

ВЗАЄМОДІЯ З РЕЙКАМИ КОЛІС ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА З НОВИМ ПРОФІЛЕМ ОБОДУ ІТМ-73ЕР В КРИВОЛІНІЙНИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ*Інститут технічної механіки**Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
ул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: mokriyt@gmail.com*

Прискорення інтеграції України в європейські залізничні перевезення є однією з важливих задач сучасного розвитку залізничного транспорту України. Зараз найефективнішим способом подолання кордонів між країнами з різною шириною колії є застосування розсувних колісних пар. Для умов безперервного руху потягів на українських (ширина колії 1520 мм) та європейських (ширина колії 1435 мм) залізницях поряд із застосуванням засобів для автоматичної зміни відстані між колесами необхідно також забезпечити сумісність контактної пари "колесо–рейка" на коліях обох залізниць: рейки Р65 з підхилом 1/20 – в Україні; рейки UIC60 з підхилом 1/40 – в Європі.

На підставі виконаних досліджень в Інституті технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України запропоновано новий зносостійкий профіль ободу залізничного колеса ІТМ-73ЕР, використання якого в пасажирських вагонах за прогнозними даними забезпечуватиме стійкість ходу і високі динамічні якості у всьому діапазоні експлуатаційних швидкостей руху екіпажів по українських і європейських залізницях і прийнятні показники їх взаємодії з незношеними рейками цих залізниць. Відомо, що в процесі експлуатації форми профілів поверхонь контакту коліс і рейок змінюються внаслідок їх зносу і особливо інтенсивно в криволінійних ділянках колії. Оскільки на українській і європейській залізницях використовуються переважно власні профілі коліс та рейок, то застосування в цих умовах нового профілю коліс може призвести до погіршення процесів взаємодії пари «колесо–рейка», підвищення гребеневого зносу коліс та погіршення їх ресурсних показників.

Мета даної роботи полягає в дослідженнях впливу зміни форми головок рейок в криволінійних ділянках колії українських і європейських залізниць в процесі експлуатації на показники взаємодії з колією пасажирського вагона, обладнаного колесами із профілем ободу ІТМ-73ЕР.

Виконано прогнозування форм профілю головок зовнішніх рейок в кругових кривих українських і європейських залізниць з однаковим бічним зносом гребенів від 0 до 8 мм з кроком 2 мм. Розрахунки проводилися для двох ділянок кругових кривих радіусу 300 м з рейками UIC60 з підхилом 1/40 (Європа) та Р65 з підхилом 1/20 (Україна). З метою прискорення прогнозування вважалося, що по ділянках кривих організовано рух чотиривісних вантажних вагонів, навантажених до повної вантажопідйомності, оскільки при такому режимі експлуатації відбувається найбільше зношування рейок. Розрахунки виконувались у припущенні, що колеса екіпажів незношені та обточені за профілями S1002 (для європейських залізниць) та стандартним по ДСТУ ГОСТ 10791:2016 (для українських залізниць).

З використанням отриманих форм профілів головок рейок Р65 і UIC60 з різним ступенем зносу виконано аналіз їх впливу на напружено-деформований стан пари «колесо–рейка» і динамічні показники взаємодії з колією пасажирських вагонів з досліджуваними профілями коліс при їх русі в кругових кривих радіуса 300 м. Показано, що при використанні нового профілю коліс ІТМ-73ЕР в пасажирських вагонах будуть забезпечуватися покращені показники їхньої взаємодії з колією, у тому числі зі зношеними рейками, в умовах експлуатації як на українських залізницях, так і при спільній експлуатації екіпажів на українських і європейських залізницях.

Ключові слова: швидкісні рейкові засоби, профілі ободів коліс, напружено-деформований стан, процеси взаємодії, знос коліс і рейок.

Speeding up the integration of Ukraine into the European railway transportation is an important task in the current development of the Ukrainian railway transport. Currently, the most effective way to travel across borders between countries with different track gauges is the use of gauge-changeable wheelsets. Continuous traffic on the Ukrainian (1520 mm gauge) and European (1435 mm gauge) railways calls not only for gauge changing facilities, but also for the compatibility of the wheel-rail contact pair on both railways: R65 rails and a cant of 1/20 in Ukraine and UIC60 rails and a cant of 1/40 in Europe.

At the Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and the State Space Agency of Ukraine, a new wear-resistant wheel profile, ITM-73ER, was proposed. As predicted, its use in passenger cars will offer dynamic stability and a high dynamic performance throughout the range of operating speeds on the Ukrainian and European railways and acceptable indices of wheel – unworn rail interaction on both railways. In service, the shapes of the wheel and rail contact surfaces change due to wear, especially in curves. Because the Ukrainian and European railways mostly use wheel and rail profiles of their own, the use of the new wheel profile may impair the wheel–rail interaction process, enhance wheel flange wear, and shorten the wheel life.

The goal of this work is to study the effect of the in-service rail head shape change in curves of the Ukrainian and European railways on the wheel–rail interaction indices of a passenger car with ITM-73ER profile wheels.

The head shapes of outer rails of the Ukrainian and European railways' circular curves were predicted for a side flange wear changing from 0 to 8 mm in 2 mm increments. The calculations were made for two circular

curves of radius 300 m with UIC60 rails and a cant of 1/40 (Europe) and R65 rails and a cant of 1/20 (Ukraine). To speed up the prediction, it was assumed that the curves were traveled by four-axle fully loaded freight cars, which maximizes the rail wear. The freight car wheels were assumed to be unworn and machined to the S1002 profile (for the European railways) and to the standard profile specified by the Ukrainian State Standard GOST 10791:2016 (for the Ukrainian railways).

Using the computed head shapes of R65 and UIC60 rails differing in wear degree, a study was conducted into their effect on the wheel–rail pair strain and stress field and the dynamic indices of car–track interaction for passenger cars with ITM73-ER profile wheels negotiating a circular curve of radius 300 m. It was shown that the use of the ITM-73ER wheel profile in passenger cars will offer improved indices of car–track interaction, for worn rails too, both on the Ukrainian railways and in the combined operation on the Ukrainian and European railways.

Keywords: *high-speed rail vehicles, wheel profiles, stress and strain field, interaction processes, wheel and rail wear.*

На сьогодні найбільш ефективним способом подолання залізничним рухомим складом стиків залізниць із різною шириною колії є застосування розсувних колісних пар, здатних без зупинки руху змінювати відстань між колесами під іншу ширину колії на спеціальних перехідних колійних пристроях [1, 2]. Це дозволяє потягам долати пункти зміни ширини колії без заміни вагонних візків. Для умов безперервного руху потягів на українських (ширина колії 1520 мм) та європейських (ширина колії 1435 мм) залізницях поряд із застосуванням засобів для автоматичної зміни відстані між колесами необхідно також забезпечити сумісність контактної пари "колесо–рейка" на коліях обох залізниць [3]: рейки Р65 з підхилом 1/20 – в Україні; рейки UIC60 з підхилом 1/40 – в Європі.

На підставі виконаних досліджень в Інституті технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України (ІТМ НАНУ і ДКАУ) запропоновано новий зносостійкий профіль ободу залізничного колеса ІТМ-73ЕР [4], використання якого в пасажирських вагонах з візками КВЗ ЦНІИ за прогнозними даними забезпечуватиме стійкість ходу і високі динамічні якості у всьому діапазоні експлуатаційних швидкостей руху екіпажів по українських і європейських залізницях і прийнятні показники їх взаємодії з незношеними рейками цих залізниць.

Відомо, що в процесі експлуатації форми профілів поверхонь контакту коліс і рейок змінюються внаслідок їх зношування і особливо інтенсивно в криволінійних ділянках колії. На українських і європейських залізницях рейки зношуються переважно внаслідок контакту з власними колесами: в Україні – зі стандартним профілем за ДСТУ ГОСТ 10791:2016 [5], в Європі – профілем S1002 [6]. Природно, що форми зношених поверхонь рейок на обох залізницях відрізняються. Застосування нового профілю коліс в умовах руху екіпажа по коліях цих залізниць зі зношеними рейками може призвести до погіршення процесів взаємодії пари «колесо–рейка», підвищення гребеневого зносу коліс та погіршення їх ресурсних показників за цим критерієм.

Мета даної роботи полягає в дослідженнях впливу зміни форми головок рейок в криволінійних ділянках колії українських і європейських залізниць в процесі експлуатації на показники взаємодії з колією пасажирського вагона, обладнаного колесами із профілем ободу ІТМ-73ЕР.

Оскільки в відкритих джерелах не виявлено в достатній кількості даних натурних вимірів форм головок рейок при їх однаковому зносі на українських і європейських залізницях, виконано прогнозування зміни форми профілів головок зовнішніх рейок в криволінійних ділянках цих залізниць з однаковим бічним зносом гребенів від 0 до 8 мм з кроком 2 мм.

Розрахунки проводилися для двох ділянок кругових кривих радіусу 300 м з рейками UIC60 з підхилом 1/40 (Європа) та Р65 з підхилом 1/20 (Україна).

Використано процеси збурень, що діють з боку колії на екіпаж, сформовані на базі фактичних нерівностей рейкових ниток реальних ділянок залізниць, якісний стан яких оцінюється як добрий [7].

Для побудови профілів головок рейок із різним ступенем зносу використовувався алгоритм, описаний в роботі [8]. З метою прискорення прогнозування вважалося, що по ділянках кривих організовано рух чотиривісних вантажних вагонів, навантажених до повної вантажопідйомності, оскільки при такому режимі експлуатації відбувається найбільше зношування рейок. Розрахунки виконувались у припущенні, що колеса екіпажів незношені та обточені за профілями S1002 (для європейських залізниць) та стандартним по ДСТУ ГОСТ 10791:2016 (для українських залізниць). Швидкість руху вагонів складала 80 км/год.

Вважалося, що рейка зношується однаково по всій довжині досліджуваної ділянки колії. Профіль головки рейки розбитий на сегменти завдовжки 0,5 мм, на яких відбувалося накопичення зносу (питомої роботи сил крипу). Наприкінці кожної серії розрахунків проводилася інтерполяція епюри зносу з подальшим коригуванням та згладжуванням профілю. Для скорочення обсягу обчислень перед зняттям металу виконувалася екстраполяція отриманої епюри зносу до 0,1 мм. Далі створювалася база даних, що містить значення геометричних параметрів контакту колеса із заданим профілем та рейки з отриманим відкоригованим профілем. З її використанням проводилася наступна серія розрахунків, після якої профіль головки рейки знову коригувався. Така процедура повторювалася до досягнення заданого бічного зносу.

На рис. 1, а) наведено отримані результати прогнозування еволюції внаслідок зносу профілів головок рейок UIC60, на рис. 1, б) – рейок Р65. Виконане порівняння прогнозних кривих з даними існуючих натурних вимірів показало досить добрий збіг розрахункових і експериментальних кривих [9 – 11].

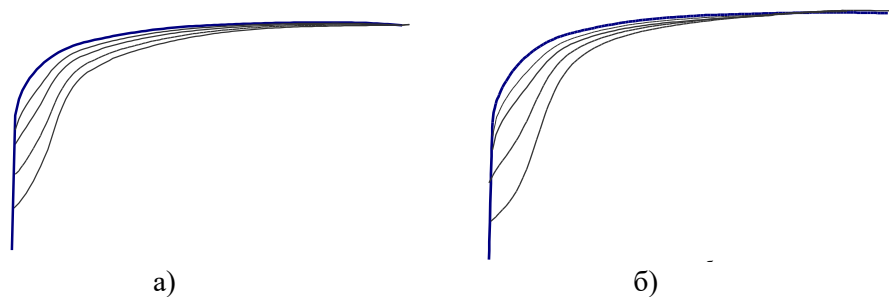


Рис. 1

Далі виконано оцінку впливу зміни форми профілів головок рейок в наслідок зносу в криволінійних ділянках українських і європейських залізниць на показники взаємодії з цими коліями пасажирського вагона, обладнаного колесами з профілем ободів ITM-73EP. Розглядався рух вагона з різними швидкостями в круговій кривій малого радіуса ($R = 300$ м).

Аналіз розташування контактних плям пари «колесо – рейка» дозволяє прогнозувати зони зношення контактуючих тіл, а також утворення дефектів контактної-втомного походження [12]. На рис. 2 показано напружено-деформований стан пари «набіжне колесо–рейка» для випадків контакту в круговій кривій радіуса 300 м коліс із профілем ободів ITM-73EP і рейками UIC60 і Р65: з незношеними головками – рис. 2, а), рис. 2, б), бічним зносом

головок 4 мм – рис. 2, в), рис. 2, г) і 8 мм – рис. 2, д), рис. 2, е). Як бачимо, взаємодія коліс з профілем ІТМ-73ЕР в усіх розглянутих випадках має фазу двоточкового контакту, причому у випадку зношених рейок друга контактна пляма на галтелі переміщується в сторону гребеня, а пляма контакту в центральній зоні збільшується.

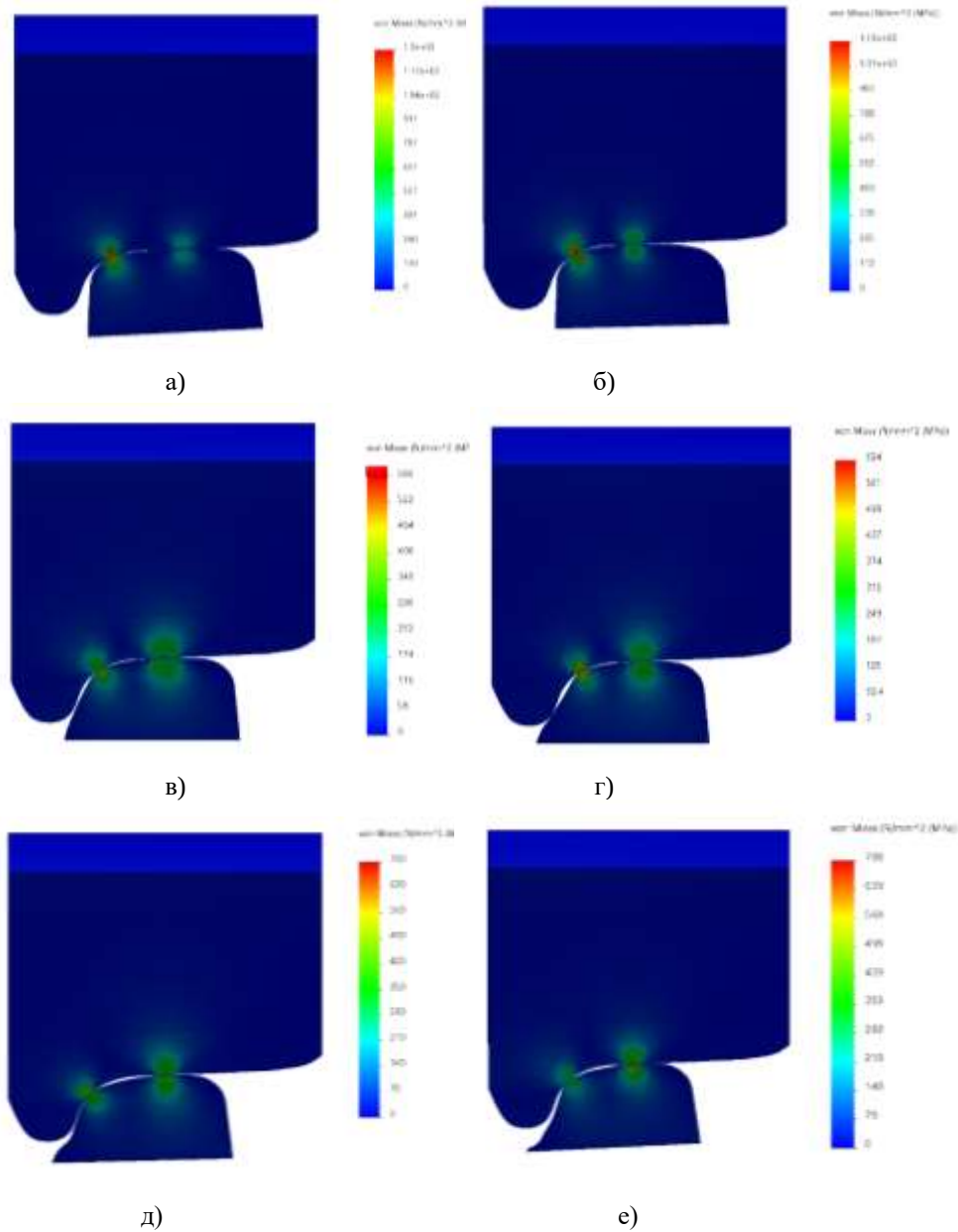


Рис. 2

На рис. 3 наведено порівняння розподілення інтенсивності зносу по робочих поверхнях набіжних на рейки коліс з різним профілем ободу при русі вагона зі швидкістю 80 км/год в круговій кривій радіуса 300 м з незношеними і зношеними (бічний знос 8 мм) рейками UIC60 (рис. 3, а), в), д)) і Р65 (рис. 3, б), г), е)).

Графіки на рис. 3, а), б) відповідають даним контакту коліс з профілем S1002, на рис. 3, в), г) – коліс зі стандартним українським профілем, на рис. 3, д), е) – коліс з профілем ITM-73EP.

Як бачимо, плями контакту коліс з профілем S1002 розташовані на галтелі при обох варіантах незношених головок рейок, а при взаємодії зі зношеними рейками контактні зони переміщуються на гребінь, що викликає різке зростання інтенсивності його зносу (рис. 3, а), б)).

Контакт гребенів набіжних коліс зі стандартним профілем має місце при русі вагона в криволінійних ділянках як із незношеними зовнішніми рейками, так і зі зношеними на коліях обох типів (рис. 3, в), г)). У коліс з профілем ITM-73EP зі зносом головок зовнішніх рейок пляма контакту хоч і зміщується в сторону гребеня колеса, але залишається на галтелі, що суттєво зменшує інтенсивність зносу контактної пари як у порівнянні з профілем S1002, так і зі стандартним вітчизняним профілем.

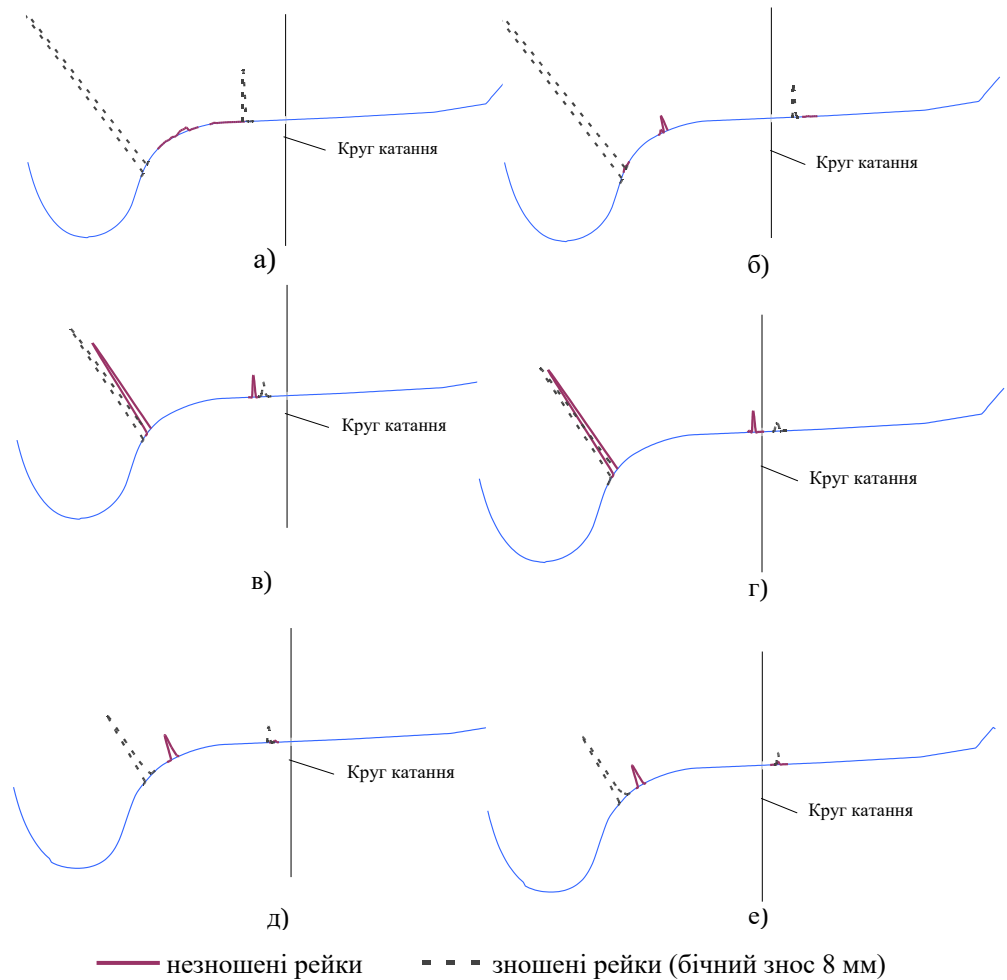


Рис. 3

На рис. 4 показано залежності від ступеня зносу рейок UIC60 (рис. 4, а)) і Р65 (рис. 4, б)) максимальних значень гребеневого зносу A (питома робота сил тертя) набіжних на зовнішню рейку коліс пасажирського вагона з профілем ITM-73EP та (для порівняння) коліс зі стандартним українським і євро-

пейським профілем при русі екіпажа в круговій кривій радіуса 300 м зі швидкістю 80 км/год. Терміном «гребеневий» позначено знос гребеня і галтелі.

Як бачимо, показник A зносу ободу колеса з профілем ІТМ-73ЕР у 2–3 рази нижчий ніж стандартного українського колеса на незношених рейках, поступово підвищується з ростом зносу бічної грані рейок і наближається до показника стандартного колеса при бічному зносі рейок 8 мм.

Значення показника A для колеса з профілем ІТМ-73ЕР у випадку незношених головок рейок декілька перевищує відповідне значення для колеса з профілем S1002. Але швидкість зростання цього показника для колеса з профілем ІТМ-73ЕР з ростом величини зносу рейки значно нижча, ніж для колеса з профілем S1002, і вже, починаючи з малого бічного зносу рейок, показник A для колеса з профілем S1002 перевищує відповідне значення A для колеса з профілем ІТМ-73ЕР, досягаючи різниці у 2,2–2,5 рази при бічному зносі рейок 8 мм.

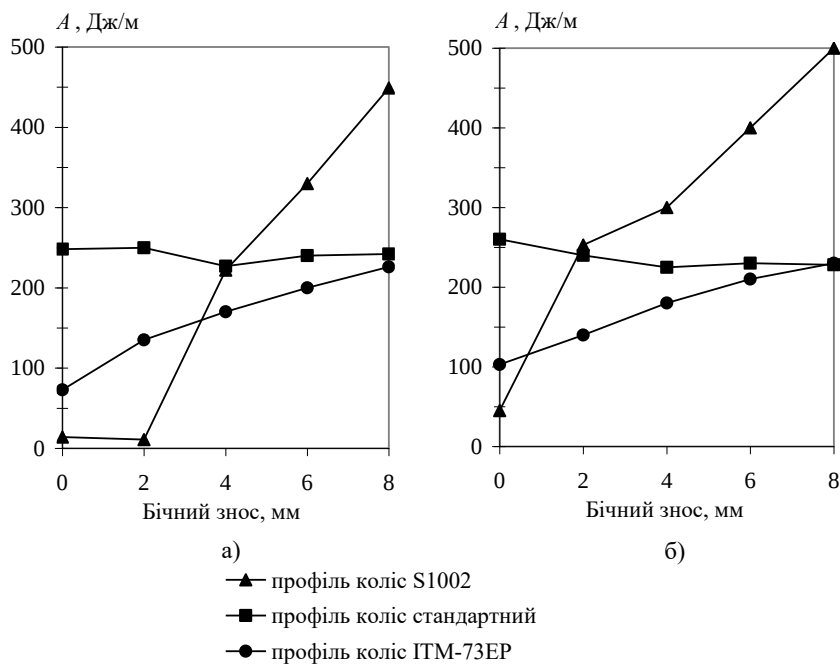


Рис. 4

На рис. 5 приведено порівняння залежності показника зносу набіжного колеса з різними профілями від швидкості руху пасажирського вагона по круговій кривій радіуса 300 м з незношеними і зношеними (бічний знос 8 мм) рейками UIC60 (рис. 5, а) і P65 (рис. 5, б)).

Як впливає з аналізу приведених графіків, використання коліс з профілем ІТМ-73ЕР в пасажирському вагоні є ефективним з точки зору покращення показників взаємодії з колією при урахуванні різного ступеня зносу рейок, як на українських, так і на європейських залізницях.

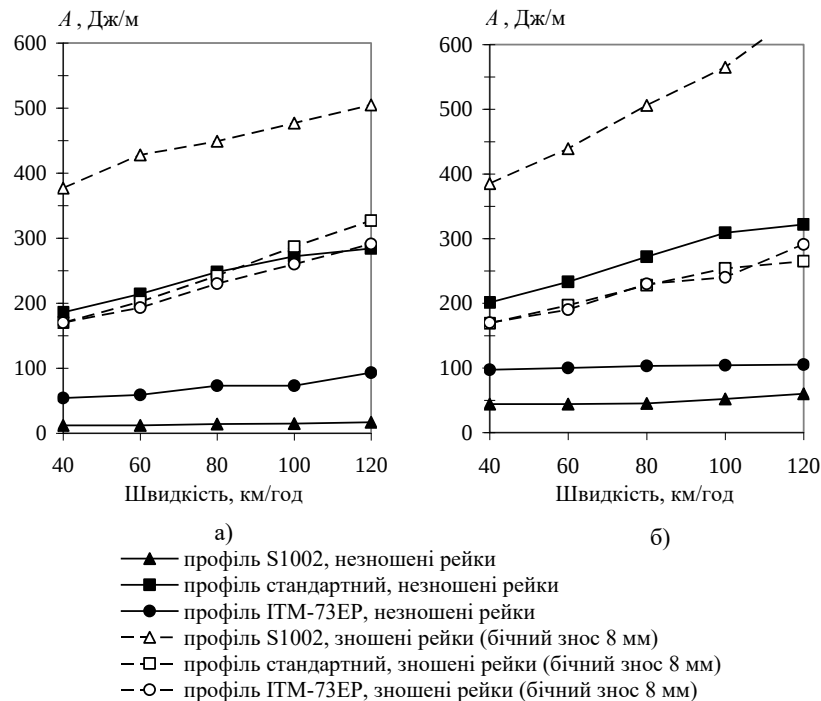


Рис. 5

Висновок. При використанні запропонованого профілю коліс ІТМ-73ЕР в пасажирських вагонах будуть забезпечуватися покращені показники їхньої взаємодії з колією, у тому числі зі зношеними рейками, в умовах експлуатації як на українських залізницях, так і при спільній експлуатації екіпажів на українських і європейських залізницях, що сприятиме зниженню гребеневого зносу коліс та підвищенню їх ресурсних показників за цим критерієм.

1. Колесная пара с раздвижными на оси колесами. URL: <https://www.railway.supply/razdvizhnye-zheleznodorozhnye-kolesnye-pary/> (дата звернення 29.03.2023).
2. Піх Б. П., Корженевич І. П., Курган М. Б. Використання рухомого складу з розсувними колісними парами на напрямку Київ–Львів–Мостиська ІІ. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2004. Вип. 3. С. 82–89.
3. Курган Н., Возняк Е. Повышение интероперабельности в международном железнодорожном сообщении Австрия – Словакия – Украина – Россия. Українські залізниці. 2014. № 12 (18). С. 24–33.
4. Мокрій Т. Ф., Малишева І. Ю., Лапіна Л. Г., Безрукавий Н. В. Профіль ободу коліс пасажирського вагона для умов спільної експлуатації на українських і європейських залізницях. Технічна механіка. 2022. № 4. С. 111–120. <https://doi.org/10.15407/itm2022.04.111>
5. ДСТУ ГОСТ 10791:2016 Колеса суцільнокатані. Технічні умови (ГОСТ 10791-2011, IDT). 2016.
6. Esveld C. Modern Railway Track. Second Edition. MRT-Productions. 2001. 654 p.
7. Ушкалов В. Ф., Лапіна Л. Г., Мащенко І. А. Расчетные возмущения для исследования динамики железнодорожных вагонов. Залізничний транспорт України. 2012. №1. С. 38–41.
8. Ушкалов В. Ф., Мокрій Т. Ф., Малишева І. Ю. Математическая модель взаимодействия железнодорожного экипажа и пути с учетом распределения контактных сил по пятнам контакта. Техническая механика. 2015. № 2. С. 79–89.
9. Olofsson U., Telliskivi T. Wear, plastic deformation and friction of two rail steels – a full-scale test and a laboratory study. Wear. 2003. № 254 (1-2). P. 80–93. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(02\)00291-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(02)00291-0)
10. Palsson B., Nielsen J. Wheel-rail interaction and damage in switches and crossings. Vehicle System Dynamics. 2012. № 50 (1). P. 43–58. <https://doi.org/10.1080/00423114.2011.560673>
11. Подельников И. В. Определение типовых форм изношенных профилей головок рельсов на криволинейных участках пути. Техническая механика. 2009. № 3. С. 39–43.
12. Пасічник С. С., Безрукавий Н. В. Дослідження пружно-деформованого стану пари «колесо – рейка» з різними початковими профілями і ступенем їх зносу. Технічна механіка. 2022. № 1. С. 67–76. <https://doi.org/10.15407/itm2022.01.067>

Отримано 19.04.2023,
в остаточному варіанті 24.05.2023