Функціональна залежність технологічного зносу δ_T від параметрів профілю, що відновлюється (br) і (qR) – $\delta_T = f[(qR), (br)]$ – визначається у процесі автоматизованого вимірювання параметрів зношеного профілю.

Експлуатаційний життєвий цикл складається з міжремонтних пробігів і визначається функцією

$$L_{\text{жц}} = n \cdot \{(qR) - [qR]\} \cdot I_{\text{ср}}[(qR)]. \quad (4)$$

Залежності середньої інтенсивності зносу гребеня $I_{\text{ср}}$ від параметра крутості відновленого профілю (qR) визначається функцією (рис. 2)

$$I_{\text{ср}}[(qR)] = -\sqrt{18 - [(qR) - 5,5]^2} + 4,5. \quad (5)$$

Для здійснення неповного обточування автором запропоновано фасонну фрезу аналогом якої є фасонна фреза ЗАО «МІНТЕК» [5].

На рис. 3 показано профілі «МІНТЕК» до і після неповного обточування за допомогою фрези. До обточування профіль мав наступні параметри: $br = 24,6$ мм; $qR = 5,2$ мм; $\delta = 1,9$ мм. Після обточування параметри профілю стали: $br = 24,6$ мм; $qR = 8,5$ мм; $\delta = 0,8$ мм.

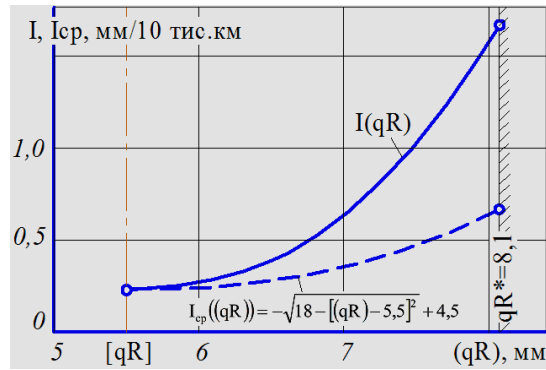


Рис. 2. Залежності інтенсивності зносу гребеня I і середньої інтенсивності зносу гребеня I_{cpr} від параметра крутості відновленого профілю (qR)

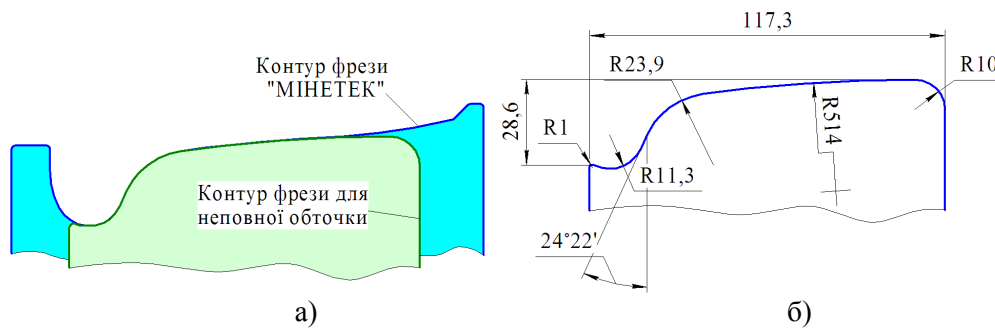


Рис. 3. Контури фасонної фрези для неповного обточування і фасонної фрези «МІНТЕК»

а) співвідношення контурів фрез; б) кресленик фрези для неповного обточування

На рис. 4 подано приклад неповного обточування зношеного профілю «МІНТЕК» за допомогою запропонованої фрези.

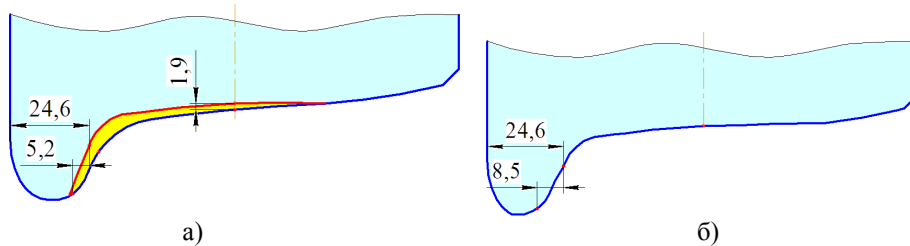


Рис. 4. Зношені профілі «МІНТЕК»:

а) до обточування; б) після неповного обточування за допомогою фрези



Рис. 5. Схема неповного обточування зношеного профілю «МІНТЕК»

Основними технологічними параметрами неповного обточування є поперечне зміщення ΔX і подача інструмента ΔY . Технологічні параметри ΔX і ΔY вибираються таким чином, щоб забезпечити оптимальні значення (bq) і (qR).

Використання цього методу дає можливість зменшити технологічний знос поверхні кочення коліс колісної пари, і тим самим збільшити її життєвий цикл на 15...25%.

Висновки. Повне відновлення профілю поверхні кочення колеса в ситуації, коли при досягненні мінімально-допустимого значення одним з параметрів інші параметри мають значний запас є недоцільним. Науковий підхід до вибору оптимального ремонтного профілю коліс локомотивів забезпечує мінімальні питомі витрати на утримання колісних пар протягом експлуатаційного життєвого циклу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Інструкція з формування, ремонту й утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниць України колії 1520 мм. Відомчий нормативний документ 32.0.07.001.2001 (нова редакція). Київ: Державна адміністрація залізничного транспорту України. Укрзалізниця, 2011. 168 с.
2. Yann Bezin a and Björn A. Pålsson. (2021). A Hybrid Multi-Criteria Decision Making Model for Defect-Based Condition Assessment of Railway Infrastructure. *Vehicle system dynamics*. URL: <https://doi.org/10.1080/00423114.2021.1942079>.
3. Сапронова, С.Ю. Технологічний знос бандажів коліс локомотивів, як фактор впливу на їх ресурс. *Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля*. Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2008. №2 (120). С. 292–295.
4. Сотніков, К.М., Морозов, В.О. Технічне обслуговування та ремонт вагонів: навчальний посібник. Харків. ТО «Ексклюзив», 2014. 204с.
5. Пат. 25091 Україна. МПК В 23 С 5/11, 5/14. Фасонна фреза для відновлення профілю колеса рухомого складу залізничного транспорту / Колот В. О., Малиновський М. Д., Лишаєв Г. П., Сергієчко М. І., Кортун С. А., Колот О. В.; заявник і патентовласник ЗАТ «МІНТЕК», Державна адміністрація залізничного транспорту України. № 97041796 ; заявл. 16.04.97 ; опубл. 25.12.98. Бюл. № 6.
6. RAFAMET S.A. Железнодорожное оборудование. 2009. URL: <http://www.8e.ru/firms/f1471.php>.
7. Технологическая инструкция по плазменному упрочнению гребней колесных пар тягового подвижного состава. К.: Министерство транспорта. Укрзалізниця, 1998. 8 с.
8. Johansson, A. & Nielsen J.O. (2003). Out-of-round railway wheels-wheel-rail contact forces and track response derived from field tests and numerical simulations. *Proc IMechE, Part F: J Rail and Rapid Transit*, 217, 135–146.
9. Shevtsov, I.Y., Markine, V.L. & Esveld C. Shape Optimisation of Railway Wheel Profile under Uncertainties. 12. URL: <http://www.railway-research.org/IMG/pdf/354.pdf>
10. Сапронова, С.Ю., Ткаченко, В.П., Зуб, Є.П. Ресурсозбереження при відновленні коліс рухомого складу залізниць. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля*. Северодонецьк: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2017. №3[233]. С.183-189. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VISUNU_2017_3_36

11. Правила технічного обслуговування, ремонту та формування колісних пар вантажних вагонів СТП 04-001:2015, затверджених наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 11.11.2015 № 483-Ц. К.: Державна адміністрація залізничного транспорту України, 2015.
12. Інструкція з огляду, обстеження, ремонту та формування вагонних колісних пар ЦВ-ЦЛ-0062. Київ: Київське ПКТБ по вагонах, 2005. 103 с.
13. Grassie, S.L. (1996). Models of railway track and vehicle/track interaction at high frequencies: results of benchmark test. *Veh Syst Dyn*, 25, 243–262.
14. Enblom R. & Berg M. (2005). Simulation of railway wheel profile development due to wear - influence of disc braking and contact environment. *Wear*, 258, 1005–1063.
15. Зуб Є.П., Сапронова С.Ю., Ткаченко В.П. Аналіз систем моніторингу параметрів зносу колісних пар рухомого складу залізниць. *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології»*. 2019. Вип. 1(33). Т.1. С. 107-117. URL.: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2019-33-1-10>
16. Ignesti, M., Innocenti, A., Marini, L., Meli, E. & Rindi, A. (2013). Development of a wear model for the wheel profile optimisation on railway vehicles. *Vehicle System Dynamics*. 51, 1363–1402. URL.: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00423114.2013.802096>
17. Ye, Y., Qi, Y., Shi, D., Sun, Y., Zhou, Y. & Hecht, M. (2020). Rotary-scaling fine-tuning (RSFT) method for optimizing railway wheel profiles and its application to a locomotive. *Railway Engineering Science*. 28, 160–183. URL.: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40534-020-00212-z>
18. Polach, O. & Nicklisch, D. (2016). Wheel/rail contact geometry parameters in regard to vehicle behaviour and their alteration with wear. *Wear*. 366-367, 200–208. URL.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043164816300199?via%3Dihub>
19. Kassa, E., Andersson, C. & Nielsen J.C.O. (2006). Simulation of dynamic interaction between train and railway turnout. *Veh Syst Dyn*, 44(3), 247–258.

REFERENCES

1. Instruksiya z formuvannya, remontu y utrymannya kolisnykh par tyahovoho rukhomoho skladu zaliznyts' Ukrayiny kolyi 1520 mm. Vidomchyy normatyvnyy dokument 32.0.07.001.2001 (nova redaktsiya). [Instruction on formation, repair and maintenance of wheel pairs of traction rolling stock of the railways of Ukraine of a track of 1520 mm. Departmental normative document 32.0.07.001.2001 (new edition)]. Kyiv: Derzhavna administratsiya zaliznychnoho transportu Ukrayiny. Ukrzaliznytsya [State Administration of Railway Transport of Ukraine. Ukrzaliznytsia], 2011. 168 s. [in Ukrainian].
2. Yann Bezin a and Björn A. Pålsson. (2021). A Hybrid Multi-Criteria Decision Making Model for Defect-Based Condition Assessment of Railway Infrastructure. *Vehicle system dynamics*. URL.: <https://doi.org/10.1080/00423114.2021.1942079>.
3. Sapronova, S.Yu. (2008). Tekhnolohichnyy znos bandazhiv kolis lokomotyviv, yak faktor vplyvu na yikh resurs [Technological wear of locomotive wheel tires as a factor influencing their resource]. *Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu im. V. Dalya [Bulletin of the East Ukrainian National University. V. Dahl]*, 2 (120). 292–295. [in Ukrainian].
4. Sotnikov, K.M., Morozov, V.O. (2014). Tekhnichne obsluhovuvannya ta remont vahoniv: navchal'nyy posibnyk [Maintenance and repair of wagons: a textbook]. Kharkiv. TO «Eksklyuzyv», 2014. 204 p. [in Ukrainian].
5. Patent 25091 Ukrayina. MPK V 23 S 5/11, 5/14. Fasonna freza dlya vidnovlennya profilyu kolesa rukhomoho skladu zaliznychnoho transport [Shaped mill for restoration of a profile of a wheel of a rolling stock of railway transport] / Kolot V. O., Malynovs'kyi M. D., Lyshayev H. P., Serhiyechko M. I., Kortun S. A., Kolot O. V.; zayavnyk i patentovlasnyk ZAT «MINETEK», Derzhavna administratsiya zalizn. transp. Ukrayiny. № 97041796 ; zayavl. 16.04.97; opubl. 25.12.98. Byul. № 6. URL.: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=49334> [in Ukrainian].
6. RAFAMET S.A. Railway equipment. 2009. URL.: <http://www.8e.ru/firms/f1471.php>.
7. Tekhnologicheskaya instruksiya po plazmennomu uprochneniyu grebney kolesnykh par tyagovogo podvizhnogo sostava [Technological instruction for plasma hardening of wheelset flanges of traction rolling stock]. K.: Ministry of transportation. Ukrzaliznytsya, 1998. 8 p. [in Russian].
8. Johansson, A. & Nielsen J.O. (2003). Out-of-round railway wheels-wheel-rail contact forces and track response derived from field tests and numerical simulations. *Proc IMechE, Part F: J Rail and Rapid Transit*, 217, 135–146.
9. Shevtsov, I.Y., Markine, V.L. & Esveld C. Shape Optimisation of Railway Wheel Profile under Uncertainties. 12. URL.: <http://www.railway-research.org/IMG/pdf/354.pdf>
10. Sapronova, S.Yu., Tkachenko, V.P., & Zub, Ye.P. (2017). Resursozberezhennya pry vidnovlenni kolis rukhomoho skladu zaliznyts' [Resource conservation in the restoration of wheels of railway rolling stock]. *Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu im. V.Dalya [Bulletin of the East Ukrainian National University. V.Dal]*. Syeverodonets'k: Vydvo SNU im. V.Dalya, 2017. №3[233]. 183-189. URL.: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VISUNU_2017_3_36 [in Ukrainian].
11. Pravyla tekhnichnoho obsluhovuvannya, remontu ta formuvannya kolisnykh par vantazhnykh vagoniv STP 04-001:2015, zatverdzhenykh nakazom Derzhavnoyi administratsiyi zaliznychnoho transportu Ukrayiny vid 11.11.2015 № 483-TS. K.: Derzhavna administratsiya zaliznychnoho transportu Ukrayiny [State Administration of Railway Transport of Ukraine], 2015. [in Ukrainian].
12. Instruksiya z ohlyadu, obstezhennya, remontu ta formuvannya vahonnykh kolisnykh par TSV-TSL-0062. Kyiv: Kyivivs'ke PKTB po vagonakh, 2005. 103 p. [in Ukrainian].

13. Grassie, S.L. (1996). Models of railway track and vehicle/track interaction at high frequencies: results of benchmark test. *Veh Syst Dyn*, 25, 243–262.
14. Enblom R. & Berg M. (2005). Simulation of railway wheel profile development due to wear - influence of disc braking and contact environment. *Wear*, 258, 1005–1063.
15. Zub, Ye.P., Sapronova, S.Yu. & Tkachenko, V.P. (2019). Analiz system monitorynhu parametriv znosu kolisnykh par rukhomoho skladu zaliznyts' [Analysis of systems for monitoring the parameters of wear of wheel pairs of railway rolling stock]. *Zbirnyk naukovykh prats' DUIT. Seriya «Transportni systemy i tekhnolohiyi» [Collection of scientific works of DUIT. Transport Systems and Technologies series]*, 2019, 1(33), 1. 107-117. URL.: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2019-33-1-10>
16. Ignesti, M., Innocenti, A., Marini, L., Meli, E. & Rindi, A. (2013). Development of a wear model for the wheel profile optimisation on railway vehicles. *Vehicle System Dynamics*. 51, 1363–1402. URL.: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00423114.2013.802096>
17. Ye, Y., Qi, Y., Shi, D., Sun, Y., Zhou, Y. & Hecht, M. (2020). Rotary-scaling fine-tuning (RSFT) method for optimizing railway wheel profiles and its application to a locomotive. *Railway Engineering Science*. 28, 160–183. URL.: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40534-020-00212-z>
18. Polach, O. & Nicklisch, D. (2016). Wheel/rail contact geometry parameters in regard to vehicle be-haviour and their alteration with wear. *Wear*. 366-367, 200–208. URL.: <https://www.sciencedirect.com/science/article /abs/pii /S0043164816300199?via%3Dihub>
19. Kassa, E., Andersson, C. & Nielsen J.C.O. (2006). Simulation of dynamic interaction between train and railway turnout. *Veh Syst Dyn*, 44(3), 247–258.

*Svitlana Sapronova*¹, *Viktor Tkachenko*², *Nadiya Braikovska*¹, *Yevgen Zub*¹

¹ Department Railway carriage and Railway carriage property, State University of Infrastructure and Technologies, Kyrylivska str., 9, Kyiv, 04071, Ukraine

² Department of Electromechanics and Rolling Stock of Railways, State University of Infrastructure and Technologies, Kyrylivska str., 9, Kyiv, 04071, Ukraine

SCIENTIFIC APPROACH TO THE METHODS OF INCREASING THE LIFE CYCLE OF WHEELS OF RAILWAY VEHICLES

The value of the life cycle of rolling stock wheels is determined by the frequency of maintenance, in the process of which the turning is carried out to restore the profiles of the rolling surfaces, or the replacement of completely worn wheels. Traffic safety depends on the technical condition of the wheels of locomotives and wagons. Maintenance and repair of wheelsets accounts for about 30% of all costs of Ukrzaliznytsia's rolling stock repair units. Wheel repair technologies are based on the complete restoration of wheel profiles by turning, using which, their life cycle is reduced, and costs increase by 20% or more. The railways of Ukraine use an outdated, unreasonable, inefficient system of control over the formation of rolling surfaces in operation. Therefore, there is a need to create a scientifically sound approach to methods of extending the life cycle of the wheels of locomotives and wagons while ensuring the safety of railway rolling stock. According to the proposed scientific approach, the wheel profile is restored to optimal parameters, which provides an extended life cycle of wheelsets. As a result of the developed scientific approach the life cycle of wheel pairs will increase by 15... 25% and the expenses of the railway for their repair will considerably decrease.

Keywords: wheel pair, life cycle, rolling stock, restoration, optimization, repair profile.