

**ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ЯКОСТЕЙ ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДІВ,
ОБЛАДНАНИХ КОЛЕСАМИ З РІЗНИМИ ПРОФІЛЯМИ ПОВЕРХОНЬ
КОЧЕННЯ**

Інститут технічної механіки

*Національної академії наук України і Державного космічного агентства України
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, м. Дніпро; e-mail: dep7@ukr.net*

Актуальність даної роботи полягає в необхідності оновлення вантажного рухомого складу України. Таке оновлення необхідно для підвищення безпеки руху, покращення динаміки та взаємодії з колією залізничних потягів в умовах їх прискореного руху по коліях із різними параметрами. Результати оновлення мають сприяти вирішенню важливої задачі сучасного розвитку залізничного транспорту України – прискоренню інтеграції України в європейські залізничні перевезення. В зв'язку з цим потребують підвищеної уваги теоретичні дослідження, спрямовані на покращення динаміки рухомого складу. Для цього необхідно в теоретичних дослідженнях розглядати рух поїздів на коліях з різними параметрами і оцінювати їх динамічні показники на різних ділянках рейкової колії. У статті наведено результати теоретичної оцінки динамічних характеристик вантажного поїзда на візках моделі 18-7020 з осьовим навантаженням 230 кН розробки Крюківського вагонобудівного заводу. Аналізувався рух поїзда, що рухається пружно-в'язко-інерційною колією прямолінійного та криволінійного 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. При цьому візки вагонів поїзда обладнано колесами з різними профілями поверхонь кочення: вітчизняними стандартними, європейськими, новими, розробленими вченими Інституту технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України (ІТМ НАНУ і ДКАУ). Порівняльна оцінка динамічних характеристик вантажного поїзда, обладнаного колесами з різним профілем, показала, що використання коліс з новим профілем поверхні кочення не перевищують допустимі значення динамічних показників при русі поїзда з експлуатаційними швидкостями руху по прямолінійним і криволінійним ділянках колії українських і європейських залізниць. При цьому використання в вагонах вантажних поїздів розроблених в ІТМ профілів коліс дозволить суттєво збільшити тривалість їх експлуатації за рахунок зниження зносу коліс.

Ключові слова: просторові коливання, вантажний поїзд, профіль обода колеса, динамічні характеристики.

The importance of this work stems from the necessity to renew the Ukrainian freight rolling stock with the aim to increase train operation safety and improve the dynamic performance and the wheel-rail interaction of trains moving at increased speeds on tracks with different parameters. The renewal will contribute to the solution of the important problem facing the Ukrainian railway transport: speeding up the integration of Ukraine into the European railway service. Because of this, increased attention should be paid to theoretical studies aimed to dynamic performance improvement. Such studies should consider train motion on tracks with different parameters and estimate dynamic performance on tangents and in curves. This paper presents theoretical estimates of the dynamic performance of a freight train on Kryukovsky Railway Car Building Works' 18-7020 trucks of axle load 230 kN. The estimates were obtained for an elastoplastic inertial tangent and curved track with account for external disturbances caused by rail geometry imperfection (R65 rails of cant 1/20 on the Ukrainian railways and UIC60 rails of cant 1/40 on the European railways). The trucks were considered to be equipped with wheels of different profiles: the home standard one, the European one, and a new one developed at the Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and the State Space Agency of Ukraine. It was shown that the use of the new wheel profile does not result in exceeding the admissible values of the dynamic indices when moving at service speeds on tangents and in curves both on the Ukrainian and on the European railways. At the same time, the new wheel profile offers a far longer wheel life due to wear reduction.

Keywords: spatial vibrations, freight train, wheel profile, dynamic performance.

Вступ. Інтеграційні процеси в Україні викликають необхідність пристосування її транспортної системи до вимог європейських залізниць. Вхідження до загальноєвропейського ринку транспортних послуг допоможе Україні значно підвищити свої економічні та політичні можливості. Ключовою скла-

довою транспортного комплексу є залізничний транспорт, ефективна експлуатація якого є основою розвитку відносин з країнами Європи. У зв'язку з цим виникає необхідність забезпечення безпроблемного пересування вантажів на єдиному європейському транспортному просторі.

З цією метою необхідні теоретичні дослідження, які направлено на розробку рекомендацій щодо вибору раціональних параметрів елементів рейкових екіпажів. Особливо важливим питанням є забезпечення такої взаємодії коліс вагонів з рейковою колією, яка дозволить отримати необхідні нормативні показники динаміки рейкових потягів, призначених для експлуатації на українських і європейських залізницях.

Моделювання руху та варіанти розрахунків. Для вирішення означеної проблеми розглянуто рух вантажного поїзда, що складається із семи вагонів, які спираються на візки моделі 18-7020 з осьовим навантаженням 230 кН розробки Крюковського вагонобудівного заводу. Розроблена математична модель описує просторові коливання вантажного поїзда, що рухається пружно-в'язко-інерційною колією довільного обрису. При побудові математичної моделі враховано загальноприйняті припущення щодо переміщень твердих тіл, якими моделюються елементи залізничних екіпажів, конструктивні особливості їх ходових частин, робота пружних і дисипативних елементів, що з'єднують тіла системи, нелінійний характер сил взаємодії колеса та рейки [1]. Диференціальні рівняння руху вантажного поїзда колією довільного обрису склалися у формі рівнянь Лагранжа другого роду і представляють собою систему нелінійних диференціальних рівнянь 357-го порядку з урахуванням коливань рейок. На основі математичної моделі розроблено алгоритм та програмне забезпечення для оцінки динамічних характеристик руху вантажного поїзда. Програмне забезпечення дозволяє моделювати широкий спектр розрахункових випадків, включаючи всі можливі комбінації параметрів елементів вагонів, міжвагонних з'єднань, профілів коліс і рейок. В результаті розрахунків можна отримати будь-який набір необхідних вихідних значень.

Проведено оцінку динамічних показників вагонів вантажного поїзда під час його руху з різними швидкостями по прямолінійних ділянках колії та по кругових кривих з радіусами 300 м і 650 м. При цьому розглянуто випадки, коли візки вагонів обладнано колесами з різними профілями поверхонь кочення і поїзд рухається по різних типах колії.

Для достовірної оцінки динамічних якостей вагонів поїзда відповідно до вимог норм [2] визначалися величини, які є основними показниками ходу залізничних вагонів. До таких величин відносяться: горизонтальні ($\ddot{y}_H$) та вертикальні прискорення кузовів вагонів, сили, що діють на колісні пари у горизонтальному поперечному напрямку (рамні сили) в долях осьового навантаження (H_p / P_0), коефіцієнти вертикальної динаміки та коефіцієнти запасу стійкості коліс проти сходу з рейок.

Розглядався рух поїзда зі швидкостями від 40 км/год до 120 км/год по колії, що складається з п'яти ділянок: пряма ділянка довжиною 500 м, вхідна перехідна крива довжиною 110 м або 150 м (залежно від радіуса кругової кривої), кругова крива довжиною 500 м, вихідна перехідна крива довжиною 110 м або 150 м відповідно і пряма ділянка довжиною 250 м. Для руху в круговій кривій радіусом 650 м максимально допустима швидкість (коли непогашене прискорення не перевищує $0,4 \text{ м/с}^2$) дорівнює 95,5 км/год, а в круговій кривій радіусом 300 м –

72 км/год. Моделювався рух поїзда, що рухається пружно-в'язко-інерційною колією прямолінійного та криволінійного обрису 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 [3]. Збурення надходять під колеса екіпажів з транспортним запізненням, яке залежить від відстані між колісними парами та швидкості руху поїзда.

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

- варіант 1 – стандартне колесо;

- варіант 2 – колесо з профілем ITM-73, який дозволяє знизити знос гребенів коліс при експлуатації вантажних вагонів на українських залізницях [4];

- варіант 3 – колесо з профілем ITM-73ЕС, який дозволяє знизити знос гребенів коліс при спільній експлуатації вантажних вагонів на українських і європейських залізницях [5];

- варіант 4 – колесо з профілем поверхні кочення S1002, який використовується на європейській залізниці.

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

Результати розрахунків. Отримані результати розрахунків свідчать, що значення динамічних характеристик вагонів у всіх випадках поєднання пар системи «колесо–рейка» майже не виходять за межі допустимих значень для руху як по прямолінійних, так і по криволінійних ділянках (з урахуванням допустимих швидкостей руху) колій. При цьому значення однойменних динамічних показників близькі для будь-якого із розглянутих профілів поверхні коліс.

Так, значення коефіцієнта запасу стійкості колеса проти сходу з рейок в проведених варіантах розрахунків не опускались нижче 1,7 при допустимому значенні 1,3.

Для руху поїзда як на українських, так і на європейських рейках динамічні показники вагонів у вертикальній площині з будь-яким із розглянутих профілів коліс суттєво нижчі за свої граничні допустимі значення в усьому розрахунковому діапазоні зміни швидкості руху. Так, наприклад, у завантаженому стані розрахункові значення вертикальних прискорень кузовів вагонів не перевищують $0,4g$ при допустимому значенні $0,65g$. При цьому їх значення близькі для всіх випадків використання поєднань розглянутих профілів коліс і рейок.

Значення динамічних характеристик екіпажів у горизонтальному напрямку як в порожньому, так і в завантаженому станах не перевищують граничних значень для випадків руху зі швидкостями до 120 км/год на прямолінійних ділянках колії та з допустимими швидкостями (для кругових кривих) на криволінійних ділянках обох залізничних колій.

Як приклад, на рис. 1 – 4 показано залежності максимальних значень горизонтальних поперечних прискорень п'ятників кузова середнього вагона ($\ddot{U}_n$) в долях прискорення вільного падіння g і рамних сил для середнього вагона в долях статичного осьового навантаження (H_p / P_0) від швидкості руху поїзда по прямолінійних ділянках колії та по круговій кривій радіуса 650 м. Для кругової кривої радіуса 300 м результати розрахунків подібні результатам для кривої 650 м.

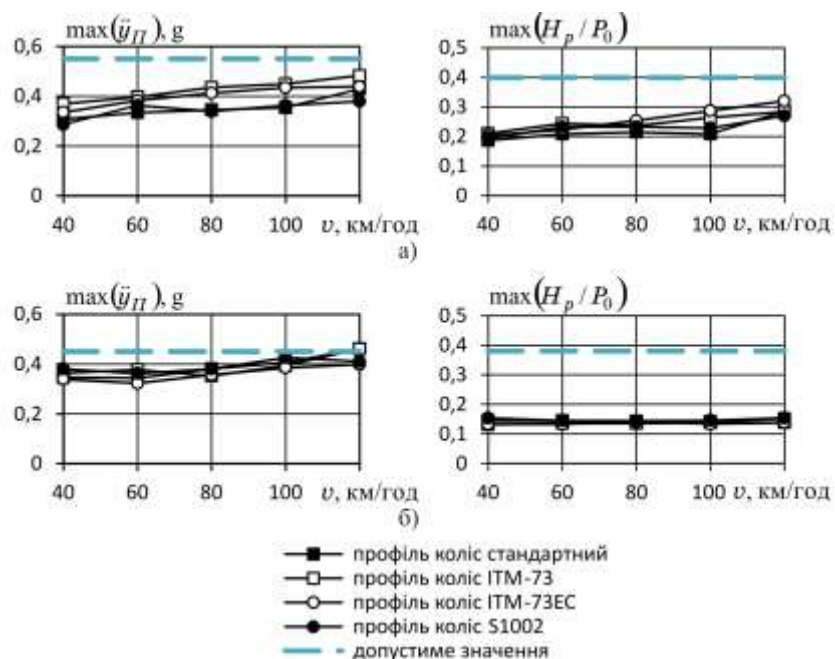


Рис. 1 – Залежності від швидкості руху максимальних значень поперечних прискорень п'ятників кузова середнього вагона $\ddot{y}_n$ в долях прискорення вільного падіння g та рамних сил H_p в долях статичного осьового навантаження P_0 порожнього (а) та завантаженого (б) вагона для руху по прямій ділянці колії з рейками Р65

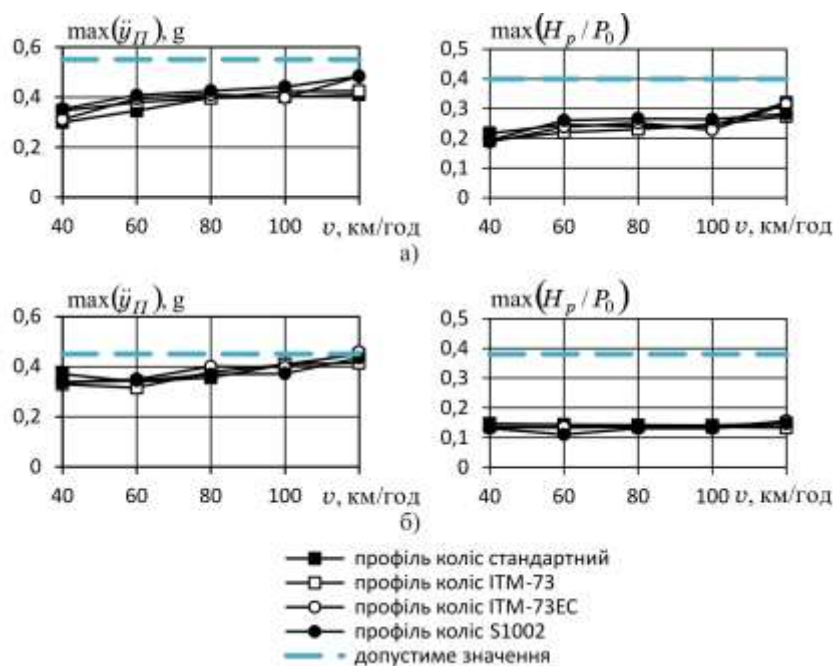


Рис. 2 – Залежності від швидкості руху максимальних значень поперечних прискорень п'ятників кузова середнього вагона $\ddot{y}_n$ в долях прискорення вільного падіння g та рамних сил H_p в долях статичного осьового навантаження P_0 порожнього (а) та завантаженого (б) вагона для руху по прямій ділянці колії з рейками UIC60

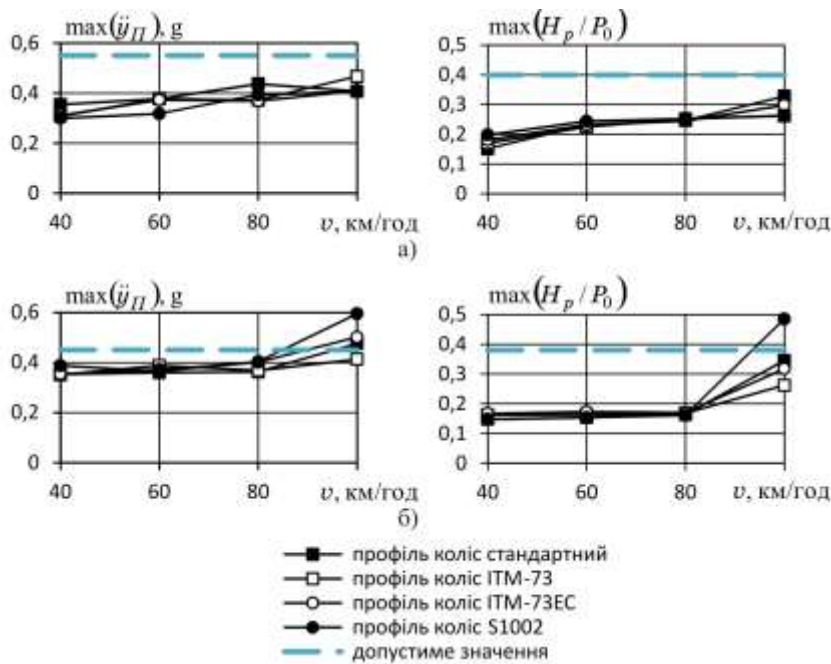


Рис. 3 – Залежності від швидкості руху максимальних значень поперечних прискорень п'ятників кузова середнього вагона $\ddot{y}_П$ в долях прискорення вільного падіння g та рамних сил H_p в долях статичного осьового навантаження P_0 порожнього (а) та завантаженого (б) вагона для руху по круговій кривій $R = 650$ м з рейками Р65

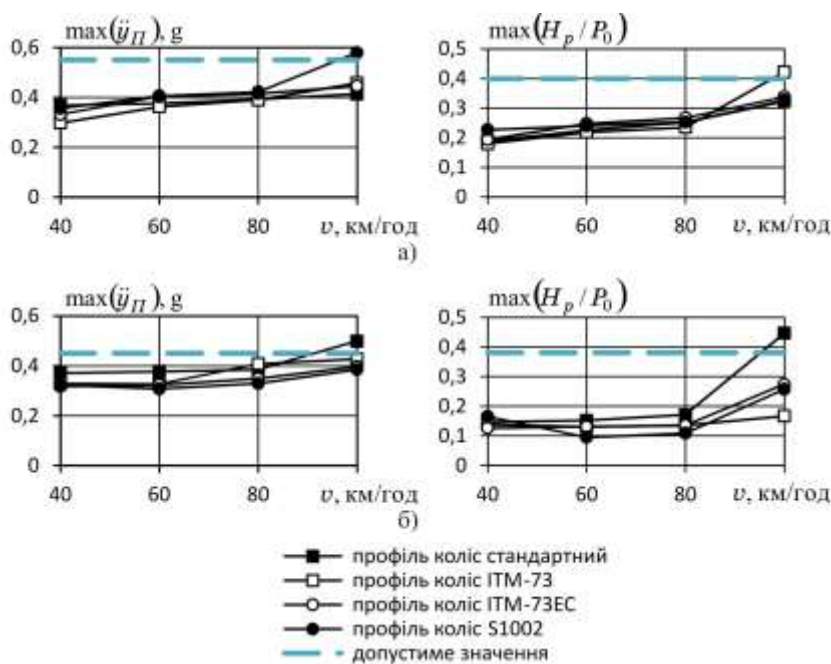


Рис. 4 – Залежності від швидкості руху максимальних значень поперечних прискорень п'ятників кузова середнього вагона $\ddot{y}_П$ в долях прискорення вільного падіння g та рамних сил H_p в долях статичного осьового навантаження P_0 порожнього (а) та завантаженого (б) вагона для руху по круговій кривій $R = 650$ м з рейками UIC60

Висновки. Оцінюючи отримані результати в цілому, слід зазначити, що експлуатація вантажного поїзда, вагони якого обладнані профілями ІТМ-73 та ІТМ-73ЕС, забезпечує його стійкий і безпечний рух в розглянутому діапазоні зміни швидкості руху. При цьому використання в вагонах вантажних поїздів розроблених в ІТМ профілів коліс дозволить суттєво збільшити тривалість їх експлуатації за рахунок зниження зносу коліс.

1. *Лазарян В. А.* Динамика транспортных средств. Киев. Наукова думка, 1985. 528 с.
2. ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Чинний від 01-07-2015. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2014. 162 с.
3. ДСТУ EN 13848-5:2018 (EN 13848-5:2017, IDT). Залізничний транспорт. Колія. Властивості геометрії колії. Частина 5. Геометричні порівняльні властивості. Проста лінія. 2018.
4. *Ушкалов В. Ф., Малышева И. Ю., Мащенко И. А., Пасичник С. С.* Комплексная модернизация ходовых частей грузовых вагонов. Вагонный парк. 2007. № 2. С. 18 – 22.
5. *Мокрій Т. Ф., Малышева И. Ю., Пасичник 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>

Отримано 09.05.2025,
В остаточному варіанті 03.06.2025