

УДК 629.463.65

Фомін Олексій Вікторович, д.т.н., проф.,
(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ)

Кара Сергій Віталійович, к.т.н.,
(начальник управління інжинірингу, філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця», м. Київ)

Прокопенко Павло Миколайович,
(аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ)

Горбунов Микола Іванович, д.т.н., професор
(професор, завідувач кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підійомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, м. Сєверодонецьк)

Фомін Володимир Вікторович, к.т.н.,
(начальник виробничого підрозділу, філії «Панютинський вагоноремонтний завод» АТ «Укрзалізниця», м. Лозова)

ОЦІНКА ДИНАМІЧНИХ ЯКОСТЕЙ РУХУ ПЕРЕОБЛАДНАНИХ ВАГОНІВ-ХОПЕРІВ ПІСЛЯ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У роботі викладені дослідження показників якості руху вагонів-хоперів переобладнаних з цементовоза та мінераловоза після тривалої експлуатації. В рамках роботи було проведено теоретичне та експериментальне дослідження (на основі проведення ходових динамічних випробувань) ходових якостей порожніх вагонів-хоперів, що переобладнані з цементовозів і мінераловозів. Проведено комп'ютерне моделювання динаміки порожніх вагонів-хоперів, що переобладнані з цементовозів і мінераловозів у залежності від стану колії, технічного стану вагонів та маси тари.

Ключові слова: вагон-хопер, випробування, моделювання, динаміка, сход з рейок, технічний стан, безпека руху.

Вступ. Вагомим недоліком роботи залізничного транспорту України є обмеження швидкості руху поїздів з окремими вантажними вагонами в порожньому стані, які обладнані візками моделі 18-100. У числі причин сходів коліс вагонів з рейок є: несправностями ходових частин вагонів (злам бічних рам і надресорних балок візків, несправності роликів підшипників буксового вузла), знос елементів фрикційних гасителів коливань, неприпустимі відхилення розмірів елементів візка та залізничної колії та особливості конструкції вагонів після ремонтів та модернізацій. В рамках роботи було проведено теоретичне та експериментальне дослідження (на основі проведення ходових динамічних випробувань) ходових якостей порожніх вагонів-хоперів, що переобладнані з цементовозів і мінераловозів. Комп'ютерне моделювання динаміки порожніх вагонів-хоперів, що переобладнані з цементовозів і мінераловозів у залежності від стану колії, технічного стану вагонів та маси тари та проведені дослідження залежності запасу

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-4

стійкості коліс від сходу при однократній та багатократній наявності граничних вертикальних відхилень і горизонтальних відхилень рейкової колії.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. На теперішній час питанню досліджень показників якості руху вантажних вагонів присвячено ряд праць, це пояснює їхню актуальність. Робота [1] описує результати досліджень несівної здатності вантажного вагона. Але мета цих досліджень була оцінка конструктивних резервів, а не показників якості руху вантажних вагонів.

У матеріалі [2] описані перспективи покращення конструкцій вагонів шляхом збільшення строку експлуатації. Але збільшення терміну експлуатації вантажного вагона пропонується досягати через покращення їхніх конструктивних властивостей.

У праці [3] приведений аналіз властивостей матеріалів кузовів вагонів нового покоління. Зазначено перевагу впровадження нових сучасних матеріалів для окремих частин конструкції вагону. Але питання оцінки динамічних показників таких вагонів не висвітлено.

Робота [4] описує удосконалення несівної конструкції кузова вагона для забезпечення надійного кріплення на палубі залізничного порому. Створення і використання динамічної моделі, яка враховуватиме показники якості руху вагонів не описано.

Оцінка динаміки вагона з відкритою з платформою описано в [5]. Розрахунок виконаний в MSC Adams.

Робота [6] описує пропускну можливість залізничних шляхів, що призначаються для транспортування сировини і готової продукції металургійної промисловості.

Проектування рухомого складу який перевозить великовагові вантажів викладені у [7], але в роботі не описаний процес оцінки динаміки руху таких вагонів.

Матеріал [10] описує вплив профілю кочення коліс візка на загальну динаміку рухомого складу. При цьому імітації відповідних експлуатаційних зносів та дослідженню динамічних якостей в такому випадку увага не була приділена.

У праці [11] аналізувались особливості руху та взаємодії рухомого складу з параметрами, які відповідають новій техніці. А відповідні дослідження для одиниць з параметрами, які відображають якість руху вагонів після тривалої експлуатації не проведені.

Робота [12] присвячена описанню результатів удосконалення динамічних якостей рухомого складу при проходженні кривих ділянок колії шляхом покращення відповідних конструктивних елементів.

У статті [14] описано розробку несучої конструкції критого вантажного вагона, особливість якої є, що елементи кузова виготовлено з труб круглого перерізу, але в роботі не описано як саме визначаються показники динаміки руху вагона.

У праці [16] викладено особливості проектування та виготовлення відкритих вантажних вагонів нового покоління їхні несучі системи з круглих труб що дає змогу зменшити витрати.

У статті [17] автори розглядають якісні показники керованості рельсових екіпажей, пов'язуючи їх з додатковим впливом на екіпаж з боку шляху в процесі управління.

Праця [19] автор описують моделювання сходу з рейок коліс з врахуванням повної моделі фрикційної взаємодії з рейками набігаючих та не набігаючих коліс.

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що в даний час питанню оцінки показників якості руху вантажних вагонів після тривалої експлуатації приділено недостатньо уваги.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – вирішення поставленої задачі з теоретичного та практичного оцінювання показників якості руху переобладнаних вагонів-хоперів після тривалої експлуатації та розробка комп'ютерної моделі для проведення досліджень з різними варіаціями відхилень від технічного стану рухомого складу та інфраструктури.

Завданням ходових динамічних випробувань є визначення, оцінка показників ходових динамічних якостей вагонів при русі з різними швидкостями по ділянці залізничної колії.

Матеріали та методи дослідження. Об'єктами досліджень є вагони для сипучих вантажів моделі 19-923-01, 1988 року побудови (рис 1) та вагон-хопер моделі 11-715-01, 1988 року побудови (рис 2) в порожньому стані.

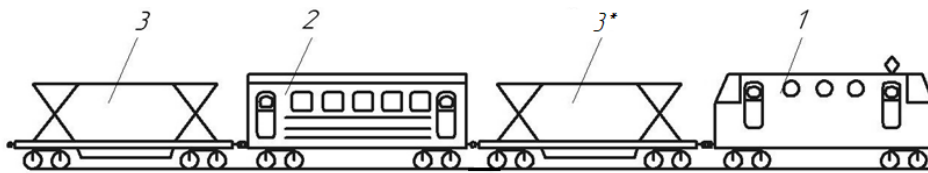


Рис. 1. Вагон-хопер моделі 19-923-01



Рис. 2. Вагон-хопер моделі 11-715-01

Ходові динамічні випробування проводились фахівцями НВЦ філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» у порожньому стані в складі дослідного зчепу. Дослідний зчеп був сформований з: локомотива, дослідного вагона-хопера моделі 19-923-01, вагона-лабораторії, вагона-хопера моделі 11-715-01 (рис 3), на ділянці «Дарниця-Миронівка-Дарниця» Південно-Західної залізниці. Ділянка колії на якій проводились випробування за складом прямих і кривих ділянок, відповідає вимогам до колії для проведення ходових динамічних випробувань.



1 – локомотив, 2– вагон-лабораторія, 3, 3* – дослідні вагони для перевезення сипучих вантажів

Рис. 3. Схема дослідного зчепу

Приклад візка дослідних вагонів на якому встановлені засоби вимірювальної техніки (рис 4) для запису даних які в подальшому будуть використані для оцінки показників руху дослідних вагонів.



Рис. 4. Візок з встановленим обладнанням

В ході підготовки до ходових динамічних випробувань проводиться тарування вертикальних і горизонтальних сил. Тарування вертикальних сил проводиться шляхом навантаження візка кузовом вагона, а горизонтальних сил проводиться шляхом стиснення щелеп візка тарувальним пристроєм.

Коефіцієнт запасу стійкості від сходження з рейок коліс визначається за формулою:

$$K_{yc} = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta} \cdot \frac{Q_{ш} \left(\frac{2(b-a_2)}{l} - K_o^n \frac{2b-a_2}{l} + K_o^{nn} \frac{a_2}{l} \right) + q \frac{b-a_2}{l} + \frac{r}{l} H_p}{\mu Q_{ш} \left(\frac{2(b-a_1)}{l} - K_o^n \frac{a_1}{l} + K_o^{nn} \frac{2b-a_2}{l} \right) + \mu q \frac{b-a_1}{l} + \left(1 - \frac{r}{l} \mu\right) H_p} \quad (1)$$

де β – кут нахилу твірної гребеня колеса до горизонтальної осі; $\beta = 60^\circ$; – коефіцієнт μ тертя, $\mu = 0,25$;

q – сила тяжіння маси невідресорених частин, які приходять на колісну пару, Н; $2b$ – відстань між серединами шийок осі колісної пари, м;

a_1, a_2 – розрахункова відстань від точок контакту коліс з рейками до середини відповідних (набігаючих і ненабігаючих) шийок осі колісної пари приймаються відповідно 0,250 і 0,220м;

r – радіус кола кочення колеса, $r=0,45$ м (для середньо зношеного колеса) або за результатами вимірювання колес дослідного зразка;

K_o^n – коефіцієнт вертикальної динаміки на набігаючому колесі; значення коефіцієнта приймається додатнім у випадку розвантаження коліс;

K_o^{nn} – коефіцієнт вертикальної динаміки на небігаючому колесі; значення коефіцієнта приймається додатнім у випадку розвантаження коліс;

H_p – горизонтальна бокова рамна сила.

$Q_{ш}$ – сила тяжіння надресорних частин вагона, діюча на шийку осі колісної пари, кН.

Коефіцієнт вертикальної динаміки K_d в загальному вигляді визначено з наступного виразу:

$$K_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{cm}} \quad (2)$$

де σ_d – динамічне напруження від вертикального навантаження в перерізі даного елемента;

σ_{cm} – статичне навантаження від вертикального навантаження у тому ж перерізі.

Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях осьового навантаження) $-K_r$ визначено за формулою:

$$K_r = \frac{H_p}{P_o} \quad (3)$$

де H_p – горизонтальна бокова рамна сила;

P_o – вертикальне статичне навантаження від осі на рейки.

Результати ходових динамічних випробувань вагонів у порожньому стані наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати випробувань вагонів у порожньому стані

Швидкість, км/год	Показник коефіцієнта запасу стійкості колеса вагона не менше 1,3	
	Модель 19-923-01	Модель 11-715-01
40±5	1,58	1,56
50±5	1,53	1,51
60±5	1,42	1,41
70±5	1,39	1,38
80	1,38	1,37

Для дослідження динаміки вантажного вагона розроблено динамічну модель в ліцензійному програмному комплексі «UM 6.0» з урахуванням конструктивних особливостей переобладнаних вагонів-хоперів на візках моделі 18-100 (кузов, база вагона, центри мас) з можливістю варіації стану колії, технічного стану вагонів та маси тари.

Модель вагона побудовано з використанням підходу системи твердих тіл (СТТ), відповідно до якого досліджувана механічна система представляється набором твердих тіл, з'єднаних за допомогою шарнірних і силових елементів. Модель вагона включає 19 твердих тіл: кузов, 2 надресорні балки, 4 бокові рами, 8 клинів, 4 колісні пари. Для кожного твердого тіла передбачено 6 степенів вільності, таким чином механічна система має 114 степенів вільності.

При розробці комп'ютерної моделі динаміки вантажного вагона застосовано підхід підсистем. Застосування при моделюванні підходу підсистем надає можливість сформуванню однотипні підсистеми одноразово й використовувати їх в моделі потрібну кількість раз.

Візуалізація актуальної динамічної моделі приведена на рис. 4.

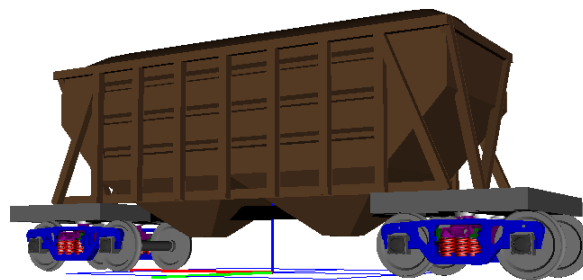


Рис. 4. Візуалізація динамічної моделі вагона-хопера переобладнаного моделі 11-715-01

Моделювання дослідного вагону у технічно справному стані вагона та колії. Для моделювання застосовано усереднений профіль колії. Загальні результати моделювання (табл. 2).

Таблиця 2. Загальні результати моделювання при технічно справному стані вагона та колії

Діапазон швидкостей	Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд	Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн	Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії
40-50 км/год	0,30–0,40	0,39–0,49	1,50–2,00
50-60 км/год	0,31–0,41	0,40–0,52	1,46–1,70
60-70 км/год	0,33–0,45	0,50–0,56	1,42–1,75
70-80 км/год	0,38–0,51	0,51–0,60	1,38–1,42
80-90 км/год	0,39–0,50	0,52–0,60	1,38–1,41

Вагон, при моделюванні руху в технічно справному стані вагона та колії, має достатній рівень показників динаміки для забезпечення безпечної експлуатації.

Моделювання дослідного вагону у технічно справному стані колії при зменшенні маси тари. Для моделювання застосовано усереднений профіль колії. Загальні результати моделювання приведені у табл. 3, 4 з двома кроками зниження маси тари: до 18,5 т та до 17,0 т для вагона моделі 11-715-01; до 20 т та до 19 т для вагона моделі 19-923-01.

Вагони, при моделюванні руху в технічно справному стані колії та зменшеними масами тари кузовів мають достатній рівень показників динаміки для забезпечення безпечної експлуатації. Присутня тенденція щодо зниження коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок, але значення знаходиться на допустимому рівні.

Таблиця 3. Загальні результати моделювання при технічно справному стані колії та зменшеній масі тари вагона моделі 11-715-01

Діапазон швидкостей	Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд		Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн		Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії	
	Маса тари - 18,5 т	Маса тари - 17,0 т	Маса тари - 18,5 т	Маса тари - 17,0 т	Маса тари - 18,5 т	Маса тари - 17,0 т
40-50 км/год	0,29–0,40	0,26–0,35	0,39–0,48	0,38–0,52	1,49–2,00	1,42–2,00
50-60 км/год	0,31–0,40	0,30–0,39	0,40–0,51	0,39–0,54	1,45–1,65	1,42–1,62
60-70 км/год	0,32–0,46	0,29–0,45	0,49–0,55	0,48–0,56	1,42–1,73	1,39–1,58
70-80 км/год	0,37–0,50	0,35–0,50	0,50–0,59	0,51–0,61	1,37–1,44	1,34–1,42
80-90 км/год	0,38–0,51	0,35–0,52	0,50–0,60	0,53–0,55	1,35–1,42	1,32–1,39

Таблиця 4. Загальні результати моделювання при технічно справному стані колії та зменшеній масі тари вагона моделі 19-923-01

Діапазон швидкостей	Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд		Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн		Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії	
	Маса тари - 20,0 т	Маса тари - 19,0 т	Маса тари - 20,0 т	Маса тари - 19,0 т	Маса тари - 20,0 т	Маса тари - 19,0 т
40-50 км/год	0,29–0,39	0,29–0,38	0,40–0,48	0,39–0,51	1,55–1,90	1,53–1,88
50-60 км/год	0,31–0,39	0,31–0,38	0,41–0,52	0,39–0,53	1,50–1,68	1,48–1,64
60-70 км/год	0,32–0,45	0,31–0,44	0,48–0,56	0,48–0,56	1,43–1,70	1,40–1,60
70-80 км/год	0,38–0,49	0,38–0,50	0,51–0,60	0,52–0,62	1,39–1,50	1,39–1,46
80-90 км/год	0,39–0,52	0,39–0,51	0,51–0,60	0,52–0,61	1,39–1,49	1,38–1,44

Моделювання дослідного вагона у технічно справному стані при наявності відхилень колії. Для моделювання застосовано усереднений профіль колії з додатковими коефіцієнтами нерівностей колії (коєф. нерівн. колії) – 1,5 та 2,0. З досвіду проведення моделювання динаміки вагонів встановлено, що коєф. нерівн. колії в діапазоні 1,0...1,5 відповідає реальному технічному стану колії АТ «Укрзалізниця», значення 1,5 приблизно відповідає гранично допустимому рівню відхилень, значення коефіцієнта нерівності колії на рівні 2,0 відповідає перевищенню допустимих значень відхилень. Загальні результати моделювання приведені у табл. 5.

Таблиця 5. Загальні результати моделювання вагона у технічно справному стані при наявності відхилень колії

Діапазон швидкостей	Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд		Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн		Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії	
	Коєф.нерівн. колії – 1,5	Коєф.нерівн. колії – 2,0	Коєф. нерівн. колії – 1,5	Коєф.нерівн. колії – 2,0	Коєф. нерівн. колії – 1,5	Коєф.нерівн. колії – 2,0
40-50 км/год	0,38–0,48	0,40–0,49	0,44–0,50	0,48–0,56	1,51–1,81	1,50–1,81
50-60 км/год	0,39–0,52	0,41–0,48	0,45–0,58	0,49–0,66	1,44–1,55	1,43–1,56
60-70 км/год	0,40–0,52	0,45–0,59	0,51–0,65	0,53–0,71	1,38–1,42	1,32–1,40
70-80 км/год	0,41–0,51	0,51–0,68	0,55–0,71	0,57–0,75	1,32–1,37	1,29–1,37
80-90 км/год	0,41–0,53	0,55–0,71	0,59–0,74	0,60–0,80	1,32–1,37	1,28–1,36

Вагон, при моделюванні руху в технічно справному стані при наявності відхилень колії має тенденцію до зниження рівнів показників динаміки. При значному збільшенні нерівностей колії можливе зниження коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок до недопустимого рівня. Швидкість, при якій починається зменшення рівня запасу стійкості – 70 ± 5 км/год.

Моделювання дослідного вагону з відхиленнями у технічному стані. Для моделювання застосовано усереднений профіль колії, візок з відхиленням технічного стану у вигляді максимальних зносів (буксового прорізу, фринкійних клинів, пятнику), візок з відхиленням технічного стану у вигляді максимальних зносів, збільшених на 15%. Загальні результати моделювання приведені у табл. 6.

Таблиця 6. Загальні результати моделювання вагону з відхиленнями у технічному стані

Діапазон швидкостей	Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд		Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн		Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії	
	Максимальні зноси	Максимальні зноси +15%	Максимальні зноси	Максимальні зноси +15%	Максимальні зноси	Максимальні зноси +15%
40-50 км/год	0,30–0,41	0,32–0,42	0,40–0,49	0,42–0,49	1,50–1,91	1,50–1,91
50-60 км/год	0,31–0,41	0,33–0,44	0,41–0,52	0,43–0,55	1,45–1,57	1,43–1,53
60-70 км/год	0,33–0,45	0,37–0,39	0,51–0,56	0,53–0,58	1,37–1,48	1,28–1,37
70-80 км/год	0,38–0,50	0,38–0,50	0,53–0,61	0,56–0,62	1,31–1,40	1,28–1,39
80-90 км/год	0,39–0,50	0,39–0,50	0,54–0,62	0,56–0,66	1,33–1,37	1,29–1,40

Вагон, при моделюванні руху з відхиленнями у технічному стані має тенденцію до зниження рівнів показників динаміки. При збільшенні відхилень (зносів) елементів візка спостерігається зниження коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок до недопустимого рівня.

Ця публікація виконана в рамках проекту: «Розроблення концептуальних засад для відновлення ефективного функціонування застарілих вантажних вагонів (Development of conceptual frameworks for restoring the efficient operation of obsolete freight cars)» (Реєстраційний номер проекту: 2020.02/0122), фінансування якого здійснюється Національним фондом досліджень України за кошти державного бюджету.

Висновки. Узагальнюючи результати ходових динамічних випробувань та комп'ютерного моделювання динаміки руху вагонів-хоперів у порожньому стані було визначено:

результати ходових динамічних випробувань дослідних вагонів вказують, що показники динаміки знаходилися в допустимих межах для руху із швидкостями до 80 км/год включно.

За результатами комп'ютерного моделювання встановлено, що:

при справному технічному стані вагонів та колії, показники динаміки знаходяться у межах допустимих значень.

при відхиленнях у технічному стані вагонів та колії відбувається погіршення динаміки вагонів до недопустимого рівня.

швидкість, при якій рівень запасу стійкості зменшується менше мінімально-допустимого при наявності відхилень – 70 ± 5 км/год.

одночасна наявність відхилень в утриманні колії та у технічному стані вагона зменшує швидкість, при якій запас стійкості досягає значення менше мінімально-допустимого.

Моделювання окремих нерівностей колії у вигляді хвиль із заданою висотою 6 мм, заданими довжинами, зсувами нерівностей лівої від правої рейки, заданими параметрами горизонтальних хвильових нерівностей дає підстави стверджувати, що вплив реальних нерівностей колії (вертикальних та горизонтальних) на динаміку вагону є значно більшим ніж вплив вищезазначених хвильових нерівностей. Фактична залежність стійкості вагону від нерівностей колії має розглядатися системно з урахуванням і значень найбільших відхилень, і значень всіх інших вертикальних і горизонтальних відхилень на дослідній ділянці колії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. O.V. Fomin. Scientific and technical journal «*Metallurgical and Mining Industry*». 2015, №1. P.45-48.
2. Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. M. Kelrykh, O. Fomin., Scientific and technical journal «*Metallurgical and Mining Industry*». 2014, №6. – P.64-67.
3. Fomin, Oleksij. "Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry. Fomin, Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, and Vladimir Hause *Communications-Scientific letters of the University of Zilina 21*, no. 1 (2019): 28-34.
4. Lovska A. A. Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge. A. A. Lovska. Scientific and technical journal «*Metallurgical and Mining Industry*». 2015. №1. p. 49 – 54.
5. Mirosław, Nader. Kolejowy wagon transportowy jako nowatorskie, innowacyjne rozwiązanie konstrukcyjne do przewozu naczez siodłowych i zestawów drogowych dla transportu intermodalnego. Mirosław Nader, Marian Sala, Jarosław Korzeb, Arkadiusz Kostrzewski. *Logistyka*. 2014. №4. P. 2272 – 2279.
6. Panchenko S.V. Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises. S.V. Panchenko, T.V. Butko, A.V. Prokhorchenko, L.O. Parkhomenko. *Naukovyi Visnyk NHU*. 2015. №1 P. 49 – 54.
7. Divya Priya G. Modeling and analysis of twenty tonne heavy duty trolley. G. Divya Priya, A. Swarnakumari. *Intern. J. of Innovative Technology and Research*. 2014. – Vol. 2, №. 6. P. 1568–1580.
8. Krason W. Fe numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards. W. Krason, T. Niezgoda. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*. 2014. Vol. 62. Iss. 4. P. 843–851.
9. Myamlin, S. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie. S. Myamlin, L. P. Lingaitis, S. Dailydka, G. Vaičiūnas, M. Bogdevičius, G. Bureika. *Transport*. – 2015. – Vol. 30, Issue 1. P. 88–92.
10. Hauser V., Nozhenko O.S., Kravchenko K.O., Loulová M., Gerlici J., Lack T. Impact of wheelset steering and wheel profile geometry to the vehicle behavior when passing curved track. «*Manufacturing Technology*». June 2017, Vol. 17, No. 3, p. 306-312.
11. Tartakovskiy, E. Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. E. Tartakovskiy, O. Gorobchenko, A. Antonovych. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. Vol. 5, Issue 3 (83). P. 4–11.
12. Vladimír Hauser, Olena S. Nozhenko, Kateryna O. Kravchenko, Mária Loulová, Juraj Gerlici, Tomáš Lack. Proposal of a Mechanism for Setting Bogie Wheelsets to Radisl Position while Riding Along Track Curve. «*Manufacturing Technology*». April 2017, Vol. 17 No 2. p. 186-192.
13. Богомаз, Г. И. Нагруженность контейнеров-цистерн, расположенных на железнодорожной платформе, при ударах в автосцепку. Г. И. Богомаз, Д. Д. Мехов, О. П. Пилипченко, Ю. Г. Черномащенко. *Зб. наук. праць "с" Київ: АНУ, Інститут технічної механіки*. 1992. С. 87 – 95.
14. Fomin, O. Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry. O. Fomin, A. Lovska, V. Masliyev, A. Tsymbaliuk, O. Burlutski. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 7, Issue 1 (97). P. 33–40.
15. Turpak, S.M. Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production. S.M. Turpak, I.O. Taran, O.V. Fomin, O.O. Tretiak. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2018, Issue 1, p.162-169.
16. Fomin, Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, and Vladimir Hauser. Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry. *Communications-Scientific letters of the University of Zilina 21*, no. 1 (2019): 28-34.
17. Tkachenko, V., & Sapronova, S. Steerability of railway vehicles. *Transport problems*, 2. 2007. P. 9-16. <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BSL5-0022-0016>.
18. Воронько, А. Н., Сапронова, С. Ю., Ткаченко, В. П. Анализ критериев устойчивости железнодорожных экипажей от схода с рельсов. *Вестник ВНУ им. В. Даля*. (8)102. 2006. С.115-120.
19. Tkachenko, V., Sapronova, S., Zub, E., Tverdomed, V., Chimshir, V., & Morneva, M. The study of safety factor against derailment of vehicles on the track switch. In *Transport Means - Proceedings of the International Conference, 2019-October 234-239*. ISSN 1822-296 X (print); ISSN 2351-7034 (on-line). <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-means-2019-Part-1.pdf>.

REFERENCES

1. Fomin, O. (2015), Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. Scientific and technical journal «*Metallurgical and Mining Industry*», 1, 45-48.
2. Kelrykh M., Fomin O. (2014), Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. Scientific and technical journal «*Metallurgical and Mining Industry*», 6, 64-67.
- 3 Fomin, Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, and Vladimir Hause. (2019). "Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its

- Transportation on the Railway Ferry. " Communications-Scientific letters of the University of Zilina 21, no. 1: 28-34.
4. Lovska, A. A. (2015) Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry», 1, 49-54.
 5. Mirosław, Nader, Marian, Sala, Jarosław, Korzeb, Arkadiusz, Kostrzewski. (2014). Kolejowy wagon transportowy jako nowatorskie, innowacyjne rozwiązanie konstrukcyjne do przewozu naczep siodłowych i zestawów drogowych dla transportu intermodalnego. Logistyka. 4, 2272 – 2279.
 6. Panchenko S.V., Butko T.V, Prokhorchenko A.V., Parkhomenko L.O. (2016). Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises. Naukovyi Visnyk NHU. 2, 93-99.
 7. Divya Priya G., Swarnakumari A. (2014) Modeling and analysis of twenty tonne heavy duty trolley. Of Innovative Technology and Research, Vol. 2, 6, 1568–1580.
 8. 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, 4, 843–851.
 9. Myamlin, S., Lingaitis, L. P., Dailydka, S., Vaičiūnas, G., Bogdevičius, M., Bureika, G. (2015). Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie. Transport, 30 (1), 88–92.
 10. Hauser V., Nozhenko O.S., Kravchenko K.O., Loulová M., Gerlici J., Lack T. (2017). Impact of wheelset steering and wheel profile geometry to the vehicle behavior when passing curved track. Manufacturing Technology. Vol. 17, 3, 306-312.
 11. Tartakovskiy, E., Gorobchenko, O., Antonovych, A. (2016). Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (3 (83)), 4–11.
 12. Vladimír Hauser, Olena S. Nozhenko, Kateryna O. Kravchenko, Mária Loulová, Juraj Gerlici, Tomáš Lack (2017). Proposal of a Mechanism for Setting Bogie Wheelsets to Radisl Position while Riding Along Track Curve. «Manufacturing Technology». Vol. 17 No 2. p. 186-192.
 13. Bogomaz, G. I., Mehov, D. D., Pilipchenko, O. P., Chernomashentseva, Yu. G. (1992). Nagruzhenost konteynerov-tsistern, raspolozhennyih na zheleznodorozhnoy platforme, pri udarah v avtostsepku [Loading of tank containers located on a railway platform, when hitting an automatic coupler]. Zb. nauk. prats "Dinamika ta keruvannya ruhom mehanichnih sistem" [Coll. Science. works "Dynamics and motion control of mechanical systems"]. 87 – 95.
 14. O. Fomin, A. Lovska, V. Masliyev, A. Tsymbaliuk, O. (2019). Burlutski Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry.. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 7, Issue 1 (97). P. 33–40.
 15. S.M. Turpak, I.O. Taran, O.V. Fomin, O.O. Tretiak. (2018). Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production.. Scientific Bulletin of National Mining University. Issue 1, p.162-169.
 16. Fomin, Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, and Vladimir Hauser. (2019) Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry. Communications-Scientific letters of the University of Zilina 21, no. 1. 28-34.
 17. Tkachenko, V., & Saponova, S. Steerability of railway vehicles. Transport problems, 2. (2007). P. 9-16. <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BSL5-0022-0016>.
 18. Voronko, A. N., Saponova, S. Yu., Tkachenko, V. P. (2006). Analysis of criteria for the stability of railway vehicles from derailment. VNU Bulletin V. Dahl. (8) 102. .S. 115-120.
 19. Tkachenko, V., Saponova, S., Zub, E., Tverdomed, V., Chimshir, V., & Morneva, M. The study of safety factor against derailment of vehicles on the track switch. In Transport Means - Proceedings of the International Conference, (2019-October). 234-239. ISSN 1822-296 X (print); ISSN 2351-7034 (on-line). <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-means-2019-Part-1.pdf>.

Фомин Алексей Викторович, д.т.н., проф.,
(профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев)

Кара Сергей Витальевич, к.т.н.,
(начальник управления архитектуры филиала «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт железнодорожного транспорта» АО «Укрзалізниця», г. Киев)

Прокопенко Павел Николаевич,
(аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев)

Горбунов Николай Иванович, д.т.н., профессор
(профессор, заведующий кафедрой «Железнодорожный, автомобильный транспорт и подъемно-транспортные машины», Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, г. Северодонецк)

Фомин Владимир Викторович, к.т.н.,
(начальник производственного подразделения, филиала «Панютинский вагоноремонтный завод» АО «Укрзалізниця», г. Лозовая)

**ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ ПЕРЕОБОРУДОВАННЫХ
ВАГОНОВ-ХОППЕРОВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

В работе изложены исследования показателей качества движения вагонов-хопперов переоборудованных из цементовозов и минераловозов после длительной эксплуатации. В рамках работы было проведено теоретическое и экспериментальное исследование (на основе проведения ходовых динамических испытаний) ходовых качеств пустых вагонов-хопперов, переоборудованных из цементовозов и минераловозов. Проведено компьютерное моделирование динамики пустых вагонов-хопперов, переоборудованных из цементовозов и минераловозов в зависимости от состояния пути, технического состояния вагонов и массы тары.

Ключевые слова: вагон-хоппер, испытания, моделирование, динамика, сход с рельсов, техническое состояние, безопасность движения.

*Oleksiy Viktorovych Fomin, Doctor of Technical Sciences, Professor,
(Professor of the Department of Wagons and Carriage Economy, State University of
Infrastructure and Technologies, Kyiv)*

*Kara Serhii Vitalievich, Ph.D.,
(Head of Engineering Department, Branch "The Rail Transport Scientific and Engineering
Institute branch of JSC "Ukrzaliznytsia", Kyiv)*

*Pavlo Mykolayovych Prokopenko,
(Postgraduate student of the Department of Wagons and Carriage Economy, State University of
Infrastructure and Technologies, Kyiv)*

*Mykola Ivanovych Gorbunov, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Professor, Head of the Department "Railway, Road Transport and Hoisting and Transport
Machines", V. Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk)*

*Fomin Vladimir Viktorovich, Ph.D.,
(Head of Production Unit, Panyutyn Car Repair Plant Branch of Ukrzaliznytsia JSC, Lozova)*

**EVALUATION OF DYNAMIC QUALITIES OF MOVEMENT OF RE-EQUIPPED
HOPPER CARS OF PILS OF LONG-TERM OPERATION**

As part of the work, a theoretical and experimental study (based on running dynamic tests) of the running qualities of empty hopper cars, converted from cement trucks and mineral trucks, was conducted. Computer simulation of the dynamics of empty hopper wagons converted from cement and mineral wagons depending on the condition of the track, the technical condition of the wagons and the weight of the container, the repeated presence of maximum vertical deviations and horizontal deviations of the track.

A significant disadvantage of the railway transport of Ukraine is the limitation of the speed of trains with individual freight cars in an empty state, which are equipped with carts model 18-100. Among the reasons for the descent of the wheels of cars from the rails are: malfunctions of the running gear of the cars (fracture of the side frames and spring beams of the carts, malfunctions of the roller bearings of the axle box), wear of friction damper elements, unacceptable deviations and upgrades. As part of the work, a theoretical and experimental study (based on running dynamic tests) of the running qualities of empty hopper cars, converted from cement trucks and mineral trucks, was conducted. Computer modeling of the dynamics of empty hopper wagons, converted from cement and mineral wagons depending on the condition of the track, the technical condition of the wagons and the weight of the container and studies of the dependence of the wheel stability on the east.

Keywords: hopper car, tests, modeling, dynamics, derailment, technical condition, traffic safety..