

О.В. Фомін*

Державний університет інфраструктури та технологій
вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна
Телефон: +380 44 5915126, E-mail: fomin1985@ukr.net
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2387-9946>

А.О. Ловська

Український державний університет залізничного транспорту
пл. Фейербаха, 7, м. Харків, 61050, Україна
Телефон: +380 57 7301035, E-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8604-1764>

А.М. Фоміна

Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля
пр. Центральний, 59-а, м. Северодонецьк, 93400, Україна
Телефон: +380 6452 40342, E-mail: anyta220885@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9810-8997>

А.О. Климаш

Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля
пр. Центральний, 59-а, м. Северодонецьк, 93400, Україна
Телефон: +380 6452 40342, E-mail: kland-80@ukr.net
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4055-1195>

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ НЕСУЧОЇ
КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ МОДЕЛІ 13-401 З
КОМПОЗИТНИМИ СТІЙКАМИ ПІД ЧАС РУХУ СТИКОВОЮ
НЕРІВНІСТЮ**

В статті наведені результати досліджень вертикальної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи з композитними стійками для перевезення лісу в хлистах. Визначено основні показники динаміки несучої конструкції вагона-платформи під час руху у порожньому та завантаженому станах стиковою нерівністю з пружно-в'язкими властивостями: прискорення несучої конструкції вагона-платформи в центрі мас, прискорення в зонах спирання несучої конструкції на візки, сили, які виникають у ресорному комплекті, а також коефіцієнт вертикальної динаміки. Дослідження проведені на прикладі вагона-платформи моделі 13-401 побудови Дніпродзержинського вагонобудівного заводу. Враховано, що несуча конструкція вагона-платформи спирається на типові візки моделі 18-100. Розв'язок диференціальних рівнянь руху здійснений в програмному комплексі MathCad. При цьому застосований метод Рунге-Кутта.

© Фомін О.В., Ловська А.О., Фоміна А.М., Климаш А.О., 2022

При визначенні інерційних коефіцієнтів, які входять до системи диференціальних рівнянь, враховані номінальні геометричні параметри несучої конструкції вагона-платформи. Дані коефіцієнти визначалися шляхом побудови просторової моделі несучої конструкції вагона-платформи в програмному комплексі SolidWorks з послідовним застосуванням опцій, які дозволяють їх отримати.

Результати розрахунку показали, що досліджувані показники динаміки вагона-платформи під час руху у порожньому стані знаходяться в межах допустимих. Хід руху вагона-платформи оцінюється як “добрий”. З урахуванням руху вагона-платформи у завантаженому стані досліджувані показники динаміки також знаходяться в межах допустимих, а хід руху вагона є “відмінним”.

Проведені дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо проектування інноваційних конструкцій рухомого складу та підвищенню ефективності його функціонування.

Ключові слова: транспортна механіка, вагон-платформа, несуча конструкція, модернізація конструкції, динаміка.

А. В. Фомин*

Государственный университет инфраструктуры и технологий
ул. Кирилловская, 9, г. Киев, 04071, Украина
Телефон: +380 44 5915126, E-mail: fomin1985@ukr.net
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2387-9946>

А. А. Ловская

Украинский государственный университет железнодорожного транспорта
пл. Фейербаха, 7, м. Харьков, 61050, Украина
Телефон: +380 57 7301035, E-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8604-1764>

А. Н. Фомина

Востокукраинский национальный университет имени Владимира Даля
пр. Центральный 59-а, г. Северодонецк, 93404, Украина
Телефон: +380 6452 40342, E-mail: anyta220885@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9810-8997>

А. А. Климаш

Востокукраинский национальный университет имени Владимира Даля
пр. Центральный 59-а, г. Северодонецк, 93404, Украина
Телефон: +380 6452 40342, E-mail: kland-80@ukr.net
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4055-1195>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЖЕННОСТИ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ВАГОНА-ПЛАТФОРМЫ МОДЕЛИ 13-401 С КОМПОЗИТНЫМИ СТОЙКАМИ ПРИ ДВИЖЕНИИ СТЫКОВОЙ НЕРОВНОСТЬЮ

В статье приведены результаты исследований вертикальной нагруженности несущей конструкции вагона-платформы с композитными стойками для перевозки леса в хлыстах. Определены основные показатели динамики несущей

конструкції вагона-платформи при русненні в порожньому і завантаженому стані стикової нерівності з еластичними властивостями: прискорення несучої конструкції вагона-платформи в центрі мас, прискорення в зонах опору несучої конструкції на тележки, сили, виникаючі в ресорному комплексі, а також коефіцієнт вертикальної динаміки. Дослідження проведені на прикладі вагона-платформи моделі 13-401 побудованого Дніпродзержинського вагонобудівного заводу. Враховано, що несуча конструкція вагона-платформи опирається на типові тележки моделі 18-100. Розв'язання диференціальних рівнянь руснення здійснено в програмному комплексі MathCad. При цьому використано метод Рунге-Кутти.

При визначенні інерційних коефіцієнтів, входять в систему диференціальних рівнянь, враховані номінальні геометричні параметри несучої конструкції вагона-платформи. Дані коефіцієнти визначалися шляхом побудови просторової моделі несучої конструкції вагона-платформи в програмному комплексі SolidWorks з наступним застосуванням опцій, що дозволяють їх отримати.

Результати розрахунку показали, що досліджувані показники динаміки вагона-платформи при русненні в порожньому стані знаходяться в межах допустимих. Шлях руснення вагона-платформи оцінюється як "хороший". З урахуванням руснення вагона-платформи в завантаженому стані досліджувані показники динаміки також знаходяться в межах допустимих, а шлях руснення вагона є "відмінним".

Проведені дослідження будуть сприяти створенню нароботок по проектуванню інноваційних конструкцій подвижного складу і підвищенню ефективності його функціонування.

Ключові слова: транспортна механіка, вагон-платформа, несуча конструкція, модернізація конструкції, динаміка.

Вступ та постановка проблеми. Одним з найголовніших напрямків Національної транспортної стратегії України до 2030 року є забезпечення розвитку та ефективного функціонування рухомого складу. Однак важливо зазначити, що ступінь поповнення вагонного парку за останні роки є досить незначним. Тому для забезпечення своєчасної доставки вантажів можливим є ситуаційна адаптація існуючого парку вагонів до перевезень завданої номенклатури вантажів. Доцільним рішенням є проведення відповідних модернізацій вагонів-платформ, оскільки їх несуча конструкція представлена рамою. Однак модернізація їх конструкцій сприяє збільшенню піддресореної маси. Така обставина впливає на погіршення показників динаміки вагона у складі поїзда. Тому важливим є проведення досліджень щодо можливості ситуаційної адаптації вагонів з урахуванням мінімізації піддресореної маси шляхом використання прогресивних матеріалів зі зменшеною у порівнянні зі сталлю масою.

Аналіз існуючих досліджень. Розрахунок на міцність несучої конструкції вагона-платформи проводиться у роботі [1]. До уваги прийнято два варіанти завантаження вагона-платформи, при яких отримано найбільші згинальні моменти у несучій конструкції. Визначення максимальних еквівалентних напружень у основних несучих елементах рами здійснено за методом скінчених елементів.

Питання щодо можливості застосування методів теоретичних і експериментальних досліджень міцності основних несучих елементів конструкцій довгобазних вагонів-платформ розглянуті у публікації [2]. В роботі висвітлено

результати розрахунку складових елементів конструкції на втому з використанням обчислювального комплексу, що реалізує метод скінченних елементів стандарту IBM-PC.

Разом з цим питання ситуаційної адаптації несучих конструкцій вагонів-платформ для підвищення ефективності їх експлуатації в даних роботах не висвітлюються.

Особливості проведення ходових міцнісних та динамічних випробувань вагона-платформи наведені у роботі [3]. Враховано, що вагон-платформа завантажений 20-ти та 40-футовими контейнерами. Визначені основні показники динаміки вагона-платформи.

Конструкційні особливості інноваційного вагона для інтермодальних перевезень з адаптованою завантажувальною платформою розглянуто у роботі [4]. Також авторами наведені результати розрахунків на міцність несучої конструкції вагона-платформи.

Важливо сказати, що в даних роботах не зазначено можливостей адаптації запропонованих конструкцій вагонів-платформ до перевезень завданої номенклатури вантажів в залежності від ринкового попиту.

В публікації [5] розглянуто питання модернізації універсальних вантажних вагонів. Наведені результати розрахунку міцності несучої конструкції вагона-платформ на підставі комплексу розрахункових і експериментальних досліджень.

Питання підвищення ефективності експлуатації вагонів-платформ в міжнародному сполученні висвітлені у публікації [6]. Проведено розрахунок динамічної навантаженості та міцності несучої конструкції вагона-платформи з урахуванням запропонованої модернізації.

Разом з цим запропоновані модернізації не дозволяють здійснювати перевезення довгомірних вантажів на вагонах-платформах.

В роботі [7] запропоновано модернізацію вагона-платформи шляхом постановки спеціальних надбудов на її несучу конструкцію. Це сприяє можливості перевезень на ній контейнерів, а також інших вантажів. Модернізована конструкція вагона-платформи розрахована на динамічну навантаженість, а також міцність. Однак при модернізації даної конструкції вагона-платформи не розглянуто можливість використання у якості її складових перспективних матеріалів для зменшення тари.

Мета. Метою статті є дослідження вертикальної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи моделі 13-401 з композитними стійками для перевезення лісу в хлистах під час руху стиковою нерівністю. Для досягнення зазначеної мети поставлені такі завдання:

- провести визначення основних показників динаміки модернізованої конструкції вагона-платформи під час руху у порожньому стані стиковою нерівністю;
- провести визначення основних показників динаміки модернізованої конструкції вагона-платформи під час руху у завантаженому стані стиковою нерівністю.

Матеріали та результати досліджень. З метою ситуаційної адаптації універсальних конструкцій вагонів-платформ до перевезень лісу у хлистах пропонується їх модернізація, яка полягає у монтажі вертикальних стійок на основні повздовжні балки рами (рис. 1). Особливістю стійок є те, що вони виготовлені з композитного матеріалу та встановлені у металеві стакани, що розміщені на поворотних секторах. Дані сектори мають можливість обертатися відносно вертикальної осі для зручності завантаження вагона-платформи. З урахуванням запропонованої модернізації маса несучої конструкції вагона-платформи збільшується на 6,5% у порівнянні з прото-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

типом. Однак при цьому стає можливим зменшити тару модернізованої конструкції вагона-платформи на 4,6% у порівнянні з використанням сталевих стійок.

Дослідження проведені на прикладі несучої конструкції вагона-платформи моделі 13-401 побудови Дніпродзержинського вагонобудівного заводу. Основні технічні характеристики вагона-платформи наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. – Основні технічні характеристики вагона-платформи моделі 13-401

Тип вагона	Розмірність	Значення
Вантажопідйомність	т	70,0
Тара вагона	т	20,92
Швидкість конструкційна	км/год	120
Габарит	–	0 – ВМ (01 – Т)
База вагона	мм	9720
Довжина за осями зчеплення автозчепів	мм	14620
Висота від рівня верха головки рейки до рівня підлоги (максимальна)	мм	1310
Довжина кузова всередині	мм	13300
Ширина кузова всередині	мм	2770

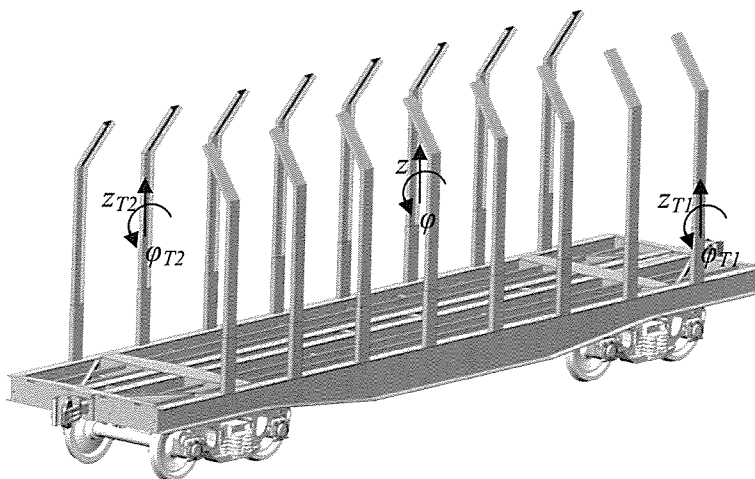


Рис. 1. Просторова модель модернізованого вагона-платформи

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Для визначення основних показників динаміки несучої конструкції вагона-платформи з композитними стійками для перевезення лісу в хлестах проведено математичне моделювання. При цьому до уваги прийнято коливання підскакування та галопування. На першопочатковому етапі дослідження розглянуто рух вагона-платформи у порожньому стані стиковою нерівністю [8, 9]. Враховано, що колія має пружно-в'язкі властивості.

Вагон-платформа розглянутий як система з трьох твердих тіл: рами та двох візків моделі 18-100 з ресорними комплектами, які мають жорсткість і коефіцієнт відносного тертя (рис. 2).

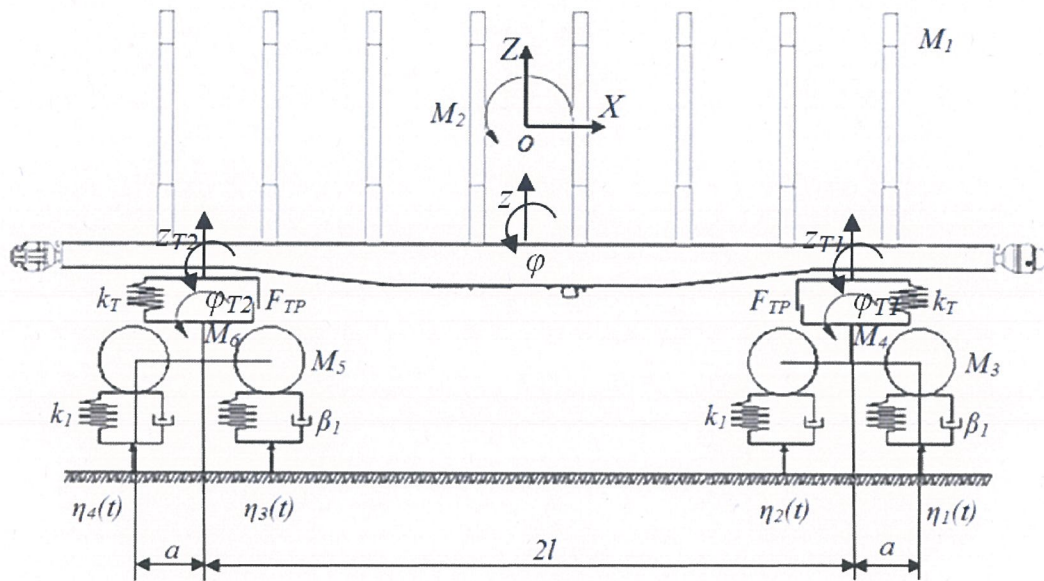


Рис. 2. Розрахункова схема вагона-платформи

Прийнято припущення, що на систему накладені такі зв'язки:

- колісні пари рухаються без проковзування;
- через відсутність пружних елементів в буксовому підвішуванні підстрибування візків визначаються підстрибуванням колісних пар.

Рівняння руху розрахункової моделі мають вигляд [8]:

$$M_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2} z + C_{1,1} \cdot \dot{z} + C_{1,3} \cdot \dot{z}_{T_1} + C_{1,5} \cdot \dot{z}_{T_2} = -F_{TP} \cdot \Delta, \quad (1)$$

$$M_2 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \varphi + C_{2,2} \cdot \dot{\varphi} + C_{2,3} \cdot \dot{\varphi}_{T_1} + C_{2,5} \cdot \dot{\varphi}_{T_2} = F_{TP} \cdot l \cdot \Delta, \quad (2)$$

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$$\begin{aligned}
 M_3 \cdot \frac{d^2}{dt^2} z_{T_1} + C_{3,1} \cdot z + C_{3,2} \cdot \varphi + C_{3,3} \cdot z_{T_1} + B_{3,3} \cdot \frac{d}{dt} z_{T_1} = \\
 = F_{TP} \cdot \Delta_1 + k_1 (\eta_1 + \eta_2) + \beta_1 \left(\frac{d}{dt} \eta_1 + \frac{d}{dt} \eta_2 \right),
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$M_4 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \varphi_{T_1} + C_{4,4} \cdot \varphi_{T_1} + B_{4,4} \cdot \frac{d}{dt} \varphi_{T_1} = -k_1 (\eta_1 - \eta_2) - \beta_1 \cdot a \cdot \left(\frac{d}{dt} \eta_1 - \frac{d}{dt} \eta_2 \right), \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
 M_5 \cdot \frac{d^2}{dt^2} z_{T_2} + C_{5,1} \cdot z + C_{5,2} \cdot \varphi + C_{5,5} \cdot z_{T_2} + B_{5,5} \cdot \frac{d}{dt} z_{T_2} = \\
 = F_{TP} \cdot \Delta_2 + k_1 (\eta_3 + \eta_4) + \beta_1 \left(\frac{d}{dt} \eta_3 + \frac{d}{dt} \eta_4 \right),
 \end{aligned} \tag{5}$$

$$M_6 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \varphi_{T_2} + C_{6,6} \cdot \varphi_{T_2} + B_{6,6} \cdot \frac{d}{dt} \varphi_{T_2} = -k_1 \cdot a \cdot (\eta_3 - \eta_4) - \beta_1 \cdot a \cdot \left(\frac{d}{dt} \eta_3 - \frac{d}{dt} \eta_4 \right), \tag{6}$$

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = \left(\text{sign} \left(\frac{d}{dt} \delta_1 \right) + \text{sign} \left(\frac{d}{dt} \delta_2 \right) \right), \tag{7}$$

де M_1, M_2 – відповідно маса та момент інерції несучої конструкції вагона-платформи при коливаннях підскакування та галопування;

M_3, M_4 – відповідно маса та момент інерції першого за ходом руху візка при коливаннях підскакування та галопування;

M_5, M_6 – відповідно маса та момент інерції другого за ходом руху візка при коливаннях підскакування та галопування;

C_{ij} – характеристика пружності елементів коливальної системи;

B_{ij} – функція розсіювання;

a – половина бази візка;

z, φ – узагальнені координати, що відповідають поступальному переміщенню відносно вертикальної осі та кутовому переміщенню навколо вертикальної осі несучої конструкції вагона-платформи;

z_{T_1}, φ_{T_1} – узагальнені координати, що відповідають поступальному переміщенню відносно вертикальної осі та кутовому переміщенню навколо вертикальної осі першого за ходом руху візка;

z_{T_2}, φ_{T_2} – узагальнені координати, що відповідають поступальному переміщенню відносно вертикальної осі та кутовому переміщенню навколо вертикальної осі другого за ходом руху візка;

k_i – жорсткість ресорного підвішування;

β_i – коефіцієнт демпфірування;

F_{TP} – сила абсолютного тертя у ресорному комплекті;

η_i – нерівність колії;

δ_i – деформації пружних елементів ресорного підвішування.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Під час визначення інерційних коефіцієнтів, які входять до системи диференціальних рівнянь, враховані номінальні геометричні параметри несучої конструкції вагона-платформи. Дані коефіцієнти визначалися шляхом побудови просторової моделі несучої конструкції вагона-платформи в програмному комплексі SolidWorks з послідовним застосуванням опцій, які дозволяють їх отримати.

Прийнято, що амплітуда стикової нерівності дорівнює 0,01 м, довжина – 3 м, а відстань між нерівностями – 25 м. Значення коефіцієнтів відносного тертя прийнято рівним 0,1.

При проведенні розрахунків значення жорсткості колії прийнято рівним 100000 кН/м, а коефіцієнт демпфірування – 200 кН·с/м. Розрахунок динамічних показників вагона-платформи здійснено для швидкості руху 27,8 м/с.

Транспортне запізнення визначалося відстанню між колісними парами та швидкістю руху вагона. Тож для першої колісної пари воно дорівнює 0, другої – 0,067 с, третьої – 0,31 с, четвертої – 0,38 с.

Розв'язок диференціальних рівнянь (1)–(7) здійснений в програмному комплексі MathCad з урахуванням таких початкових умов: початкове переміщення несучої конструкції вагона-платформи дорівнює 0,004 м, а візків – 0,003 м. Початкова швидкість прийнята рівною 0. При цьому застосований метод Рунге-Кутта [10–12].

На рисунках 3–6 наведено основні показники динаміки вагона-платформи під час руху в порожньому стані. Графічна залежність, зображена на рис. 3, визначена шляхом подвійного диференціювання переміщення з несучої конструкції вагона-платформи.

Прискорення несучої конструкції вагона-платформи в зонах спирання на візки визначалося: $ddz - ldd\varphi$.

Для визначення сил в ресорному підвішуванні вагона-платформи використано залежність: $k_T(z - l\varphi - z_{Tl}) + F_{TP} \text{sign}(dz - l\cdot d\varphi - dz_{Tl})$.

Коефіцієнт динаміки розраховано як відношення сили в ресорному підвішуванні до статичного навантаження на візок.

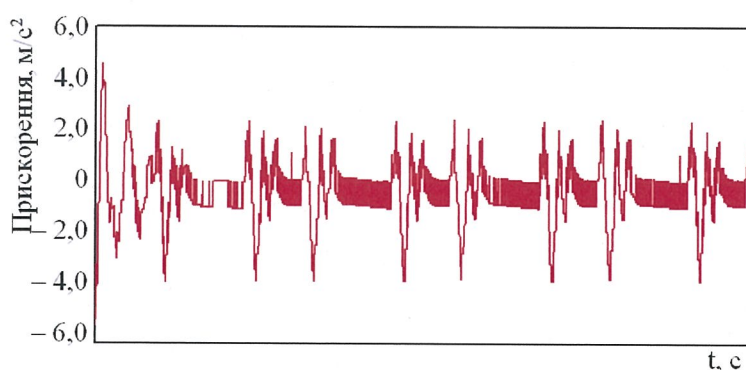


Рис. 3. Прискорення несучої конструкції вагона-платформи в центрі мас під час руху у порожньому стані

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



Рис. 4. Прискорення несучої конструкції вагона-платформи в зонах спирання на візки під час руху у порожньому стані

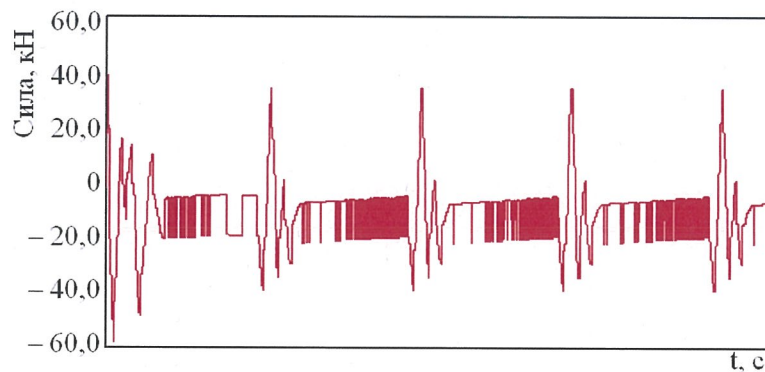


Рис. 5. Сили, що виникають в ресорному підвішванні вагона-платформи під час руху у порожньому стані

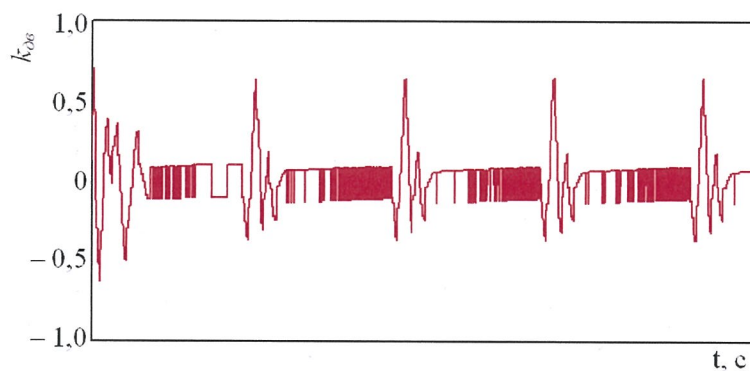


Рис. 6. Коефіцієнт динаміки обресореної конструкції вагона-платформи під час руху у порожньому стані

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Максимальне прискорення, яке діє на несучу конструкцію вагона-платформи в центрі мас дорівнює близько 0,54g (рис. 3), що відповідає “доброму” ходу вагона під час його руху у порожньому стані. В зонах спирання несучої конструкції вагона-платформи на візки прискорення склало близько 0,65g (рис. 4). Максимальна величина сили, що виникає в ресорному підвішуванні вагона-платформи дорівнює майже 60 кН (рис. 5). При цьому коефіцієнт динаміки склав близько 0,6 (рис. 6).

Аналізуючи графічні залежності, наведені на рисунках 3–6 можна зробити висновок, що всі розглянуті показники динаміки знаходяться в межах допустимих [13, 14], (рис. 7).

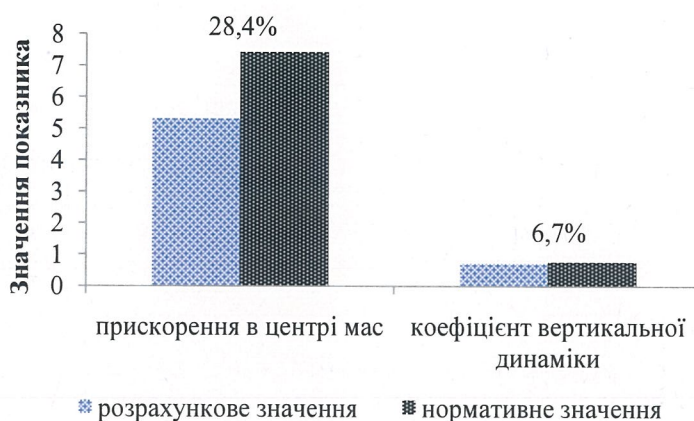


Рис. 7. Порівняльний аналіз показників динаміки вагона-платформи

На наступному етапі проведено визначення показників динаміки вагона-платформи за умови руху у завантаженому стані. Враховано, що використовується повна вантажопідйомність вагона-платформи. Результати розрахунку зведені до таблиці 2.

Таблиця 2. – Основні показники динаміки вагона-платформи під час руху у завантаженому стані

Назва показника	Чисельне значення
Прискорення несучої конструкції вагона-платформи в центрі мас, m/s^2	1,7
Прискорення несучої конструкції вагона-платформи в зонах спирання на візки, m/s^2	1,9
Сили, що виникають в ресорному підвішуванні, кН	80,2
Коефіцієнт динаміки обресореної конструкції вагона-платформи	0,2

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

З урахуванням даних, наведених у таблиці 2, можна зробити висновок, що показники динаміки вагона-платформи під час руху у завантаженому стані знаходяться в межах допустимих (рис. 8). Хід руху вагона оцінюється як “відмінний”.

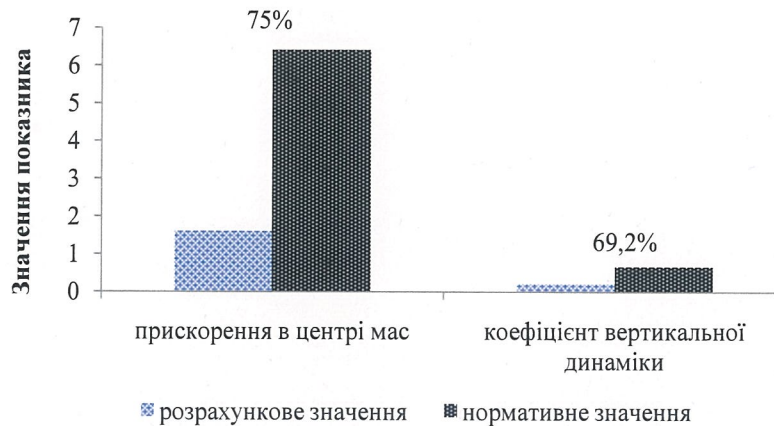


Рис. 8. Порівняльний аналіз показників динаміки вагона-платформи

Проведені дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо проектування інноваційних конструкцій рухомого складу та підвищенню ефективності його функціонування.

Висновки.

1. Проведено визначення основних показників динаміки модернізованої конструкції вагона-платформи під час руху у порожньому стані стиковою нерівністю. Встановлено, що всі розглянуті показники динаміки знаходяться в межах допустимих. Максимальні прискорення, які виникають в центрі мас несучої конструкції вагона-платформи склали $5,3 \text{ м/с}^2$ ($0,54g$), а коефіцієнт динаміки – $0,6$. Отже хід руху вагона оцінюється як “добрий”.

2. Проведено визначення основних показників динаміки модернізованої конструкції вагона-платформи під час руху у завантаженому стані стиковою нерівністю. Результати розрахунків показали, що досліджувані показники динаміки знаходяться в межах допустимих. Максимальні прискорення, які виникають в центрі мас несучої конструкції вагона-платформи склали $1,7 \text{ м/с}^2$ ($0,17g$), а коефіцієнт динаміки – $0,2$. Отже хід руху вагона оцінюється як “відмінний”.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кельріх М. Б., Федосов-Ніконов Д. В. Дослідження на міцність конструкції довгобазної платформи. Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля. 2016. № 1 (225). С. 90 – 94.
2. Донченко А. В., Федосов-Ніконов Д. В. Методика розрахунково-експериментальних досліджень конструкції довгобазної платформи. Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: Транспортні системи і технології. 2016. Вип. 28. С. 53 – 60.
3. Челурной А. Д., Литвиненко А. В., Шейченко Р. И., Граборов Р. В., Чубань М. А. Ходовые прочностные и динамические испытания вагона-платформы. Вісник НТУ “ХП”. 2015. Вип. 31 (1140). С. 111 – 128.

4. Štastniak P., Kurčík P., Pavlík A. Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform. MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 235(2): 00030.
5. Reidemeister O.H., Kalashnyk V.O., Shygunov O.A. Modernization as a way to improve the use of universal cars. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2016. № 2 (62). С. 148 – 156.
6. Panchenko S., Fomin O., Vatulina G., Ustenko O., Lovska A. Determining the load on the long-based structure of the platform car with elastic elements in longitudinal beams. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. №1/7 (109). P. 6 – 13. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224638>
7. Lovska A., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry. Applied Sciences. 2020. №10. 5710. doi:10.3390/app10165710
8. Дьомін Ю. В., Черняк Г. Ю. Основи динаміки вагонів: навч. посіб. Київ: КУЕТТ, 2003. 269 с.
9. Fomin O., Lovska A. Establishing patterns in determining the dynamics and strength of a covered freight car, which exhausted its resource. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 6. Issue 7 (108). P. 21 – 29. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217162>
10. Fomin O., Gerlici J., Gorbunov M., Vatulina G., Lovska A., Kravchenko K. Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam. Materials. 2021. Vol. 14 (12). 3420. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
11. Fomin O., Gorbunov M., Lovska A., Gerlici J., Kravchenko K. Dynamics and strength of circular tube open wagons with aluminum foam filled center sills. Materials. 2021. Vol. 14(8). 1915. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14081915>
12. Fomin O., Lovska A. Determination of dynamic loading of bearing structures of freight wagons with actual dimensions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. №2/7 (110). P. 6 – 15. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.220534>
13. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 162 с.
14. ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. Москва, 2016. 54 с.

O.V. Fomin

State University of Infrastructure and Technologies
Kyrylivska str., 9, Kyiv, 04071, Ukraine
Tel.: +380 44 5915126, E-mail: fomin1985@ukr.net
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2387-9946>

A.O. Lovska

Ukrainian State University of Railway Transport
Feuerbakh sq., 7, Kharkiv, 61050, Ukraine
Tel.: +380 57 7301035, E-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8604-1764>

A.M. Fomina

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University.
Tsentralniy ave. 59-A, Severodonetsk, 93404, Ukraine,
Tel.: +380 6452 40342, E-mail: anyta220885@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9810-8997>

A.O. Klymash

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University.
Tsentralniy ave. 59-A, Severodonetsk, 93404, Ukraine,
Tel.: +380 6452 40342, E-mail: E-mail: kland-80@ukr.net
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4055-1195>

STUDY OF THE VERTICAL LOADING OF THE BEARING STRUCTURE OF A PLATFORM CAR MODEL 13-401 WITH COMPOSITE RACKS WHEN MOVING BY A JOINT ROUGHNESS

The article contains the results of vertical load-car load-carrying structure examination with composite struts for timber transportation in solid wood. The main indices of load-bearing structure dynamics of flat wagon at empty empty load with structural nerves with string-composite properties are determined: acceleration of the load-bearing structure of the flat car in the center of masses, acceleration in the areas of spinning of the load-bearing structure on the ties, the forces that occur in the reshoring set, as well as the coefficient of vertical dynamism. Investigations were carried out on the application of the flatcar model 13-401 by Dniprodzerzhynskiy Carriage Works. It is taken into account that the load-bearing structure of the flat car is based on the type of bogies of model 18-100.

Differential equations of motion were developed in MathCad. The Runge-Kutta method was used. When determining the inertial coefficients, which are included in the system of differential equations, the nominal geometrical parameters of the load-bearing structure of the flatcar were taken into account. These values were determined by creating a simple model of the load-bearing structure of the flat car in the SolidWorks software with the subsequent use of options, which allow to obtain them.

The results of the calculation showed that the investigated parameters of the platform-car dynamics in empty running are within the permissible limits. The running behavior of the flat car is estimated as "good". Taking into account the flat car running in the loaded condition the investigated indices of dynamics are also within the permissible limits, and the running behavior of the car is "excellent".

The conducted research will contribute to the creation of guidelines for designing innovative structures of the rolling stock and increasing the efficiency of its functioning.

Key words: transport mechanics, flatcar, load-bearing structure, design modernization, dynamics.

REFERENCES

1. Kelrih, M.B., Fedosov-Nikonov, D.V. (2016). Doslidzhennia na mitsnist konstrukcii dovhobaznoi platformy. [Research on the strength of the long-base platform structure]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho Nacionalnoho universitetu imeni Volodimira Dalya - Bulletin of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 1 (225), pp. 90 – 94 [in Ukrainian]
2. Donchenko, A.V., Fedosov-Nikonov, D.V. (2016). Metodika rozrahunkovo-eksperimental'nih doslidzen' konstrukcii dovhobaznoi platformi [Methods of computational and experimental studies of the design of long-base platform]. *Zbirnik naukovih prats Derzhavnoho ekonomiko-tehnologichnoho universitetu transportu. Seriya: Transportni sistemi i tekhnologii - Collection of scientific works of the State Economic and Technological University of Transport. Series: Transport systems and technologies*, 28, pp. 53 – 60 [in Ukrainian]
3. Chepurnoj, A.D., Litvinenko, A.V., Shejchenko, R.I., Graborov, R.V., Chuban', M. A. (2015). Hodovye prochnostnye i dinamicheskie ispytaniya vagona-platformy [Running strength and dynamic tests of the platform car]. *Visnyk NTU "HPI" - Bulletin of NTU "KhPI"*, 31 (1140), pp. 111 – 128.
4. Štastniak, P., Kurčik, P., Pavlík, A. (2018). Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform. *MATEC Web of Conferences*, 235(2): 00030.
5. Reidemeister O.H., Kalashnyk V.O., Shykunov O.A. (2016). Modernization as a way to improve the use of universal cars. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zaliznynogo transportu*, 2 (62), pp. 148 – 156.

6. Panchenko, S., Fomin, O., Vatulia, G., Ustenko, O., Lovska, A. (2021). Determining the load on the long-based structure of the platform car with elastic elements in longitudinal beams. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/7 (10), pp. 6 – 13. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224638>
7. Lovska, A., Fomin, O., Pištěk, V., Kučera, P. (2020). Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry. *Applied Sciences*, 10, 5710. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10165710>
8. Domin, Yu.V., Cherniak, H.Yu. (2003). *Osnovy dynamiky vahoniv* [Fundamentals of car dynamics: textbook]. Kyiv: KUETT, 269.
9. Fomin, O., Lovska, A. (2020). Establishing patterns in determining the dynamics and strength of a covered freight car, which exhausted its resource. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6, 7 (108), 21 – 29. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217162>
10. Fomin, O., Gerlici, J., Gorbunov, M., Vatulia, G., Lovska, A., Kravchenko, K. (2021). Research into the Strength of an OpenWagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam. *Materials*, 14 (12), 3420. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
11. Fomin, O., Gorbunov, M., Lovska, A., Gerlici, J., Kravchenko, K. (2021). Dynamics and strength of circular tube open wagons with aluminum foam filled center sills. *Materials*, 14(8), 1915. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14081915>
12. Fomin, O., Lovska, A. (2021). Determination of dynamic loading of bearing structures of freight wagons with actual dimensions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/7 (110), pp. 6 – 15. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.220534>
13. DSTU 7598:2014. Freight Wagons. General requirements to calculation and designing of the new and modernized 1520 mm gauge wagons (non-self-propelled) (2015). Kyiv, 162.
14. GOST 33211-2014. Freight wagons. Requirements to structural strength and dynamic qualities. Moscow, 54.