

УДК 656.51-7:656.007:629.4.015

Дьомін¹ Ю.В., д.т.н., проф., Заховайко² О.П., к.т.н., доц., Черняк¹ Г.Ю., к.т.н., с.н.с., доц., Шевчук¹ П.А., інж.
1 – ДП «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України» – ДНДЦ УЗ, м. Київ, Україна;
2 – НТУУ «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ РЕЙКОВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Diomin¹ J., Zakhovaiko² O., Chernyak¹ G., Shevchuk¹ P.

1 - State Scientific-Research Center of Ukrainian Railway Transport (dndc@1520mm.com);

2 - National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine (mmi@kpi.ua)

COMPUTER SIMULATION OF RAILWAY VEHICLES DYNAMICS

Представлена процедура комп'ютерного моделювання динаміки рейкового екіпажу в програмному комплексі UM на прикладі вагона-платформи, призначеного для швидкісних контейнерних перевезень вантажів залізничним транспортом. Запропонована динамічна модель вагона-платформи була розроблена на основі представлення його як системи твердих тіл, пов'язаних між собою шарнірними і силовими елементами. Загальна модель динаміки вагона включає раму платформи і дві підсистеми візків, що складаються в свою чергу кожна з двох підсистем колісних пар. Модель дозволяє проводити імітаційні дослідження впливу характеристик окремих елементів ходових частин на динамічну поведінку вагона в заданому діапазоні швидкості руху.

Ключові слова: комп'ютерна модель, динаміка рейкового екіпажу, вагон-платформа, динамічні показники.

Вступ

Серед багатьох наукових дисциплін, що супроводжують становлення перспективних технічних рішень в галузі залізничного транспорту, важливе місце займає динаміка рухомого складу. Свого часу академік П.М. Супруненко підкреслював, що «динаміка вагона являє собою виключно складну сукупність явищ, з яких кожне залежить від інших» [1]. Виявлення факторів, що обумовлюють коливальні процеси при русі рейкових екіпажів, до теперішнього часу залишається в центрі уваги досліджень динаміки рухомого складу. Визначна роль у розвитку теорії динаміки рейкових транспортних засобів належить академіку В.А. Лазаряну [2]. Ним вперше були застосовані методи математичного моделювання до вивчення стійкості незбуреного руху рейкових екіпажів, вимушених коливань локомотивів і вагонів, а також стаціонарних та перехідних режимів руху поїздів. Побудовані моделі відображали конструкційні особливості рухомого складу за актуальними на той час проектами. За минулі десятиліття спостерігався бурхливий процес розвитку технічних рішень щодо удосконалення засобів рейкового транспорту. Цьому сприяли якісно нові методи і засоби наукових досліджень механіки транспортних засобів, зокрема в галузі обчислювальної механіки.

Нині інструментарій комп'ютерного моделювання механічних систем багатьох тіл складає ряд програмних пакетів таких як: Adams, Gensys, Medyna, Nucars, Simpack, Vampire, Vocodym, Universal mechanism (UM). Всі ці програми виконують автоматизований аналіз динаміки, зменшуючи ймовірні помилки й скорочуючи час розробки нової техніки. Серед інших широкого застосування при вирішенні проблем динаміки рухомого складу набув програмний комплекс UM [3, 4].

Постановка технічної проблеми

На залізничному транспорті України розпочато реалізацію заходів щодо підвищення швидкостей руху поїздів. Зокрема розглядаються можливості щодо суттєвого прискорення руху поїздів комбінованого транспорту [5]. Існуючі ходові частини вантажних вагонів (візки) за своїми динамічними характеристиками не забезпечують безпеку руху зі швидкостями вище 80 км/год. Крім того, на низькому рівні знаходяться характеристики віброзахисту і показники взаємодії вагонів з верхньою будовою колії. Тому для організації швидкісних перевезень контейнерів і контрейлерів планується створення ходових частин нового покоління з пониженою дією на колію.

Мета роботи

Роботу присвячено побудові комп'ютерної моделі динаміки залізничного транспортного засобу та дослідженню за її допомогою показників безпеки руху рейкового екіпажу перспективної конструкції.

1. Побудова комп'ютерної моделі

Процедуру комп'ютерного моделювання динаміки рейкового екіпажу в ПК UM здійснено на прикладі вагона-платформи для швидкісних контейнерних перевезень. Динамічна модель вагона розроблена з використанням підходу системи твердих тіл, відповідно до якого досліджувана механічна система представляється набором абсолютно твердих тіл, пов'язаних шарнірними й силовими елементами. За допомогою шарніра, що з'єднує пару тіл i та j , описується відносний рух цих тіл, при цьому в якості одного з тіл може виступати базова система. Кожному шарніру відповідає вектор локальних шарнірних координат q_{ij} , кількість елементів якого залежить від типу шарніра й дорівнює мінімальному числу координат, необхідних для опису певного типу зв'язку.

Сили взаємодії тіл поділяються на активні сили та сили реакцій зв'язків, що представляються дотичними і нормальними складовими. При побудові динамічної моделі системи зв'язаних тіл всі активні сили й неідеальні складові сил реакцій мають бути визначеними, тобто потрібно задати спосіб їх обчислення через змінні та параметри системи.

Загальна модель динаміки вагона містить кузов (раму платформи), представлений у вигляді тіла «Платформа», дві підсистеми візків «Візок 1» і «Візок 2», кожна з яких включає по дві підсистеми колісних пар «КП1» і «КП2» (рис. 1). Завдяки параметризації модель дозволяє проводити імітаційні дослідження впливу характеристик окремих елементів ходових частин на динамічну поведінку вагона в заданому діапазоні швидкості руху.

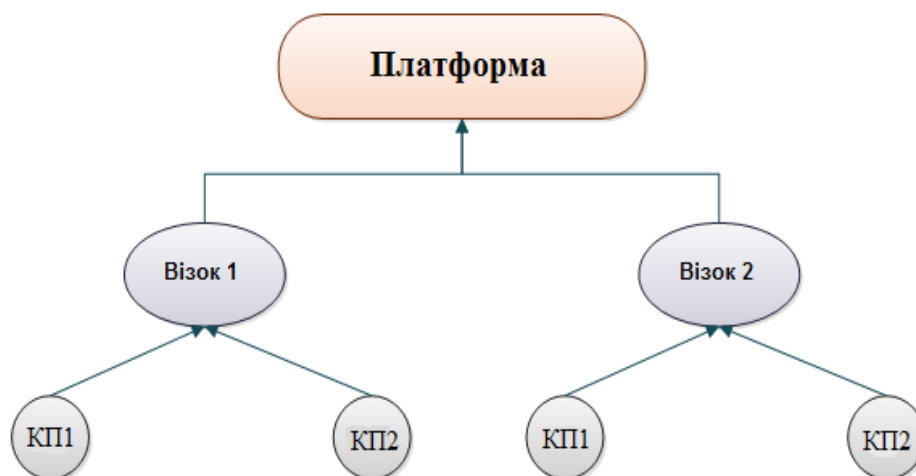


Рис. 1. Структура моделі динаміки вагона

Підсистема «ВізокN» ($N = 1, 2$) містить дві підсистеми колісних пар і раму візка, представлену як тверде тіло «Рама». Положення включених підсистем колісних пар «КП1» і «КП2» визначено за допомогою параметрів: половиною бази візка x_{wheel} і радіусом колеса r_k . Інерційні параметри рами візка визначено за допомогою ідентифікаторів m_{γ} , i_{γ_x} , i_{γ_y} , i_{γ_z} , які представляють відповідно масу рами візка і центральні моменти інерції рами візка відносно поздовжньої, поперечної й вертикальної центральних осей. Шарнір «Рама», має шість степенів вільності і визначає положення локальної системи координат рами візка відносно базової системи координат.

До підсистеми «ВізокN» віднесено силові елементи підвішування візка, що сформовані двома групами пружних елементів: перша група – це буксові пружні елементи, що розміщені з лівого й правого боків балансиру буксового вузла; друга група – надбуксові пружні елементи, розміщені над буксою. Загальна кількість пружних елементів першої групи одного візка становить 8, другої групи – 4. Паралельно кожному пружному елементу першої групи в конструкції візка застосовані фрикційні гасителі коливань. Сили, що виникають в фрикційному елементі, залежать від швидкості взаємного переміщення між корпусом букси й рамою візка.

Для моделювання дії надбуксових пружинних комплектів (елементи підвішування другої групи) застосовано силові пружні елементи білінійного типу. Білінійну характеристику кожного елемента визначено за допомогою змінної h і двох матриць пружних коефіцієнтів. На першій ділянці характеристики елемент не працює, тому всі коефіцієнти першої матриці жорсткості дорівнюють нулю. Після того, як взаємне переміщення в вертикальному напрямку тіл, з'єднаних цим елементом, перевищує величину h , починає працювати друга ділянка характеристики з коефіцієнтами матриці, які визначають жорсткості в поздовжньому, поперечному і вертикальному напрямках. Графічний вигляд підсистеми «ВізокN» представлено на рисунку 2.

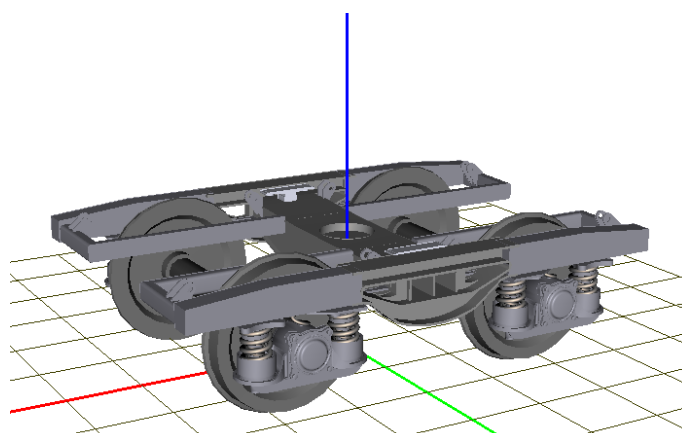


Рис. 2. Динамічна модель візка перспективної конструкції

Розроблена комп'ютерна модель динаміки вагона складається з 23-х твердих тіл, містить 10 підсистем і 23 шарніри, має 50 степенів вільності. Ця модель включає 16 біполярних, 24 лінійних, 10 контактних і 4 спеціальних силових елементів. Для опису динаміки вагона в моделі застосовано 193 параметри. Графічний вигляд загальної моделі, показано на рис. 3.

Тестування розробленої моделі виконано за допомогою модуля UM Simulation шляхом імітації руху вагона-платформи прямою ділянкою колії з детермінованими одиночними нерівностями симетрично розташованими на рейкових нитках. Аналіз результатів моделювання проведено за отриманими осцилограмами переміщень і сил взаємодії коліс з рейками. Крім того проаналізовані силові характеристики елементів підвішування рам візків платформи, які реалізовані в комп'ютерній моделі, для порожнього й завантаженого режимів.

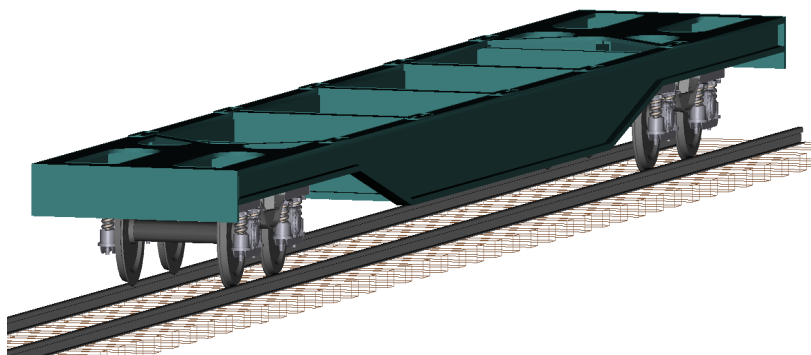


Рис. 3. Графічний образ комп'ютерної моделі вагона-платформи

На динамічні показники вагона має суттєвий вплив стан колії, який визначається наявними нерівностями. Для моделювання нерівностей колії у горизонтальному і вертикальному напрямках використано алгоритм формування реалізацій випадкового процесу за наданими функціями спектральної щільності [6]. На рис. 4 наведено реалізації нерівностей, сформованих за згаданим алгоритмом.

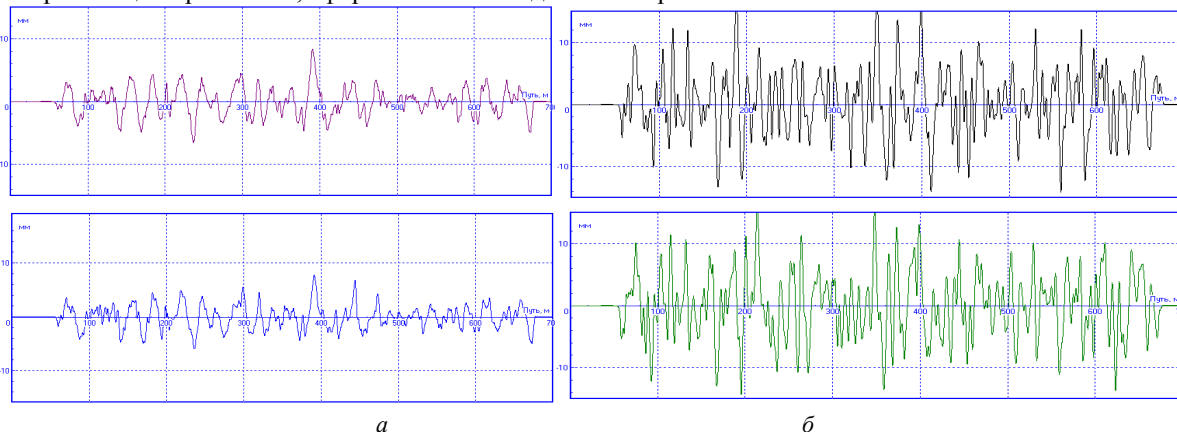


Рис. 4. Сформовані нерівності колії для обох рейкових ниток (а – горизонтальні, б – вертикальні)

Вихідні величини моделі динаміки вагон-платформи виведені на підставі нормативних вимог щодо динамічних показників, які діють на залізницях колії 1520 мм. Як правило, за показники динамічних якостей рейкових екіпажів приймаються сили взаємодії коліс і рейок, прискорення кузовів і ходових частин, а також показники безпеки руху. До останніх відноситься коефіцієнт запасу стійкості рухомого складу від сходження з рейок k_{cc} .

2. Оцінка динамічних показників безпеки руху

Оцінку динамічних показників вагона-платформи проведено при швидкостях руху в діапазоні від 60 до 160 км/год з кроком 10 км/год. За результатами кожного модельного проходу платформи вихідні величини піддавались статистичній обробці, зокрема, визначались найбільші за абсолютною величиною розрахункові значення, математичні очікування та середньоквадратичні відхилення цих величин.

На рис. 5 представлено графіки залежностей від швидкості руху розрахункових значень величини k_{cc} , одержаних для порожнього режиму як найбільш небезпечному з точки зору стійкості вагона від сходження з рейок. Тут лінії позначені наступним чином: il – для лівого колеса; ir – для правого колеса ($i = 1-4$ – номер колісної пари). Допустиме значення k_{cc} становить 1,3.

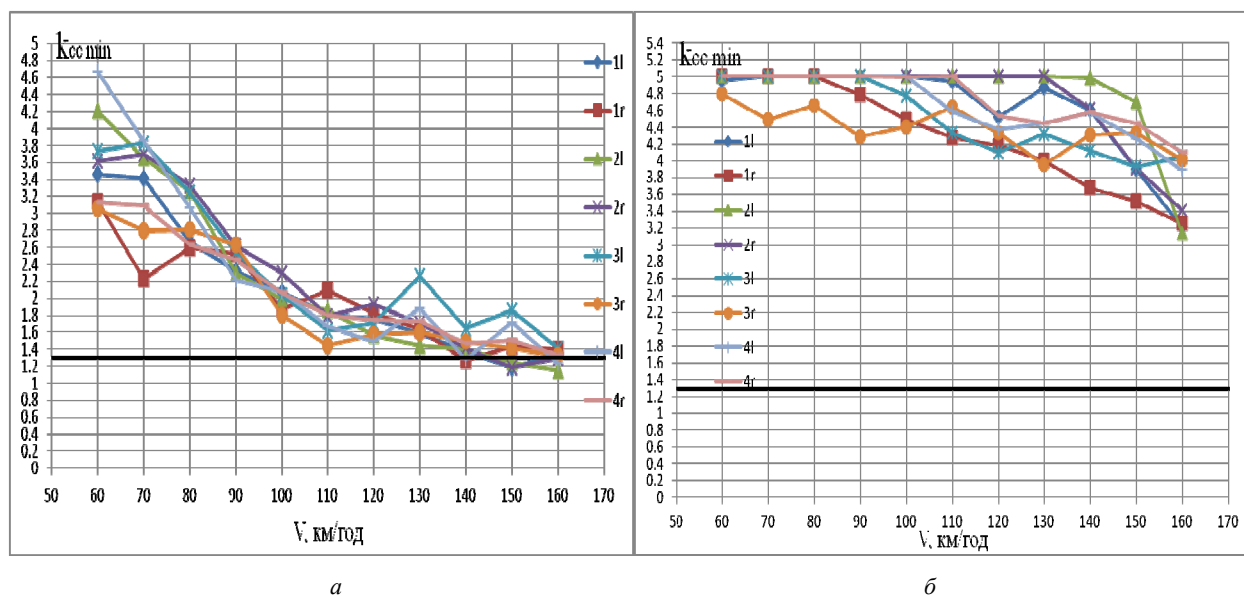


Рис. 5. Розрахункові значення величини k_{cc} (а – порожній режим, б – завантажений)

Як видно з рис. 3а, до швидкості 140 км/год стійкість руху порожнього вагона забезпечується. Вагон у завантаженому стані має значний запас стійкості в рейковій колії (рис. 3б).

Висновки

1. Побудована у програмному комплексі UM комп'ютерна модель дозволяє оцінити основні динамічні характеристики досліджуваного вагона, зокрема, показники його стійкості від сходження з рейок.

2. За результатами виконаного комп'ютерного моделювання динаміки вагона-платформи зроблено загальний висновок про відповідність отриманих динамічних показників вимогам, що пред'являються до експлуатаційної безпеки вантажного рухомого складу.

Анотація. Представлена процедура компьютерного моделирования динамики реечного экипажа в программном комплексе UM на примере вагона-платформы, предназначенного для скоростных контейнерных перевозок грузов железнодорожным транспортом. Предложенная динамическая модель вагона-платформы была разработана на основе представления его как системы твердых тел, связанных между собой шарнирными и силовыми элементами. Общая модель динамики вагона включает раму платформы и две подсистемы тележек, состоящих в свою очередь каждая из двух подсистем колесных пар. Модель позволяет проводить имитационные исследования влияния характеристик отдельных элементов ходовых частей на динамическое поведение вагона в заданном диапазоне скоростей движения.

Ключевые слова: компьютерная модель, динамика реечного экипажа, вагон-платформа, динамические показатели.

Abstract.

Purpose. This article is devoted to computer modeling of railway vehicles dynamics and use it for investigation of safety factors of future-proof design rail underframe traffic.

Design/methodology/approach. Procedure of computer modeling of railway vehicles dynamics is proposed in UM bundled software. As example the flat-car was consider, which is used for high-speed container traffic with railway transport. The dynamic simulation was developed with the assumption of flat-car as the system of solids are constrained with hinged and force coupling elements. General dynamic mode of flat-car consist of the frame and two subsystems of bogies. In part each of these subsystems of bogies consist of two subsystems of wheelsets. The computer simulation allows to realize imitating investigation of influence of characteristics of some elements of running gear on dynamic behavior of flat-car in specified velocity range.

Findings. Using the proposed dynamic simulation the dynamic factors of safety of traffic were studied.

Originality/value. The proposed dynamic simulation of flat-car allows to estimate its general dynamic characteristics, specifically the indexes of stability against derailment.

Keywords: computer simulation, railway vehicles dynamics, flat-car, dynamic index.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Супруненко П.М. Зміст та методика експериментального дослідження динаміки чотириосьового вагона / П.М. Супруненко // Зб. Ін-ту трансп. механіки АН УРСР. – 1937. – Т.VI. – С. 3-18.
2. Лазарян В.А. Динамика транспортных средств: Избр. тр. / В.А. Лазарян // – К.: Наук. думка, 1985. – 528 с.
3. Pogorelov D.Yu. Simulation of Rail Vehicle Dynamics with Universal Mechanism Software / D.Yu. Pogorelov // Rail vehicle dynamics and associated problems. – Gliwice: Silesian University of Technology, 2005. – P. 13-58.
4. Демин Ю.В. Математическое моделирование и динамика подвижного состава железных дорог / Ю.В. Демин, А.Ю. Черняк, Р.Ю. Демин // Залізничний трансп. України. – 2007. – № 4. – С. 3-8.
5. Демин Ю.В. Железнодорожная техника комбинированного транспорта / Ю.В. Демин // Залізничний трансп. України. – 2011. – № 6. – С. 9-12.
6. Черняк А.Ю. Моделирование случайных возмущений в системе «рельсовый экипаж-путь» / А.Ю. Черняк // Вісник Східноукраїнського університету ім. В. Даля. Техн. науки. Сер. Транспорт. Ч. 1. – 2003. – №9 (67). – С. 173-177.

References

1. Suprunenko P.M. Zmist ta metodika experimental'nogo doslidzennja dinamiki chotirjohosjovogo vagona (Matter and Procedure of Experimental Investigation of Eight-Wheel Car). Zb. In-tu transp. mehaniki AN URSR. 1937. T.VI. p. 3-18.
2. Lazarjan V.A. Dinamika transportnih sredstv (Dynamics of vehicles): Izbr. tr. Kyiv: Nauk. dumka, 1985. 528 p.
3. 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.
4. Diomin J.V., Chernjak A.J., Djomin R.J. Matematicheskoe modelirovanije i dinamika podvignogo sostava zheleznih dorog (Mathematical Simulation and Dynamics of Rolling-Stock). Zaliznichnij transp. Ukraini. 2007. No. 4. p. 3-8.
5. Diomin J.V. Zhleznodorozhnaya tehnika kombinirovanogo transporta (Railway Engineering of Combination Transport). Zaliznichnij transp. Ukraini. 2011. No.6. p. 9-12.
6. Chernjak A.J. Modelirovanije sluchajnih vozmushcheniy v sisteme «rel'soviy ekipazh-put'» (Simulation of Random Disturbances in system “Rail Underframe – Track”). Visnik Shidnoukrajins'kogo im. Dalja. Tehn. nauki. Ser. Transport. Ch. 1. 2003. No 9 (67). p. 173-177.

Подана до редакції 02.06.2014