

Vol. 95

P. 275-288

УДК 629.4.027

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.166.2016.92944>

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОФІЛЮ КОЛІСНИХ ПАР ДЛЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ**

Канд. техн. наук П. О. Харламов, А. А. Деміденко

**ОБОСНОВАНИЕ ПРОФИЛЯ КОЛЕСНЫХ ПАР ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ**

Канд. техн. наук П. А. Харламов, А. А. Демиденко

**THE STUDY OF THE PROFILE OF WHEELSETS FOR HIGH SPEED TRAINS**

Cand. of techn. sciences P. Kharlamov, A. Demidenko

*Зі збільшенням швидкостей руху, зі зростанням обсягів і номенклатури вантажів, що перевозяться, а також з розвитком пасажирських перевезень назріла необхідність у проведенні експериментальних і теоретичних досліджень процесів, що відбуваються при взаємодії рухомого складу й колії, з метою забезпечення безпеки руху, задовільних динамічних якостей екіпажів і схоронності вантажів, що перевозяться.*

**Ключові слова:** високошвидкісний рухомий склад, колісні пари, рейки, профіль кочення.

*С увеличением скоростей движения, с ростом объемов и номенклатуры перевозимых грузов, а также с развитием пассажирских перевозок назрела необходимость в проведении экспериментальных и теоретических исследований процессов, происходящих при взаимодействии подвижного состава и пути, с целью обеспечения безопасности движения, удовлетворительных динамических качеств экипажей и сохранности перевозимых грузов.*

**Ключевые слова:** высокоскоростной подвижной состав, колесные пары, рельсы, профиль катания.

*With increasing speeds, with increasing volume and range of goods transported, as well as with the development of passenger traffic there is a need to conduct experimental and theoretical studies of the processes occurring in the interaction of rolling stock and track, in order to ensure traffic safety, satisfactory dynamic qualities of crew and safe delivery goods. These studies on various aspects of the rolling stock and the way of interaction over time, began to be formed as a separate branch of science. Most of them were devoted to the choice of the profile of the wheels of wheelsets rolling stock. Attempts to unify the profile to normalize some of its elements, primarily affecting the traffic safety have been many times. In order to reduce lateral wear of rails and wheel flanges undercut it was made complex investigations, mainly experimental, for the study of the wear of the wheels and tires of finding a rational profile wheels. It should be noted that the development of profiles of wheels used analytical methods of research, field experiments and performance monitoring, which did not allow sufficient detail to investigate the effect on the profile of the dynamic qualities of the crew and the wear characteristics of wheelsets and rails. At the present stage of development of theoretical methods for the study of dynamics of railway vehicles and their interaction with the way and means of computing and measurement technology capabilities to find the optimum combination of wheel and rail profiles have grown immeasurably.*

**Keywords:** high-speed rolling stock, wheel sets, rails, riding profile.

**Вступ.** Після введення в експлуатацію високошвидкісних поїздів “Сапсан” було виявлено, що в контактуючих зонах поверхонь кочення коліс колісних пар з рейками є численні вибоїни. Наступні металографічні дослідження механічних властивостей металу дефектних колісних пар у зонах виникнення вибоїн показали, що дефекти на поверхнях кочення контактно-втомлювального походження, утворення яких відбувається внаслідок інтенсивної пластичної деформації поверхневого шару й розвитку в ньому численних мікротріщин. Відсутність у поверхневому шарі гартівних структур типу мартенситу й спрямованої поздовжньої деформації показало, що утворення мікротріщин не викликано проковзуванням коліс колісних пар по рейках при русі в режимах тяги й

гальмуванні. Був зроблений висновок, що інтенсивна пластична деформація поверхневого шару, розвиток у ньому мікротріщин і, як наслідок, численних вибоїн викликано вузькою зоною контактування поверхонь кочення коліс, що є результатом взаємодії профілів колії й рейок.

Поліпшення характеру руху екіпажу можливо або за рахунок коректування параметрів екіпажу, або за допомогою розроблення нового профілю колеса. В експлуатованому рухомому складі зміна його жорсткісних параметрів вимагає значних витрат засобів і часу, на відміну від переточування коліс колісних пар на новий профіль, оскільки обточування коліс є звичайною технологічною операцією при експлуатації всіх видів рухомого складу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За останній час роботи багатьох авторів присвячені питанням зносу рейок і коліс колісних пар, а також розробленню профілю коліс. Основна спрямованість вітчизняних досліджень – зниження зношування коліс вантажних вагонів і локомотивів. Розробленню профілів коліс для швидкісного й високошвидкісного рухомого складу приділялася недостатня увага у зв'язку з відсутністю високошвидкісного руху на Українських залізницях до недавнього часу.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою дослідження є аналіз профілю поверхні кочення коліс для високошвидкісних поїздів ПАТ «Укрзалізниця», що буде забезпечувати пробіг між обточуваннями коліс не менше 200-250 тис. км, що відповідає середньому пробігу поїздів такого типу за кордоном, без утворення вибоїн бракувального розміру при збереженні динамічних властивостей вагонів у межах, що встановлені нормативними вимогами.

**Основна частина дослідження.** У теоретичних дослідженнях динаміки екіпажу як основні критерії оцінки використовувалися нормовані показники оцінки динамічних якостей екіпажу [1], відповідність яким є обов'язковою для тягового рухомого складу, призначеного для експлуатації на вітчизняних залізницях. До нормованих показників належать:

1. Коефіцієнт запасу стійкості проти сходу колеса з рейок, що являє собою відношення теоретичного значення напрямного зусилля ( $Y_n$ ) до вертикальної сили в зоні контакту на колесі, що набігає ( $P_n$ ), до його дослідного значення:

$$\lambda = (Y_n / P_n)_m / (Y_n / P_n)_{on}, \quad (1)$$

де теоретичне значення  $(Y_n / P_n)_m = 1 / (\text{ctg} \gamma + \mu)$  отримано з умови статичної рівноваги колісної пари в рейковій колії в момент, коли зона контакту на

одному з коліс колісної пари перебуває на конічній частині гребеня, і ковзання або псевдосковзання мають місце тільки в поперечному напрямку усередину колії;

$\mu$  і  $\gamma$  – відповідно коефіцієнт тертя й кут нахилу гребеня до горизонту.

2. Показник плавності ходу, обумовлений методикою, наведеною в ОСТ 24.050.16-86 «Вагони пасажирські. Методика визначення плавності ходу».

3. Рамні сили – поперечні горизонтальні сили, що діють на колісну пару з боку обресорених мас екіпажу.

4. Коефіцієнти вертикальної динаміки в першому й другому щаблях ресорного підвішування; визначаються як відношення отриманого в розрахунках або експерименті динамічного прогину в даному щаблі підвішування до його статичного значення.

Крім нормованих критеріїв оцінки, у теоретичних дослідженнях використовувалися показники, що дозволяють при аналізі результатів виконувати більш глибоку порівняльну оцінку впливу досліджуваних профілів коліс колісних пар на динаміку екіпажу. Зокрема додатково реєструвалися поперечні горизонтальні сили, що характеризують зсув рейко-шпальних решіток, сили, що відновлюють, направляють, і кути набігання з урахуванням кривизни колії, обумовленої нерівностями колії в плані, вертикальні й поперечні горизонтальні прискорення кузова в зоні шворневого вузла й у середині кузова, кути повороту візків відносно кузова в горизонтальній площині й кути повороту кузова й візків відносно власних вертикальних осей координат.

При виконанні даної роботи маємо за мету обґрунтувати профіль колеса, який забезпечує динаміку екіпажу, що задовольняє вимоги норм безпеки [1], що й виключає можливість виникнення дефектів через втому на поверхні кочення коліс, а також не потребує обточування колісних пар на пробігу не менше 250 тис. км. Отже необхідно обрати критерії оцінки, що

дозволяють розрахунковими методами спрогнозувати інтенсивність зношування й зміну форми профілю колеса й потім із двома або трьома зношеними профілями коліс виконати розрахунки з оцінки динаміки екіпажу на відповідність нормативним вимогам.

У технічній літературі в якості теоретичного критерію, що дозволяє дати якісну оцінку зношування колеса, пропонується фактор зношування. За фактор зношування прийнята робота, затрачена на подолання сил тертя в зоні контакту при русі екіпажу. Зношування коліс колісних пар і рейок пов'язаний головним чином зі зношуванням гребеня колеса й бічної поверхні головки рейок, що лімітують подальшу експлуатацію колісних пар і рейок. У зв'язку з цим більша частина робіт, присвячених цьому питанню, пропонує для якісної оцінки фактор зношування, прив'язаний до цих зон. Так, у роботах [2, 3, 4] у якості фактора зношування пропонуються вирази

$$\Phi = Y_n \mu x / R, \quad (2)$$

$$\Phi = Y_n \mu x / R \sin \gamma \cos \gamma, \quad (3)$$

$$\Phi = Y_n \mu \Delta s / 2\pi(r_k + \Delta r) \sin \gamma, \quad (4)$$

де  $Y_n$  – напрямне зусилля;

$\gamma$  – кут нахилу гребеня до горизонту;

$R$  – радіус кривої;

$\mu$  – коефіцієнт тертя;

$x$  – відстань від центра повороту візка до колісної пари;

$\Delta s$  – ковзання колеса відносно рейки в горизонтальній площині;

$\Delta r$  – збільшення радіуса в області контакту.

З наведених вище факторів зношування більш логічні перший і другий, у яких сила тертя визначається виходячи з нормального тиску ( $Y_n / \sin \gamma$ ) у зоні контакту. Також мають відмінності

відносні ковзання. Названі вище фактори зношування були призначені для якісної оцінки зношування стосовно розробленої на той період теорії (методики) вписування залізничних екіпажів у криві. У деяких роботах наводяться фактори зношування, не обмежені певною зоною профілю. У таких роботах у якості фактора зношування пропонується вираз

$$\Phi = N \mu \varpi, \quad (5)$$

де  $N, \mu, \varpi$  – відповідно нормальний тиск, коефіцієнт тертя й відносне ковзання в зоні контакту.

У роботах [1] і [6] фактори зношування мають вигляд

$$\Phi = \sigma \Delta s \mu / \mu_0, \quad (6)$$

$$\Phi = \sigma l s k_1 k_2 K k_n, \quad (7)$$

де  $\sigma$  – питомий тиск в області контакту;

$\mu_0$  – середнє значення коефіцієнта тертя в експлуатації;

$l$  – ковзання колеса по рейці;

$k_1 k_2 K k_n$  – безрозмірні коефіцієнти, що враховують зносостійкість матеріалу рейок і коліс, змащення й т. п. (визначаються експериментально).

Однак ці фактори зношування використовуються в чисто постановочному плані й не можуть бути використані без доопрацювання.

Фактор зношування, що дозволяє одержати найбільш повну й об'єктивну якісну інформацію про зношування, даний у роботі [5]. Цей фактор зношування є добутком сили тертя на відносне ковзання в області контакту, тобто за фактор зношування прийнята робота, затрачена на подолання сили тертя на одиницю довжини. Вираз для визначення фактора зношування має вигляд

$$\Phi l_{ij} = F l_{ij} \varpi l_{ij}, \quad (8)$$

де  $F_{l_{ij}}$  і  $\varpi_{l_{ij}}$  – сили тертя й відносні ковзання, що виникають при взаємодії колісної пари з рейковою колією за наявності однієї або двох областей контакту.

У розрахунках сила тертя функціонально залежить від відносної швидкості ковзання, обумовленої по трьох координатах, і нормального зусилля, обумовленого з урахуванням динаміки екіпажу. Відносне ковзання визначається через відносну швидкість ковзання:

$$\varpi_l = \frac{\Delta S_l}{S} = \frac{h \cdot \Delta V_l}{h \cdot V} = \frac{\Delta V_l}{V} = \varepsilon_l, \quad (9)$$

де  $\Delta S_l$ ,  $S$  – ковзання колеса, м, і колія, ним пройдена, м;

$\Delta V_l$ ,  $V$  – абсолютна швидкість ковзання, м/с, і швидкість руху екіпажу, м/с;

$h$  – крок розрахунків;

$l$  – перша й друга області контакту на колесі колісної пари.

Слід зазначити, що облік вертикальної складової швидкості ковзання суттєво впливає на сумарне ковзання колеса відносно рейки, якщо зона контакту розташовується на викружці профілю і його гребені.

Усі наведені вище фактори зношування носять якісний характер і не дозволяють одержати кількісну оцінку зношування профілю коліс [6].

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Були розглянуті нормовані та позанормовані показники оцінки динамічних якостей екіпажу. З метою обґрунтування профілю колеса, що забезпечує динаміку екіпажу та задовольняє вимоги норм безпеки, було обрано критерії оцінки, що дозволяють розрахунковими методами спрогнозувати інтенсивність зношування й зміну форми профілю колеса й виконати розрахунки з оцінки динаміки екіпажу на відповідність нормативним вимогам.

### Список використаних джерел

1. НБ ЖТ ЦТ 03-98. Электропоезда. Нормы безопасности. – Введ. 07.08.1998 р. – М.: МПС России, 1998. – 193 с.
2. Андриевский, С. М. Боковой износ рельсов на кривых [Текст] / С.М. Андриевский // Труды ВНИИЖТ. – 1961. – №207. – 128 с.
3. Хойман, Х. Направление железнодорожных экипажей рельсовой колеи [Текст] / Х. Хойман. – М: Трансжелдориздат, 1957. – 414 с.
4. Шевалин, В. А. Критерий бокового износа рельсов и гребней бандажей электровозов в кривых [Текст] / В.А. Шевалин // Труды ЛИИЖТ. – Л.: ЛИИЖТ, 1941. – №135. – С. 54-68.
5. José Martínez-Casas. Improved railway wheelset-track interaction model in the high-frequency domain [Текст] / José Martínez-Casas, Juan Giner-Navarro, L. Baeza, F.D. Denia. Journal of Computational and Applied Mathematics. – Vol. 309. – 1 January 2016. – P. 642-653.

Харламов Павло Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99. E-mail: kharlamov.erps@gmail.com.

Деміденко Артем Андрійович, магістрант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: demidenko.erps@gmail.com.

Kharlamov Pavlo, Ph.D., lecturer of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 730-19-99. E-mail: kharlamov.erps@gmail.com.

Demidenko Artem, master student of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: demidenko.erps@gmail.com.

Стаття прийнята 12.12.2016 р.