

УДК 629.463.62

Олексій Фомін^{1*}, Альона Ловська²

¹ Професор кафедри вагонів та вагонного господарства, Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2387-9946>

² Доцент кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8604-1764>

* Автор, відповідальний за листування: fominaleksejviktorovic@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ ЗЧЛЕНОВАНОГО ТИПУ З КРУГЛИХ ТРУБ, ЗАВАНТАЖЕНОГО КОНТЕЙНЕРАМИ-ЦИСТЕРНАМИ

Проведено визначення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з круглих труб, завантаженого контейнерами-цистернами. Дослідження проведені шляхом математичного моделювання. Розв'язок рівнянь руху здійснений в програмному комплексі MathCad. Встановлено, що при дії повздовжньої сили у 2,5 МН на передні упори автозчепу, прискорення на першу з боку прикладення сили секцію вагона-платформи складає 27,7 м/с², а на другу – 24,4 м/с².

Для зменшення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи розглянуто можливість використання на ньому концепту упряжного пристрою, як альтернативного варіанту типовому автозчепу. Гасіння кінетичної енергії удару при цьому здійснюється за рахунок сил в'язкого опору, що виникають у концепті.

Запропонована реалізація дозволяє зменшити динамічну навантаженість несучої конструкції вагона-платформи на 10% у порівнянні з використанням типового автозчепного пристрою.

Проведені дослідження сприятимуть створенню інноваційних конструкцій вагонів-платформ та підвищенню ефективності використання залізничного транспорту.

Ключові слова: транспортна механіка, вагон-платформа, несуча конструкція, динамічна навантаженість, концепт упряжного пристрою.

Вступ. Підвищення ефективності використання залізничного транспорту в міжнародному сполученні зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію інноваційних конструкцій вагонів. Відомо, що найбільшого розповсюдження в міжнародному сполученні дістали вагони-платформи, в тому числі зчленованого типу. Особливістю вагонів-платформ зчленованого типу є те, що їх несуча конструкція складається з двох секцій, які спираються на три візки. Взаємодія секцій між собою здійснюється за рахунок вузла зчленування, наприклад, SAC-1.

Дані вагони в процесі експлуатації можуть зазнавати дії значних повздовжніх навантажень, що негативно впливає на міцність їх несучих конструкцій, а також безпеку руху. З метою зменшення динамічної навантаженості вагонів-платформ зчленованого типу важливим є удосконалення їх конструкцій шляхом використання принципово нових технічних рішень. Це сприятиме забезпеченню міцності (втомної) міцності несучих конструкцій, зменшенню витрат на ремонти в експлуатації, збереженню вантажів, зокрема, контейнерів (контейнерів-цистерн) або зйомних кузовів, забезпеченню безпеки руху тощо.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Дослідження впливу зміщення вантажу на показники руху вагона-платформи проведено в роботі [1]. Отримано залежності основних динамічних показників з огляду на величину швидкості руху.

Визначення динамічної навантаженості та міцності довгобазного вагона висвітлюється у роботі [2]. Проведені дослідження підтвердили доцільність прийнятих при проектуванні вагона технічних рішень.

Важливо сказати, що при проектуванні даних несучих конструкції вагонів не враховано заходів щодо зменшення їх динамічної навантаженості при дії циклічних навантажень.

Аналіз несучої конструкції вагона-платформи проведено в роботі [3]. Особливістю вагона-платформи є можливість регулювання корисної довжини залежно від габаритів вантажу, який на ньому перевозять.

В роботі [4] проводиться аналіз несучої конструкції вагона для інтермодальних перевезень вантажів. Особливістю несучої конструкції вагона є наявність поворотної платформи для завантаження та розвантаження.

Однак в розглянутих роботах дослідженню поздовжньої динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів за експлуатаційних режимів уваги не було приділено.

Визначення динамічної навантаженості вагона проводиться у роботі [5]. До уваги прийнятий випадок використання різних типів візків під вагонами. Проаналізовано вплив технічних характеристик візків на динамічні показники вагона.

Теоретичні та експериментальні дослідження навантаженості несучих конструкцій вантажних вагонів висвітлюється у роботі [6]. Приклад використання запропонованого підходу засвідчив його працездатність та ефективність, а також правильність спрямування відповідних науково-дослідних робіт.

Разом з цим заходів щодо зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів в даних роботах не запропоновано.

В роботах [7, 8] запропоновані та реалізовані заходи щодо зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів при експлуатаційних режимах. Дослідження проведені шляхом математичного моделювання та підтверджені комп'ютерним. Однак авторами не приділялося уваги питанням зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій довгобазних вагонів.

Аналіз літературних джерел [1–8] дозволяє зробити висновок, що питанням визначення динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів зчленованого типу з круглих труб, завантажених контейнерами-цистернами досі не приділялося належної уваги. Це викликає необхідність проведення відповідних досліджень та напрацювань в цьому напрямку.

Мета і завдання дослідження. Метою статті є дослідження динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу з круглих труб, завантаженого контейнерами-цистернами шляхом математичного моделювання. Для досягнення зазначеної мети визначені такі завдання:

1. Скласти розрахункову схему вагона-платформи зчленованого типу з круглих труб для визначення поздовжньої навантаженості несучої конструкції;
2. Провести моделювання динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з круглих труб при використанні типового автозчепного пристрою;
3. Провести моделювання динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з круглих труб при використанні концепту упряжного пристрою.

Матеріали та методи дослідження. З метою зменшення матеріалоемності вагона-платформи запропоновано впровадження у його несучу конструкцію круглих труб [9]. На базі запропонованої конструкції вагона-платформи створено вагон-платформу зчленованого типу [10], (рис. 1).

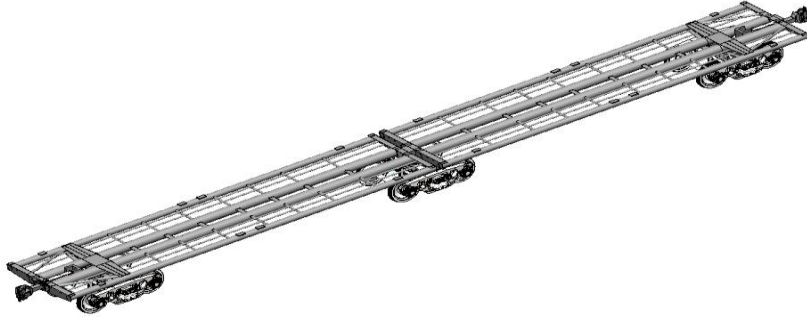


Рис. 1. Вагон-платформа зчленованого типу з круглих труб

Для визначення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами-цистернами при експлуатаційних режимах навантаження (розтягнення-ривок) проведено математичне моделювання. Розрахункова схема вагона-платформи, завантаженого контейнерами-цистернами, наведена на рис. 2. При цьому використано математичну модель розроблену проф. Богомазом Г. І. [11]. Дослідження проведені в плоскій системі координат. Враховано, що на передні упори автотягача діє навантаження у 2,5 МН [12, 13]. В якості прототипу обрано контейнер-цистерну типорозміру 1СС.

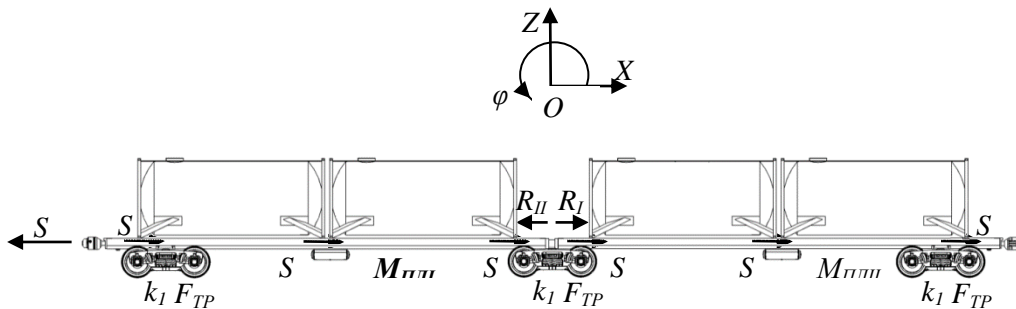


Рис. 2. Розрахункова схема вагона-платформи

Контейнера-цистерни розглянуті як прикріплені маси відносно рами вагона-платформи. Враховано, що контейнера-цистерни, розміщені на вагоні-платформі, мають однакову завантаженість котла наливним вантажем.

Рівняння руху при цьому мають вигляд:

$$M'_{III_1} \cdot \ddot{x}_{III_1} + M_{III_1} \cdot h \cdot \ddot{\varphi}_{III_1} = S_a - \sum_{i=1}^2 S_i - R_{II}, \quad (1)$$

$$I_{III_1} \cdot \ddot{\varphi}_{III_1} + M_{III_1} \cdot h \cdot \ddot{x}_{III_1} - g \cdot \varphi_{III_1} \cdot M_{III_1} \cdot h = l \cdot F_{TP} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2) + l(k_1 \cdot \Delta_1 - k_2 \cdot \dot{\Delta}_2), \quad (2)$$

$$M_{III_1} \cdot \ddot{z}_{III_1} = k_1 \cdot \Delta_1 + k_2 \cdot \Delta_2 - F_{TP} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2), \quad (3)$$

$$\left(m_i + \sum_{j=1}^k m_{ij}\right) \cdot \ddot{x}_i^I + \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}\right) \cdot \ddot{\varphi}_i^I - \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij}^I = S^I_i, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \left(I_{\alpha} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}^2\right) \cdot \ddot{\varphi}_i^I + \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}\right) \cdot \ddot{x}_i^I + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij}^I - \\ - g \cdot \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}\right) \cdot \varphi_i^I = 0, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\left(m_i + \sum_{j=1}^k m_{ij}\right) \cdot \ddot{z}_{\Pi\Pi I} = 0, \quad (6)$$

$$I_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij}^I - m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{x}_{ij}^I - m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\varphi}_i^I + g \cdot m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij}^I = 0, \quad (7)$$

$$M'_{\Pi\Pi\Pi} \cdot \ddot{x}_{\Pi\Pi\Pi} + M_{\Pi\Pi\Pi} \cdot h \cdot \ddot{\varphi}_{\Pi\Pi\Pi} = -\sum_{i=1}^2 S_i + R_I, \quad (8)$$

$$\begin{aligned} I_{\Pi\Pi\Pi} \cdot \ddot{\varphi}_{\Pi\Pi\Pi} + M_{\Pi\Pi\Pi} \cdot h \cdot \ddot{x}_{\Pi\Pi\Pi} - g \cdot \varphi_{\Pi\Pi\Pi} \cdot M_{\Pi\Pi\Pi} \cdot h = l \cdot F_{TP} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2) + \\ + l(k_1 \cdot \Delta_1 - k_2 \cdot \Delta_2), \end{aligned} \quad (9)$$

$$M_{\Pi\Pi I} \cdot \ddot{z}_{\Pi\Pi I} = k_1 \cdot \Delta_1 + k_2 \cdot \Delta_2 - F_{TP} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2), \quad (10)$$

$$\left(m_i + \sum_{j=1}^k m_{ij}\right) \cdot \ddot{x}_i^II + \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}\right) \cdot \ddot{\varphi}_i^II - \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij}^II = S^II_i, \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \left(I_{\alpha} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}^2\right) \cdot \ddot{\varphi}_i^II + \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}\right) \cdot \ddot{x}_i^II + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij}^II - \\ - g \cdot \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}\right) \cdot \varphi_i^II = 0, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\left(m_i + \sum_{j=1}^k m_{ij}\right) \cdot \ddot{z}_{\Pi\Pi II} = 0, \quad (13)$$

$$I_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij}^II - m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{x}_{ij}^II - m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\varphi}_i^II + g \cdot m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij}^II = 0, \quad (14)$$

$$M'_{\Pi\Pi I} = M_{\Pi\Pi I} + 2 \cdot m_T + \frac{n \cdot I}{r^2}; \quad \Delta_1^i = z_{\Pi\Pi I} - l \cdot \varphi_{\Pi\Pi I}; \quad \Delta_2^i = z_{\Pi\Pi I} + l \cdot \varphi_{\Pi\Pi I}$$

$$S_i = f_{mp} \cdot \text{sign} \cdot (x_{\Pi\Pi I} - x_{ij})$$

де $M_{\Pi\Pi I}$ – маса i -ї секції вагона-платформи; $I_{\Pi\Pi I}$ – момент інерції i -ї секції вагона-платформи; S_a – величина повздовжньої сили, яка діє на передні упори автозчепу; f_{mp} – амплітудне значення сили сухого тертя; m_T – маса візка; I – момент інерції колісної пари; r –

радіус середнезношеного колеса; n – кількість вісей візка; l – половина бази i -ої секції вагона-платформи; F_{mp} – абсолютне значення сили сухого тертя у ресорному комплекті; k_1, k_2 – жорсткість пружин ресорного підвішування візків вагона-платформи; k – кількість тонів коливань наливного вантажу; m_i – маса тіла, яке еквівалентне i -му контейнеру-цистерні з частиною наливного вантажу, що не приймає участі у переміщенні відносно котла; m_{ij} – маса j -го маятника у i -му контейнері-цистерні; z_{ci} – висота центру ваги контейнера-цистерни; c_{ci} – відстань від площини $z_i = 0$ до точки закріплення j -го маятника у i -му контейнері-цистерні; l_{ij} – довжина j -го маятника; I_θ – приведений момент інерції i -го контейнера-цистерни та наливного вантажу, що не приймає участі у русі відносно котла; I_{ij} – момент інерції маятника; x, φ, z – координати, що відповідають, відповідно, повздовжньому, кутовому навколо повздовжньої вісі та вертикальному переміщенню вагона-платформи; x_i, φ_i – координати, що відповідають, відповідно, повздовжньому та кутовому навколо повздовжньої вісі переміщенню контейнера-цистерни; ζ_{ij} – кут відхилення j -го маятника від вертикалі.

Вертикальні переміщення контейнера-цистерни відносно рами вагона-платформи не враховувалися. До уваги також приймалася податливість наливного вантажу відносно стінок котла контейнера-цистерни. Рух наливного вантажу описувався сукупністю математичних маятників [11].

Визначення гідродинамічних характеристик наливного вантажу здійснювалося за методикою, наведеною у [14]. У якості наливного вантажу прийнятий бензин. На підставі проведених розрахунків для випадку максимально-допустимої завантаженості котла контейнера-цистерни у відповідності з [15], отримано значення $m_{ij} \approx 6,8$ т, $I_{ij} \approx 250$ т·м². При цьому враховано, що котел заповнений на 95%.

Розв'язання диференціальних рівнянь здійснено за допомогою метода Рунге-Кутта в програмному комплексі MathCad [16 – 19]. Початкові переміщення та швидкості прийняті рівними нулю.

Результати досліджень дозволили зробити висновок, що прискорення, яке діє на першу з боку прикладення сили секцію вагона-платформи складає 27,7 м/с², а на другу – 24,4 м/с² (рис. 3).

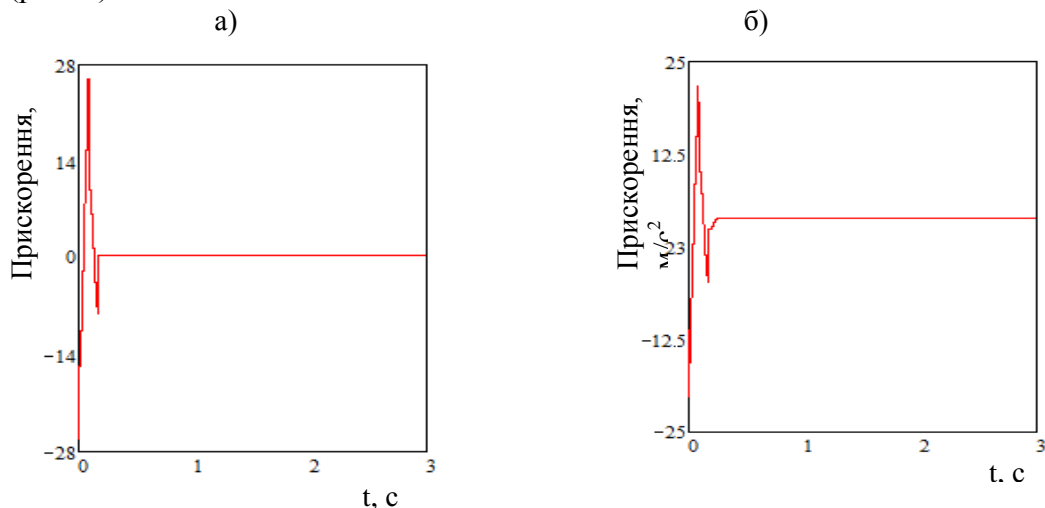


Рис. 3. Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу
а) перша з боку дії сили секція; б) друга з боку дії сили секція

Для зменшення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи розглянуто можливість використання на ній концепту упряжного пристрою, як альтернативного варіанта типовому автозчепу (рис. 4), [9].

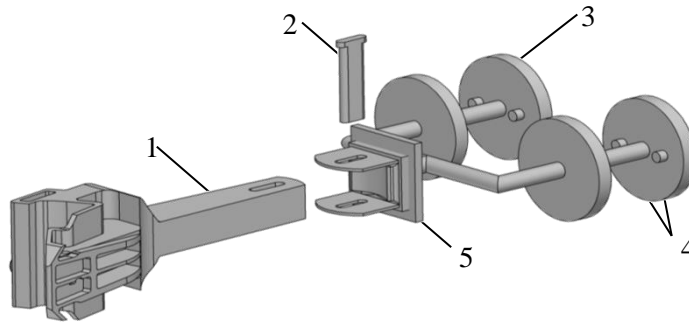


Рис. 4. Концепт уп'язного пристрою автозчепу

1 – корпус автозчепу; 2 – клин; 3 – поршень; 4 – дросельні клапани; 5 – опорна планка

При цьому консольні частини хребтової балки вагона-платформи заповнені в'язкою речовиною з демпфуючими властивостями. Для перетворення кінетичної енергії удару в енергію дисипації в концепт входить поршень з двома дросельними клапанами (впускним та випускним). Передача повздовжнього навантаження від корпусу автозчепу на концепт здійснюється через опорну планку, яка посередництвом вилки передає його на дводискові поршні. При переміщенні поршнів в бік п'ятника вагона відкриваються впускні клапани, при цьому випускні клапани – закриті. При зворотньому переміщенні поршнів (ривок, стискання) відкриваються випускні клапани поршнів, впускні – закриті. Коефіцієнт в'язкого опору, що створюється концептом уп'язного пристрою повинен бути не нижче за 70 кН/с · м.

Рівняння руху вагона-платформи, завантаженого контейнерами-цистернами, при цьому мають вигляд:

$$M'_{\Pi\Pi_1} \cdot \ddot{x}_{\Pi\Pi_1} + M_{\Pi\Pi_1} \cdot h \cdot \ddot{\varphi}_{\Pi\Pi_1} = S_a - \sum_{i=1}^2 S_i - R_{\Pi} - \beta \cdot \dot{x}_{\Pi\Pi_1}, \quad (15)$$

$$I_{\Pi\Pi_1} \cdot \ddot{\varphi}_{\Pi\Pi_1} + M_{\Pi\Pi_1} \cdot h \cdot \ddot{x}_{\Pi\Pi_1} - g \cdot \varphi_{\Pi\Pi_1} \cdot M_{\Pi\Pi_1} \cdot h = l \cdot F_{TP} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2) + l(k_1 \cdot \Delta_1 - k_2 \cdot \Delta_2), \quad (16)$$

$$M_{\Pi\Pi} \cdot \ddot{z}_{\Pi\Pi} = k_1 \cdot \Delta_1 + k_2 \cdot \Delta_2 - F_{TP} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2), \quad (17)$$

$$\left(m_i + \sum_{j=1}^k m_{ij} \right) \cdot \ddot{x}_i^I + \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \right) \cdot \ddot{\varphi}_i^I - \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij}^I = S^I_i, \quad (18)$$

$$\left(I_{\alpha} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}^2 \right) \cdot \ddot{\varphi}_i^I + \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \right) \cdot \ddot{x}_i^I + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij}^I - g \cdot \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \right) \cdot \varphi_i^I = 0, \quad (19)$$

$$\left(m_i + \sum_{j=1}^k m_{ij} \right) \cdot \ddot{z}_{\Pi\Pi_1} = 0, \quad (20)$$

$$I_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij}^I - m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{x}_{ij}^I - m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\varphi}_i^I + g \cdot m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij}^I = 0, \quad (21)$$

$$M'_{\Pi\Pi\Pi} \cdot \ddot{x}_{\Pi\Pi\Pi} + M_{\Pi\Pi\Pi} \cdot h \cdot \ddot{\varphi}_{\Pi\Pi\Pi} = -\sum_{i=1}^2 S_i + R_I, \quad (22)$$

$$I_{\Pi\Pi\Pi} \cdot \ddot{\varphi}_{\Pi\Pi\Pi} + M_{\Pi\Pi\Pi} \cdot h \cdot \ddot{x}_{\Pi\Pi\Pi} - g \cdot \varphi_{\Pi\Pi\Pi} \cdot M_{\Pi\Pi\Pi} \cdot h = l \cdot F_{TP}(\text{sign}\dot{\Delta}_1 - \text{sign}\dot{\Delta}_2) + l(k_1 \cdot \Delta_1 - k_2 \cdot \Delta_2), \quad (23)$$

$$M_{\Pi\Pi\Pi} \cdot \ddot{z}_{\Pi\Pi\Pi} = k_1 \cdot \Delta_1 + k_2 \cdot \Delta_2 - F_{TP}(\text{sign}\dot{\Delta}_1 - \text{sign}\dot{\Delta}_2), \quad (24)$$

$$\left(m_i + \sum_{j=1}^k m_{ij}\right) \cdot \ddot{x}_i^{\text{II}} + \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}\right) \cdot \ddot{\varphi}_i^{\text{II}} - \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij}^{\text{II}} = S^{\text{II}}_i, \quad (25)$$

$$\left(I_{\theta} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}^2\right) \cdot \ddot{\varphi}_i^{\text{II}} + \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}\right) \cdot \ddot{x}_i^{\text{II}} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij}^{\text{II}} - g \cdot \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}\right) \cdot \varphi_i^{\text{II}} = 0, \quad (26)$$

$$\left(m_i + \sum_{j=1}^k m_{ij}\right) \cdot \ddot{z}_{\Pi\Pi\Pi} = 0, \quad (27)$$

$$I_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij}^{\text{II}} - m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{x}_{ij}^{\text{II}} - m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\varphi}_i^{\text{II}} + g \cdot m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij}^{\text{II}} = 0, \quad (28)$$

де β – коефіцієнт в'язкого опору, що створюється концептом упругого пристрою. Результати розрахунку наведені на рис. 5.

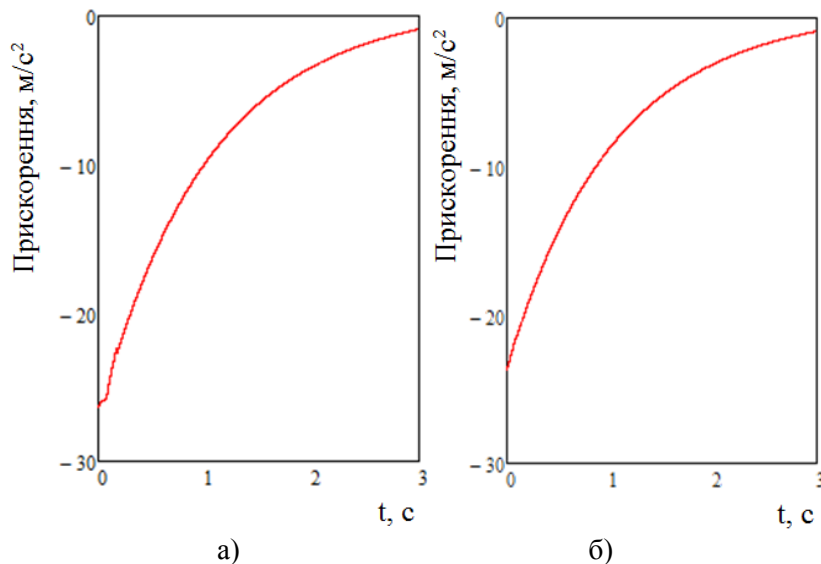


Рис. 5. Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу
а) перша з боку дії сили секція; б) друга з боку дії сили секція

Результати досліджень дозволили зробити висновок, що прискорення, яке діє на першу з боку прикладення сили секцію вагона-платформи склало близько $25,0 \text{ м/с}^2$, а на другу – близько $22,0 \text{ м/с}^2$.

Запропонована реалізація дозволяє зменшити динамічну навантаженість несучої конструкції вагона-платформи на 10% у порівнянні з використанням типового автозчепного пристрою.

Висновки

1. Складено розрахункову схему вагона-платформи зчленованого типу з круглих труб для визначення повздовжньої навантаженості несучої конструкції. Враховано, що несуча конструкція завантажена чотирма контейнерами-цистернами типорозміру 1СС. Дослідження проведені в плоскій системі координат. Враховано, що на передні упори автозчепу діє повздовжня сила у 2,5 МН.

2. Проведено моделювання динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з круглих труб при використанні типового автозчепного пристрою. При цьому враховано, що котел заповнений на 95%. Розв'язок рівнянь руху здійснений в програмному комплексі MathCad. Результати досліджень дозволили зробити висновок, що прискорення, яке діє на першу з боку прикладення сили секцію вагона-платформи складає $27,7 \text{ м/с}^2$, а на другу – $24,4 \text{ м/с}^2$.

3. Проведено моделювання динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з круглих труб при використанні концепту упряжного пристрою. При цьому коефіцієнт в'язкого опору, що створюється концептом упряжного пристрою повинен бути не нижче за $70 \text{ кН/с} \cdot \text{м}$. Визначено, що прискорення, яке діє на першу з боку прикладення сили секцію вагона-платформи складає $25,0 \text{ м/с}^2$, а на другу – близько $22,0 \text{ м/с}^2$.

Запропоноване рішення дозволяє зменшити динамічну навантаженість несучої конструкції вагона-платформи на 10% у порівнянні з використанням типового автозчепного пристрою.

Подяка

Дані дослідження проведені в рамках наукової теми молодих вчених “Інноваційні засади створення ресурсозберігаючих конструктивів вагонів шляхом урахування уточнених динамічних навантажень та функціонально-адаптивних флеш-концептів”, яка виконується за рахунок коштів державного бюджету України з 2020 р.

ЛІТЕРАТУРА

1. Shatunov O. V., Shvets A. O. Study of dynamic indicators of flat wagon with load centre shift. Наука та прогрес транспорту. 2019. № 2 (80). С. 127–143. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2019/165160>.
2. WBN Waggonbau Niesky GmbH: Developing a flexible platform of freight wagons. Intern. Edition. 2016. № 1. P. 46.
3. Nandan Shivendra, Trivedi Rishikesh, Kant Satyajeet, Ahmad Javed, Maniraj M. Design, analysis and prototype development of railway wagons on different loading conditions. Preprint. 2020. March. <https://www.researchgate.net/publication/340001068>
4. Šťastniak Pavol, Kurčík Pavol, Pavlík Alfréd. Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform. MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 235(2). 00030, doi: 10.1051 / mateconf / 201823500030
5. Myamlin Sergey, Povilas Lingaitis Leonas, Daildyka Stasys, Vaičiūnas Gediminas, Bogdevičius Marijonas, Bureika Gintautas. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie. Transport. 2015. Vol. 30(1). P. 88–92. doi:10.3846/16484142.2015.1020565
6. Недужа Л. О., Швецъ А. О. Теоретичні та експериментальні дослідження міцнісних якостей хребтової балки вантажного вагона. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2018, № 1 (73). P. 131 – 147. doi: 10.15802/stp2018/123457
7. Fomin O., Lovska A. Improvements in passenger car body for higher stability of train ferry. Engineering Science and Technology an International Journal. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.08.010>

8. Fomin Oleksij, Alyona Lovska, Radkevych Valentyna, Horban Anatoliy, Skliarenko Inna, Gurenkova Olga. The dynamic loading analysis of containers placed on a flat wagon during shunting collisions. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. Vol. 14, No. 21. P. 3747–3752.
9. Alyona Lovska, Oleksij Fomin, Pavel Kučera, Václav Píštěk. Calculation of loads on carrying structures of articulated circular-tube wagons equipped with new draft gear concepts. *Applied Science*. 2020. Vol. 10. 7441. doi:10.3390/app10217441
10. Фомін О. В., Ловська А. О. Визначення міцності несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з круглих труб. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2020. № 2 (86). С. 92–102.
11. Богомаз Г. И., Мехов Д. Д., Пилипченко О. П., Черномашенцева Ю. Г. Нагруженность контейнеров-цистерн, расположенных на железнодорожной платформе, при ударах в автосцепку. *Зб. наук. праць “Динаміка та керування рухом механічних систем”*. Київ: АНУ, Інститут технічної механіки, 1992. С. 87 – 95.
12. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015. 250 с.
13. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. [Действителен от 2016-07-01]. Москва, 2016. 54 с.
14. Кривовязюк Ю. П. Оценка эквивалентной нагруженности четырехосных железнодорожных цистерн с жидкими грузами различной плотности при продольных ударах: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.22.07 “Подвижной состав железных дорог и тяга поездов” / Ю. П. Кривовязюк. – Днепропетровск, 1986. 157 с.
15. Правила перевозок опасных грузов. К соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении. Том 3. ОСЖД, 2011. 531 с.
16. Vatulia G., Falendysh A., Orel Y., Pavliuchenkov M. Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 187. P. 301–307.
17. Kitov Y., Verevicheva M., Vatulia G., Orel Y., Deryzemlia S. Design solutions for structures with optimal internal stress distribution. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 133(1–3). 03001.
18. Kondratiev A. V., Gaidachuk V. E., Kharchenko M. E. Relationships between the ultimate strengths of polymer composites in static bending, compression, and tension. *Mechanics of Composite Materials*. 2019. Vol. 52, Issue 2. P. 259–266.
19. Fomin Oleksij, Lovska Alyona. 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, No. 7 (108). P. 21 – 29. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217162

REFERENCES

1. Shatunov O. V., Shvets A. O. (2019). Study of dynamic indicators of flat wagon with load centre shift. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo nacionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu*, 2 (80).127–143. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2019/165160>. (in English).
2. (2016). WBN Waggonbau Niesky GmbH: Developing a flexible platform of freight wagons. *Intern. Edition*, 1. 46. (in English).
3. Nandan Shivendra, Trivedi Rishikesh, Kant Satyajeet, Ahmad Javed, Maniraj M. (2020). Design, analysis and prototype development of railway wagons on different loading conditions. *Preprint*. March. <https://www.researchgate.net/publication/340001068> (in English).
4. Štastniak Pavol, Kurčík Pavol, Pavlík Alfréd. (2018). Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform. *MATEC Web of Conferences*, 235(2). 00030, doi: 10.1051 / mateconf / 201823500030 (in English).
5. Myamlin Sergey, Povilas Lingaitis Leonas, Dailydka Stasys, Vaičiūnas Gediminas, Bogdevičius Marijonas, Bureika Gintautas. (2015). Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie. *Transport*, 30(1). 88–92. doi:10.3846/16484142.2015.1020565 (in English).
6. Neduzha L. O., Shvec A. O. (2018). Teoretichni ta eksperimentalni doslidzhennya micnisnih yakostej hrebtovoyi balki vantazhnogo vagona. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo nacionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu*, 1 (73). 131 – 147. doi: 10.15802/stp2018/123457 (in Ukrainian).
7. Fomin O., Lovska A. (2020). Improvements in passenger car body for higher stability of train ferry. *Engineering Science and Technology an International Journal*, 23, 6. 1455–1465. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.08.010> (in English).
8. Fomin Oleksij, Alyona Lovska, Radkevych Valentyna, Horban Anatoliy, Skliarenko Inna, Gurenkova Olga. (2019). The dynamic loading analysis of containers placed on a flat wagon during shunting collisions. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14, 21, 3747–3752. (in English).
9. Alyona Lovska, Oleksij Fomin, Pavel Kučera, Václav Píštěk. (2020). Calculation of loads on carrying structures of articulated circular-tube wagons equipped with new draft gear concepts. *Applied Science*, 10, 7441. doi:10.3390/app10217441 (in English).
10. Fomin O. V., Lovska A. O. (2020). Vznachennya micnosti nesuchoyi konstrukciyi vagona-platformi zchlenovanogo tipu z kruglih trub. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo nacionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu imeni akademika V. Lazaryana*, 2 (86), 92–102. (in Ukrainian).

11. Bogomaz G. I., Mehov D. D., Pilipchenko O. P., Chernomashenceva Yu. G. (1992). Nagruzhenost kontejnerov-cistern, raspolozhennyh na zheleznodorozhnoj platforme, pri udarah v avtoscepku. *Zb. nauk. prac "Dinamika ta keruvannya ruhom mehanichnih sistem"*, 87–95.
12. Vagony vantazhni. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv koliyi 1520 mm (nesamohidnih) [Freight wagons. General requirements for the calculation and design of new and upgraded 1520 mm (non-self-propelled) railcars]. 162. DSTU 7598:2014 (2015). (in Ukrainian).
13. Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam [Freight cars. Strength and Dynamic Requirements], 54. GOST 33211-2014 (2016). (in Russian).
14. Krivovyazyuk Yu. P. (1986). Ocenka ekvivalentnoj nagruzhenosti chetyrehosnyh zheleznodorozhnyh cistern s zhidkimi gruzami razlichnoj plotnosti pri prodolnyh udarah: dis. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.22.07 "Podvizhnoj sostav zheleznyh dorog i tyaga poezdov", Dnepropetrovsk, 157. (in Russian).
15. (2011). Pravila perevozok opasnyh gruziv. K soglasheniyu o mezhdunarodnom zheleznodorozhnom gruzovom soobshenii. Tom 3, OSZhD, 531. (in Russian).
16. Vatulia, G., Falendysh, A., Orel, Y., Pavliuchenkov, M. (2017). Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages. *Procedia Engineering*, 187, 301–307. (in English).
17. Kitov, Y., Verevicheva, M., Vatulia, G., Orel, Y., Deryzemlia, S. (2017). Design solutions for structures with optimal internal stress distribution. *MATEC Web of Conferences*, 133(1–3), 03001. (in English).
18. Kondratiev A. V., Gaidachuk V. E., Kharchenko M. E. (2019). Relationships between the ultimate strengths of polymer composites in static bending, compression, and tension. *Mechanics of Composite Materials*, 52, 2, 259–266. (in English).
19. Fomin Oleksij, Lovska Alyona. (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: 10.15587/1729-4061.2020.217162 (in English).

Oleksij Fomin¹, Alyona Lovska²

¹ Professor of Department of Cars and Carriage Facilities, State University of Infrastructure and Technologie, Kyrylivska str., 9, Kyiv, 04071, Ukraine

² Associate Professor of Wagons Chair, Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach sq., 7, Kharkiv, 61050, Ukraine

INVESTIGATION OF THE DYNAMIC LOAD OF THE JOINT-PLATFORM OF THE JOINT TYPE FROM ROUND PIPES LOADED BY TANKER CONTAINERS

The dynamic loading of the load-bearing structure of the articulated platform car made of round pipes loaded with tank containers was determined. The research was conducted by mathematical modeling. The solution of the equations of motion is carried out in the MathCad software package. It is established that under the influence of a longitudinal force of 2.5 MN on the front stops of the autocoupling, the acceleration on the first section of the platform car is 27.7 m/s² from the side of the force application, and on the second - 24.4 m/s².

To reduce the dynamic load of the load-bearing structure of the platform car, the possibility of using the concept of a harness device on it as an alternative to a typical self-coupling device is considered. The quenching of the kinetic energy of the impact is carried out due to the viscous resistance forces arising in the concept.

The proposed implementation allows to reduce the dynamic load of the load-bearing structure of the platform car by 10% compared to the use of a standard self-coupling device.

The conducted researches will promote creation of innovative designs of cars-platforms and increase of efficiency of use of railway transport.

Keywords: transport mechanics, platform car, load-bearing structure, dynamic loading, harness device concept.