УДК 629.4.015 https://doi.org/10.15407/itm2026.03.112

О. М. КОВТУН, https://orcid.org/0000-0002-2961-3682
В. В. МАЛИЙ, https://orcid.org/0000-0002-6501-1398

ДИНАМІЧНІ ЯКОСТІ ПАСАЖИРСЬКИХ І ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ КОЛІС З ЄДИНИМ НОВИМ ПРОФІЛЕМ ОБОДІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА УКРАЇНСЬКИХ І ЄВРОПЕЙСЬКИХ ЗАЛІЗНИЦЯХ

Інститут технічної механіки
Національної академії наук України і Державного космічного агентства України
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна, https://ror.org/003ed9546; e-mail: dep7@ukr.net

Необхідність модернізації залізничного транспорту України і прискорення його інтеграції в європейські залізничні перевезення викликає потребу в розробці нового профілю ободу колеса, який забезпечуватиме сумісність пари «колесо–рейка» при експлуатації пасажирських і вантажних поїздів на вітчизняних і європейських залізницях і створить сприятливі умови взаємодії екіпажів з рейками цих залізниць. З цією метою необхідні теоретичні дослідження випадкових коливань рейкових засобів при різних параметрах контактної пари «колесо–рейка», які направлені на оцінку можливості використання єдиного профілю коліс для пасажирських і вантажних вагонів з перспективними візками в умовах експлуатації на українських і європейських залізницях. У статті наведено результати теоретичної оцінки динамічних показників пасажирського і вантажного поїздів з вагонами Крюківського вагонобудівного заводу, які обладнано колесами з різними профілями поверхонь кочення: 1) розробленими вченими Інституту технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України (ІТМ НАНУ і ДКАУ); 2) вітчизняними стандартними. Аналізувався рух поїздів пружно-в'язко-інерційною колією прямолінійного обрису з урахуванням дії зовнішніх збурень, пов'язаних з геометричною недосконалістю рейок по коліях українських (рейки Р65 з ухилом 1/20) і європейських (рейки UIC60 з ухилом 1/40) залізниць. Показано, що у розглянутих пасажирських та вантажних вагонах при застосуванні коліс з профілями, розробленими в ІТМ НАНУ і ДКАУ, показники динаміки мало розрізняються між собою при русі екіпажів на прямолінійних ділянках українських і європейських залізниць з експлуатаційними швидкостями (до 160 км/год для пасажирських вагонів, до 120 км/год для вантажних вагонів). Динамічні показники цих вагонів у порівнянні з аналогічними характеристиками вагонів, обладнаних колесами зі стандартним профілем, не погіршуються, а в деяких випадках навіть поліпшуються. Використання в вагонах пасажирських і вантажних поїздів розроблених в ІТМ НАНУ і ДКАУ профілів коліс дозволить суттєво збільшити тривалість їх експлуатації за рахунок зниження зносу коліс.

Ключові слова: *пасажирський поїзд, вантажний поїзд, профіль колеса, залізнична колія, динамічні характеристики.*

The need to renew the Ukrainian railway transport and speed up its integration into the European railway service calls for a new wheel profile that would provide wheel–rail pair compatibility in the operation of freight and passenger cars on the Ukrainian and European railways and facilitate car–rail interaction. This calls, in its turn, for theoretical studies of random car oscillations at various values of wheel–rail pair parameters aimed at evaluating the possibility of using a unified wheel profile for freight and passenger cars with prospective trucks in their operation on the Ukrainian and European railways. This paper presents theoretical estimates of the dynamic performance of a passenger and a freight train with Kryukovsky Railway Car Building Works' cars with wheels having different profiles: 1) those developed by researchers of the Institute of Technical Mechanics (ITM) of the National Academy of Sciences of Ukraine and the State Space Agency of Ukraine and 2) the home standard one. An analysis was conducted for trains moving on an elastoviscous inertial tangent track with account for external disturbances caused by geometrical imperfections of rails on the Ukrainian (R65 rails of cant 1/20) and European (UIC60 rails of cant 1/40) railways. It was shown that if wheels with the ITM profiles are used in the passenger and freight cars considered, the dynamic performance on the Ukrainian railways differs little from that on the European railways for service speeds (up to 160 km/h and 120 km/h for passenger and freight cars, respectively). The dynamic performance of these cars does not deteriorate and in some cases even improves in comparison with the use of wheels with the standard profile. Using wheels with the ITM profiles in passenger and freight cars will significantly extend their service life due to wheel wear reduction.

Keywords: *passenger train, freight train, wheel profile, railway track, dynamic performance.*

Вступ. Найефективнішим способом подолання кордонів між країнами з різною шириною колії залізниць є застосування розсувних колісних пар [1], за допомогою системи, яка здатна без зупинки руху залізничного складу змінювати ширину колії з 1520 мм (український стандарт) на 1435 мм (європей-

© О. М. Ковтун, В. В. Малий, 2026

The article is an open access article distributed underthe terms and conditions of the Creative Commons Attributions (CC BY) license (https/creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ський стандарт) і навпаки. При цьому повинні забезпечуватися не тільки висока надійність самої колісної пари, оскільки її відмова може призвести до аварій з тяжкими наслідками, а й висока якість взаємодії коліс та рейок, від якої також суттєво залежить безпека руху.

Наразі АТ «Укрзалізниця» та оператор залізничної інфраструктури Іспанії «Adif» розробляють пілотний проєкт з установлення автоматизованої системи зміни ширини колії для 1520 мм (український стандарт) та 1435 мм (європейський стандарт) і виготовлення вагонів, які буде обладнано розсувними колісними парами [2].

Проте, при практичному застосуванні ходових частин з розсувними колісними парами на українських та європейських залізницях для забезпечення доброї сумісності пари "колесо–рейка" потрібне вирішення додаткової проблеми – розробки профілю ободів коліс з урахуванням профілів головок рейок Р65 (Україна) і UIC (Європа) та їх підхилу 1/20 і 1/40 відповідно [3]–[6].

Для вирішення цієї проблеми в Інституті технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України (ІТМ НАНУ і ДКАУ) розроблено нові профілі поверхні кочення коліс для використання у пасажирських (ІТМ-73ЕР) [7] і вантажних (ІТМ-73ЕС) [8] вагонах при спільній експлуатації на українських і європейських залізницях. При створенні профілів використовувалася розроблена в ІТМ НАНУ і ДКАУ просторова математична модель взаємодії залізничного екіпажа та інерційної пружнодисипативної колії, в якій враховуються розміри плям контакту пари «колесо–рейка» та розподіл по них нормальних та дотичних сил взаємодії [9].

Моделювання руху та варіанти розрахунків. Розрахункова оцінка динамічних показників пасажирських і вантажних вагонів, які обладнані колесами з різними профілями ободів, проводилась шляхом аналізу рішень нелінійних диференціальних рівнянь. При побудові математичних моделей просторових коливань поїздів, що розглядаються, враховано загально прийняті припущення щодо переміщень твердих тіл, якими моделюються елементи залізничних екіпажів, конструктивні особливості їх ходових частин, робота пружних і дисипативних елементів, які з'єднують тіла системи, нелінійний характер сил взаємодії колеса та рейки [10]. Розроблені математичні моделі руху пасажирського і вантажного поїздів, алгоритм і комп'ютерне програмне забезпечення дозволяють моделювати широкий спектр розрахункових випадків, включаючи всі можливі комбінації параметрів елементів вагонів, профілів колісних пар і рейок. Програма дозволяє адекватно відображати динамічні процеси, які супроводжують рух як окремих вагонів, так і повноскладного поїзда на ділянках колії довільного обрису для заданих режимів руху.

Розглядався рух залізничних поїздів, що складаються із семи вагонів обладнаних візками розробки Крюківського вагонобудівного заводу:

– пасажирський вагон з візками моделі 68-7041;

– вантажний вагон з візками моделі 18-7020.

Розрахунки проведено для випадків, коли візки вагонів поїздів обладнано колесами з різними профілями поверхонь кочення:

– варіант 1 – колесо з профілем ІТМ-73ЕР;

– варіант 2 – колесо з профілем ІТМ-73ЕС;

– варіант 3 – стандартне колесо.

Аналізувався рух поїздів по коліях українських (рейки Р65 з підхилом 1/20) і європейських (рейки UIC60 з підхилом 1/40) залізниць.

Моделювався рух поїздів, що рухаються пружно-в'язко-інерційною колією з урахуванням дії зовнішніх збурень, пов'язаних з геометричною недосконалістю рейкової колії. Нерівності представлено у вигляді випадкових стаціонарних процесів з гаусівським розподілом по амплітуді та спектральною щільністю, що має монотонно падаючий характер [11]. Нерівності, що подаються під колеса вагонів поїзда, відповідають технічному стану колії на деяких ділянках залізниць України та відповідають другому ступеню відступу по ширині рейкової колії (більше 8 мм).

Для достовірної оцінки динамічних якостей вагонів поїзда відповідно до вимог ДСТУ, прийнятих в Україні [12], [13], визначалися величини, які є основними показниками ходу залізничних вагонів. До таких величин відносяться: горизонтальні та вертикальні прискорення кузова (u_h , u_v), сили, що діють на колісні пари у горизонтальному поперечному напрямку (рамні сили) в долях осьового навантаження (k_{dh}), коефіцієнти вертикальної динаміки (k_{dv}), та коефіцієнти запасу стійкості коліс проти сходу з рейок за умовою вкочування (k_{st}). Для пасажирського поїзда додатково визначалися показники плавності ходу пасажирського вагона у вертикальному та горизонтальному поперечному напрямках.

Результати розрахунків.

Пасажирський поїзд. Розглянуто рух пасажирських поїздів, обладнаних колесами з різними профілями поверхонь кочення (3 варіанта), по українській і європейській коліях. Поїзди рухались по прямолінійній ділянці колії довжиною 1000 м зі швидкостями, що змінюються в діапазоні від 40 км/год до 160 км/год.

Аналіз отриманих результатів показав, що для всіх розглянутих поєднань профілів поверхонь кочення коліс і рейок значення динамічних показників, які характеризують вертикальну динаміку вагонів розглянутих поїздів, дуже близькі та практично не залежать від швидкості руху поїзда, геометрії колеса і залізничної колії. Значення показників горизонтальної динаміки вагонів також близькі в діапазоні від 40 км/год до 120 км/год, а далі мають місце невеликі розходження. При цьому значення горизонтального прискорення кузовів вагонів знаходяться в зоні допустимих величин, а показники k_{dh} для швидкості руху більше 140 км/год перевищують граничне значення для всіх поїздів з будь-яким із розглянутих профілів коліс.

На рис. 1 – рис. 3 наведено графіки залежностей деяких динамічних показників розглянутих поїздів від швидкості руху (індекс (а) відповідає руху поїзда по рейках Р65, (б) – по рейках UIC60), в конструкції яких використані колеса з різними профілями поверхонь кочення (варіанти 1–3). На цих рисунках і нижче наводяться динамічні показники для середнього вагона поїзда.

Оскільки розглянуті поїзди призначено для перевезення пасажирів, одним з важливих показників їх динаміки є показник плавності ходу вагонів. З метою визначення показників плавності ходу окремо проводилася обробка процесів вертикальних і поперечних горизонтальних прискорень кузова середнього вагона поїзда в зонах спирання на п'ятники. Отримані результати розрахунків для пасажирського поїзда, що рухається по українській та європейській коліях для різних швидкостей руху і поєднаннях профілів поверхонь кочення коліс (варіанти 1–3) показали, що значення показників плавно-

сті ходу в вертикальному і горизонтальному поперечному напрямках відповідають характеристиці «задовільно». Також аналіз отриманих значень показників плавності ходу вагонів показав, що показники комфортних умов для пасажирів майже не залежать від профілю поверхні кочення коліс, якими обладнані вагони.

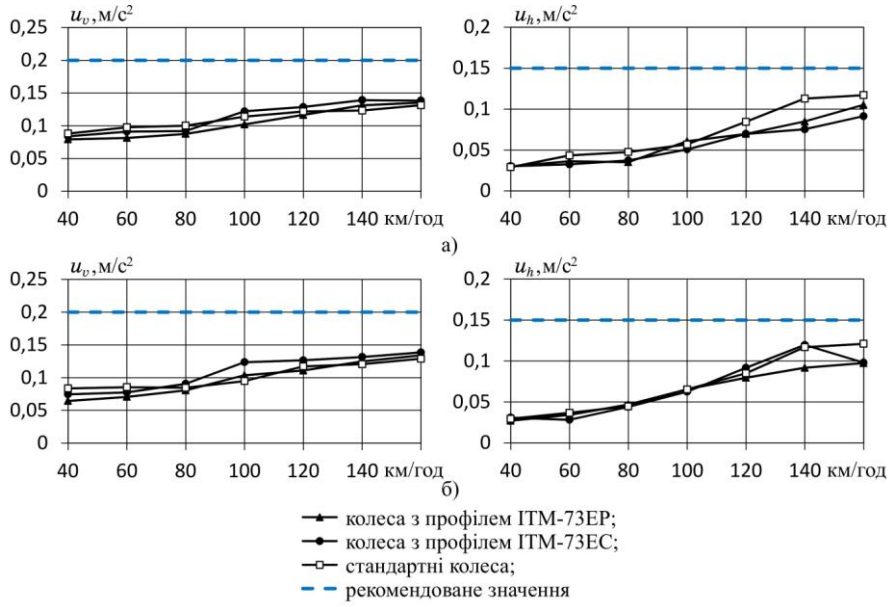


Рис. 1

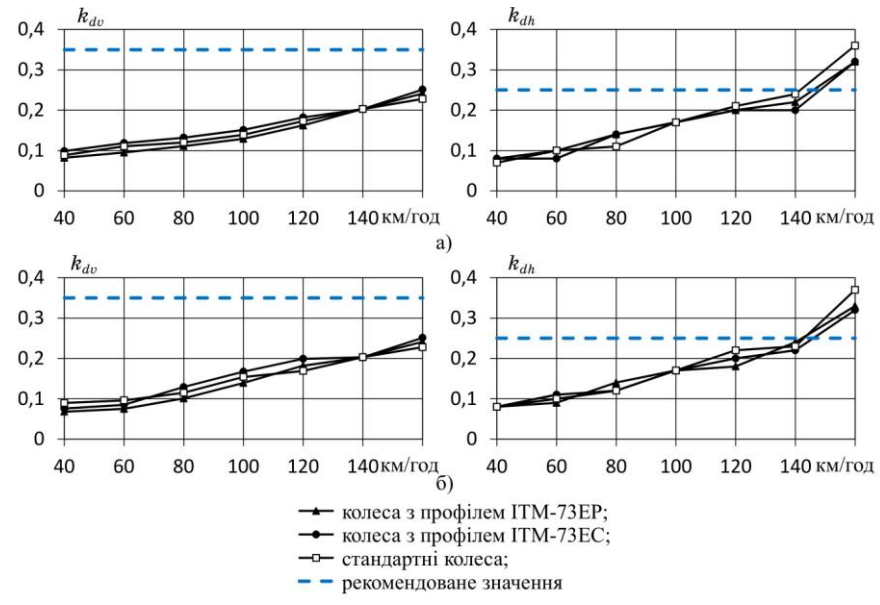


Рис. 2

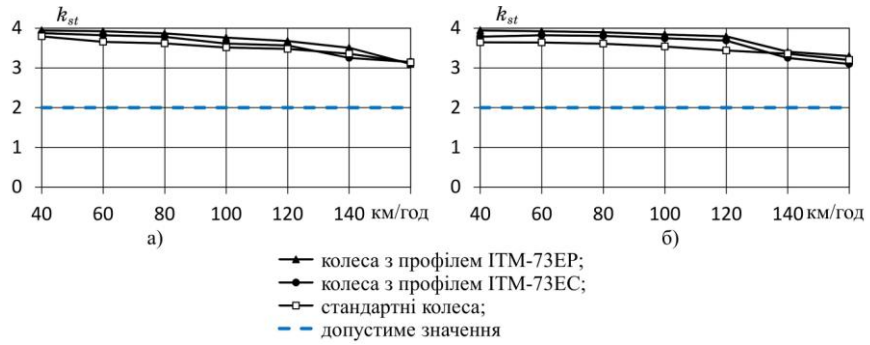


Рис. 3

В цілому аналіз отриманих результатів показав, що всі оцінювані динамічні показники пасажирських вагонів мало відрізняються при застосуванні коліс із стандартним профілем та запропонованими профілями ІТМ-73ЕР і ІТМ-ЕС і задовольняють нормативним вимогам, окрім рамних сил при швидкостях руху більших за 140 км/год. У цьому випадку показники рамних сил пасажирських вагонів незалежно від досліджуваних профілів коліс перевищують граничне значення, що свідчить про необхідність підвищення якості стану утримання колій на лініях впровадження швидкісного руху.

Вантажний поїзд. Розглянуто рух вантажних поїздів в різних режимах експлуатації (в порожньому і завантаженому), обладнаних колесами з різними профілями поверхонь кочення (3 варіанта), по українській і європейській коліях. Поїзди рухались по прямолінійній ділянці колії довжиною 1000 м зі швидкостями, що змінюються в діапазоні від 40 км/год до 120 км/год.

Відразу слід зазначити, що чисельні значення розглянутих динамічних показників близькі одне до одного незалежно від виду колії (українська чи європейська), якою рухається поїзд.

На рис. 4 наведено графіки залежностей вертикальних u_v та горизонтальних u_h прискорень кузовів вагонів розглянутих поїздів від швидкості руху у порожньому стані українською та європейською коліями. Позначення ліній наведено у полі малюнків. З розгляду цих графіків видно, що вертикальні прискорення наростають зі зростанням швидкості руху та в усьому дослідженому діапазоні швидкостей не перевищують граничний рівень, зазначений у ДСТУ [13] для розрахунку динаміки вагонів. При цьому зміни конфігурації профілю коліс (3 варіанти) не впливають на значення вертикальних прискорень кузова. Значення горизонтальних прискорень кузова також не перевищують допустимі значення, але залежно від конфігурації профілю коліс мають місце незначні відмінності.

На рис. 5 наведено в залежності від швидкості руху значення коефіцієнтів k_{dv} і k_{dh} для вантажних вагонів у порожньому стані. Ці показники також мало залежать від форми профілю коліс, якими обладнано вагони, і в усьому діапазоні швидкостей знаходяться в межах допустимих нормативних значень.

На рис. 6 наведено мінімальні значення коефіцієнта стійкості k_{st} колісних пар середнього вагона від сходу з рейок для різних значень швидкості руху. З наведених даних видно, що цей показник практично не залежить від форми профілів коліс, якими обладнані поїзди, що рухаються українською колією. При руху європейською колією мають місце деякі відмінності у значеннях цього показника для різних варіантів використання коліс. Але загалом отримані

розрахункові значення коефіцієнта стійкості колісних пар характеризують стійкий рух всіх розглянутих вантажних поїздів у порожньому стані.

На рис. 7 – рис. 9 наведено графіки, що характеризують зміну значень динамічних показників вагонів вантажних поїздів, що розглядаються, для швидкості руху від 40 км/год до 120 км/год в завантаженому стані по українській та європейській рейкових коліях.

Крім коефіцієнта стійкості колісної пари від сходу з рейок, для оцінки безпеки руху вантажних поїздів, що розглядаються, розраховувався коефіцієнт Надаля, який застосовується на залізницях Європейського Союзу. Коефіцієнт Надаля визначається як відношення бічної сили, що діє на колесо, до вертикального навантаження, що діє від колеса на рейку.

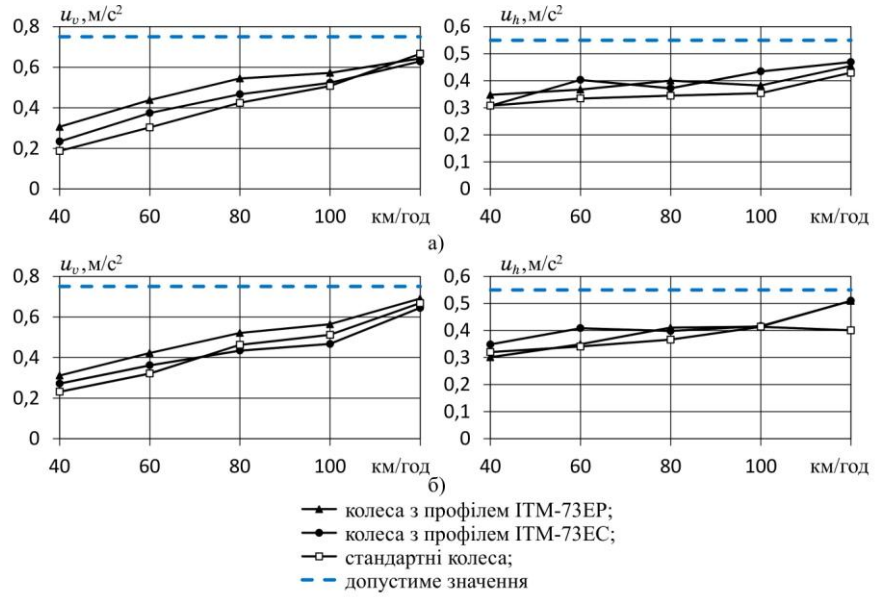


Рис. 4

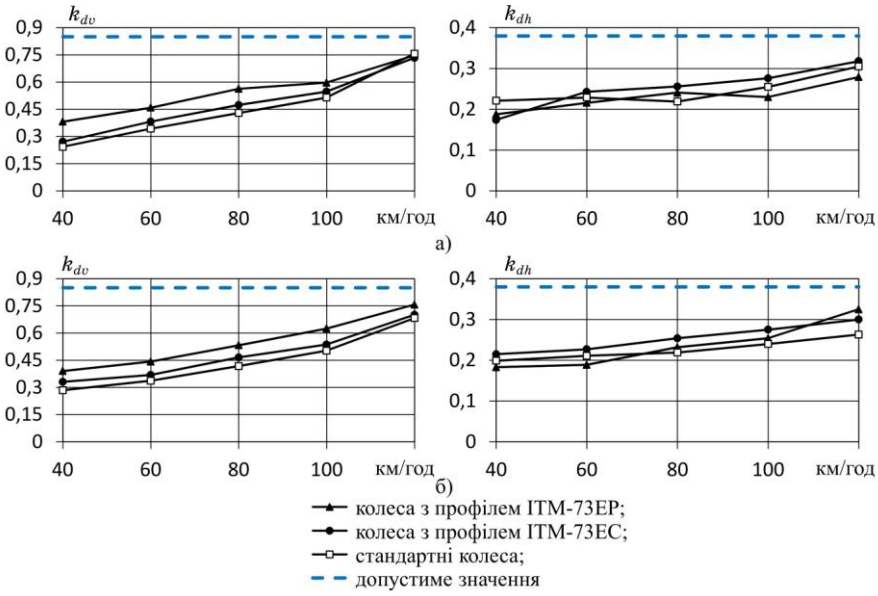


Рис. 5

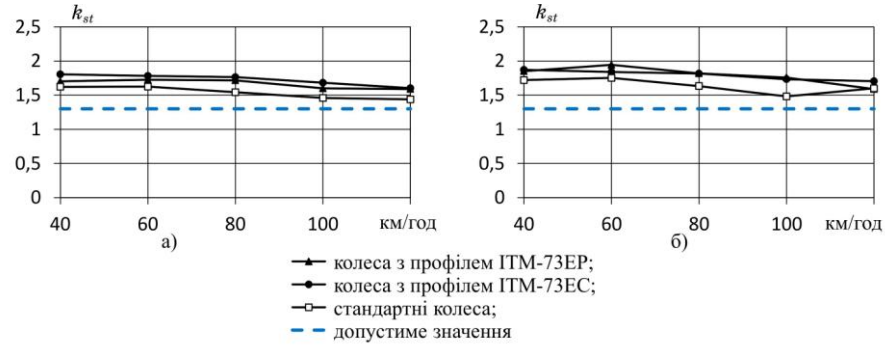


Рис. 6

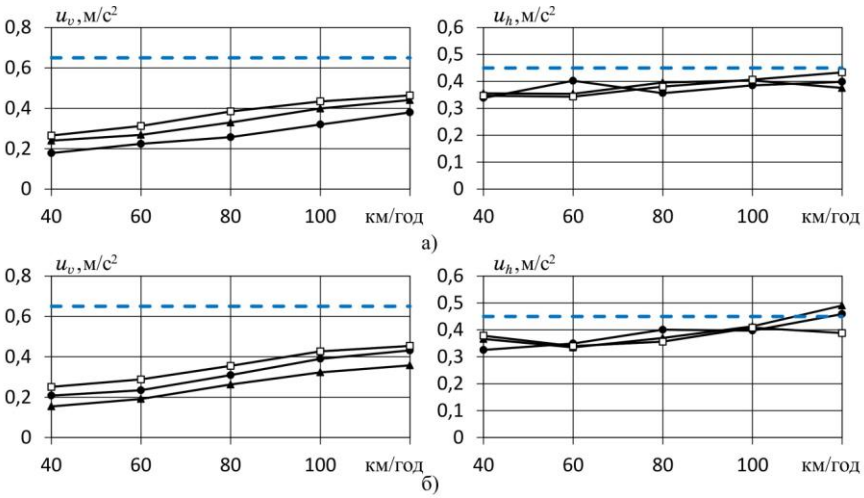


Рис. 7

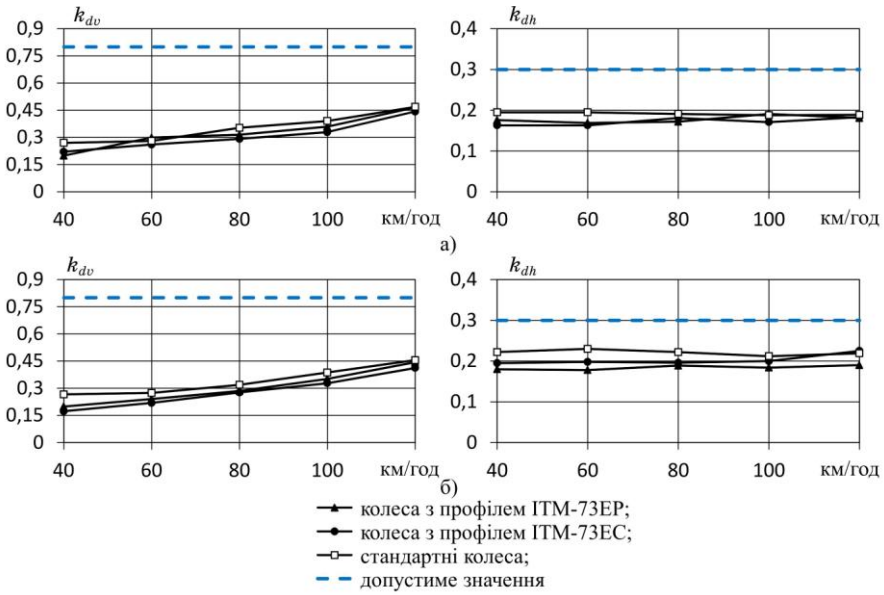


Рис. 8

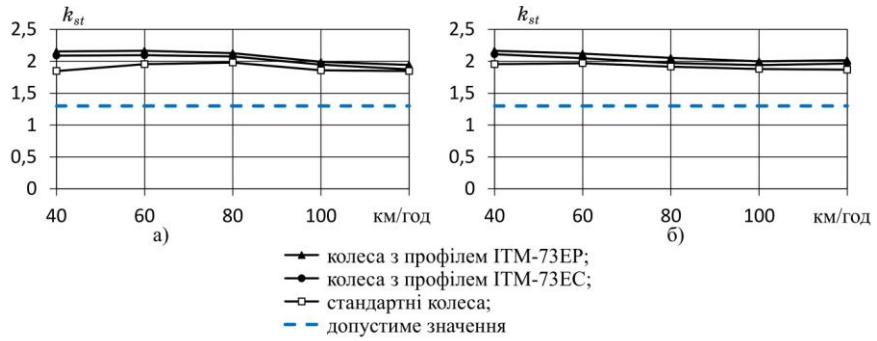


Рис. 9

Критичним значенням коефіцієнта Надаля для безпеки руху є 0,8. Проведені розрахунки показали, що рух вантажних поїздів, обладнаних колесами з різними профілями поверхонь кочення (варіанти 1–3), стійкий у всьому розглянутому діапазоні зміни швидкості їх руху по колії. При цьому слід відзначити, що значення цього коефіцієнта для поїздів обладнаних колесами, розробленими в ІТМ НАНУ і ДКАУ (варіанти 1 і 2), близькі між собою і менші, ніж аналогічні показники для поїзда, обладнаного стандартними колесами (варіант 3). На рис. 10 показані графіки зміни значень коефіцієнта Надаля від швидкості руху вантажних поїздів в завантаженому стані по українській і європейській коліях.

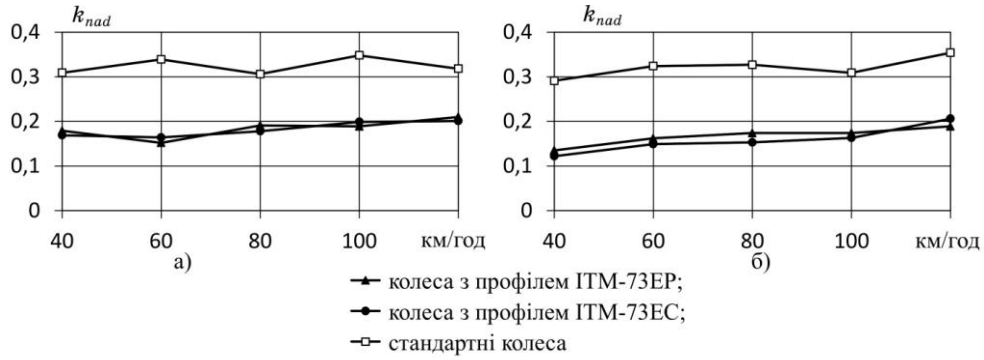


Рис. 10

Отримані результати показали, що для всіх розглянутих вантажних поїздів у завантаженому стані показники якості руху як у горизонтальному поперечному, так і у вертикальному напрямках нижче відповідних допустимих значень. Єдиним винятком є показник u_h при русі поїздів по європейській колії з швидкістю 120 км/год. Тут на швидкості 120 км/год значення горизонтальних поперечних прискорень вище рівня допустимої якості ходу.

Висновки. Аналіз отриманих результатів показав, що обладнання пасажирських і вантажних вагонів колесами з профілями ІТМ-73ЕР та ІТМ-73ЕС, для їх руху по прямолінійних ділянках української і європейської колій, не погіршує їх динамічні показники в порівняні з аналогічними характеристиками для вагонів поїздів, обладнаних колесами зі стандартним профілем, а в деяких випадках навіть поліпшує їх. Використання в вагонах вантажних поїздів розроблених в ІТМ НАНУ і ДКАУ профілів коліс дозволить суттєво збільшити тривалість їх експлуатації за рахунок зниження зносу коліс.

1. Розсувні колісні пари. URL: https://www.railway.supply/uk/rozsuvni-zaliznichni-kolisni-pari/ (дата звернення: 30.06.2026).
2. Укрзалізниця" спільно з іспанцями виготовлятимуть вагони, які автоматично підлаштовуються під ширину колії. URL: https://censor.net/n3498056 (дата звернення: 30.06.2026).
3. *Дьомін Р. Ю., Дьомін Ю. В., Черняк Г. Ю., Мостович А. В.* Науково-технічні основи створення залізничного рухомого складу типу «Схід-Захід»: монографія. Київ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2024. 380 с.
4. *Піх Б. П., Корженевич І. П., Курган М. Б.* Використання рухомого складу з розсувними колісними парами на напрямку Київ–Львів–Мостиська II. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 2004. Вип. 3. С. 82–89. https://doi.org/10.15802/stp2004/20907
5. *Курган Н., Возная Е.* Повышение интероперабельности в международном железнодорожном сообщении Австрия – Словакия – Украина – Россия. Українські залізниці, 2014. № 12 (18). С. 24–33.
6. *Kalivoda J., Neduzha L.* Running Dynamics of Rail Vehicles. Energies, 2022. № 15. P. 5843. https://doi.org/10.3390/en15165843
7. *Мокрій Т. Ф., Малишева І. Ю., Лапіна Л. Г., Безрукавий Н. В.* Профіль обода 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
8. *Мокрій Т. Ф., Малишева І. Ю., Пасічник С. С.* Профіль обода коліс вантажного вагона з перспективними візками для умов спільної експлуатації на українських і європейських залізницях. Технічна механіка. 2023. № 4. С. 90–103. https://doi.org/10.15407/itm2023.04.090
9. *Ушкалов В. Ф., Мокрій Т. Ф., Малишева І. Ю.* Математическая модель взаимодействия железнодорожного экипажа и пути с учетом распределения контактных сил по пятнам контакта. Технічна механіка. 2015. № 2. С. 79–89.
10. *Лазарян В. А.* Динамика транспортных средств. Киев: Наукова думка, 1985. 528 с.
11. *Лапіна Л. Г., Малишева І. Ю., Мокрій Т. Ф.* Дослідження можливості використання збурень, сформованих за записами нерівностей колії, для розрахунків динаміки швидкісного рейкового екіпажа. Технічна механіка. 2022. № 2. С. 115–122. https://doi.org/10.15407/itm2022.02.115
12. ДСТУ 7774:2015. Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Загальнотехнічні норми для розрахування та проектування механічної частини вагонів. Чинний від 2016-04-01. Київ. 2017. 150 с.
13. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Чинний від 2015-07-01. Київ. 2016. 162 с.

Стаття надійшла до редакції 31.07.2026;
прийнято до друку після рецензування 04.09.2026;
дата публікації 28.09.2026