

**Фомін О.В., Кара С.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І, Фомін В.В.**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДИНАМІКИ ПОРОЖНІХ ЛЕГКОВАГОВИХ ВАГОНІВ З ВРАХУВАННЯМ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ**

*Забезпечення та підтримання безпечних перевезень на залізницях України це одне з найвагоміших вимог до безпечної роботи залізниці. З числа катастроф і аварій які відбуваються на залізницях найбільшою небезпекою є схід рухомого складу з рейок, бо це призводить до значних фінансових втрат та тяжких наслідків. Основними причинами сходів легковагових вантажних вагонів являються несправності рухомого складу, недотримання допустимих показників відхилень утримання колії, незадовільні показники динаміки поїзду та умови їх експлуатації. Описані несправності, також пов'язані з руйнуванням елементів ходової частини, що безпосередньо викликає можливість сходу вагонів з рейок. Також причинами сходів вагонів з рейок є несправності ходової частини вантажних вагонів, можна визначити наступні несправності: злам надресорних балок та бічних рам візків, злам осей і коліс, несправності буксового вузла, а саме роликових підшипників, зношення елементів фрикційних гасителів коливань та вузла контакту кузова на надресорній балці, недопустимі відхилення від встановлених розмірів у візках. Важливим чинником є деградаційні зміни тари вагона більше ніж на 10% від назначеної заводом виробником. Описані несправності, зокрема, зв'язані з пошкодженням ходової частини, безпосередньо призводять до сходів вагонів. Однак, деякі з них прямо не викликають схід, але є причинами початку розвитку негативних динамічних процесів, які викликають підвищену силову взаємодію рухомого складу. З числа вагонів, в яких наявна тенденція до сходу з рейок – вагони-хопери для цементу зі знятою кришею та порожні вагони-платформи. Результат проведеного аналізу причин та обставин сходження порожніх вагонів з рейок встановлено, що частими наслідками сходження є пошкодження рухомого складу, залізничної колії та інших елементів інфраструктури залізниці, зменшення швидкості та порушення графіку перевезень, що всовую чергу тягне за собою значні фінансові втрати.*

**Ключові слова:** легковагові вантажні вагони, динаміка, моделювання, якість руху, випробування, розрахунки.

**Актуальність дослідження.** Основними причинами сходів легковагових вантажних вагонів з колії пов'язані з несправностями рухомого складу, недотримання норм утримання колії, негативна динаміка руху поїзда, а також умови їх експлуатації. Описані несправності, пов'язані з руйнуванням елементів ходової частини, призводять до сходів вагонів з рейок. Основними причинами сходів легковагових вантажних вагонів являються несправності рухомого складу, відхиленнями від допустимих показників утримання колії, незадовільні показники динаміки поїзда та умови їх експлуатації. Описані несправності, також пов'язані з руйнуванням елементів ходової частини, що безпосередньо викликає можливість сходу вагонів з рейок. Важливим чинником є деградаційні зміни тари вагона більше ніж на 10% від назначеної заводом виробником. Описані несправності, зокрема, зв'язані з пошкодженням ходової частини, безпосередньо призводять до сходів вагонів. Однак, деякі з них прямо не викликають схід, але є причинами розвитку динамічних процесів, які викликають підвищену силову взаємодію рухомого складу. З числа вагонів, в яких наявна тенденція до сходу з рейок – вагони-хопери для цементу зі знятою кришею та порожні вагони-платформи. Результат проведеного аналізу причин та обставин сходження порожніх вагонів з рейок встановлено, що частими наслідками сходження є серйозні пошкодження залізничної колії, рухомого складу та інших елементів інфраструктури залізниці, зменшення швидкості та порушення графіку перевезень, що всовую чергу тягне за собою значні фінансові втрати.

**Постановка проблеми.** Сформувані необхідність виконання досліджень шляхом комп'ютерного моделювання щодо оцінки показників динаміки легковагових вагонів з врахуванням експлуатаційних чинників.

Проведені теоретичні та практичні дослідження з визначенням та оцінкою показників динамічних та ходових якостей легковагових вантажних вагонів, а саме вагона-платформи та вагона-хопера зі знятою кришею, визначення коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок, що в свою чергу дозволить визначити безпечну швидкість руху вантажних вагонів в порожньому стані та гранично допустимих показників тари вагона.

**Теоретичний аналіз дослідження.** На сьогоднішній день проблемі з оцінки та визначення безпечних значень показників якості руху та дослідженню динаміки руху легковагових вагонів присвячено значну кількість наукових праць.

У роботах [1, 2] наведені сучасні вимоги, які необхідно враховувати при проектуванні нових або модернізації вже існуючих конструкцій несучих систем залізничних універсальних піввагонів, визначено шляхи поліпшення техніко-економічних та експлуатаційних показників ходової частини вантажних вагонів, запропоновано підходи до проектування вантажних вагонів нового покоління. В статті [3] представлено

перспективні напрямки інженерних робіт вантажного візка вагона і їх особливості. У [4] представлено впровадження інноваційної проектної системи для автоматичного зчеплення вагонів. У роботі [5] наведені результати комп'ютерного моделювання динаміки несучої конструкції кузова вагона при перевезенні залізничним поромом в умовах хвилювання моря. Стаття [6] представляє результати, а також особливості проведених теоретичних та експериментальних досліджень з впровадження стикованого виконання хребтової балки вагонів-окатишевозів. В роботах [7, 10] описано необхідність уточнення коефіцієнта безпеки від зриву коліс залізничного рухомого складу та представлено математичне моделювання просторових коливань взаємодії системи «екіпаж-колія». Стаття [8] описує попередні результати дослідження нового типу гальмівних вставок для залізничного транспорту. Робота [9] присвячена дослідженню бокових коливань та оцінці стійкості руху чотиривісного залізничного транспортного засобу, оснащеного колісними парами з відхиленнями. У роботах [11, 12] описано проектування механізму встановлення колісних пар в кривій для трамвайних вагонів. В нормативних документах [13, 14] описані вимоги до динамічних якостей порожніх вантажних вагонів. З урахуванням вищесказаного можна зробити висновок, що результати аналізу інформаційних джерел з досліджуваного питання свідчать про відсутність достатніх методичних і практичних матеріалів про визначення безпечної швидкості руху легковагових вантажних вагонів.

**Мета статті.** Вирішення науково-практичної задачі зі створення теоретичних та практичних положень визначення безпечного значення показників динаміки легковагових вагонів, а саме коефіцієнта стійкості, мінімально допустимої тари та експериментальне їх підтвердження.

При цьому основними чинниками які безпосередньо впливають на динаміку руху легковагового вагона є коефіцієнт стійкості, вертикальні та повздовжні зусилля, які відповідно залежать від власної ваги вагонів та діючої в повздовжньому напрямку ваги поїзду. Тому головними напрямками з визначення було обрано варіювання зменшення їхньої власної ваги (тари), профілю колії та експлуатаційних зазорів у ходовій частині вагона.

**Задачі дослідження.** Щоб досягти поставлену мету було визначені та вирішені питання:

- вибір дослідних вагонів і аналіз умов їх експлуатації;
- створення комп'ютерної моделі вагона-платформи та вагона-хопера;
- моделювання динаміки руху вагона-платформи та вагона-хопера з врахуванням експлуатаційних показників;
- виконання аналізу отриманих результатів моделювання.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Об'єктами досліджень було обрано легковагові вантажні вагони: вагон-платформа моделі 13-4012 (рис. 1) та вагон-хопер моделі 19-923-01 (рис.2).



Рис. 1 Вагон-платформа моделі 13-4012



Рис. 2 Вагон-хопер моделі 19-923-01

Для дослідження динаміки легковагових вантажних вагонів розроблено динамічні моделі в ліцензійному програмному комплексі «UM 6.0». За основу взято базову модель динаміки, проведено коригування з урахуванням конструктивних особливостей переобладнаного вагона-хопера та вагона-платформи 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 сформувати однотипні підсистеми одноразово й використовувати їх в моделі потрібну кількість раз. Структурне представлення дерева підсистем моделі представлено на рисунку 3. На рисунку 4 показано загальне структурне представлення динамічної моделі.

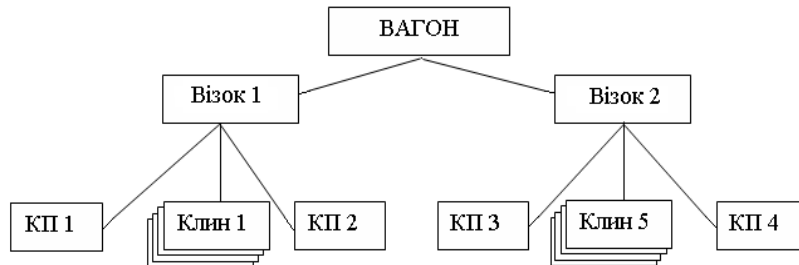


Рис. 3 Структурне представлення дерева підсистем моделі

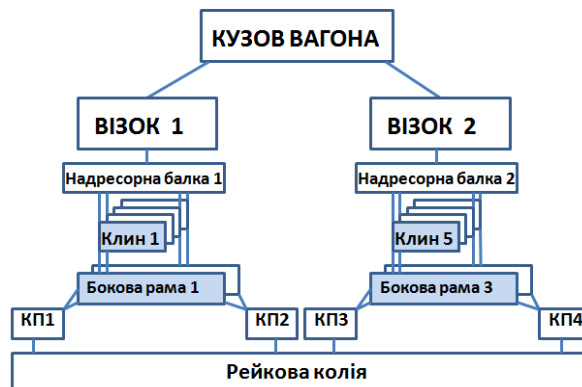


Рис. 4 Загальне структурне представлення динамічної моделі

Розроблена динамічна модель, по-перше, включає фрикційні клинові гасителі як окремі тіла, кожний з яких перебуває в контактній взаємодії з боковою рамою й надресорною балкою, по-друге, містить просторовий опис контактної взаємодії бокових рам з колісними парами в буксових вузлах, по-третє, забезпечує контактну взаємодію кузова вагона з надресорними балками в п'ятникових вузлах та ковзунах.

**Моделювання динаміки вагона-хопера.** Дослідження динамічних якостей вагона-хопера. За результатом моделювання дослідного вагона-хопера, який відповідає загальним параметрам вагонів, переобладнаних з цементовозів і мінераловозів у залежності від стану колії, технічного стану вагонів та маси тари отримані наступні результати.

Таблиця 1

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.

Таблиця 2

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

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 коефіцієнта запасу стійкості колеса від сходу з рейок, але значення знаходиться на допустимому рівні.

Моделювання дослідного вагону у технічно справному стані при наявності відхилень колії. Для моделювання застосовано усереднений профіль колії з додатковими коефіцієнтами нерівностей колії (коэф. нерівн. колії) - 1,5 та 2,0, що є загально прийнятою практикою. З досвіду проведення моделювання динаміки вагонів встановлено, що коэф. 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 коэф. нерівн. колії на рівні 2,0 відповідає перевищенню допустимих значень відхилень.

Таблиця 3

Загальні результати моделювання вагону 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	
	Коеф. нерівн. колії - 1,5	Коеф. нерівн. колії - 2,0	Коеф. нерівн. колії - 1,5	Коеф. нерівн. колії - 2,0	Коеф. нерівн. колії - 1,5	Коеф. 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 –  $70 \pm 5$  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, п'ятнику), візок з відхиленням технічного стану у вигляді максимальних зносів, збільшених на 15%.

Таблиця 4

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.

**Моделювання динаміки вагона-платформи.** З метою дослідження динамічних показників вагона-платформи моделі 13-4012 розроблено імітаційну модель динаміки. Ця модель побудована з використанням підходу системи багатьох тіл, за яким механічна система представляється набором твердих тіл, зв'язаних за допомогою шарнірних і силових елементів. Розробку комп'ютерної моделі виконано в програмному комплексі UM. Модель включає фрикційні клинові гасители в якості окремих тіл, які володіють шістьма степенями вільності кожне та перебувають в контактній взаємодії з боковими рамами й надресорними балками, крім того модель містить детальний опис контактних взаємодій в п'ятниковому та буксовому вузлах. Таким чином розроблена модель динаміки платформи відбиває основні конструктивні особливості механічної частини вантажного вагона на візках моделі 18-100. При розробці імітаційної моделі динаміки вагона-платформи враховано всі експлуатаційні деградаційні зміни в конструкції.

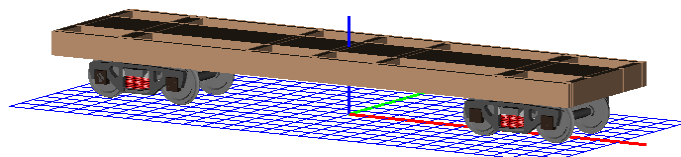


Рис. 5 Графічний вигляд моделі платформи моделі 13-4012

Для оцінювання показників якості руху платформи моделі 13-4012 змодельований її рух при швидкості 68 км/год при різних варіантах параметрів.

Варіант 1 – це варіант конструкції платформи моделі 13-4012 за номінальними параметрами, тобто, з масою платформи, що відповідає технічній документації, з діаметром нових коліс і новими профілями поверхні кочення коліс, з відсутнім завищенням/заниженням клинів, без зносу в буксових пройомах або додаткових зазорів між бічними ковзунами та незношеними розмірами п'ятникових вузлів, передбаченими технічною документацією для нового вагону. Варіант 2 – це варіант, де інерційні параметри кузова платформи зменшені до значень, що відповідають параметрам кузова після тривалої експлуатації. Варіант 3 – це варіант, де всі параметри платформи відповідають технічному стану після тривалого терміну експлуатації.

Проведено моделювання руху платформи за представленими варіантами. Обробка результатів моделювання полягала в визначенні екстремальних значень показників кожної групи і зіставленні їх з відповідними граничними значеннями, що нормовані. Результати аналізу за показниками безпеки руху й



динамічних якостей вантажного вагона представлені у вигляді графіків, осцилограм.

Залежності від часу прискорень кузова платформи над шворнем першого візка, розраховані за варіантами 1 і 3, наведені на рисунках 6 – 13, а саме, прискорення в горизонтальному напрямі на рисунках 6 – 7, у вертикальному напрямі на рисунках 8 – 9. Гранично допустимі значення прискорень кузова для порожніх вантажних вагонів надано на графіках червоною пунктирною лінією.

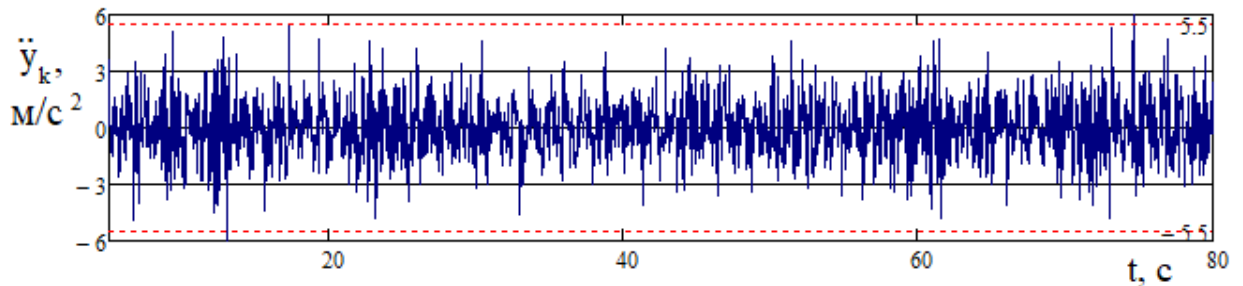


Рис. 6 Горизонтальні прискорення кузова платформи, варіант 1

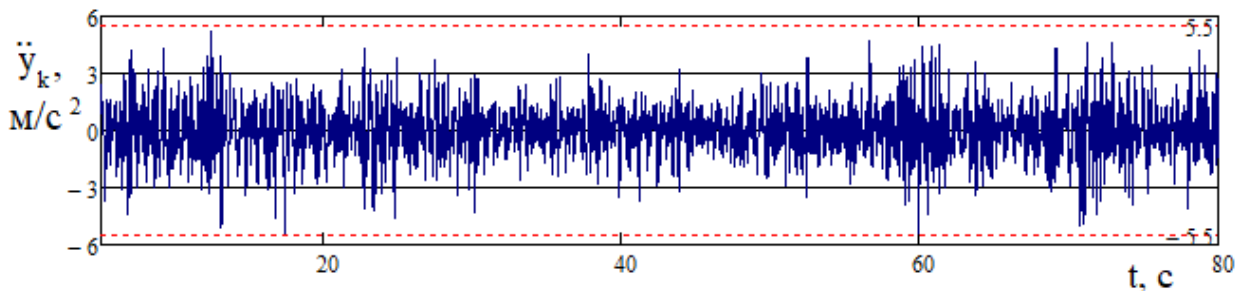


Рис. 7 Горизонтальні прискорення кузова платформи, варіант 3

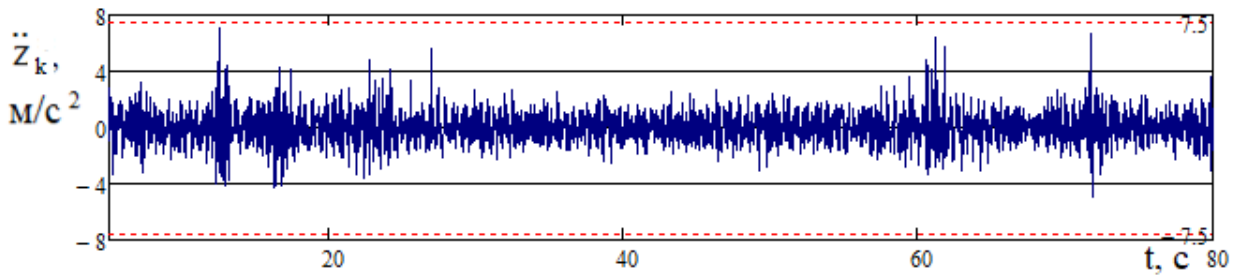


Рис. 8 Вертикальні прискорення кузова платформи, варіант 1

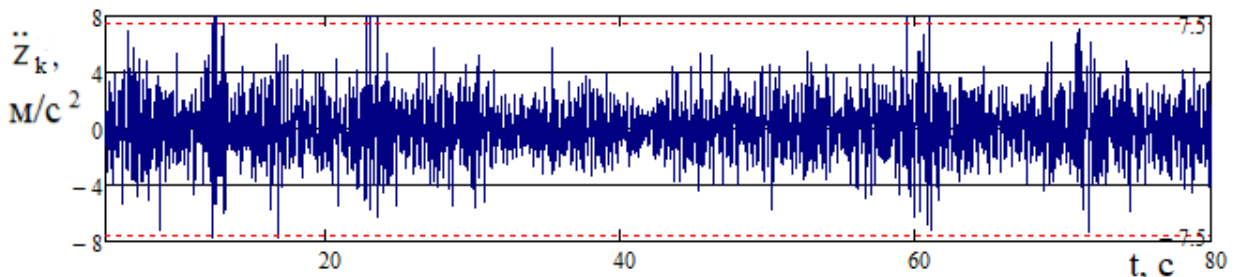


Рис. 9 – Вертикальні прискорення кузова платформи, варіант 3

Наведені результати свідчать про те, що технічний стан платформи більше відбивається на рівні вертикальних прискорень кузова ніж горизонтальних, так якщо для варіанта 1  $\sigma \ddot{z}_k = 1,1 \text{ м/с}^2$ , то для варіантів 3, які містять порівняно зі справним технічним станом певні відхилення параметрів платформи,  $\sigma \ddot{z}_k$  перевищує  $1,9 \text{ м/с}^2$ .

Максимальні рамні сили  $\max H p_m$ , де  $m$  – це номер варіанта, в долях статичного навантаження колісної пари на рейки, розраховані для кожного з розглянутих варіантів, наведені на рисунку 10. Гранично допустиме значення рамних сил для порожніх вантажних вагонів на графіку надано червоною пунктирною лінією.

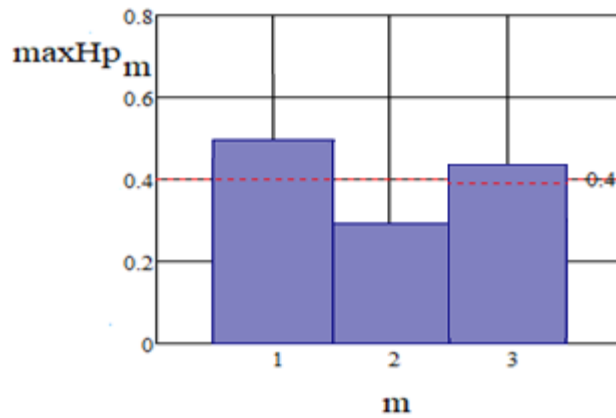


Рис. 10 Максимальні рамні сили  $maxHp_m$

З цих результатів видно, що для платформи, що перебуває в номінальному стані (варіант 1) за умови руху колією фактичного стану утримання максимальні рамні сили  $maxHp_1$  в долях статичного навантаження досягали 0,5, що перевищує допустимий рівень цього показника в 1,25 рази. Найменший рівень рамних сил отримано для варіантів 2, що обумовлено в першому випадку зменшенням маси кузова, а в другому випадку зменшенням нерівностей колії, тобто покращенням стану колії.

Максимальні горизонтальні сили  $maxFy_m$  в контакт «колесо-рейка», обчислені для кожного з розглянутих варіантів, наведені на рисунку 11.

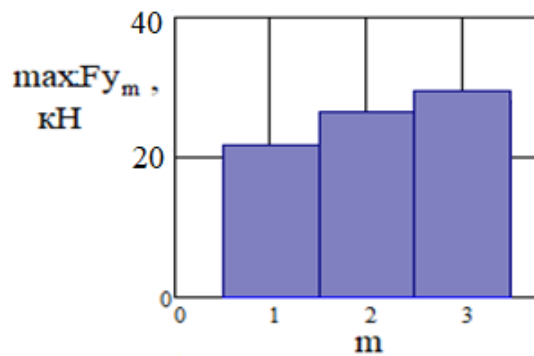


Рис. 11 Максимальні горизонтальні сили  $maxFy_m$

Максимальні значення горизонтальних сил  $maxFy_m$  в контакт «колесо-рейка» лежать в діапазоні від 17,8 кН до 29,6 кН. Як видно з даних рисунка 11, для варіанту 3, в яких змодельований рух платформи зі зношеними колесами, максимальні горизонтальні сили найбільші: для варіанта 3 – 29,6 кН. В разі моделювання платформи в номінальному стані (варіант 1) найбільші горизонтальні сили становлять 21,8 кН.

Максимальні вертикальні сили  $maxFz_m$  в контакт «колесо-рейка», обчислені за розглянутими варіантами, наведені на рисунку 12.

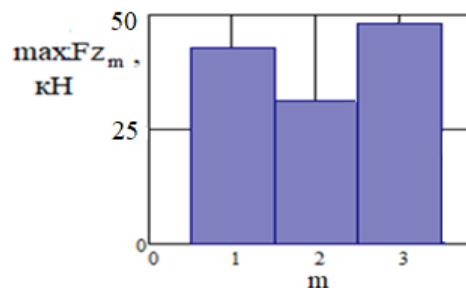


Рис. 12 Максимальні вертикальні сили  $maxFz_m$

Серед наведених на цьому рисунку даних виділяються значення, які пов'язані з варіантами 1 і 3 – найбільший рівень та варіанта 2 – найменший рівень. Так, максимальні вертикальні сили  $maxFz_1 = 43,2$  кН,  $maxFz_7 = 48,3$  кН,  $maxFz_8 = 18,9$  кН. Слід відмітити, що перевищення максимальними вертикальними силами статичного навантаження від колеса на рейку досягали для вказаних варіантів 1,65, 1,8 і 0,72.

Мінімальні значення коефіцієнтів запасу стійкості колісної пари  $min kz_m$  від зйдення з рейок за умови

вкочування гребеня колеса на голівку рейки, обчислені для розглянутих варіантів, наведені на рисунку 13. Гранично допустиме значення коефіцієнтів для порожніх вантажних вагонів, що становить 1,3, надано на графіку червоною пунктирною лінією.

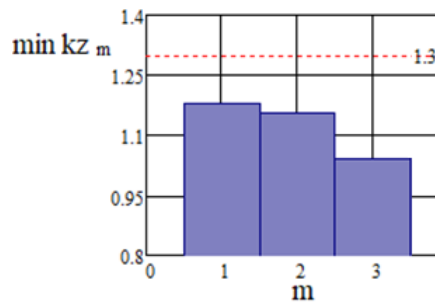


Рис. 13 Мінімальні значення коефіцієнтів запасу стійкості колісної пари  $min kz_m$

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.** При моделюванні руху вагона-хопера, за умови технічно справного стану вагонів та колії, дослідні вагони мають рівень показників динаміки, який забезпечує безпечну експлуатацію. При моделюванні руху вагона-хопера, за умови технічно справного стану колії, але зменшеними масами тари кузова, вагон має рівень показників динаміки, який забезпечує безпечну експлуатацію. При зменшенні мас тари присутня тенденція щодо зниження коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок, але його значення не виходять за межі допустимого. При моделюванні руху вагона-хопера, за умови його технічно справного стану, але наявності відхилень в утриманні колії, вагон має тенденцію до погіршення 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 –  $70 \pm 5$  км/год. При моделюванні руху вагона-хопера з відхиленнями у технічному стані, вагон має тенденцію до погіршення показників динаміки. При збільшенні відхилень (зносів) елементів візка можливе зниження коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок до недопустимого рівня.

За результатами дослідження просторової динаміки платформи визначено, що умови безпеки руху порушуються за всіма розрахунковими варіантами. Так, мінімальні коефіцієнти запасу стійкості від сходження колісних пар з рейок відповідно варіантам розрахунку становили: 1,18; 1,12; 1,03. Отже більш суттєвий вплив на рівень показників безпеки руху здійснює стан колії та стан коліс платформи. Подібним чином стан колії і стан коліс відбивається на інших показниках динамічних якостей платформи. Характерно, що не тільки запас стійкості від сходження колісних пар з рейок вичерпано за всіма розрахунковими варіантами, але й спостерігається відрив коліс від рейки, що вказує на повне розвантаження коліс і свідчить про створення реальної загрози безпеці руху за всіма варіантами моделювання.

Узагальнюючи результати комп'ютерного моделювання легковагових вантажних вагонів платформи та хопера визначено 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 –  $70 \pm 5$  км/год.
- одночасна наявність відхилень в утриманні колії та у технічному стані вагону зменшує швидкість, при якій запас стійкості досягає значення менше мінімально-допустимого.

#### Література

1. Fomin, O. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43;
2. Fomin, O.V. Increase of the freight wagons ideality degree and prognostication of their evolution stages / O.V. Fomin // Scientific Bulletin of National Mining University . 2015, Issue 2, p.68-76;
3. Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas/ M. Kelrykh, O. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 6 – P.64-67;



4. Fomin O. V., Lovska A. O., Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P. The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties // *Scientific Bulletin of National Mining University*, 6, 89 – 96. (2017);
5. Lovska A. O. Computer simulation of wagon body bearing structure dynamics during transportation by train ferry // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3, 9 – 14. (2015);
6. O. Fomin, I. Kulbovskiy, E. Sorochinska, S. Saponova, O. Bambura, Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5, 1 (89), 11-19, (2017) doi: 10.15587/1729-4061.2017.109588;
7. S. Saponova, V. Tkachenko, O. Fomin, V. Gatchenko, S. Maliuk, Research on the safety factor against derailment of railway vehicles. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 6, Issue 7 (90). P. 19-25 doi: 10.15587/1729-4061.2017.116194;
8. Gevorkyan E., Lavrynenko S., Rucki M., Siemiatkowski Z., Kislitsa M. Ceramic cutting tools out of nanostructured refractory compounds. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*. 2017. Vol. 68. P. 142–144;
9. O. Kyryl'chuk, J. Kalivoda, L. Neduzha. High speed stability of a railway vehicle equipped with independently rotating wheels. *Proc. of 24<sup>th</sup> Intern. Conf. «Engineering Mechanics 2018»*. – P. 473-476. doi: 10.21495/91-8-473;
10. Mathematical Simulation of Spatial Oscillations of the "Underframe-Track" System Interaction / I. Klimenko, L. Černiauskaite, L. Neduzha, O. Ochkasov // *Proc. of 12<sup>th</sup> Intern. Conf. «Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems – ITELMS'2018»*. – P. 105-114;
11. Proposal of a mechanism for setting bogie wheelsets to radisl position while riding along track curve / Vladimír Hauser, Olena S. Nozhenko, Kateryna O. Kravchenko, Mária Loulová, Juraj Gerlici, Tomáš Lack.. «*Manufacturing Technology*». April 2017, Vol. 17 No 2. p. 186-192;
12. Impact of wheelset steering and wheel profile geometry to the vehicle behavior when passing curved track / Hauser V., Nozhenko O.S., Kravchenko K.O., Loulová M., Gerlici J., Lack T. «*Manufacturing Technology*». June 2017, Vol. 17, No. 3, p. 306-312;
13. ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). [Дійсний від 01.07.2015]. 2015. 162 с;
14. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. ГОСТ 33211-2014. [Действителен от 22.12.2014]. М.:Стандартинформ, 2016. 54 с;

#### Reference

1. Fomin, O.V. (2014), "Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars", *Scientific and technical journal "Metallurgical and Mining Industry"*, No. 5, pp. 31–43;
2. Fomin, O.V. (2015), "Increase of the freight wagons ideality degree and prognostication of their evolution stages", *Scientific Bulletin of National Mining University*, Issue 2, pp. 68–76;
3. Kelrykh M. (2014) Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. *Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry»*. No 6, p.p. 64-67;
4. Fomin, O. V., Lovska, A. O., Plakhtii, O. A., Nerubatskyi, V. P. (2017). The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 6, 89 – 96;
5. Lovska, A. O. (2015). Computer simulation of wagon body bearing structure dynamics during transportation by train ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3, 9 – 14;
6. Fomin, O., Kulbovsky, I., Sorochinska, E., Saponova, S., Bambura, O. (2017). Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (89)), 11–18. doi:<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109588>;
7. Saponova S., Tkachenko V., Fomin O., Gatchenko V., Maliuk S. (2017). Research on the safety factor against derailment of railway vehicles. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 6, 7 (90), 19-25 doi: 10.15587/1729-4061.2017.116194;
8. Gevorkyan E., Lavrynenko S., Rucki M., Siemiatkowski Z., Kislitsa M. (2017). Ceramic cutting tools out of nanostructured refractory compounds. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*. 68. 142–144;
9. Kyryl'chuk O., Kalivoda J., & Neduzha L. (2018). High speed stability of a railway vehicle equipped with independently rotating wheels. *Engineering Mechanics: Proc. of 24<sup>th</sup> Intern. Conf.*, 473-476. doi: 10.21495/91-8-473;
10. Klimenko, I, Kalivoda, J., & Neduzha, L. (2018). Parameter Optimization of the Locomotive Running Gear. *Transport Means: Proc. of 22nd Intern. Scientific Conf.*, 1095-1098;
11. 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;
12. 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, No. 3, p. 306-312;
13. Vagoni vantazhni. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv kolyi 1520 mm (nesamohidnih). (2015). DSTU 7598:2014. 01 iyulya 2015];
14. Vagonyi gruzovyye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam. (2014). GOST 33211–2014. 22 dekabrya 2014]. M: Standartinform.

Обеспечение и поддержание безопасного движения по железным дорогам Украины является одним из важнейших требований к работе железных дорог. Среди аварий и катастроф на железнодорожном транспорте наибольшую опасность представляет схода с рельсов, так как это может привести к тяжелым последствиям и значительным финансовым потерям. Основными причинами лестницы легковесных грузовых вагонов с рельсов связанные с неисправностями подвижного состава, отклонениями от норм содержания пути, неудовлетворительная динамика поезда также с условиями их эксплуатации. Указанные неисправности, в частности, связанные с разрушением элементов ходовой части, непосредственно приводят к лестнице вагонов. В числе причин лестницы колес вагонов с рельсов, связанных с неисправностями ходовой части вагонов, можно назвать следующие: излом боковых рам и надрессорных балок тележек, слом осей и колес, неисправности роликовых подшипников буксового узла, износ элементов фрикционных гасителей колебаний и узла опирания кузова на надрессорные балки, недопустимые отклонения размеров тележек. Также важной причиной является отрицательное уменьшение тары вагона более чем на 10% от установленной заводом изготовителем. Описанные неисправности, в частности, связанные с повреждением ходовой части, непосредственно приводят к лестнице вагонов. Однако, некоторые из них прямо не вызывают восток, но являются причинами развития динамических процессов, которые вызывают повышенное силовое взаимодействие подвижного состава. Среди вагонов, чаще всего сходили пустые вагоны-платформы, вагоны-хoppers для цемента со снятой крышей. По результатам проведенного анализа обстоятельств и причин сходов порожних вагонов установлено, что последствиями лестницы есть серьезные повреждения подвижного состава, железнодорожного пути и других элементов инфраструктуры железной дороги, снижение скорости и нарушение графика движения поездов, вставляет очередь влечет за собой значительные финансовые потери.

**Ключевые слова:** легковесные вагоны, динамика, моделирование, качество движения, испытания, расчеты.

*Ensuring and maintaining safe traffic on the railways of Ukraine is one of the most important requirements for the operation of railways. Among accidents and catastrophes in railway transport, the greatest danger is derailment, since this can lead to serious consequences and significant financial losses. The main reasons for the ladder of lightweight freight cars off the rails are associated with malfunctions of the rolling stock, deviations from the norms of track maintenance, unsatisfactory dynamics of the train also with the conditions of their operation. These malfunctions, in particular those associated with the destruction of the chassis elements, directly lead to the stairs of the cars. Among the reasons for the staircase of the wheels of cars from the rails associated with malfunctions of the running gear of cars, the following can be named: fracture of the side frames and bolster beams of bogies, breakage of axles and wheels, malfunction of the roller bearings of the axle box, wear of the elements of frictional vibration dampers and the unit for supporting the body on the bolster beams, impermissible deviations in the dimensions of the carts. Another important reason is the negative reduction of the car's container by more than 10% from the one set by the manufacturer. The described malfunctions, in particular those related to damage to the undercarriage, directly lead to the stairs of the cars. However, some of them do not directly cause the east, but are the reasons for the development of dynamic processes that cause an increased force interaction of the rolling stock. Among the wagons, empty flat wagons, cement hopper wagons with the roof removed were most common. Based on the results of the analysis of the circumstances and reasons for the derailment of empty cars, it was found that the consequences of the stairs are serious damage to the rolling stock, the railway track and other elements of the railway infrastructure, a decrease in speed and a violation of the train schedule, and a queue entails significant financial losses.*

**Key words:** *lightweight wagon, dynamics, modeling, motion quality, tests, calculations.*

**Фомін О.В.** – д.т.н., проф. кафедри «Вагоны та вагонне господарство» ДУІТ, м. Київ.

**Кара С.В.** – к. т. н., начальник управління інжинірингу філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця».

**Прокопенко П.М.** – аспірант кафедри «Вагоны та вагонне господарство» ДУІТ, м. Київ.

**Горбунов М.І.** – д.т.н., професор, зав. кафедри Залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені В. Даля.

**Фомін В.В.** – к.т.н., начальник виробничого відділу філії «Панютинський вагоноремонтний завод» АТ «Укрзалізниця».