

ДИНАМІЧНІ ЯКОСТІ ПАСАЖИРСЬКОГО ПОЇЗДА ЗЧЛЕНОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Інститут технічної механіки

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

Актуальність даної роботи полягає в необхідності оновлення вітчизняного рухомого складу і його інтеграції в загальноєвропейський ринок транспортних послуг. Впровадження швидкісного руху поїздів потребує підвищеної уваги до теоретичних досліджень, спрямованих на покращення динаміки рухомого складу. Аналіз безпеки руху пасажирських поїздів вітчизняними та європейськими залізничними коліями різного стану та обрису передбачає оцінку їх динамічних показників. При цьому необхідно розглядати режими руху, що встановилися, та перехідні режими руху. Такий підхід до теоретичних досліджень дозволяє підвищити показники безпеки руху швидкісних пасажирських поїздів. У статті наведено результати теоретичної оцінки динамічних характеристик пасажирських поїздів зчленованого та стандартного типів. Вагони обох поїздів оснащені колесами з різним профілем, які використовуються на українських та європейських залізницях. Оцінка прогнозних динамічних характеристик пасажирського поїзда зчленованої конструкції показала, що його вагони мають кращі динамічні якості, що підвищує комфортність поїздки для пасажирів і безпеку руху у всьому діапазоні допустимих швидкостей в штатних режимах. При цьому рух таких поїздів по криволінійних ділянках колії малого і середнього радіусів небажаний. Крім цього вартість поїзда зчленованої конструкції нижче в порівнянні зі звичайним поїздом за рахунок зменшення кількості ходових частин (візків). Також проведено оцінку динамічних показників поїздів для випадків обладнання вагонів колесами, що забезпечують їх сумісність з рейками при переході пасажирських поїздів з однієї колії на іншу при спільній експлуатації на українських та європейських залізницях. Розрахунки показали, що використання коліс з універсальним зносостійким профілем поверхні кочення не погіршує ходові якості вагонів поїздів, що розглядаються.

Ключові слова: пасажирський зчленований поїзд, безпека руху, динамічні показники.

The importance of this work stems from the need for renewing the home rolling stock and integrating it into the European market of transport services. The introduction of speedy train operation calls for increased attention to theoretical studies aimed at ride performance improvement. The analysis of passenger traffic safety for home and European tracks of different geometries calls for assessing the ride performance of passenger trains. In doing so, steady and transient traffic conditions must be considered. This approach to theoretical studies allows one to improve the safety indices of speedy passenger trains. This paper presents the results of theoretical evaluation of the ride performance of an articulated and a standard passenger train. The cars of both trains are equipped with wheels of different profiles used on the Ukrainian and European railways. An assessment of the predicted dynamic performance of the articulated passenger train shows that its cars demonstrate a better ride performance, thus improving passenger comfort and train operating safety throughout the allowable speed range in normal conditions. It is undesirable for such trains to move in curves of small and medium radius. In addition, the articulated train cost is lower than the traditional train one because of a lower number of trucks. The ride performance is also assessed for cars whose wheels are compatible with different rail profiles, which allows them to be used both on the Ukrainian and on the European railways. As shown by calculations, the universal wear-resistant wheel profile does not impair the car ride performance of the trains considered. better ride performance.

Keywords: articulated passenger train, train operating safety, ride performance.

Введення швидкісних пасажирських перевезень та входження України до загальноєвропейського ринку транспортних послуг є надзвичайно важливим фактором у вирішенні економічних та політичних питань. Але це можливо лише при вирішенні деяких додаткових задач. Проблема в тому, що ширина колії в Україні та в Європейському Союзі не однакова (1520 мм в Україні та 1435 мм у Європі). Прискорити залізничні перевезення між Україною та країнами Євросоюзу можливо за рахунок впровадження технології переведення поїздів з колії одного стандарту на колію іншого стандарту в автоматичному режимі. Це можна зробити у разі практичного використання колісних пар з профілями кочення, які забезпечують хорошу сумісність коліс із рейкою Р65 (в Україні) та UIC60 (у Європі).

Перш за все ця проблема є важливою для пасажирських перевезень. Для вирішення поставленої задачі необхідно оцінити динамічні якості різних

© О. М. Ковтун, В. В. Малий, О. М. Маркова, 2024

одиниць рухомого складу в умовах руху по двох типах колії. Тому проведено оцінку динамічних характеристик вагонів двох різних по конструкції пасажирських поїздів: звичайного та зчленованого, що рухаються колією із випадковими нерівностями. Звичайний пасажирський поїзд складається із семи вагонів, з'єднаних автозчепами. Зчленований поїзд складається теж з семи вагонів: переднього моторизованого, перехідного з елементом зчленування з наступним вагоном, трьох зчленованих вагонів, заднього перехідного і заднього моторизованого. Перехідні вагони мають по одному незалежному візку на початку та в кінці поїзда та спільному шарнірно-зчленованому візку із сусіднім пасажирським вагоном. Інші вагони мають спільні візки із суміжними та перехідними вагонами. У кожному шарнірному елементі кузов вагона з'єднаний з переднім візком за допомогою пружин та амортизаторів центральної підвіски візка, а з кузовом наступного вагона – за допомогою спеціального шарніра. Детальні описи математичного моделювання для досліджень випадкових коливань системи «швидкісний поїзд – колія» наведено у роботах [1, 2]. При загальноприйнятих припущеннях про переміщення твердих тіл, якими моделюються залізничні екіпажі, просторові коливання зчленованого поїзда, що розглядається, описуються системою нелінійних диференціальних рівнянь 514-го порядку з урахуванням коливань рейок. Порядок системи рівнянь, що описує коливання звичайного поїзда, дорівнює 714.

На підставі складених математичних моделей розроблено алгоритм і комп'ютерну програму, що дозволяє оцінювати динамічні показники пасажирських поїздів під час їх руху. Програмне забезпечення дозволяє моделювати широкий спектр розрахункових випадків, включаючи всі можливі комбінації параметрів елементів вагона, профілів коліс та рейок, а також адекватно відображати динамічні процеси, що супроводжують рух як окремих вагонів, так і цілого поїзда на ділянках колії довільної форми. В результаті розрахунків можна отримати будь-який набір необхідних вихідних значень.

Моделювання руху поїзда проведено 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 спадний характер. Збурення подаються під колеса екіпажів з транспортним запізнюванням, яке залежить від відстані між колісними парами та швидкості руху поїзда. Розрахунки проводилися для випадків руху поїзда по колії відмінного та доброго стану, що відповідає вимогам до залізничної колії, призначеної для руху поїздів з підвищеними швидкостями.

У розрахункових варіантах моделювання руху поїздів на українських та європейських залізницях у ході досліджень розглядалися такі варіанти поєднань профілів поверхонь кочення коліс та рейок:

- 1 – стандартні профілі поверхні кочення коліс та рейки Р65, що застосовуються в Україні;
- 2 – стандартний профіль поверхні кочення коліс, що застосовується в Україні, та профіль європейської рейки UIC60;
- 3 – європейський профіль поверхні кочення колеса S1002 та стандартний профіль рейки Р65, що застосовується в Україні;
- 4 – європейський профіль поверхні кочення колеса S1002 та європейський профіль рейки UIC60.

Розглядався рух пасажирських поїздів по колії, що складається з п'яти ділянок (пряма ділянка, вхідна перехідна крива, кругова крива, вихідна перехідна крива і пряма ділянка) зі швидкостями, що змінюються в діапазоні від 40 км/год до 180 км/год для звичайного поїзда і до 240 км/год для зчленованого поїзда. Під час руху круговою кривою радіусом 300 м допустима швидкість руху (швидкість, коли непогашене прискорення не перевищує $0,7 \text{ м/с}^2$) дорівнює 79,6 км/год. Для кругових кривих радіусом 650 м та 1000 м допустимі швидкості руху дорівнюють 108 км/год та 130 км/год відповідно.

Для достовірної оцінки динамічних якостей вагонів поїзда відповідно до вимог «Норм для розрахунку та проектування вагонів залізниць колії 1520 мм (несамохідних)» [3] визначалися величини, які є основними показниками ходу залізничних вагонів. Це: горизонтальні та вертикальні прискорення кузовів вагонів; сили, що діють на колісні пари у горизонтальному поперечному напрямку (рамні сили), в долях осьового навантаження та коефіцієнти вертикальної динаміки. Розрахункова оцінка динамічних показників залізничного екіпажу відповідно до вимог Норм передбачає обов'язковий розрахунок коефіцієнта запасу стійкості від сходу вагона з рейок за умови вкочування (має бути не меншим за 1,6). Крім коефіцієнта стійкості від сходу з рейок, безпека руху поїзда оцінювалась по коефіцієнту Надаля, який застосовується на залізницях Європейського Союзу. Коефіцієнт Надаля визначається як відношення бічної сили до вертикальної, що діють від колеса на рейку (не повинен перевищувати 0,8).

Отримані в результаті розрахунків дані показали, що динамічні характеристики вагонів пасажирських поїздів зчленованого та стандартного типів для всіх поєднань профілів коліс і рейок не виходять за межі допустимих значень для руху як по прямолінійних, так і по криволінійних ділянках колії. При цьому слід зазначити, що для руху по криволінійних ділянках колії динамічні показники поїзда стандартної конструкції мають значення нижче аналогічних показників поїзда зчленованої конструкції. Це пояснюється тим, що вагони в поїзді зчленованої конструкції пов'язані між собою більш жорстко, ніж в поїзді звичайної конструкції, що впливає на їх вписування в криволінійні ділянки колії. У зв'язку з цим динамічні показники поїзда зчленованої конструкції повинні поліпшуватися зі зменшенням кривизни шляху. Тому рух таких поїздів по криволінійних ділянках колії малого і середнього радіусів небажаний. Отримані розрахункові значення коефіцієнта запасу стійкості від сходу з рейок і коефіцієнта Надаля показали, що рух поїздів, що розглядаються, носить стійкий і безпечний характер. Деякі з одержаних результатів наведено нижче на рисунках. На рис. 1 показано значення горизонтальних поперечних прискорень кузова вагона (u_h) і коефіцієнта Надаля (k_{nad}) для середнього вагона звичайного пасажирського поїзда під час його руху прямолінійною та криволінійною ділянкою колії. Відповідні результати для середнього вагона зчленованого поїзда показано на рис. 2.

Однією з найважливіших характеристик динаміки пасажирського поїзда є показники плавності ходу. З метою визначення цих показників проведено спектральний аналіз процесів вертикальних і поперечних горизонтальних прискорень кузова середнього вагона поїзда в зоні спирання на передній по ходу руху візок. Оцінка плавності ходу вагонів поїздів, що розглядаються, показала, що як для звичайного пасажирського поїзда, так і для зчленованого поїзда значення показників плавності ходу не перевищують граничного зна-

чення 3,25, що забезпечує комфортне перевезення пасажирів.

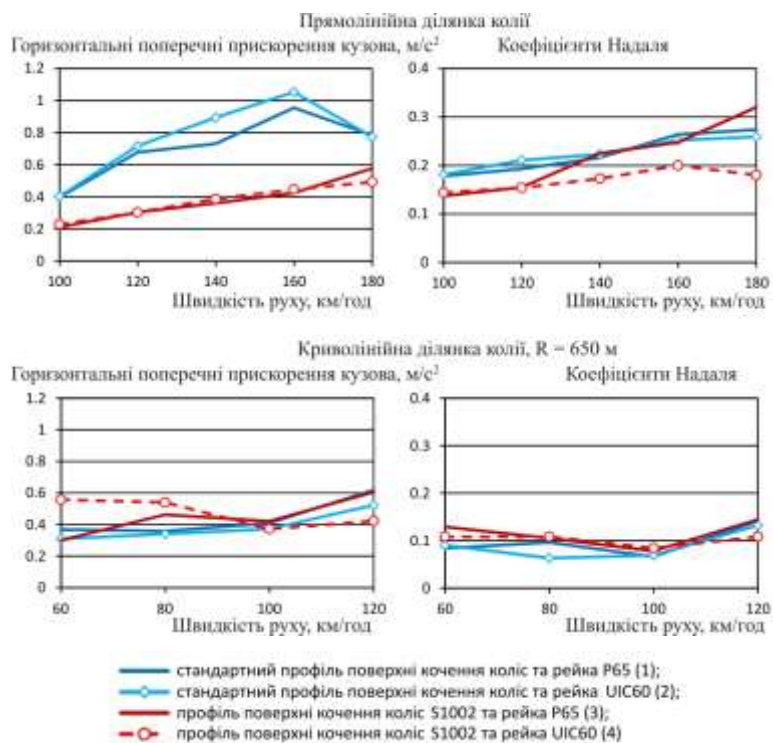


Рис. 1

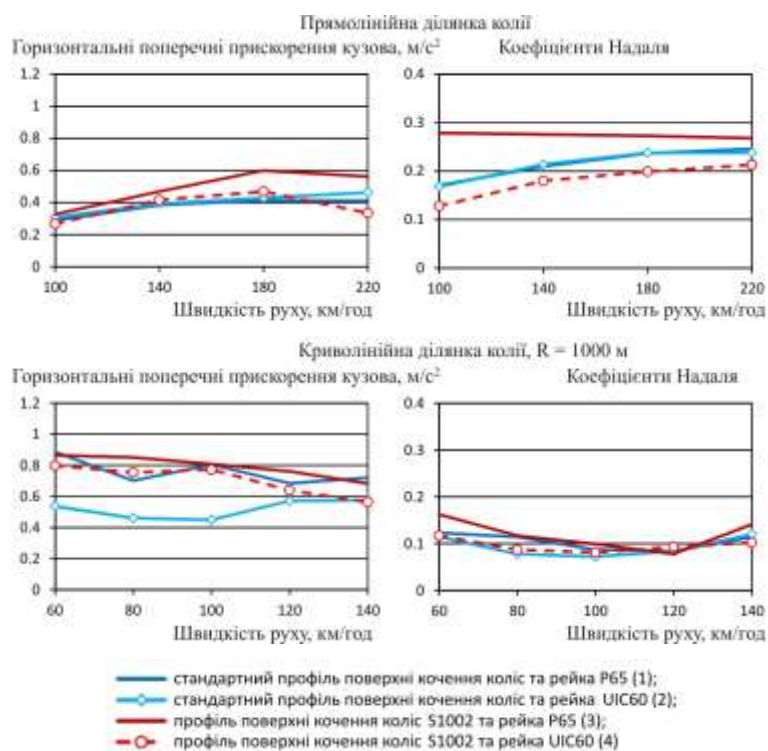


Рис. 2

В статті [4] запропоновано новий зносостійкий профіль ободу залізничного колеса, використання якого в пасажирських вагонах дозволить при збереженні високих динамічних якостей екіпажів забезпечувати досить хороші показники їхньої взаємодії з колією та значно менший знос в умовах спільної експлуатації на українських та європейських залізницях. Для дослідження цього проведена оцінка динамічних показників пасажирських поїздів, що розглядаються, обладнаних новими універсальними колесами. Отримані результати показали, що динамічні якості пасажирських поїздів, обладнаних колесами з універсальним профілем, залишаються в межах нормативних значень як для звичайного пасажирського поїзда, так і для зчленованого поїзда. Проведено порівняння динамічних якостей поїздів, оснащених колесами із універсальним профілем обода, з отриманими вище результатами, коли вагони поїздів обладнані колесами зі стандартними профілями для залізниць України та Європи. На рис. 3 показані значення горизонтальних поперечних прискорень кузова вагона та коефіцієнта сходу з рейок Надаля для середнього вагона звичайного пасажирського поїзда для його руху прямолінійною і криволінійною ділянками колії. Дані, наведені вище на рис. 1, доповнені результатами, що отримані для випадків обладнання вагонів колесами з універсальним профілем поверхні кочення у поєднанні зі стандартним профілем рейки Р65, що застосовується в Україні (варіант 5), та європейським профілем рейки UIC60 (варіант 6). Аналогічні величини для зчленованого вагона показані на рис. 4. Слід зазначити, що використання коліс з універсальним зносостійким профілем поверхні кочення не погіршує ходові якості вагонів поїздів, що розглядаються.

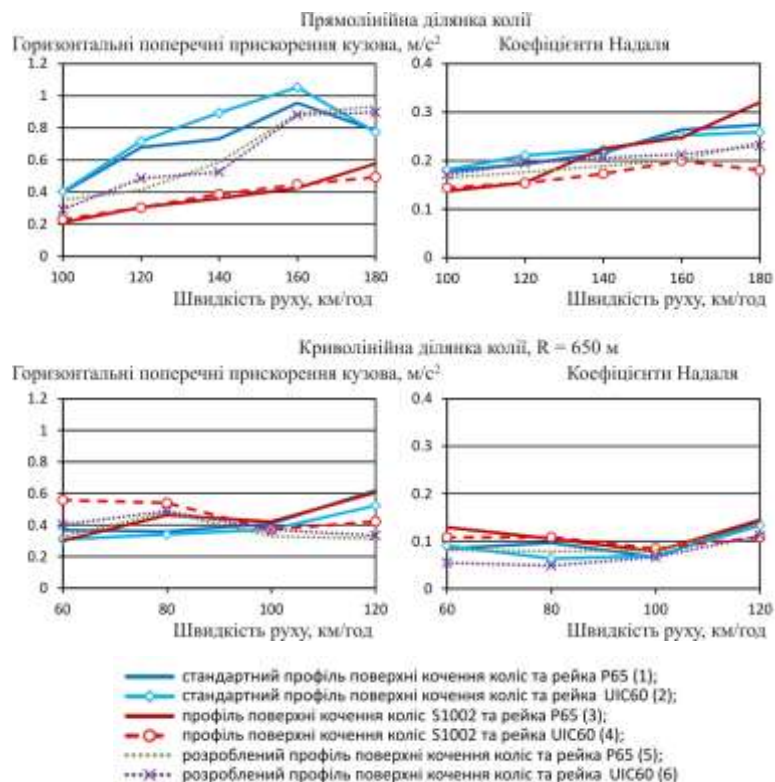


Рис. 3

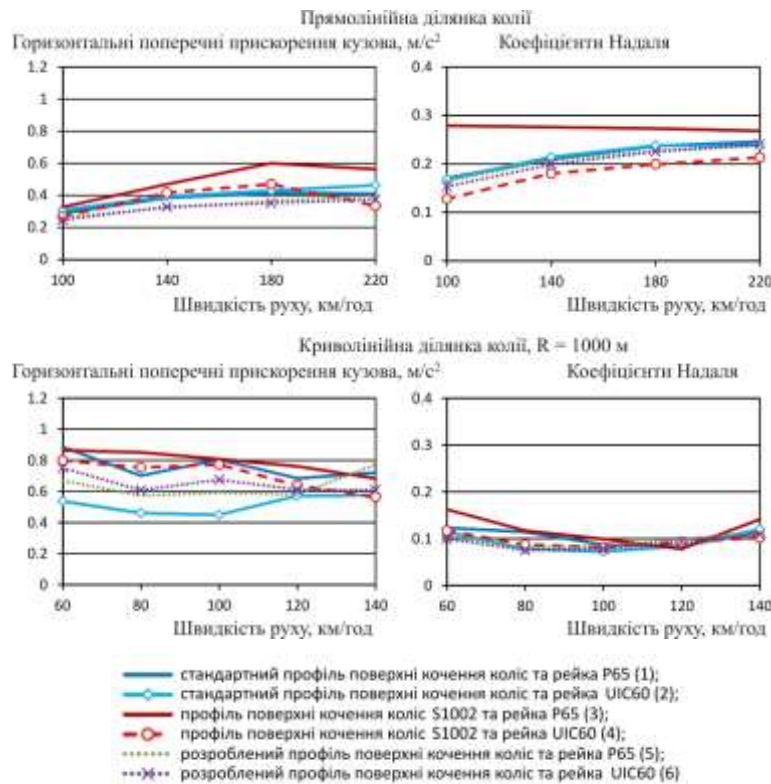


Рис. 4

Висновок: Виконано дослідження випадкових коливань зчленованого пасажирського поїзда, який рухається по рейках з різними профілями головок по прямолінійних і криволінійних ділянках колії, та порівняння динамічних характеристик його вагонів з аналогічним за параметрами звичайним поїздом. Візки вагонів було обладнано колесами з різними профілями поверхонь кочення. Оцінка прогнозних динамічних характеристик пасажирського поїзда зчленованої конструкції показала, що безпека його руху забезпечується у всьому діапазоні допустимих швидкостей в штатних режимах. При цьому рух таких поїздів по криволінійних ділянках колії малого і середнього радіусів небажаний. Крім цього вартість поїзда зчленованої конструкції нижче в порівнянні зі звичайним поїздом за рахунок зменшення кількості ходових частин (візків), а отже використання таких поїздів в міжнародних перевезеннях є перспективним.

1. Markova O., Kovtun H., Maliy V. Mathematical modeling of articulated passenger train spatial vibrations. *Технічна механіка*. 2021. № 2. С. 91–99. <https://doi.org/10.15407/itm2021.02.091>
2. Haque I., Nagurka M. Modelling and linear analysis of high-speed articulated trainsets. *Int. J. of Vehicle Design*. 2001. Vol. 26. Nos. 2/3. Pp. 249–263. <https://doi.org/10.1504/IJVD.2001.001942>
3. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. 319 с.
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>

Отримано 15.04.2024,
в остаточному варіанті 26.06.2024