

УДК 629.4.017

DOI: 10.34029/2311-4061-2020-136-3-04-09

*Канд. техн. наук Кара С. В.*

*Інженер Повисий В. М.*

*Магістр Прокопенко П. М.*

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОРОЖНІХ ВАГОНІВ-ХОПЕРІВ, ПЕРЕОБЛАДНАНИХ З ЦЕМЕНТОВОЗІВ І МІНЕРАЛОВОЗІВ

**Ключові слова:** вагон-хопер, переобладнання вагонів, стійкість від сходження з рейок, ходові динамічні випробування, моделювання динаміки.

#### Вступ

Актуальним завданням для забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті є контроль динамічних якостей вантажних вагонів, які експлуатуються понад встановлений заводом-виробником строком служби, особливо при проведенні переобладнань та модернізацій таких вагонів.

Сходження вагона з рейок є одним з найбільш матеріально затратних та небезпечних прикладів погіршення динамічних якостей вагона. Протягом 2018–2019 рр. на коліях АТ «Укрзалізниця» неодноразово були зафіксо-

вані випадки сходжень з рейок порожніх 4-х вісних вагонів для сипучих вантажів переобладнаних з цементовозів та мінераловозів (моделей 11-715-01 і 19-923-01). Суть переобладнання полягає у заміні даху на посилену обв'язку з метою забезпечення експлуатації даних вагонів у якості напіввагонів-хоперів. Для з'ясування причин виникнення сходження з рейок вищезазначених вагонів та розробки заходів щодо підвищення їх безпеки руху, Науково-впроваджувальним центром філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця» проведено ходові динамічні випробування та моделювання динаміки руху цих вагонів у порожньому стані.

#### Методи дослідження

Використовувалися методи класичної механіки, об'єктно-орієнтованого програмування, цифрової обробки сигналів, математичної статистики, методи та засоби експериментального дослідження напружено-деформованого і вібраційного стану конструкцій, методи та засоби комп'ютерного моделювання динаміки машин.

#### Об'єкти дослідження

Вагон для сипучих вантажів моделі 19-923-01 № 90687609, 1988 року побудови (рис. 1) та вагон-хопер моделі 11-715-01 № 96922539, 1988 року побудови (рис. 2), в порожньому стані.



Рис.1 – Вагон-хопер моделі 19-923-01



Рис.2 – Вагон-хопер моделі 11-715-01

### Результати ходових динамічних випробувань

Відповідно до існуючої нормативної схеми [1–2] була проведена установка засобів вимірювальної техніки (далі – ЗВТ) на несівні елементи візків означених вагонів:

- в зонах радіусних переходів R55 бокових рам візків для оцінки вертикальної динаміки їх необресорених частин (рис. 3 а);

- на бокових рамах візків для оцінки горизонтальних сил (рис. 3 б);

- на надресорній балці візка для оцінки вертикальної динаміки обресорених частин вагону (рис. 3 в).

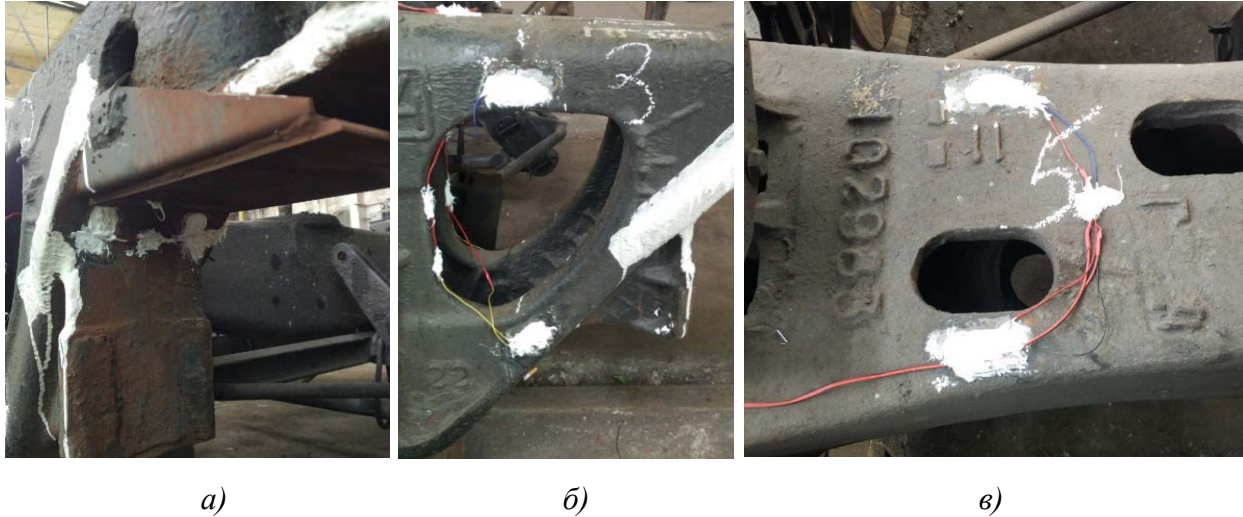


Рис. 3 – Приклад встановлення тензорезисторів на несівних елементах візків вагонів

Після встановлення ЗВТ на визначені дослідні зразки вагонів проведено тарування їх візків дією вертикальних та горизонтальних сил. Додатково, обресорені та не обресорені елементи візків дослідних вагонів обладнувалися акселерометрами для вимірювань прискорень цих деталей. Аналогові сигнали від встановлених датчиків (ЗВТ) по дротовим лініям зв'язку передавалися у вимірювальні модулі NI 9237, виробництва National Instruments.

Цифрові сигнали з модулів NI 9237 по внутрішній шині передаються у контролер NI 9012, з виходу якого по інтерфейсній шині Ethernet вони надходять у комп'ютер, в якому проводиться обробка, відображення й зберігання вимірювальної інформації.

Програмне забезпечення (ПО) вимірювального комплексу виконує функції управління процесом запису інформації, початкового налаштування режиму реєстрації сигналів від вимірювальних каналів, режимами роботи автоматичного реєстратора, математичні функції обробки, представлення і зберігання вимірювальної інформації. Для управління роботою ПО використовується

інтегральна мікросхема (ПЛІС), розташована в шасі NI 9104. ПО вимірювального комплексу складається з наступних блоків:

- програмного забезпечення;
- прикладного програмного забезпечення контролера NI 9012;
- клієнтської частини прикладного програмного забезпечення реєструючого комп'ютера.

Ходові динамічні випробування вагонів проводились у порожньому їх стані, в складі дослідного зчепу. Дослідний зчеп був сформований з локомотива, дослідного вагона-хопера моделі 19-923-01 № 90687609, вагона-лабораторії, дослідного вагона-хопера моделі 11-715-01 № 96922539 та двох додаткових завантажених вагонів. Випробування проводилися на ділянці Дарниця–Миронівка–Дарниця регіональної філії «Південно-Західна залізниця» АТ «Укрзалізниця». Ділянка колії, на якій проводились випробування, за складом прямих і кривих ділянок, відповідає вимогам нормативу [2] до колії для проведення ходових динамічних випробувань.

За результатами випробувань встановлено відповідність вагонів, що досліджувалися,

вимогам нормативних документів [1, 2] на швидкостях руху в діапазоні до 80 км/год, включно за дослідними показниками: коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, коефіцієнт горизонтальної динаміки, прискорення кузова у вертикальному та горизонтальному напрямках, коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходження з рейок.

Отримані графічні залежності коефіцієнтів запасу стійкості колісних пар від сходження з рейок ( $K_c$ ), для кожного дослідного вагона, приведені у вигляді графіків на рисунках 4 і 5, окремо на ділянках Миронівка – Дарниця та Дарниця – Миронівка. На ділянці Миронівка – Дарниця дослідними були перша, по напрямку руху, колісна пара вагона моделі 19-923-01 та четверта, по напрямку руху, колісна пара вагона моделі 11-715-01. На діля-

нці Дарниця – Миронівка дослідними були четверта, по напрямку руху, колісна пара вагона моделі 19-923-01 та перша, по напрямку руху, колісна пара вагона моделі 11-715-01.

**Комп’ютерне моделювання динаміки руху дослідних вагонів**

Для дослідження динаміки руху вагонів у залежності від стану колії, технічного стану вагонів та маси їх тари було розроблено комп’ютерну модель динаміки вагона у програмному комплексі «УМ», з урахуванням результатів раніше проведених досліджень рухомого складу [4–11] і впливу колії та проведено їх верифікацію. Візуалізація створеної моделі динаміки вагона моделі 11-715-01 приведена на рисунку 6.

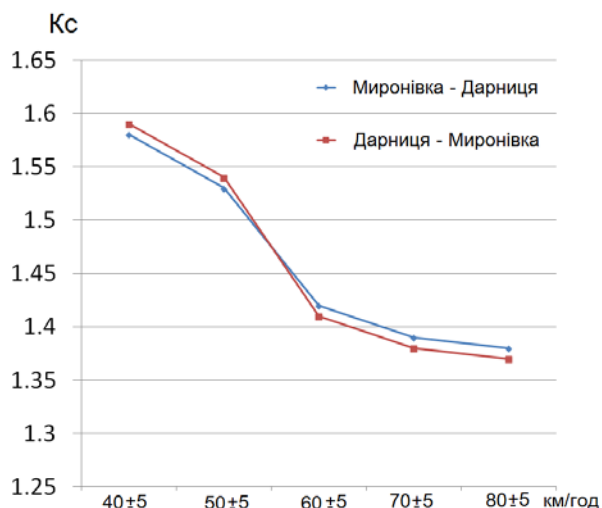


Рис. 4 – Коефіцієнти запасу стійкості колісних пар від сходження з рейок вагона 19-923-01

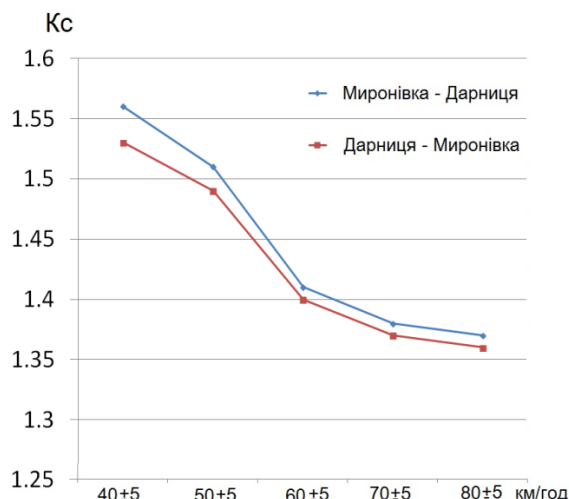


Рис. 5 – Коефіцієнти запасу стійкості колісних пар від сходження з рейок вагона 11-715-01

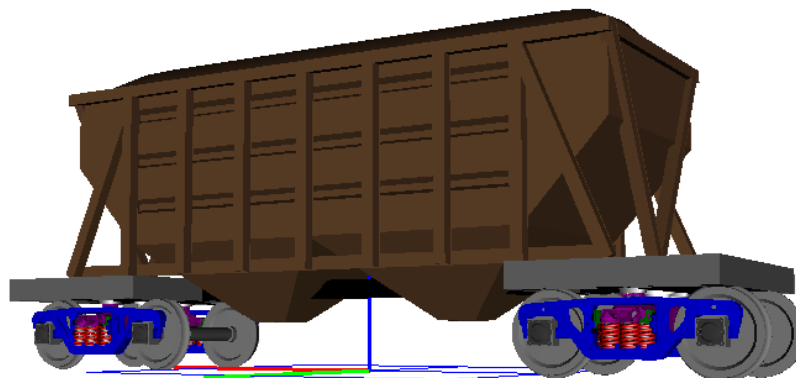


Рис. 6 – Візуалізація динамічної моделі переобладнаного вагона-хопера моделі 11-715-01

У якості верифікації комп'ютерної моделі динаміки вагона, оцінено збіжність значень прискорень кузова моделі та дослідного ва-

гону по центру шворневої балки. Числові дані оцінки збіжності прискорень на швидкості руху вагона 60 км/год приведено у таблиці 1.

Табл. 1 – Збіжність експлуатаційних прискорень кузова дослідного вагону-хопера та показників комп'ютерної моделі його динаміки на швидкості руху 60 км/год

Об'єкт дослідження	Прискорення кузова вертикальні у долях $g$ ( $9,81 \text{ м/с}^2$ )	Відносна похибка вертикальних прискорень кузова, %	Прискорення кузова горизонтальні у долях $g$ ( $9,81 \text{ м/с}^2$ )	Відносна похибка горизонтальних прискорень кузова, %
Дослідний вагон 11-715-01 № 96922539	0,44	4,5 %	0,34	2,9 %
Комп'ютерна модель динаміки вагона 11-715-01	0,46		0,33	

За результатами комп'ютерного моделювання динаміки дослідних вагонів-хоперів встановлено, що при моделюванні руху дослідних вагонів переобладнаних з цементовозів та мінераловозів, за умови технічно справного стану вагонів та відповідності колії, дослідні вагони мають рівень показників динаміки, який забезпечує їх безпечну експлуатацію. Рівні коефіцієнтів запасу стійкості коліс від сходження з рейок та коефіцієнтів Надаля переобладнаного вагона моделі 11-715-01 приведені на рисунку 7.

Комп'ютерне моделювання руху дослідних вагонів, за умовами технічно справного стану колії, але зменшеними масами тари кузовів, показало, що вагони мають рівень показників динаміки, який забезпечує їх безпечну експлуатацію. Для досліджень застосовано зменшення маси тари з кроком 1 т та відповідний перерахунок моментів інерції кузова. При зменшенні мас тари вагонів присутня тенденція щодо зниження коефіцієнту запасу стійкості колеса їх візків від сходження з рейок, але його значення не виходять за допустимі межі.

При моделюванні руху дослідних вагонів, за умовами їх технічно справного стану, але при наявності відхилень в утриманні колії, вагони мають тенденцію до погіршення показників динаміки. При значному збільшенні нерівностей колії (вертикальні та горизонта-

льні відхилення у розмірі 6 мм та більше) можливе зниження коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходження з рейок до недопустимого рівня. Швидкість, при якій спостерігається незадовільний запас стійкості колеса від сходження, при погіршенні технічного стану вагонів або колії –  $70 \pm 5$  км/год.

Моделювання руху дослідних вагонів з відхиленнями у їх технічному стані показало, що вони мають тенденцію до погіршення своїх показників динаміки. При збільшенні відхилень технічного стану (наявність зносів поверхонь буксових прорізів, зноси п'ятників та підп'ятників) елементів візків можливе зниження коефіцієнту запасу стійкості колеса вагону від сходження з рейок до недопустимого рівня. Найменший запас стійкості колеса від сходження з рейок у переобладнаному вагоні-хопері мають перша та третя колісні пари за напрямком руху.

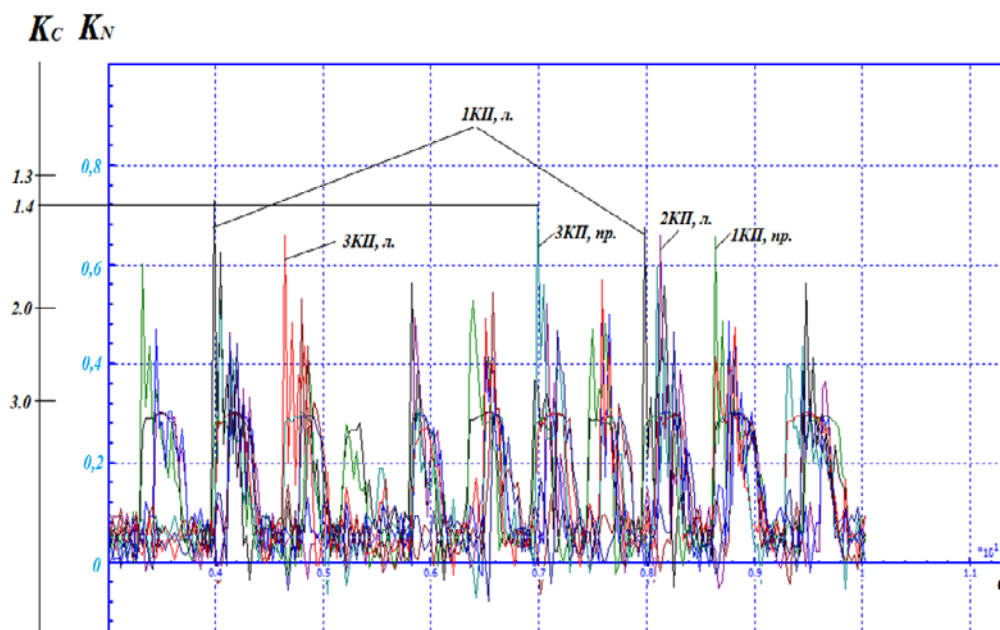


Рис. 7 – Коефіцієнти запасу стійкості коліс від сходження з рейок та коефіцієнти Надаля переобладнаного вагона моделі 11-715-01

### Висновки

Проведені ходові динамічні випробування у порожньому стані вагонів моделей 11-715-01 і 19-923-01, переобладнаних з цементовозів та мінераловозів для перевезення сипучих вантажів, дозволили Науково-впроваджувавальному центру філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця» розробити комп'ютерні моделі динаміки вагонів, провести моделювання динаміки їх руху та зробити наступні висновки.

За узагальненням результатів ходових динамічних випробувань вагонів моделей 11-715-01 і 19-923-01 у порожньому стані та комп'ютерного моделювання їх динаміки руху встановлено наступне:

- показники динаміки вагонів моделей 11-715-01 і 19-923-01 у порожньому стані, при справному технічному стані вагонів та колії, знаходяться в допустимих межах для руху із швидкостями до 80 км/год включно;

- при зменшенні мас тари дослідних вагонів присутня тенденція щодо зниження коефіцієнту запасу стійкості коліс їх візків від сходження з рейок, але його значення не виходять за межі допустимого;

- при відхиленнях у технічному стані вагонів та колії відбувається погіршення динаміки вагонів до недопустимого рівня, при цьому швидкість руху, при якій спостеріга-

ється незадовільний запас стійкості коліс вагонів від сходження з рейок становить  $70 \pm 5$  км/год, при цьому одночасна наявність відхилень в утриманні колії та у технічному стані вагону зменшує швидкість руху вагона, при якій запас стійкості його колеса від сходження досягає значення менше мінімально допустимого;

- найменший запас стійкості коліс візків від сходження з рейки у переобладнаних вагонах-хоперах мають перша та третя колісні пари, за напрямком руху вагона.

### Література

1. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних): ДСТУ 7598-2014. [Чинний від 2015-07-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2014. – 162 с. – (Держ. стандарт України).

2. Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей: ДСТУ ГОСТ 33211:2017. [Чинний від 2017-07-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 58 с. – (Нац. стандарт України).

3. Кара С.В. Підвищення міцності та покращення показників динаміки елементів ходової частини вантажних вагонів шляхом конструктивного вдосконалення: дис. канд. тех. наук: 05.22.07 / Кара Сергій Віталійович. – Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2018. – 160 с.

4. Потапенко О.О. Удосконалення елементів фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування вантажних вагонів: дис. канд. тех. наук: 05.22.07 / Потапенко Ольга Олександрівна. – Київ: ДУІТ, 2019. – 223 с.

5. Блохин Е.П., Манашкин Л.А. Динамика поезда (нестационарные продольные колебания) / Е.П. Блохин, Л.А. Манашкин. – Москва: Транспорт, 1982. – 222 с.

6. Дьомін Ю. В. Моделювання динаміки вантажного вагона в аварійній ситуації / Ю.В. Дьомін, Р.Ю. Дьомін, Г.Ю. Черняк // Залізничний транспорт України. – 2008. – № 4. – С. 7-9.

7. Черняк А.Ю. Компьютерная модель для оперативного определения вероятных причин схода с рельсов грузовых вагонов / А.Ю. Черняк // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В.Даля: наук. журнал. – 2010. – № 5 (147). – Ч. 1. – С. 40-46.

8. Pogorelov D.Yu. Simulation of Rail Vehicle Dynamics with Universal Mechanism Software // Rail vehicle dynamics and associated problems. Gliwice: Silesian University of Technology, 2005. - pp.13-58.

9. Самсонкін В.М. До оцінки ризиків зйдення рухомого складу з рейок на підставі комп'ютерного моделювання / В.М. Самсонкін, Г.Ю. Черняк // Залізничний транспорт України. – 2012. – № 2. – С. 39–42.

10. Черняк Г.Ю. Метод визначення значущості факторів ризику зйдення рухомого складу з рейок / Г.Ю. Черняк // Вісник Східноукраїн. націон. універ. ім.

В.Даля: наук. журнал. – 2012. – № 5 (176). – Ч. 2. – С. 190–194.

11. Черняк А.Ю. Моделирование случайных возмущений в системе «рельсовый экипаж–путь» / А.Ю. Черняк // Вісник Східноукраїнського університету ім. В. Даля : Техн. науки: сер. Транспорт 1. – 2003. – № 9 (67). – С. 173-177.

#### **ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

##### **Кара Сергій Віталійович,**

к. т. н., начальник Управління інжинірингу Науково-впроваджувального центру філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» (НДКТІ) АТ «Укрзалізниця». Вул. І. Федорова, 39, м. Київ, 03038, Україна. Тел.: +38 063 452 62 52. E-mail: kara1520mm@gmail.com.

##### **Повисший Володимир Миколайович,**

начальник Науково-впроваджувального центру філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця». Вул. І. Федорова, 39, м. Київ, 03038, Україна. Тел.: +38 063 452 61 82. E-mail: omukr1520mm@gmail.com.

##### **Прокопенко Павло Миколайович,**

начальник науково-дослідного відділу динаміки та міцності Управління інжинірингу Науково-впроваджувального центру філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця». Вул. І. Федорова, 39, м. Київ, 03038, Україна. Тел.: +38 063 021 11 97. E-mail: prokopenko1520mm@gmail.com.

## **РЕКЛАМА В ЖУРНАЛІ «ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ УКРАЇНИ»**

### **З питань розміщення реклами в науково-практичному журналі**

#### **«Залізничний транспорт України»,**

який видається філією «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця»,  
звертайтеся на ім'я директора філії, за адресою:

**03038, м. Київ, вул. І. Федорова, 39 або в редакцію журналу за телефоном**

**+38 (044) 309-68-93 чи на електронну пошту журналу:**

**ztu1520mm@gmail.com**