

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК [629.463.62:656.073.235]-047.58

А. О. ЛОВСЬКА<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Вагони», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 35, ел. пошта alyonalovskaya.vagons@gmail.com, ORCID 0000-0002-8604-1764

### УДОСКОНАЛЕННЯ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

**Мета.** Дане дослідження спрямоване на удосконалення несучої конструкції вагона-платформи для підвищення ефективності контейнерних перевезень. **Методика.** Для досягнення зазначеної мети проведені дослідження міцності універсального вагона-платформи моделі 13-401, визначені резерви міцності несучих елементів його конструкції та запропоновані більш оптимальні, з точки зору мінімальної матеріалоемності, профілі виконання основних поздовжніх балок рами. Правильність прийнятих рішень підтверджено розрахунками несучої конструкції вагона-платформи на міцність (при основних експлуатаційних режимах навантаження) та втому – з урахуванням бази випробувань  $10^7$  циклів. Для можливості закріплення контейнерів на рамі вагона-платформи пропонується оснащення його відкидними фітинговими упорами, що дозволить здійснювати перевезення 20-ти та 40-футових контейнерів. З метою підвищення ефективності контейнерних перевезень у напрямку міжнародних транспортних коридорів, які проходять через територію України, на базі удосконаленої конструкції вагона-платформи розроблено вагон-платформу зчленованого типу. Проведене математичне моделювання динамічної навантаженості вагона-платформи з контейнерами, розміщеними на ньому (два контейнери типорозміру 1СС) при експлуатаційних режимах навантаження. Визначено максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію, та враховано їх чисельні значення при комп'ютерному моделюванні міцності вагона-платформи зчленованого типу. **Результати.** Розроблено несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу на базі універсального вагона-платформи. Отримано уточнені величини динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами, розміщеними на ньому при експлуатаційних режимах навантаження, та визначено максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції вагона-платформи. **Наукова новизна.** Запропоновано математичну модель переміщень вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами, розміщеними на ньому при експлуатаційних режимах навантаження. Розроблено модель міцності несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу, створеного на базі універсального вагона-платформи. **Практична значимість.** Результати проведених досліджень можуть використовуватися при проектуванні вагонів-платформ зчленованого типу для забезпечення їх міцності при комбінованих перевезеннях.

*Ключові слова:* вагон-платформа зчленованого типу; несуча конструкція; оптимізація; динаміка; міцність; моделювання; навантаженість конструкції; комбіновані перевезення

#### Вступ

Прискорені темпи інтеграції України в систему міжнародних транспортних коридорів викликають необхідність створення та введення в експлуатацію комбінованих транспортних систем.

Одними з найбільш перспективних на сьогодні є контейнерні перевезення, що зумовлено мобільністю контейнера, як транспортного засобу. Перевезення контейнерів залізницею здійснюється здебільшого на вагонах-платформах.

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Для забезпечення ефективності перевізного процесу необхідними є розробка та впровадження у експлуатацію вагонів-платформ нового покоління з покращеними техніко-економічними показниками. Це зумовило створення та введення в експлуатацію вагонів-платформ зчленованого типу, які вже не перший рік успішно експлуатуються на залізницях України.

Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 1390-2009-п від 16.12.2009 «Про затвердження Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010–2019 роки», метою якої є розвиток конкурентного середовища на ринку залізничних послуг, підвищення ефективності його функціонування, а також задоволення потреб національної економіки та населення в перевезеннях, необхідним є створення рухомого складу нового покоління з підвищеними техніко-економічними показниками, а також комбінованих систем транспорту, що забезпечить підвищення об'ємів перевезень вантажів через міжнародні транспортні коридори.

Недостатній рівень поповнення вагонного парку Укрзалізниці за останні роки зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію нових технічних рішень щодо удосконалення несучих конструкцій кузовів вагонів для здійснення потреб у перевезеннях завданої номенклатури вантажів.

Питання проектування рухомого складу для перевезення великовагових вантажів розглянуті у [23]. Дослідження динаміки та міцності здійснено за допомогою сучасних засобів програмного забезпечення ProMechanica та CosmosWorks. При проектуванні несучої конструкції транспортеру виконано дослідження щодо можливості його виконання з різнотипних матеріалів.

Конструкційні особливості вагона для інтермодальних перевезень розглянуті у [24]. Вагон має понижену середню частину, а наявність обертної частини дає можливість здійснювати завантаження/вивантаження автотехніки на/з нього самокатом.

Питання удосконалення комбінованих перевезень, зокрема контейнерних, розглянуті у [16], де виконано аналіз особливостей кріплення контейнерів на вагонах-платформах. З метою підвищення техніко-економічних показників вагонів при перевезенні контейнерів різно-

го типорозміру обґрунтовано удосконалення конструкцій довгобазних вагонів-платформ та вагонів-платформ зчленованого типу для цих перевезень.

Порівняльний аналіз витрат на повний життєвий цикл 80-футового вагона-платформи та вагона-платформи зчленованого типу наведений у [5]. Виконані дослідження дозволили обґрунтувати доцільність використання вагонів-платформ зчленованого типу в експлуатації.

Дослідження навантаженості та довговічності залізничних екіпажів методами динаміки систем тіл виконується у [25]. Розглянута методика використана при дослідженні динамічної навантаженості та втомної довговічності рами довгобазного вагона-платформи для перевезення контейнерів.

Аналіз конструкції вагона-платформи нового покоління наведений у [30]. Особливістю вагона-платформи є можливість регулювання корисної довжини залежно від габаритів вантажу, який перевозять.

Важливо зазначити, що у розглянутих працях не приділяється уваги дослідженню динамічної навантаженості вагонів при експлуатаційних режимах.

Дослідження міцності вагона-платформи при статичній та динамічній навантаженості його конструкції наведені у [29], при цьому використані експериментальні методи, зокрема – електричного тензометрування.

Дослідження динаміки вагона-платформи з використанням методів мультитіла наведені у [27]. Розрахунок виконаний стосовно вагона-платформи з обертовою середньою частиною в середовищі програмного забезпечення MSC Adams. Рівняння руху вагона-платформи сформульовані в абсолютних координатах з використанням методу Лагранжа I роду.

Дослідження динаміки залізничного вагона з відкритою завантажувальною платформою наведені в [28]. Розрахунок виконаний у середовищі програмного забезпечення MSC Adams. При цьому дослідження стійкості проти перекидання вагона здійснювалося при його вписуванні у криву радіусом 250 м з урахуванням різної швидкості руху.

Питання моделювання міцності несучої конструкції вагона-платформи в зазначених роботах не розглянуті.

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Особливості дослідження динамічних якостей зчленованого вагона-платформи на математичних моделях розглядаються у [21]. В статті наведені оцінка власних форм коливань та стійкості незбуреного руху, дослідження динамічних якостей на нелінійній моделі зчленованого вагона-платформи. При цьому дослідженню динамічних особливостей вагона-платформи при I розрахунковому режимі, як випадку найбільшої навантаженості конструкції в експлуатації, уваги не приділяється.

Поліпшення технічних характеристик секційного вагона-платформи шляхом удосконалення його конструкції наведені у [7]. В роботі наводяться математичні моделі, які дозволяють визначити динамічні і міцнісні характеристики вагона-платформи зчленованого типу. Отримані теоретичні розрахунки підтверджені шляхом експериментальних досліджень міцності вагона-платформи.

При цьому в роботі не виконується дослідження прискорень, як складової динамічного навантаження вагона-платформи при дії повздовжніх сил на його несучу конструкцію в умовах експлуатаційних навантажень.

Дослідження просторових коливань вагона-платформи з довгомірним вантажем при русі по залізничній колії зі стиковими та гармонійними нерівностями у горизонтальній та вертикальній площинах наведені у [2]. Опис коливань механічної системи здійснений шляхом складання системи з двадцяти диференціальних рівнянь.

Особливості динаміки вагона-платформи з несиметрично-розміщеним вантажем відносно рами розглянуті у [8]. Механічна система, що здійснює коливальний процес, включає 12 твердих тіл. Розв'язання системи диференціальних рівнянь здійснено за допомогою методу Адамса-Башфорта.

У розглянутих роботах не приділяється увага дослідженню динаміки вагона-платформи, завантаженої контейнерами.

Дослідження просторових коливань вагона-платформи наводяться у [12]. Вагон-платформа разом з контейнерами розглядався як пружна балка з дискретно розміщеними зосередженими масами, що опирається на візки. При цьому виконувалася оцінка впливу на ходові якості екіпажа ваги контейнерів, що розміщені на вагоні-платформі.

Важливо зазначити, що питання удосконалення несучої конструкції вагона-платформи з метою підвищення ефективності контейнерних перевезень у статті не розглядаються.

Визначення динамічних характеристик комбінованих поїздів виконується у [9]. При цьому увагу зосереджено на дослідженні коливань вагонів-цистерн, що експлуатуються в напрямку «Схід-Захід». В роботі виконується математичне моделювання руху неоднорідного поїзда при різних експлуатаційних режимах.

Дослідженню динаміки вагонів-платформ, як одного з найбільш поширених типів вагонів при комбінованих перевезеннях, в роботі уваги не приділяється.

Дослідження щодо доцільності застосування круглих труб як елементів несучих систем залізничних вагонів-платформ наведені у [22]. На підставі виконаних теоретичних досліджень напружено-деформованого стану несучої конструкції вагона-платформи моделі 13-401 визначені резерви міцності його складових та запропоновано використання як несучих елементів рами труб круглого перерізу [19]. Дослідження динаміки удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи в роботі не виконується.

Дослідження динамічної навантаженості вагона-платформи при маневровому співударянні наведені у [15]. Отримано величини прискорень, які діють на вагон-платформу та контейнери при відсутності переміщень фітингові відносно фітингових упорів, а також при їх можливих переміщеннях.

Обґрунтування доцільності експлуатації вагонів-платформ для перевезення контейнерів, у тому числі контейнерів-цистерн, побудови заводу «Трансмаш» (Росія) зазначене у [26]. Конструкція вагона-платформи має вантажопідйомність 73 тонни та може здійснювати перевезення контейнерів типорозміру 1СС, 1С, а також 1СХ.

Дослідження міцності несучої конструкції вагона-платформи в зазначених роботах не виконується.

Питання щодо удосконалення несучої конструкції вагона-платформи з метою забезпечення надійності закріплення відносно палуби залізничного порому розглядаються у [6]. Конструкційні особливості несучої конструкції вагона-платформи дозволяють забезпечити стійкість ко-

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

нтейнерів при перевезенні на залізничних поромках з урахуванням великих кутів крену.

Особливості розробки швидкісного зчленованого вагона-платформи для перевезення контейнерів наведені у [14]. Прийняті технічні рішення при проектуванні вагона-платформи дозволяють здійснювати одночасне перевезення на ньому двох 40- або 45-футових контейнерів чи чотирьох 20-футових.

Моделювання міцності рами вагона-платформи з урахуванням розміщення на ній автомобільного напівпричепу виконується у [3]. У роботі запропоновано розрахункову схему, яка дозволяє отримати уточнені значення напружень у несучій конструкції вагона-платформи.

В розглянутих роботах не приділяється уваги дослідженню динаміки вагона-платформи при експлуатації відносно рейкових колій.

### Мета

Метою досліджень, які наведені в статті, є удосконалення несучої конструкції вагона-платформи з метою підвищення ефективності контейнерних перевезень. Для досягнення поставленої мети визначені такі завдання:

1. Виконати дослідження міцності вагона-платформи моделі 13-401 при експлуатаційних режимах навантаження та оптимізувати елементи його несучої конструкції з метою зменшення матеріалоємності.

2. Дослідити динамічні особливості вагона-платформи зчленованого типу при експлуатаційних режимах навантаження.

3. Виконати дослідження міцності удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу.

### Методика

Для підвищення ефективності контейнерних перевезень залізничним транспортом знайшли використання вагони-платформи зчленованого типу, які дозволяють збільшити корисне завантаження вагона контейнерами. В Україні відомий досвід розробки та успішної експлуатації таких вагонів, але їх виробництво вимагає значних капітальних вкладень. Тому пропонується створення конструкції зчленованого вагона-платформи на базі універсального.

З метою створення вагона-платформи зчленованого типу для перевезення контейнерів як прототип обраний вагон-платформа моделі 13-401, виробництва Дніпродзержинського вагонобудівного заводу (рис. 1).

Для визначення резервів міцності основних несучих елементів рами вагона-платформи виконаний розрахунок з використанням методу скінченних елементів в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks [1, 20], побудова просторової моделі здійснена в SolidWorks (версія 2015). При цьому враховано, що вагон-платформа завантажений двома контейнерами типорозміру ІСС.

Результати розрахунків дозволили отримати величини максимальних еквівалентних напружень (табл. 1) та визначити оптимальний з точки зору мінімальної матеріалоємності профіль по вздовжньої балки рами – двотавр № 27а. Несуча конструкція вагона-платформи моделі 13-401 з урахуванням заходів щодо удосконалення наведена на рис. 2. При цьому тара несучої конструкції вагона-платформи менша на 12 % порівняно з прототипом.

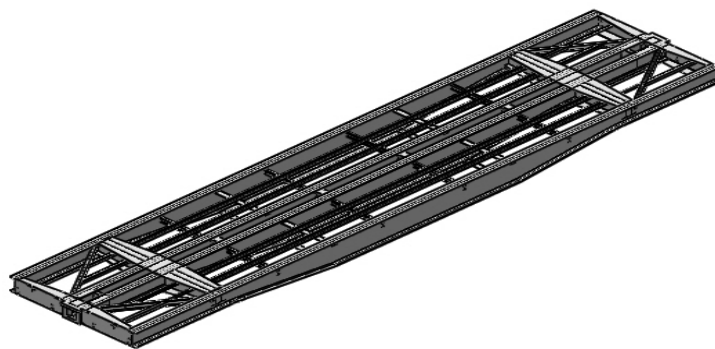


Рис. 1. Просторова модель несучої конструкції вагона-платформи моделі 13-401

Fig. 1. The spatial model of supporting structure of the platform car model 13-401

Таблиця 1

## Показники міцності несучої конструкції вагона-платформи моделі 13-401 при експлуатаційних режимах навантаження

Table 1

## Strength indicators of supporting structure of the platform car model 13-401 under operating conditions of load

Показник міцності	Режим навантаження				
	I р.р.			III р.р.	
	Удар	Стиснення	Ривок–розтягнення	Удар–стиснення	Ривок–розтягнення
Напруження, МПа	306	282,7	242,8	224,0	230,8
Переміщення в вузлах, мм	7,6	7,6	7,6	78,2	6,8
Деформації	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$5,67 \cdot 10^{-3}$

Для закріплення контейнерів на несучій конструкції вагона-платформи пропонується встановлення на нього відкидних фітінгових упорів.



Рис. 2. Несуча конструкція вагона-платформи моделі 13-401 з урахуванням заходів щодо удосконалення

Fig. 2. The supporting structure of the platform car model 13-401 considering improvement measures

Правильність прийнятих рішень підтверджено теоретичними розрахунками на міцність.

З метою забезпечення втомної міцності при базі випробувань  $10^7$  циклів здійснено підсилення профілю повздовжньої балки накладками (рис. 3).

Для підвищення контейнеромісткості удосконаленої несучої конструкції вагона-платформа пропонується створення на її базі вагона-платформи зчленованого типу (рис. 4).

Для дослідження динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу використано математичну модель, наведену у [17], де

виконується визначення прискорень контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі при дії на нього повздовжньої сили від вагона-бойка.



Рис. 3. Переріз основної повздовжньої балки рами вагона-платформи зчленованого типу

Fig. 3. Cut of the main longitudinal beam of the platform car frame of articulated type

При цьому для визначення прискорень несучої конструкції вагона-платформи, як складової її динамічного навантаження, ця модель доопрацьована шляхом урахування переміщень двох секцій вагона-платформи при експлуатаційних режимах навантаження. Також в ній скасовані пружні зв'язки між контейнерами та несучою конструкцією вагона-платформи, що зумовлено меншою довжиною секції, створеної на базі типового вагона-платформи моделі 13-401 порівняно з довгобазним вагоном-платформною, динаміка якого досліджувалася у [17].

Як досліджувана модель контейнера обраний універсальний контейнер типорозміру 1СС. Контейнер розглянутий як прикріплена маса

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

відносно рами вагона-платформи. Тобто, контейнер повністю повторює траєкторію переміщення вагона-платформи. Зв'язок між рамою вагона-платформи та фітингами контейнера імітувався як жорсткий.

Дослідження коливань вагона-платформи з контейнерами здійснювалося у повздовжньо-вертикальній площині. Вагон-платформа з контейнерами розглянутий у вигляді плоскої розрахункової схеми.

При складанні математичної моделі враховано, що кожна секція вагона-платформи має власний ступень вільності, оскільки конструкційні особливості пристрою зчленування дозволяють здійснювати їх переміщення у просторі [4, 11].

Схема дії повздовжньої сили на вагон-платформу зчленованого типу з контейнерами, розміщеними на ньому при відсутності можливих переміщень фітингів відносно фітингових упорів наведена на рис. 5.

$$M'_{\Pi\Pi_1}(\ddot{x}_{\Pi\Pi_1} - \ddot{x}_{\Pi\Pi_2}) + M_{\Pi\Pi_1}h\ddot{\varphi}_{\Pi\Pi_1} = P_n, \quad (1)$$

де  $M'_{\Pi\Pi_1}$  – маса-брутто  $i$ -ої секції вагона-платформи;  $M_{\Pi\Pi_1}$  – маса несучої конструкції  $i$ -ої секції вагона-платформи;  $P_n$  – величина повздовжньої сили, що діє на автозчеп;

$$I_{\Pi\Pi_1}\ddot{\varphi}_{\Pi\Pi_1} + M_{\Pi\Pi_1}h(\ddot{x}_{\Pi\Pi_1} - \ddot{x}_{\Pi\Pi_2}) - g\varphi_{\Pi\Pi_1}M_{\Pi\Pi_1}h = lF_{TP}(\text{sign}\dot{\Delta}_1^{\Pi\Pi_1} - \text{sign}\dot{\Delta}_2^{\Pi\Pi_1}) + l(k_1\dot{\Delta}_1^{\Pi\Pi_1} - k_2\dot{\Delta}_2^{\Pi\Pi_1}), \quad (2)$$

де

$$\Delta_1^i = z_{\Pi\Pi_1} - l \cdot \varphi_{\Pi\Pi_1}; \quad \Delta_2^i = z_{\Pi\Pi_1} + l \cdot \varphi_{\Pi\Pi_1},$$

$I_{\Pi\Pi_1}$  – момент інерції  $i$ -ої секції вагона-платформи;  $l$  – половина бази секції вагона-платформи;  $F_{TP}$  – абсолютне значення сили сухого тертя у ресорному комплекті;  $k_1, k_2$  – жорсткість пружин ресорних комплектів візків вагона-платформи (візок моделі 18-100);

$$M_{\Pi\Pi_1} \cdot \ddot{z}_{\Pi\Pi_1} = k_1 \cdot \Delta_1^{\Pi\Pi_1} + k_2 \cdot \Delta_2^{\Pi\Pi_1} - F_{TP}(\text{sign}\dot{\Delta}_1^{\Pi\Pi_1} - \text{sign}\dot{\Delta}_2^{\Pi\Pi_1}), \quad (3)$$

$$m_i(\ddot{x}_{\Pi\Pi_1} - \ddot{x}_{\Pi\Pi_2}) + (m_i \cdot z_{ci})\ddot{\varphi}_{\Pi\Pi_1} = 0, \quad (4)$$

де  $m_i$  – маса контейнера;  $z_{ci}$  – висота центру ваги контейнера;

$$I_i \cdot \ddot{\varphi}_{\Pi\Pi_1} + (m_i \cdot z_{ci}) \times (\ddot{x}_{\Pi\Pi_1} - \ddot{x}_{\Pi\Pi_2}) - g(m_i \cdot z_{ci})\varphi_{\Pi\Pi_1} = 0, \quad (5)$$

де  $I_i$  – момент інерції  $i$ -го контейнера;  $x_i, \varphi_i, z_i$  – координати, що визначають переміщення секцій вагона-платформи відносно відповідних осей;

$$m_i \cdot \ddot{z}_{\Pi\Pi_1} = 0 \quad (6)$$

$$M'_{\Pi\Pi_2}(\ddot{x}_{\Pi\Pi_1} - \ddot{x}_{\Pi\Pi_2}) + M_{\Pi\Pi_2}h\ddot{\varphi}_{\Pi\Pi_2} = 0, \quad (7)$$

$$I_{\Pi\Pi_2} \cdot \ddot{\varphi}_{\Pi\Pi_2} + M_{\Pi\Pi_2}h(\ddot{x}_{\Pi\Pi_1} - \ddot{x}_{\Pi\Pi_2}) - g\varphi_{\Pi\Pi_2}M_{\Pi\Pi_2}h = l \cdot F_{TP}(\text{sign}\dot{\Delta}_1^{\Pi\Pi_2} - \text{sign}\dot{\Delta}_2^{\Pi\Pi_2}) + l(k_1 \cdot \dot{\Delta}_1^{\Pi\Pi_2} - k_2 \cdot \dot{\Delta}_2^{\Pi\Pi_2}), \quad (8)$$

$$M_{\Pi\Pi_2} \cdot \ddot{z}_{\Pi\Pi_2} = k_1 \cdot \Delta_1^{\Pi\Pi_2} + k_2 \cdot \Delta_2^{\Pi\Pi_2} - F_{TP}(\text{sign}\dot{\Delta}_1^{\Pi\Pi_2} - \text{sign}\dot{\Delta}_2^{\Pi\Pi_2}), \quad (9)$$

$$m_i(\ddot{x}_{\Pi\Pi_1} - \ddot{x}_{\Pi\Pi_2}) + (m_i \cdot z_{ci})\ddot{\varphi}_{\Pi\Pi_2} = 0, \quad (10)$$

$$I_i \cdot \ddot{\varphi}_{\Pi\Pi_2} + (m_i \cdot z_{ci}) \times (\ddot{x}_{\Pi\Pi_1} - \ddot{x}_{\Pi\Pi_2}) - g(m_i \cdot z_{ci})\varphi_{\Pi\Pi_2} = 0, \quad (11)$$

$$m_i \cdot \ddot{z}_{\Pi\Pi_2} = 0. \quad (12)$$

Величина повздовжньої сили, що діє на несучу конструкцію вагона-платформи, прийнята рівною 2,5 МН [18]. Розв'язання диференціальних рівнянь здійснено за допомогою методу Рунге-Кутта в середовищі програмного забезпечення MathCad [10, 13].

Результати досліджень дозволили зробити висновок, що прискорення, які приходяться на несучу конструкцію першої з боку дії сили секції вагона-платформи складають 36,4 м/с<sup>2</sup>, а другої – близько 37 м/с<sup>2</sup> (рис. 6).

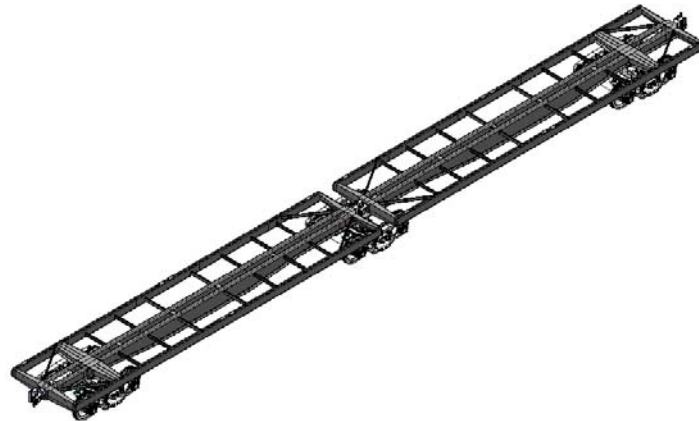


Рис. 4. Вагон-платформа зчленованого типу

Fig. 4. Platform car of articulated type

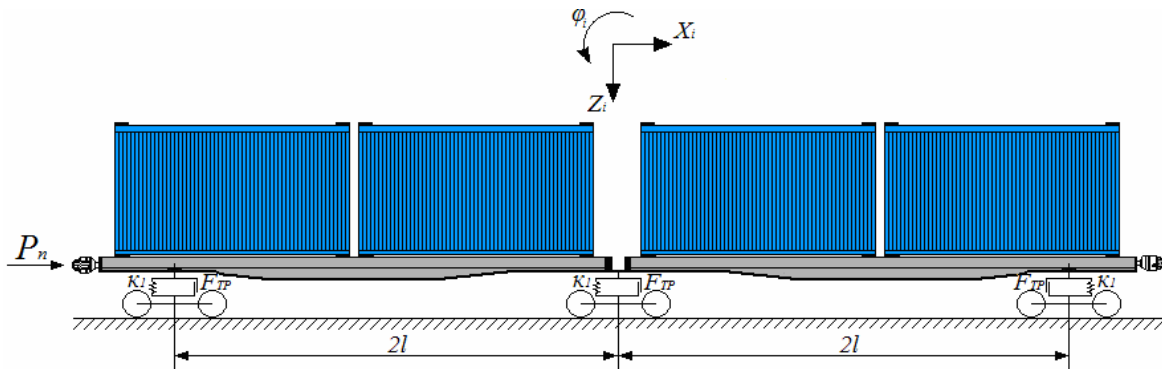


Рис. 5. Схема дії поздовжньої сили на вагон-платформу зчленованого типу з контейнерами, розміщеними на ньому

Fig. 5. Scheme of the longitudinal forces effect on the platform car of articulated type with containers placed on it

Числові значення прискорень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами, розміщеними на ньому при експлуатаційних режимах навантаження використані при дослідженні міцності несучої конструкції, як складові динамічного навантаження, що діють на неї.

Для дослідження міцності вагона-платформи зчленованого типу виконаний розрахунок за методом скінчених елементів. При складанні скінченно-елементної моделі використані просторові ізопараметричні тетраедри, оптимальна кількість яких визначена за допомогою графоаналітичного методу.

При цьому кількість вузлів сітки складала 140551, елементів – 421841. Максимальний розмір елемента дорівнює 203,45 мм, мінімальний

– 40,7 мм. Мінімальна кількість елементів в колі складала 9, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,7. Максимальне співвідношення боків –  $1,06 \cdot 10^5$ , відсоток елементів зі співвідношенням боків менше ніж 3 – 11,2, більше ніж 10 – 35,2.

Схему навантаження несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при I розрахунковому режимі (ривок–розтягнення) наведено на рис. 7.

При складанні моделі міцності враховано, що на несучу конструкцію вагона-платформи, крім поздовжньої сили  $P_n$ , діють вертикальні зусилля у зонах обпирання контейнерів на фітингові упори  $P_k$ .

Модель не враховує можливі переміщення

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

фітінгів контейнерів відносно фітінгових упорів вагона-платформи, а також можливі кутові переміщення секцій вагона-платформи при дії повздовжньої сили.

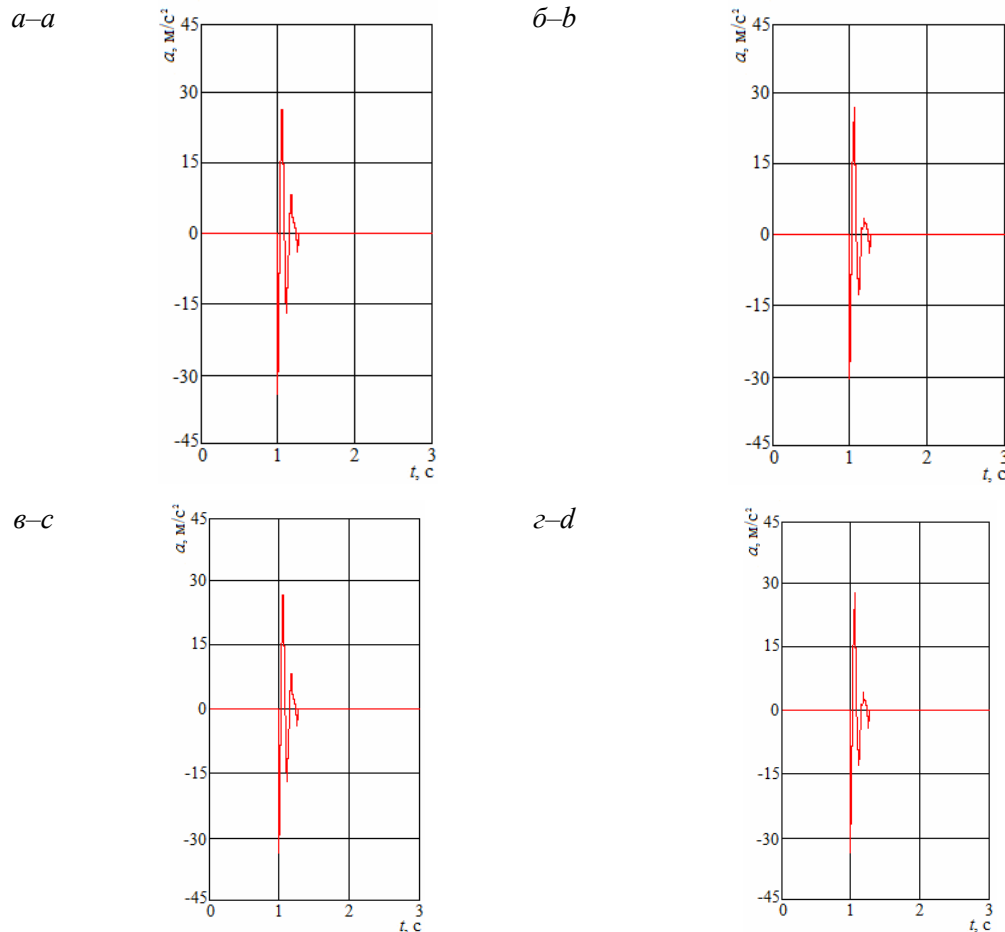


Рис. 6. Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами, розміщеними на ньому при I розрахунковому режимі (розтягнення–ривок): а – перша з боку дії повздовжньої сили секція вагона-платформа; б – контейнер, розміщений на першій з боку дії повздовжньої сили секції вагона-платформи; в – друга з боку дії повздовжньої сили секція вагона-платформа; г – контейнер, розміщений на другій з боку дії повздовжньої сили секції вагона-платформи

Fig. 6. The acceleration acting on the platform car of articulated type with containers placed on it during design conditions (stretching–jerk):

a – the first platform car from the side of action of the longitudinal force; b) a container placed on the first platform car from the side of longitudinal force action; c) a second platform car from the side of action of the longitudinal force; g) a container placed on the second platform car from the side of longitudinal force action

Закріплення моделі здійснювалося у зонах обпирання рами на візки, а також за задній упор автотзчепу (удар–стиснення) або передній (розтягнення–ривок) другого з боку дії повздовжньої сили секції вагона-платформи.

Як матеріал несучої конструкції вагона-платформи використано сталь марки 09Г2С зі

значенням межі міцності  $\sigma_B = 490$  МПа та межі плинності  $\sigma_T = 345$  МПа [18].

Результати розрахунків несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при I розрахунковому режимі (ривок–розтягнення) наведені на рис. 8–10, а чисельні значення показ-



## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ників міцності при основних режимах навантаження у табл. 2.

З табл. 2 видно, що найбільша величина напружень виникає при I розрахунковому режимі (ривок–розтягнення), зосереджена в зоні взаємодії шворневої балки з хребтовою та складає близько 330 МПа (рис. 5), але не перевищує

допустиме значення, максимальні переміщення в конструкції виникають у середній частині основних повздовжніх балок рами та складають 64,5 мм (рис. 6), деформації в конструкції становлять  $2,026 \cdot 10^{-2}$  (рис. 7).

Табл. 2.

**Показники міцності несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при експлуатаційних режимах навантаження**

Table 2

**Strength indicators of the supporting structure of the platform car of articulated type under operating conditions of load**

Показник міцності	Режим навантаження			
	Стиснення (I р.р.)	Ривок–розтягнення (I р.р.)	Удар–стиснення (III р.р.)	Ривок–розтягнення (III р.р.)
Напруження, МПа	310,5	329,8	302,5	312,8
Переміщення в вузлах, мм	66,1	64,5	64,2	64,5
Деформації	$2,015 \cdot 10^{-2}$	$2,026 \cdot 10^{-2}$	$2,012 \cdot 10^{-2}$	$2,024 \cdot 10^{-2}$

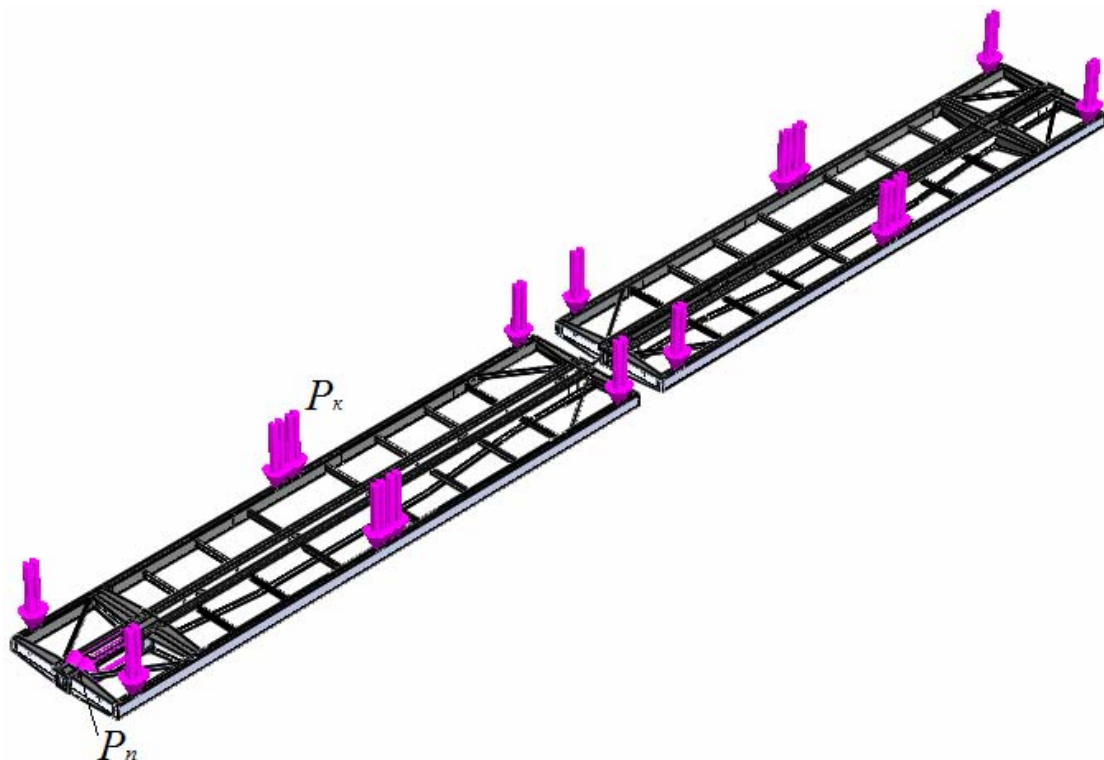


Рис. 7. Схема навантаження несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при I розрахунковому режимі (ривок–розтягнення)

Fig. 7. Load scheme of the supporting structure of the platform car of articulated type at the I design conditions (jerk-stretching)

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

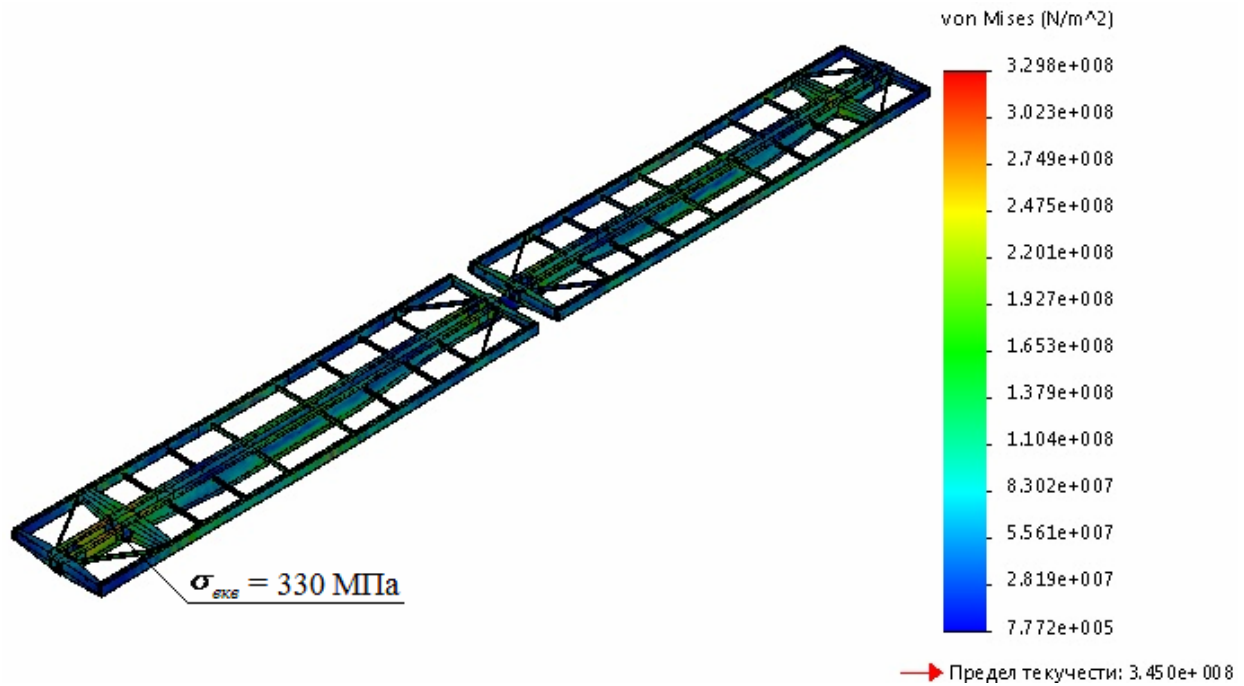


Рис. 8. Напружений стан несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при I розрахунковому режимі (ривок–розтягнення)

Fig. 8. Stress state of supporting structure of the platform car of articulated type at the I design conditions (jerk-stretching)

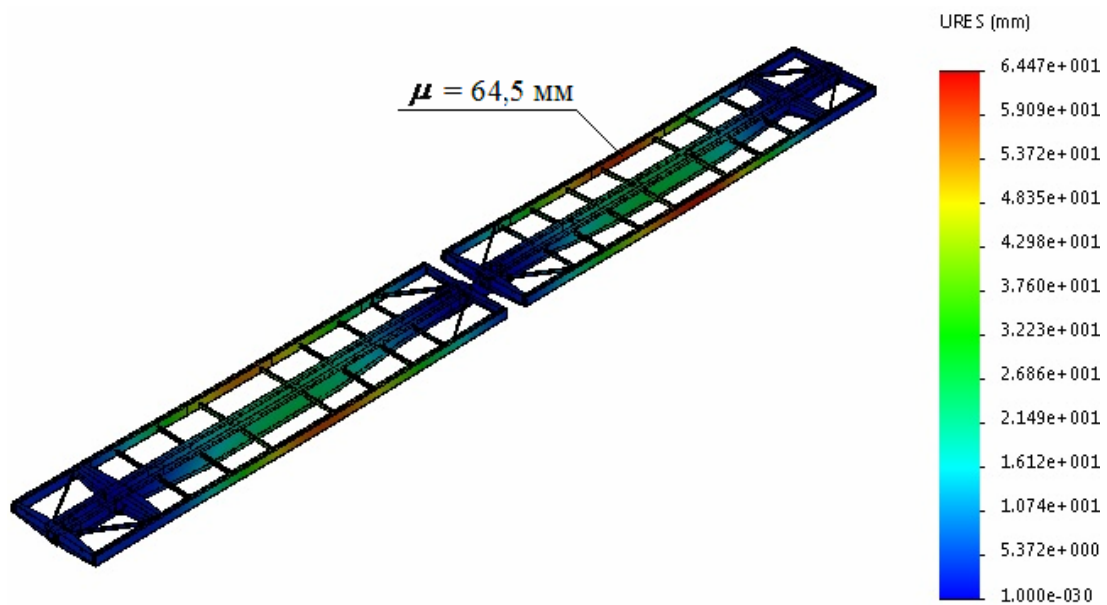


Рис. 9. Переміщення в вузлах несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при I розрахунковому режимі (ривок–розтягнення)

Fig. 9. Displacement in the nodes of supporting structure of the platform car of articulated type at the I design conditions (jerk-stretching)

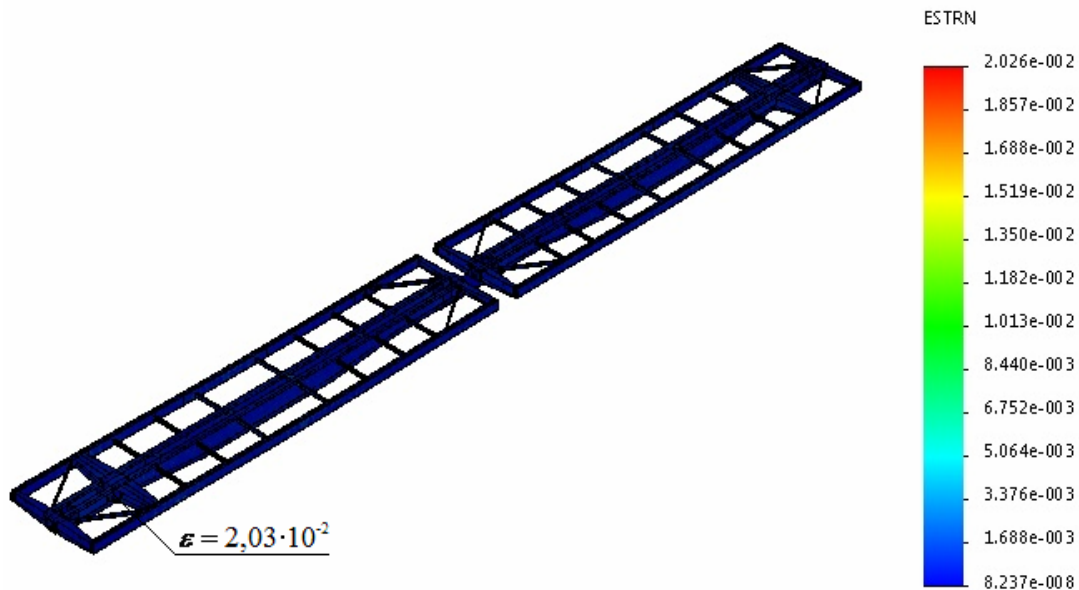


Рис. 10. Деформації в несучій конструкції вагона-платформи зчленованого типу при I розрахунковому режимі (ривок–розтягнення)

Fig. 10. Deformations in the supporting structure of the platform car of articulated type at the I design conditions (jerk-stretching)

### Результати

Розроблено несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу на базі універсального вагона-платформи.

Отримано уточнені величини динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами, розміщеними на ньому при експлуатаційних режимах навантаження.

Визначено максимальні еквівалентні напруження несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при дії експлуатаційних навантажень.

### Наукова новизна та практична значимість

1. Запропоновано математичну модель переміщень вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами, розміщеними на ньому при експлуатаційних режимах навантаження.

2. Розроблено модель міцності несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу, створеного на базі універсального вагона-платформи.

Результати проведених досліджень можуть використовуватися при проектуванні вагонів-

платформ зчленованого типу для забезпечення їх міцності при комбінованих перевезеннях.

### Висновки

На підставі виконаних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Виконано дослідження міцності вагона-платформи моделі 13-401 при експлуатаційних режимах навантаження та оптимізовано елементи його несучої конструкції з метою зменшення матеріалоемності. При цьому враховано, що вагон-платформа завантажений двома контейнерами типорозміру 1СС. Виявлено резерви міцності елементів несучої конструкції вагона-платформи та визначено найбільш оптимальні з точки зору мінімальної матеріалоемності профілі їх виконання.

Для підвищення ефективності експлуатації удосконаленої конструкції вагона-платформи пропонується створення на його базі вагона-платформи зчленованого типу.

2. Досліджено динамічні особливості вагона-платформи зчленованого типу при експлуатаційних режимах навантаження. Отримані результати використані при моделюванні міцності несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу.

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

3. Виконано дослідження міцності удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу. При цьому встановлено, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції не перевищують допустимі.

Виконані дослідження сприятимуть створенню вагонів-платформ зчленованого типу для перевезення контейнерів та підвищенню ефективності комбінованого транспорту в напрямку міжнародних транспортних коридорів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алямовский, А. А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006–2007. Инженерный анализ методом конечных элементов / А. А. Алямовский. – Москва : ДМК, 2007. – 784 с.
2. Анисимов, П. Модель пространственных колебаний платформы с длинномерным грузом / П. Анисимов // Мир транспорта. – 2013. – № 4. – С. 6–13.
3. Бондарь, А. И. Теоретическая и экспериментальная оценка прочности вагона-платформы для перевозки автомобильных полуприцепов / А. И. Бондарь, А. Ю. Панин // Трансп. Рос. Федерации. – 2014. – № 3. – С. 33–35.
4. Бороненко, Ю. П. Выбор конструктивных решений сочлененных грузовых вагонов для колеи 1520 мм / Ю. П. Бороненко, Т. М. Белгородцева, Н. А. Кукушина // Трансп. Рос. Федерации. – 2013. – № 3 (46). – С. 3–9.
5. Бубнов, В. М. Определение экономической эффективности использования вагонов-платформ секционного типа / В. М. Бубнов, С. В. Мямлин, Н. Л. Гуржи // Мир транспорта. – 2010. – № 32. – С. 246–250.
6. Візняк, Р. І. Розширення функціональних особливостей універсальних вагонів-платформ з метою перевезення контейнерів у міжнародному залізнично-водному сполученні / Р. І. Візняк, А. О. Ловська // 36. наук. пр. Укр. держ. ун-ту заліз. трансп. – Харків, 2013. – Вип. 139. – С. 157–164.
7. Гуржи, Н. Л. Поліпшення технічних характеристик секційного вагону-платформи шляхом вдосконалення конструкції : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Гуржи Наталія Леонідівна ; Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – 20 с.
8. Данович, В. Д. Колебания в горизонтальной плоскости 4-осн. платформы с несимметрично расположенным тяжеловесным грузом / В. Д. Данович, П. С. Анисимов // Вестн. ВНИИЖТ. – 1989. – № 3. – С. 5–9.
9. Демин, Ю. В. Динамика комбинированных поездов / Ю. В. Демин, Д. В. Дмитриев, О. М. Савчук // Заліз. трансп. України. – 1997. – № 2-3. – С. 31–38.
10. Дьяконов, В. MATHCAD 8/2000 : спец. справ. / В. Дьяконов. – Санкт-Петербург : Питер, 2000. – 592 с.
11. Инновационное решение – 120-футовая платформа сочлененного типа для перевозки трех 40-футовых крупнотоннажных контейнеров / Ю. П. Бороненко, Т. М. Белгородцева, С. Г. Васильев, Н. В. Смирнов // Трансп. Рос. Федерации. – 2009. – № 5 (24). – С. 56–59.
12. Исследование пространственных колебаний длиннобазного вагона-платформы / С. В. Мямлин, А. В. Шатунов, А. В. Сороколет [и др.] // Заліз. трансп. України. – 2009. – № 6. – С. 47–49.
13. Кирьянов, Д. В. Mathcad 13 / Д. В. Кирьянов. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. – 608 с.
14. Кожокар, К. В. Особенности разработки скоростного сочлененного вагона-платформы для перевозки контейнеров / К. В. Кожокар // Трансп. Рос. Федерации. – 2013. – № 3. – С. 21–24.
15. Ловська, А. О. Дослідження динамічної навантаженості вагона-платформи при маневровому співударянні / А. О. Ловська, А. В. Рибін // Восточно-Европ. журн. передовых технологий. – 2016. – Т. 3, № 7 (81). – С. 4–8. doi: 10.15587/1729-4061.2016.72054.
16. Мямлин, С. В. Подвижной состав для перевозки контейнеров железнодорожным транспортом / С. В. Мямлин, А. В. Шатунов, А. В. Сороколет // Сб. науч. трудов ДониЖТа. – Донецк, 2010. – Вып. 22. – С. 125–132.
17. Нагруженность контейнеров-цистерн, расположенных на железнодорожной платформе, при ударах в автосцепку / Г. И. Богомаз, Д. Д. Мехов, О. П. Пилипченко, Ю. Г. Черномашенцева // Динаміка та керування рухом механічних систем : зб. наук. пр. / АНУ, ін-т техн. механіки. – Київ, 1992. – С. 87–95.
18. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – Москва : ГосНИИВ : ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
19. Пат. 112239 Україна, МПК В 61 D 3/00, В 61 F 1/02, В 61 F 1/00, В 61 F 1/08. Залізничний вагон-платформа / Фомін О. В., Ловська А. О. (Україна) ; заявник та патентовласник Укр. держ. ун-т заліз. трансп. – № а 2015 01317 ; заявл. 17.02.2015 ; опубл. 10.08.2016, Бюл. №15. – 4 с.
20. Проектирование подъемных барабанов в SolidWorks Simulation [Електронний ресурс] / К. Заболотный, А. Жупиев, Е. Панченко [и др.]. // Компьютерное проектирование и технический документооборот. –

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

2010. – № 1. – С. 16–21. – Режим доступу: [http://gmi.nmu.org.ua/ru/nauka/Publications/\\_nkmz\\_2.pdf](http://gmi.nmu.org.ua/ru/nauka/Publications/_nkmz_2.pdf). – Назва з екрана. – Перевірено : 23.01.2017.
21. Рудакова, Е. А. Исследование динамических качеств сочлененного вагона-платформы на математических моделях / Е. А. Рудакова, А. М. Орлова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 23. – С. 85–88.
  22. Фомін, О. В. Дослідження доцільності застосування круглих труб в якості елементів несучих систем залізничних вагонів-платформ / О. В. Фомін, А. О. Ловська // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2015. – № 1. – С. 38–45.
  23. Divya Priya, G. Modeling and analysis of twenty tonnes heavy duty trolley / G. Divya Priya, A. Swarnakumari // Intern. J. of Innovative Technology and Research. – 2014. – Vol. 2, No. 6. – P. 1568–1580.
  24. 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. doi: 10.2478/bpasts-2014-0093.
  25. Lysikov, N. Stress load and durability analysis of railway vehicles using multibody approach / N. Lysikov, R. Kovalev, G. Mikheev // Transport problems – Problemy Transportu. – 2007. – Т. 2, З. 3. – P. 49–56.
  26. Marinoshenko, S. Switching over to the home platform / S. Marinoshenko // J. for Partners Transmashholding. – 2015. – No. 3. – P. 22–23.
  27. Multi-body Simulations of Railway Wagon Dynamics / K. Wójcik, J. Malachowski, P. Baranowski [et al.] // J. of KONES. Powertrain and Transport. – 2015. – Vol. 19. – Iss. 3. – P. 499–506. doi.org/10.5604/12314005.1138164.
  28. Niezgoda, T. Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable loading floor carried out in MSC Adams software / T. Niezgoda, W. Krasoń, M. Stankiewicz // J. of KONES. Powertrain and Transport. – 2015. – Vol. 19. – Iss. 4. – P. 495–502. doi: 10.5604/12314005.1138622.
  29. Sandu, N. Static and dynamic tests performed on a flat wagon / N. Sandu, N. L. Zaharia // Problemy koleynictwa. – 2014. – Z. 163 (2014). – P. 67–77.
  30. WBN Waggonbau Niesky GmbH: Developing a flexible platform of freight wagons // Intern. Edition. – 2016. – № 1. – P. 46.

А. А. ЛОВСКАЯ<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Вагоны», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61500, тел. +38 (057) 730 10 35, эл. почта [alyonalovskaya.vagons@gmail.com](mailto:alyonalovskaya.vagons@gmail.com), ORCID 0000-0002-8604-1764

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ВАГОНА-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК

**Цель.** Данное исследование направлено на усовершенствование несущей конструкции вагона-платформы для повышения эффективности контейнерных перевозок. **Методика.** Для достижения поставленной цели проведены исследования прочности универсального вагона-платформы модели 13-401, определены резервы прочности несущих элементов его конструкции и предложены более оптимальные, с точки зрения минимальной материалоемкости, профили выполнения основных продольных балок рамы. Правильность принятых решений подтверждена расчетами несущей конструкции вагона-платформы на прочность (при основных эксплуатационных режимах нагружения) и усталость – с учетом базы испытаний  $10^7$  циклов. Для возможности закрепления контейнеров на раме вагона-платформы предлагается оснащение его откидными фитинговыми упорами, что позволит осуществлять перевозку 20-ти и 40-футовых контейнеров. С целью повышения эффективности контейнерных перевозок в направлении международных транспортных коридоров, которые проходят через территорию Украины, на базе усовершенствованной конструкции вагона-платформы разработан вагон-платформа сочлененного типа. Выполнено математическое моделирование динамической нагруженности вагона-платформы с контейнерами, размещенными на нем (два контейнера типоразмера 1СС) при эксплуатационных режимах нагружения. Определены максимальные ускорения, которые действуют на несущую конструкцию, и учтены их численные значения при компьютерном моделировании прочности вагона-платформы сочлененного типа. **Результаты.** Разработана несущая конструкция вагона-платформы сочлененного типа на базе универсального вагона-платформы. Получены уточненные

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

величины динамических нагрузок, которые действуют на несущую конструкцию вагона-платформы сочлененного типа с контейнерами, размещенными на нем при эксплуатационных режимах нагружения, и определены максимальные эквивалентные напряжения в несущей конструкции вагона-платформы. **Научная новизна.** Предложена математическая модель перемещений вагона-платформы сочлененного типа с контейнерами, размещенными на нем при эксплуатационных режимах нагружения несущей конструкции. Разработана модель прочности несущей конструкции вагона-платформы сочлененного типа, созданного на базе универсального вагона-платформы. **Практическая значимость.** Результаты проведенных исследований могут использоваться при проектировании вагонов-платформ сочлененного типа для обеспечения их прочности при комбинированных перевозках.

*Ключевые слова:* вагон-платформа сочлененного типа; несущая конструкция; оптимизация; динамика; прочность; моделирование; нагруженность конструкции; комбинированные перевозки

A. O. LOVSKA<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Cars», Ukrainian State University of Railway Transport, Feierbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61500, tel. +38 (057) 730 10 35, e-mail alyonalovskaya.vagons@gmail.com, ORCID 0000-0002-8604-1764

## IMPROVEMENT OF THE SUPPORTING STRUCTURE OF PLATFORM CAR FOR HIGHER EFFICIENCY OF CONTAINER TRANSPORTATIONS

**Purpose.** The article is aimed to improve supporting structures of the platform car to increase the efficiency of container transportations. **Methodology.** In order to achieve the objective, the strength investigations of the universal platform car of the model 13-401 were conducted, strength reserves of the supporting elements were defined, and more optimal profiles of basic longitudinal beams of the frame in terms of the minimum material capacity were proposed. Decision correctness was confirmed by the strength calculation of the platform car supporting structure at basic loading operational modes and fatigue taking into account the research database of  $10^7$  cycles. It has been proposed to equip a platform car with swing fitting stops for fastening containers on the frame, which allows transportation of 20ft and 40ft containers. In order to improve container transportation efficiency along international transport corridors running through Ukraine, a platform car of articulated type has been designed on the base of the improved platform car structure. The mathematical simulation of dynamic loads of the platform car with containers (two ICC containers) at operational loading modes has been carried out, the maximum accelerations influencing the support structure have been defined, and their multiple values have been considered in computer simulation of the strength of the platform car of articulated type. **Findings.** The support structure of the platform car of articulated type on the basis of the standard platform car has been developed. Refined values of dynamic loads influencing supporting structure the platform car of articulated type with containers at operational loading modes have been obtained; the maximum equivalent stresses in the platform car support structure have been defined. **Originality and practical value.** A mathematical model of displacements for a platform car of articulated type with containers at operational loading modes of supporting structure has been proposed. The strength model of the supporting structure for the platform car of articulated type based on the standard platform car has been developed. Results of the research can be used in designing of platform cars of articulated type to provide their strength at mixed transportations.

*Keywords:* a platform car of articulated d type; supporting structure; optimization; dynamics; strength; simulation; structure loading; mixed transportations

### REFERENCES

- 1 Alyamovskiy, A. A. (2007). SolidWorks/COSMOSWorks 2006-2007. *Inzhenernyy analiz metodom konechnykh elementov*. Moscow: DMK.
- 2 Anisimov, P. S. (2013). Model of spatial oscillations of a flat car with long goods. *World of Transport and Transportation*, 4, 6-13.
- 3 Bondarenko, A. I., & Panin, A. Y. (2014). Theoretical and experimental evaluation of strength of platform wagon designed to transport car semi-trailers. *Transport Rossiyskoy Federatsii*, 3, 33-35.

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- 4 Boronenko, Y. P., Belgorodtseva, T. M., & Kukushina, N. A. (2013). Choosing coupled freight wagons design solutions for 1520 mm gauge. *Transport Rossiyskoy Federatsii*, 3(46), 3-9.
- 5 Bubnov, V. M., Myamlin, S. V., & Gurzhi, N. L. (2010). Opredeleniye ekonomicheskoy effektivnosti ispolzovaniya vagonov-platform sektionnogo tipa. *World of Transport and Transportation*, 32, 246-250.
- 6 Viznyak, R. I., & Lovska, A. O. (2013). The expansion of functional peculiarities of versatile flat cars for the purpose of transporting containers in international railway communication. *Collected Scientific Works of Ukrainian State University of Railway Transport*, 139, 157-164.
- 7 Gurzhi, N. L. (2010). *Improvement of technical descriptions of sectional carriage-platform by perfection of construction*. (PhD thesis). Available from Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan.
- 8 Danovich, V. D., & Anisimov, P. S. (1989). Kolebaniya v gorizontalnoy ploskosti 4-osn. platformy s nesimmetrichno raspolozhennym tyazhelovesnym gruzom. *Vestnik of the Railway Research Institute*, 3, 5-9.
- 9 Demin, Y. V., Dmitriev, D. V., & Savchuk, O. M. (1997). Dinamika kombinirovannykh poyezdov. *Zaliznychnyi transport Ukrainy*, 2-3, 31-38.
- 10 Dyakonov, V. (2000). *MATHCAD 8/2000: Spetsialnyy spravochnik*. Saint Petersburg: Piter.
- 11 Boronenko, Y. P., Belgorodtseva, T. M., Vasilev, S. G., & Smirnov, N. V. (2009). Innovatsionnoye resheniye – 120-futovaya platforma sochlenennogo tipa dlya perevozki trekh 40-futovykh krupnotonnazhnykh konteynerov. *Transport Rossiyskoy Federatsii*, 5(24), 56-59.
- 12 Myamlin, S. V., Shatunov, A. V., Sorokolet, A. V., Kovtun, Y. N., & Markova, O. M. (2009). Issledovaniye prostranstvennykh kolebaniy dlinnobaznogo vagona-platformy. *Zaliznychnyi transport Ukrainy*, 6, 47-49.
- 13 Kiryanov, D. V. (2006). *Mathcad 13*. Saint Petersburg: BHV–Peterburg.
- 14 Kozhokar, K. V. (2013). Peculiarities of designing a high-speed coupled flat wagon for container transportation. *Transport Rossiyskoy Federatsii*, 3, 21-24.
- 15 Lovskaya, A. O., & Ryibin, A. V. (2016). The study of dynamic load on a wagon–platform at a shunting collision. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3, 7(81), 4-8. doi: 10.15587/1729-4061.2016.72054
- 16 Myamlin, S. V., Shatunov, A. V., & Sorokolet, A. V. (2010). Podvizhnoy sostav dlya perevozki konteynerov zheleznodorozhnyim transportom. *Zbirnik naukovih prac' of Donetsk Railway Transport Institute*, 22, 125-132.
- 17 Bogomaz, G. I., Mehov, D. D., Pilipchenko, O. P., & Chernomashentseva, Y. G. (1992). Nagruzhennost konteynerov-tsistern, raspolozhennykh na zheleznodorozhnoy platforme, pri udarakh v avtostsepku. In *Dynamika ta keruvannia rukhom mekhanichnykh system* (pp. 87-95). Kyiv: Institute of Technical Mechanics.
- 18 All-Soviet Union Research Institute of Railway Transport. (1996). *Normy dlya rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)*. Moscow: GosNIIV-VNIIZhT.
- 19 Fomin, O. V., & Lovska, A. O. (2016). *UA Patent No. 112239*. Ukrpatent. Retrieved from <http://www.uipv.org/>
- 20 Zabolotnyy, K., Zhupiev, A., Panchenko, Y., Protynyak, I., Kolyuzhnyy, S., & Ovchinnikov, Y. (2010). Proyektirovaniye podemnykh barabanov v SolidWorks Simulation. *KPD, Kompyuternoye proektirovaniye i tekhnicheskiiy dokumentooborot*, 1, 16-21. Retrieved from [http://gmi.nmu.org.ua/ru/nauka/Publications/\\_nkmz\\_2.pdf](http://gmi.nmu.org.ua/ru/nauka/Publications/_nkmz_2.pdf)
- 21 Rudakova, E. O., & Orlova, A. M. (2008). The study of the dynamic properties of the articulated flat-car on mathematical models. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 23, 85-88.
- 22 Fomin, O. V., & Lovskaya, A. O. (2015). Research of expedience application of round pipes is in quality elements bearings systems of railway carriages-platforms. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 1(218), 38-45.
- 23 Divya Priya, G., & Swarnakumari, A. (2014). Modeling and analysis of twenty tonnes heavy duty trolley. *International Journal of Innovative Technology and Research*, 2(6), 1568-1580.
- 24 Krason, W., & Niezgodna, 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*, 62(4), 843-851. doi: 10.2478/bpasts-2014-0093
- 25 Lysikov, N., Kovalev, R., & Mikheev, G. (2007). Stress load and durability analysis of railway vehicles using multibody approach. *Transport Problems*, 2(3), 49-56.
- 26 Marinoshenko, S. (2015). Switching over to the home platform. *Journal for Partners Transmashholding*, 3, 22-23.

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- 27 Wójcik, K., Malachowski, J., Baranowski, P., Mazurkiewicz, L., Damaziak, K., & Krason, W. (2015). Multi-body simulations of railway wagon dynamics. *Journal of KONES: Powertrain and Transport*, 19(3), 499-506. doi: 10.5604/12314005.1138164
- 28 Niezgodą, T., Krason, W., & Stankiewicz, M. (2015). Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable loading floor carried out in MSC Adams software. *Journal of KONES: Powertrain and Transport*, 19(4), 495-502. doi: 10.5604/12314005.1138622
- 29 Sandu, N., & Zaharia, N. L. (2014). Static and Dynamic Tests Performed on a Flat Wagon. *Problemy kolejnictwa*, 163, 67-77.
- 30 WBN Waggonbau Niesky GmbH. (2016). *Developing a flexible platform of freight wagons*. Niesky: WBN Waggonbau Niesky GmbH.

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. І. Е. Мартиновим (Україна); д.т.н., проф. С. В. Мямліним (Україна)*

Надійшла до редколегії: 01.09.2016

Прийнята до друку: 30.12.2016