УДК 629.4.023.1

Ростислав Дьомін, д.т.н.

(професор кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля),

Юрій Дьомін, д.т.н.

(професор кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля),

Ганна Черняк, к.т.н.

(старший науковий співробітник кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля)

ОЦІНКА ДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ БЕЗПЕКИ РУХУ ВАГОНІВ ДЛЯ ШВИДКІСНИХ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

В статті розглянуто питання забезпечення технічної експлуатації вагонів-платформ для швидкісних контейнерних перевезень шляхом застосування ходових частин нового типу. За результатами комп'ютерного моделювання динаміки руху доведено доцільність обладнання вагонів-платформ з підвищеними конструкційними швидкостями візками з буксовим ресорним підвішуванням.

Ключові слова: контейнерні перевезення, вагони-платформи, динаміка руху, комп'ютерне моделювання, безпека швидкісного руху.

Вступ. За Угодою про асоціацію між Україною та Європейським Союзом [1] співробітництвом в галузі транспорту передбачається сприяння «... здійсненню ефективних і безпечних транспортних перевезень, а також інтермодальності й оперативної сумісності транспортних систем ...» (Глава 7, ст. 367). Виходячи з наявного падіння обсягів традиційних вантажів та існуючого резерву потужностей залізничного транспорту, можна стверджувати, що основний шлях розвитку вітчизняних залізниць – це опанування системою швидкісних комбінованих перевезень.

Розвиток залізничної складової комбінованого транспорту поряд з вирішенням низки організаційно-технічних завдань потребує створення парку спеціалізованих вагонів для швидкісних контейнерних і контрейлерних перевезень. Разом з тим за стан вантажного вагонного парку свідчить про відсутність проривних наукоємних конструкцій вагонів та технологій їх експлуатації. Більшість так званих інноваційних рішень спрямовано на модернізацію існуючих проектів – візків, кузовів, розвантажувальних та гальмівних систем, пружно-дисипативних систем амортизації тощо.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-2-11

Вочевидь таке положення є однією з причин поточного програшу залізничного транспорту в конкуренції з автомобільним. Говорячи про конкурентоспроможність комбінованого транспорту, слід вжити заходів щодо підвищення швидкісних характеристик рухомого складу. За оцінками економістів швидкість просування поїздів комбінованого транспорту не повинна бути нижче 1000 км за добу. Вирішальну роль у розв'язанні зазначеного завдання має відіграти оснащення вагонів нової генерації ходовими частинами з високими динамічними характеристиками, які забезпечували рух поїздів комбінованого транспорту з пониженою дією на колійну структуру. При цьому за досвідом європейських залізниць можна розраховувати на впровадження «зеленого» тарифу.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Досвід науково-дослідних робіт, присвячених покращенню показників динаміки та енергоефективності ходових частин вантажних вагонів вказує на необхідність створення принципово нових конструкцій або глибокої модернізації існуючих візків [2]. Натомість впродовж багатьох десятиліть основою ходових частин вантажних вагонів колії 1520 мм залишається візок моделі 18-100 [3]. За конструкційним виконанням цей візок являє собою погіршений варіант трьохелементного візка Барбера зразка 1928 року. Візок моделі 18-100 за технічною документацією мав би забезпечувати швидкість руху вагонів включно до 120 км/год. Разом з тим, через низку принципових недоліків, візок цього типу не в змозі забезпечувати безпечну експлуатацію вагонів при швидкості руху вище 70-80 км/год [4].

Шляхом певної модернізації можна підвищити допустиму швидкість руху вагонів на візках моделі 18-100 до 90-100 км/год. Однак рух вантажних вагонів з підвищеними швидкостями обмежується як конструкційними особливостями візків, так і характеристикою гальмівної системи односторонньої дії. До того ж надмірна невідповідна маса візків трьохелементного типу (90% від повної маси) не дозволить досягти задовільного рівня силової дії вагонів на колію при підвищеній швидкості руху, що пов'язано з проблемою схоронності інфраструктури.

З наведених причин так звані інноваційні візки, що створюються фактично як модифікації візків моделі 18-100 з використанням удосконалень за відомими проектами модернізації, не дозволяють вирішити проблему реалізації швидкості руху вантажних поїздів до 120-140 км/год. Звісно, що візки, які виготовляються за трьохелементною схемою, залишаються у перспективі основними ходовими частинами для вагонного парку для вирішення проблеми підвищення осьових навантажень. Натомість для забезпечення швидкісного руху вантажних поїздів, насамперед контейнерних і контрейлерних, необхідні якісно нові підходи до розробки візка нового типу. Виходячи з об'єктивної необхідності розвитку швидкісних контейнерних та контрейлерних перевезень постає науково-технічна проблема розробки технічних рішень щодо створення візків принципово нових конструкцій. Пропоновані технічні рішення мають обґрунтовуватись результатами комплексних досліджень динаміки руху вагонів з акцентом на забезпечення гарантованої безпеки технічної експлуатації поїздів комбінованого транспорту.

За результатами багаторічних досліджень встановлено, що швидкісні візки спеціалізованого вантажного рухомого складу повинні мати раму зварної конструкції і буксове ресорне підвішування зі зниженою жорсткістю в порожньому стані вагона і стабільними параметрами демпфірування коливань. Вказаним вимогам відповідає візок вантажних вагонів колії 1435 мм типу Y25 та його модифікації [5].

Мета і завдання дослідження – отримання динамічних характеристик, що

визначають умови безпечної експлуатації спеціалізованих вагонів-платформ для контейнерних перевезень.

Матеріали та методи дослідження. Оцінювання динамічних якостей вагонів доцільно проводити з застосуванням технологій імітаційного моделювання, що забезпечує визначення динамічних показників в усьому спектрі експлуатаційних умов [6, 7, 8]. При вирішенні завдання дослідження шляхом комп'ютерного моделювання в якості прототипу вагона для контейнерних перевезень прийнято вагон-платформу моделі 13-7024 вантажопідйомністю 71,2 т і масою 22,8 т. Розглянуто два варіанти обладнання вагона-платформи ходовими частинами – трьохелементними візками з центральним ресорним підвішуванням і візками, які за конструкцією подібні до візків типу Y25.

Конструкційна особливість візків типу Y25 полягає у системі буксового ресорного підвішування, яке складається з комплектів різновисоких дворядних пружин і фрикційних гасителів коливань типу Lenoir. Силова характеристика ресорного підвішування візка відбиває білінійність залежності «сила-прогин», а саме при прогинах нижчих за $\delta_0 = 0,03$ м жорсткість підвішування забезпечують зовнішні пружини, а після вичерпання прогину δ_0 жорсткість підвішування збільшується за рахунок навантаження внутрішніх пружин.

Динамічні моделі вагонів-платформ. Для визначення динамічних показників вагона-платформи на візках з центральним ресорним підвішуванням використано побудовану раніше математичну модель динаміки руху вагона на візках типу моделі 18-100 [9, 10].

Модель динаміки вагона-платформи на візках з буксовим ресорним підвішуванням побудована з використанням підходу системи зв'язаних твердих тіл, у відповідності до якого об'єкт дослідження, а саме, механічна частина вагона, представлена набором твердих тіл, з'єднаних за допомогою шарнірних і силових елементів [6]. Структура дерева підсистем моделі динаміки цього вагона показана на рис. 1.

Основні інерційні, геометричні та пружно-дисипативні характеристики розроблюваної моделі задані за допомогою ідентифікаторів, забезпечуючи можливість їх змінювання під час проведення обчислювального експерименту й визначення раціональних параметрів конструкції. Для візуалізації динамічних процесів в розроблювану модель імпортовані 3D-моделі окремих елементів вагона, зокрема, кузова платформи, рами візка нового типу, корпусів букс, які побудовані за допомогою пакету Solid Works [11]. Побудована таким чином підсистема візка містить 17 тіл і 17 шарнірів, має 50 ступенів вільності та включає 49 силових елементів. Графічний вигляд підсистеми візка «Bogie_1» вагона для швидкісних комбінованих перевезень показано на рис. 2.

Рис. 1. Структура дерева підсистем моделі динаміки руху вагона-платформи

Рис. 2. Графічний вигляд підсистеми візка «Bogie_1»

Повна модель динаміки руху вагона-платформи містить дві підсистеми «Bogie_1» і «Bogie_2» та одне тверде тіло «Body», яке представляє раму вагона-платформи. Побудована комп'ютерна модель динаміки руху досліджуваного вагона включає 31 тверде тіло з 106 степенями вільності та 90 силових елементів, серед яких 24 біполярні, 32 узагальнені лінійні, 34 контактні і 4 комбінованого тертя.

Формування випадкових збурень через нерівності колії. На динамічні показники, за якими оцінюються динамічні якості й показники безпеки вагона, суттєво впливають як конструкційні особливості та параметри підвішування вагона, так і устрій та стан утримання колії. Устрій колії, тобто визначення характеристик колії за планом і профілем, враховується варіантами плану обчислювального експерименту. Стан утримання колії визначається при моделюванні на підставі нерівностей рейкових ниток в горизонтальному та вертикальному напрямках.

Нерівності рейкових ниток обумовлені різноманітними за природою і характером чинниками: непостійністю інерційних, пружних і дисипативних властивостей вдовж колії; наявністю люфтів, осідань, стиків, нерівномірного зносу рейок; дефектами й недосконаlostями коліс. Результати численних теоретичних і експериментальних досліджень в галузі динаміки рухомого складу послужили основою для розробки нормативних даних про збурення від нерівностей залізничної колії.

При динамічних розрахунках вагонів колії 1520 мм використовуються збурення, представлені в тимчасовій області у вигляді мультиплікативної еквівалентної нерівності або випадкового процесу [12]. В якості однієї з найбільш важливих характеристик випадкового процесу використовується функція спектральної щільності, що характеризує розподіл дисперсії процесу по різних частотах. При цьому пропонується використання функції спектральної щільності еквівалентним розрахунковим нерівності у вигляді аналітичного виразу:

$$\bar{G}_\eta(f) = \frac{b_i V^{\gamma_i - 1}}{f^{\gamma_i}} + \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \sum_{j=1}^m \frac{a_j}{\alpha_j V} \exp \left[-\frac{(f - \beta_j V)^2}{4\alpha_j^2 V^2} \right], \quad (1)$$

де $\bar{G}_\eta(f)$ – функція спектральної щільності еквівалентної нерівності для колії середнього стану; V – швидкість руху; f – частота коливань (діапазон зміни частоти – 0 ... 100 Гц).

У виразі (1) числові значення коефіцієнтів для збурень, що діють в горизонтальному і вертикальному напрямках, різні. У практичному застосуванні виникає завдання формування збурень в тимчасовій області за наявною функції спектральної щільності нерівності. В якості однієї з найбільш важливих характеристик випадкового процесу використовується функція спектральної щільності, що характеризує розподіл дисперсії сигналу за різними частотами. Для моделювання нерівностей колії використано алгоритм формування реалізації випадкового процесу за заданими функціями спектральної щільності [13].

Розрахункові величини. Експлуатаційні режими вантажних вагонів пов'язані з рухом в порожньому й навантаженому станах з різними швидкостями на ділянках колії, що різняться за планом, профілем і станом утримання. Через значну кількість умов експлуатації за всіма можливими сполученнями параметрів при формуванні плану обчислювального експерименту доцільно дотримуватись принципу необхідної достатності, вибираючи відповідні інтервали дискретизації щодо параметрів, зокрема, швидкості руху, радіусів кривих тощо.

Сукупність розрахункових варіантів загальною кількістю M_{var} утворюють так званий комп'ютерний експеримент, перед проведенням якого складено план, що встановлює відповідність між розрахунковими варіантами й параметрами руху вагона. При складанні плану експерименту до уваги прийняті такі міркування. Динамічні показники оцінюються за умовами руху вагона в колії з рейками Р65 в прямих зі швидкостями руху V в діапазоні від 20 до 160 км/год з кроком 10 км/год. Відступи від норм устрою та утримання лежать в границях, встановлених інструкцією ЦП 0269, відповідаючи задовільному стану колії.

Унормованим показником, що застосовується для оцінювання динамічної поведінки рухомого складу щодо безпеки руху на залізницях колії 1520 мм, є коефіцієнт запасу стійкості колісної пари проти сходження з рейок за умови вкочування гребеня колеса на головку рейки k_z . За нормами [14] граничне значення k_z встановлено рівними 1,3.

За критерій стійкості від сходження з рейок рухомого складу колії 1435 мм прийнято частку відношення напрямної сили до вертикальної сили на колесо Y/Q [15, 16]. Це відношення відоме як критерій Надала (M. J. Nadal), що визначається за виразом

$$\frac{Y}{Q} = \frac{\tan \gamma - \mu}{1 + \mu \cdot \tan \gamma}, \quad (2)$$

де γ – кут нахилу до горизонту твірної конусоподібної частини поверхні гребеня колеса; μ – коефіцієнт тертя ковзання.

Критична для безпеки руху величина відношення (2) становить $(Y/Q)_{\text{max,lim}} = 0,8$.

Результати дослідження стійкості вагонів-платформ від сходження з рейок. На підставі результатів моделювання проведено порівняльну оцінку динамічних показників вагона-платформи на швидкісних візках і вагона-платформи на візках стандартного типу, тобто моделі 18-100. Оскільки за результатами численних досліджень і розслідувань транспортних подій виходить, що порожні вагони все частіше стають причиною аварійних ситуацій, тому швидкості руху поїздів, складених з порожніх вагонів, та поїздів, до складу яких входять порожні вагони, вимагають певних обмежень [17]. Виходячи з визначальності для оцінки

безпеки руху поїздів вантажних вагонів у порожньому стані, головну увагу приділено динамічним характеристикам порожніх вагонів-платформ. Зіставлення динамічних показників безпеки руху, а саме коефіцієнтів запасу стійкості колісної пари від сходження з рейок, виконано шляхом обчислення найменших значень.

Отримані за розрахунками графіки залежностей мінімальних значень коефіцієнтів запасу стійкості колісної пари від сходження з рейок для вагонів-платформ з буксовим і центральним ресорним підвішуванням, $\min k_z^H$ і $\min k_z^S$ відповідно, показано на рис. 3.

Рис. 3. Мінімальні значення коефіцієнтів запасу стійкості колісної пари від сходження з рейок

Як видно з розрахункових даних, значення $\min k_z^H$ перевищують граничне значення при швидкостях руху до 160 км/год, тоді як значення $\min k_z^S$ стають меншими за граничне значення вже при швидкості руху $V = 110$ км/год. Збільшення швидкості руху призводить до подальшого зменшення значень $\min k_z^S$.

Результати оцінки схильності порожніх вагонів обох типів до сходження за відповідними стандартами ЄС [15, 16] представлені залежностями від швидкості руху максимальних значень показників Надаля $\max k_N^H$ і $\max k_N^S$, наведеними на рис. 4. Граничне значення цих показників встановлено рівним 0,8. Як видно з даних, наведених на рис. 4, максимальні значення показників $\max k_N^H$ дещо перевищують відповідне граничне значення при швидкості руху $V = 160$ км/год, тобто при швидкості руху $V \leq 150$ км/год умови безпеки руху вагона за цим показником задовольняються. Найбільше значення показників $\max k_N^S$ досягає граничного значення вже при $V = 110$ км/год.

Рис. 4. Максимальні значення показників Надаля

Отже отримані показники безпеки руху як за нормами, що діють на залізницях колії 1520 мм, так і за стандартами ЄС, узгоджуються між собою за висновком щодо допустимих швидкостей руху розглянутих вагонів-платформ у порожньому стані.

Висновки. Для дослідження динамічних показників безпеки руху вагонів-платформ для швидкісних комбінованих перевезень розроблено імітаційну модель динаміки вагона-платформи на візках з буксовим підвішуванням. Розроблену модель динаміки руху досліджуваного вагона побудовано з використанням підходу системи зв'язаних твердих тіл, у відповідності до якого об'єкт дослідження, а саме, механічна частина вагона, представлена набором твердих тіл, з'єднаних за допомогою шарнірних і силових елементів. Для варіантних досліджень з оцінки показників безпеки руху вагона сформовано вихідні дані за системою нормативних показників з урахуванням стандартів ЄС.

На підставі результатів моделювання проведено порівняльну оцінку динамічних показників вагонів-платформ обладнаних ходовими частинами з буксовим і центральним ресорним підвішуванням. За розрахунковими даними отримано, що при русі досліджуваних вагонів у порожньому стані, який є визначальним при встановленні допустимих швидкостей руху поїздів за динамічними показниками експлуатаційної безпеки, суттєві переваги має вагон на візках з буксовим підвішуванням. Так, за умов стійкості колісних пар від сходження з рейок умова безпечної експлуатації вагона-платформи на візках з буксовим підвішуванням задовольняється при швидкостях руху до 150 км/год включно, тоді як безпека руху вагона-платформи на візках стандартного типу забезпечується при швидкостях до 100 км/год. Цей висновок дає підстави для рекомендації щодо обладнання вагонів-платформ для швидкісних комбінованих перевезень ходовими частинами з буксовим ресорним підвішуванням.

ЛІТЕРАТУРА

1. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. – Нормативні акти Верховної Ради України [Електронний ресурс] : [Інтернет-портал]. – Електронні дані. – [Київ: офіційний веб-портал Верховної Ради України, 1994-2018]. – Режим доступу: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/984_011).
2. Ушкалов В.Ф., Мокрий Т.Ф., Малышева И.Ю., Машенко И.А. Оценка эффективности применения разных вариантов модернизации тележек модели 18-100 для вагонов хопперов и платформ // *Залізничний транспорт України*. 2012. № 3/4. С. 62-65.
3. Лукин В.В., Шадур Л.А., Котуранов В.Н., Хохлов А.А., Анисимов П.С. Конструирование и расчет вагонов: Учебник для вузов ж.-д. трансп. М.: УМК МПС РФ, 2000. 731 с.
4. Дьомін Ю.В., Черняк Г.Ю. Динаміка порожнього вагона і безпека руху поїзда // *Залізничний транспорт України*, 2007. № 3. С. 50–52.
5. Molatefi H., Hecht M., Kadivar M.H. Critical speed and limit cycles in the empty Y25-freight wagon // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2006. 220, 347. P. 347-359. DOI: 10.1243/09544097JRRT67
6. Pogorelov D.Yu. Simulation of Rail Vehicle Dynamics with Universal Mechanism Software // *Rail vehicle dynamics and associated problems*. Gliwice: Silesian University of Technology, 2005. P. 13-58.
7. Krason W., Niezgoda T. FE numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards // *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*. 2014. Vol. 62, No. 4. P. 843-851. DOI: 10.2478/bpasts-2014-0093
8. Kardas-Cinal E. Selected problems in railway vehicle dynamics related to running safety. *Archives of Transport*. 2014. Vol. 31, Iss. 3. P. 37-45.
9. Domin R., Domin Iu., Cherniak G., Mostovych A., Konstantidi V., Gryndei P. Investigation of the Some Problems of Running Safety of Rolling Stock on the Ukrainian Railways // *Archives of Transport*. 2016. Vol. 40, Iss. 4. P. 79-91.
10. Domin R. *Mechanical Safety of Railway Vehicles*. Düsseldorf : LAMBERT Academic Publishing, 2017. 140 p.

11. Алямовский А.А. Solid Works Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. М. : ДМК Пресс, 2014. 562 с.
12. Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов: РД 32.68-96. М.: ВНИИЖТ, 1996. 17 с.
13. Черняк А.Ю. Моделирование случайных возмущений в системе «рельсовый экипаж-путь» // Вісник Східноукраїн. універ. ім. В. Даля. Наук. жур. Технічні науки Сер. Транспорт 1 №9(67), 2003. С. 173-177.
14. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. 154 с.
15. Testing and Approval of Railway Vehicles from the Point of View of their Dynamic Behaviour : Safety – Track fatigue – Ride quality : UIC Code 518. – International Union of Railways. September 2009. 119 p.
16. Railway applications – Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles – Testing of running behaviour and stationary tests : European Standard 14363. June 2005. 113 p.
17. Ермаков В.М., Певзнер В.О. О сходах порожних вагонов // Железнодорожный транспорт. 2002. №3. С.29-33.

REFERENCES

1. Uhoda pro asotsiatsiyu mizh Ukrainoyu, z odniyeyi storony, ta Yevropeys'kym Soyuzom, Yevropeys'kym spivtovarystvom z atomnoyi enerhiyi i yikhnimy derzhavamy-chlenamy, z inshoyi storony. – Normativni akty Verkhovnoyi Rady Ukrainy [Elektronnyy resurs] : [Internet-portal]. – Elektronni dani. – [Kyiv: ofitsynnyy veb-portal Verkhovnoyi Rady Ukrainy, 1994-2018]. – Rezhym dostupu: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/984_011.
2. Ushkalov, V.F., Mokriy, T.F., Malysheva, I.Yu., Mashchenko, I. A. (2012). *Otsenka effektivnosti primeneniya raznykh variantov modernizatsii telezhek modeli 18-100 dlya vagonov khopperov i platform [Evaluation of the effectiveness of the use of different options for upgrading model 18-100 bogies for hopper cars and platforms]* *Zaliznichniy transport Ukraini [Railway transport of Ukraine]*, № 3/4, 62–65 [in Russian].
3. Lukin V.V., Shadur L.A., Koturanov V.N., Khokhlov A.A., Anisimov P.S. (2000). *Konstruirovaniye i raschet vagonov: Uchebnik dlya vuzov zh.-d. transp. [Design and calculation of cars: A textbook for universities. of railway transp.]*. Moscow, UMK MPS RF, 731 [in Russian].
4. Domin Yu.V., Chernyak H.Yu. (2007). *Dynamika porozhn'oho vagona i bezpeka rukhu poyizda [The dynamics of an empty wagon and the safety of the train]* *Zaliznychnyy transport Ukrainy [Railway transport of Ukraine]*, № 3, 50–52 [in Ukrainian].
5. Molatefi H., Hecht M., Kadivar M.H. (2006). *Critical speed and limit cycles in the empty Y25-freight wagon*. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 220, 347. P. 347-359. DOI: 10.1243/09544097JRRT67 (in English).
6. Pogorelov D.Yu. *Simulation of Rail Vehicle Dynamics with Universal Mechanism Software* (2005). Rail vehicle dynamics and associated problems. Gliwice: Silesian University of Technology, 13-58 (in English).
7. Krason W., Niezgoda T. (2014). *FE numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards*. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*, Vol. 62, No. 4, 843-851. DOI: 10.2478/bpasts-2014-0093 (in English).
8. Kardas-Cinal E. (2014). *Selected problems in railway vehicle dynamics related to running safety*. *Archives of Transport*, Vol. 31, Iss. 3, 37-45 (in English).
9. Domin R., Domin Iu., Cherniak G., Mostovych A., Konstantidi V., Gryndei P. (2016). *Investigation of the Some Problems of Running Safety of Rolling Stock on the Ukrainian Railways*. *Archives of Transport*, Vol. 40, Iss. 4, 79-91 (in English).
10. Domin R. (2017). *Mechanical Safety of Railway Vehicles*. Düsseldorf, LAMBERT Academic Publishing, 140 (in English).
11. Alyamovskiy A.A. (2007). *Solid Works / COSMOS Works 2006/2007. Inzhenernyy analiz metodom konechnik elementov [Engineering analysis for professionals: objectives, methods, recommendations]*. Moscow, DМК, 784 [in Russian].
12. *Raschetnyye nerovnosti zheleznodorozhnogo puti dlya ispol'zovaniya pri issledovaniyakh i proyektirovaniy passazhirskikh i gruzovykh vagonov [Calculated unevenness of the railway track for use in research and design of passenger and freight cars]*. RD 32.68-96. Moscow, VNIIZHT, 1996, 17 [in Russian].

13. Chernyak A.Yu. (2003). *Modelyrovanye sluchaynykh vozmushchenyy v systeme «rel'sovyy ékypazh-put'»* [Simulation of random disturbances in the "rail vehicle-path"]. Visnyk Skhidno-ukrayin. univer. im. V. Dalya. Nauk. zhur. Tekhnichni nauky Ser. Transport 1 [Bulletin of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University Science Journal of Technical Sciences, Ser. Transport 1], №9(67), 173–177 [in Russian].
14. *Normy dlya rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)* [Norms for the calculation and design of railroad cars of the Ministry of Railways of gauge 1520 mm (not self-propelled)]. Moscow, GosNIIV-VNIIZHT, 1996, 154 [in Russian].
15. *Testing and Approval of Railway Vehicles from the Point of View of their Dynamic Behaviour : Safety – Track fatigue – Ride quality : UIC Code 518*. International Union of Railways, September 2009, 119 (in English).
16. *Railway applications – Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles – Testing of running behaviour and stationary tests : European Standard 14363*. – June 2005, 113 (in English).
17. Yermakov V.M., Pevzner V.O. (2002). *O skhodakh porozhnykh vagonov* [On the derailment of empty cars]. Zheleznodorozhnyy transport [Railway transport], №3, 29–33 [in Russian].

Ростислав Дёмин, д.т.н.

(профессор кафедры железнодорожного, автомобильного транспорта и подъёмно-транспортных машин, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля),

Юрий Дёмин, д.т.н.

(профессор кафедры железнодорожного, автомобильного транспорта и подъёмно-транспортных машин, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля),

Анна Черняк, к.т.н.

(старший научный сотрудник кафедры железнодорожного, автомобильного транспорта и подъёмно-транспортных машин, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля)

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВАГОНОВ ДЛЯ СКОРОСТНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК

В статье рассмотрены вопросы обеспечения безопасности технической эксплуатации вагонов-платформ для скоростных контейнерных перевозок путем применения ходовых частей нового типа. По результатам компьютерного моделирования динамики движения доказана целесообразность оборудования вагонов-платформ с повышенными конструкционными скоростями тележками с буксовым рессорным подвешиванием.

Ключевые слова: контейнерные перевозки, вагоны-платформы, динамика движения, компьютерное моделирование, безопасность скоростного движения.

Rostyslav Domin

(Professor of the Department of Railway, Road Transport and Hoisting-and-Transport Machines, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University),

Yurii Domin

(Professor of the Department of Railway, Road Transport and Hoisting-and-Transport Machines, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University),

Ganna Cherniak

(Senior Researcher of the Department of Railway, Road Transport and Hoisting-and-Transport Machines, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University)

EVALUATION OF DYNAMIC TRAFFIC SAFETY INDICATORS OF CARS FOR HIGH-SPEED CONTAINER TRANSPORTATION

Based on the objective need for the development of cargo transportation under mixed schemes, in particular, container transportation, there is the task of creating a fleet of specialized cars. At the same time, it should be emphasized the importance of increasing the speed of trains of combined transport provided guaranteed operational safety. In this way, the new generation of cars, according to their dynamic characteristics, should provide resistance to climbing rails throughout the given range of speeds. The article deals with the issues of maintenance of technical operation of platform cars for high-speed container transportations by means of application of running gears of a new type. Due to the fundamental shortcomings of wagon-wide trucks, the possibility of using the equipment for high-speed platform cars with axle box spring suspension was considered. Proceeding from the high efficiency of the application of mathematical modeling to determine the indicators of the dynamics of the movement of rail vehicles, to assess the conditions for ensuring the safety of the movement of platform cars, appropriate computer models were built. According to the simulation results, it was found that under the conditions of stability of wheel pairs from derailment the condition of safe operation of a platform car on trucks with axle box spring suspension is met at speeds up to 150 km/h inclusive, while the safety of the movement of a platform car with standard type trucks is provided at speeds up to 100 km/h. This conclusion gives grounds for a recommendation on the equipment of platform cars for high-speed combined transport by running gear with an axle box spring suspension.

Keywords: *container transportation, platform cars, dynamics of movement, computer simulation, safety of high-speed traffic.*