

Г. Л. ВАТУЛЯ, А. О. ЛОВСЬКА, Є. С. КРАСНОКУТСЬКИЙ

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ КОНТЕЙНЕРА ТИПУ ХОПЕР, РОЗМІЩЕНОГО НА ДОВГОБАЗНІЙ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ

Для підвищення ефективності експлуатації контейнерних перевезень запропоновано конструкцію контейнера типу хопер. Особливістю контейнера є те, що його торцеві та бокові стіни розміщені під деяким кутом для можливості саморозвантаження насипного або навалювального вантажу через розвантажувальні луки, які утворюють його підлогу. Для визначення вертикальної навантаженості контейнера типу хопер, розміщеного на довгобазній конструкції вагона-платформи, проведено математичне моделювання. З цією метою сформовано математичну модель, яка описує поступальні переміщення вагона-платформи у вертикальній площині, тобто коливання підскакування. При проведенні розрахунків враховано, що вагон-платформа складається з трьох тіл – несуча конструкція, завантажена чотирма контейнерами та два візки моделі 18-100. При цьому контейнери розглядалися як прикріплені маси, які повністю повторюють траєкторію переміщень несучої конструкції вагона-платформи у вертикальній площині. В математичній моделі враховано пружні характеристики рейкової колії. Розрахунок здійснено за умови розміщення контейнерів на довгобазній конструкції вагона-платформи моделі 13-7024. Розв'язок математичної моделі здійснено за методом Рунге – Кутта, реалізованому в програмному комплексі MathCad. При цьому початкові умови покладені рівними нулю. Встановлено, що максимальне прискорення, яке діє в центрі мас несучої конструкції вагона-платформи, завантаженого контейнерами типу хопер, складає $1,28 \text{ м/с}^2$, що не перевищує допустиме значення. Коефіцієнт вертикальної динаміки склав 0,13. Хід руху вагона-платформи оцінюється як "відмінний". Проведені дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо проектування перспективних конструкцій контейнерів та підвищенню ефективності експлуатації контейнерних перевезень.

Ключові слова: транспортна механіка, контейнер типу хопер, динамічна навантаженість, показники динаміки, контейнерні перевезення.

Для повышения эффективности эксплуатации контейнерных перевозок предложена конструкция контейнера типа хоппер. Особенностью контейнера является то, что его торцевые и боковые стены расположены под некоторым углом для возможности саморазгрузки насыпного или навалочного груза через разгрузочные люки, образующие пол. Для определения вертикальной нагруженности контейнера типа хопер, размещенного на длиннобазной конструкции вагона-платформы, проведено математическое моделирование. С этой целью сформирована математическая модель, описывающая поступательные перемещения вагона-платформы в вертикальной плоскости, то есть колебания подпрыгивания. При проведении расчетов учтено, что вагон-платформа состоит из трех тел – несущая конструкция, нагруженная четырьмя контейнерами и две тележки модели 18-100. При этом контейнеры рассматривались как прикрепленные массы, полностью повторяющие траекторию перемещений несущей конструкции вагона-платформы в вертикальной плоскости. В математической модели учтены упругие характеристики рельсового пути. Расчет произведен при условии размещения контейнеров на длиннобазной конструкции вагона-платформы модели 13-7024. Решение математической модели осуществлено методом Рунге – Кутта, реализованном в программном комплексе MathCad. При этом начальные условия положены равными нулю. Установлено, что максимальное ускорение, действующее в центре масс несущей конструкции вагона-платформы, нагруженного контейнерами типа хоппер, составляет $1,28 \text{ м/с}^2$, что не превышает допустимое значение. Коэффициент вертикальной динамики составил 0,13. Ход движения вагона оценивается как "отличный". Проведенные исследования будут способствовать созданию разработок по проектированию перспективных конструкций контейнеров и повышению эффективности эксплуатации контейнерных перевозок.

Ключевые слова: транспортная механика, контейнер типа хоппер, динамическая нагруженность, показатели динамики, контейнерные перевозки.

Higher operational efficiency of container transportation can be achieved by putting into operation hopper containers. The special feature of a container is its inclined end and sidewalls, which makes it possible to self-discharge bulk freight through the discharging hatches forming the floor. The vertical loading of a hopper container placed on the long-base flat car was determined with the mathematical modelling. The mathematical model described the translational movement of a flat car in the vertical plane, i.e. bouncing oscillations. The flat car for the calculation consisted of three bodies: bearing structure loaded with four containers and two 18-100 bogies. The containers were considered as attached masses that completely repeated the movement pattern of the bearing structure of the flat car in the vertical plane. The mathematical model also included the elastic characteristics of the track. The calculation was made for the containers placed on a long-base 13-7024 flat car. The mathematical model was solved with the Runge-Kutta method in MathCad. The initial conditions were equal to zero. It was found that the maximum acceleration in the mass center of the bearing structure of a flat car loaded with hopper containers was 1.28 m/s^2 , which did not exceed the allowable values. The vertical dynamic coefficient was 0.13. The motion of the flat car was estimated as excellent. The results of the research will be of value for those who are dealing with development of advanced container structures with better operational efficiency for container transportation.

Key words: transport mechanics, hopper container, dynamic loading, dynamic characteristics, container transportation.

Вступ. Забезпечення конкурентоспроможності залізничної галузі зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію транспортних засобів з покращеними експлуатаційними характеристиками. Вже тривалий час однією з найбільш пріоритетних складових транспортної галузі є контейнерні перевезення (рис. 1), [1, 2].

На даний час в контейнерах стало можливим перевезення майже всіх типів вантажів. Разом з цим для забезпечення подальшої ефективності експлуатації контейнерних перевезень важливим є впровадження нових конструкційних рішень при

проектуванні контейнерів.





Рис. 1 – Контейнерні перевезення
а) залізничні; б) залізнично-поромні

Такі рішення повинні бути спрямовані на підвищення їх функціональності та уніфікацію, що дозволить покращити не тільки ефективність контейнерних перевезень, а і транспортної галузі в цілому. У зв'язку з цим питання проектування та впровадження у експлуатацію нових конструкцій контейнерів з покращеними експлуатаційними характеристиками є досить актуальними та важливими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження динамічної навантаженості контейнера проводиться у роботі [3]. При цьому авторами проведено визначення інерційних навантажень, які діють на контейнер, а далі вже здійснено розрахунок його міцності під дією цих навантажень. Встановлено, що показники міцності досліджуваної моделі контейнера забезпечуються. Разом з цим авторами не запропоновано заходів щодо підвищення ефективності експлуатації контейнерів.

Викликає наукову цікавість публікація [4] в якій висвітлено перспективи застосування змінних кузовів, які функціонують за принципом контейнерів. В роботі наведено вимоги, яким повинні задовольняти сучасні конструкції змінних кузовів. Однак авторами не розкрито питань щодо підвищення їх функціональності.

Дослідження напружено-деформованого стану кузова-контейнера змінного об'єму проводиться у публікації [5]. Визначено зони найбільшої навантаженості його конструкції. Наведено результати експериментального визначення міцності контейнера. При цьому авторами досліджено поперечний перекис контейнера при незначних величинах його навантажень. Важливо відмітити, що питанню удосконалення конструкції контейнера з урахуванням визначених зон навантаженості його конструкції в роботі уваги не приділено.

Визначення динамічної навантаженості контейнера при перевезенні його залізничним поромом проводиться в роботі [6]. Враховано, що контейнер розміщений на вагоні-платформі, який закріплено на палубі. Розраховано допустимі кути крену залізничного порому при яких забезпечується

стійкість контейнера. Запропоновано заходи щодо покращення стійкості контейнера при перевезенні залізничним поромом. Однак дані рішення спрямовані на удосконалення несучої конструкції вагона-платформи та не сприяють підвищенню функціональності контейнерів.

В публікації [7] запропоновано конструкцію контейнера типу FLAT RACK, особливістю якого є наявність випуклих стін. Таке рішення сприяє збільшенню його вантажопідйомності у порівнянні з прототипом на 8%. Для зменшення його динамічної навантаженості запропоновано та науково-обгрунтовано використання пружно-фрикційних складових в конструкції. Разом з цим дана конструкція контейнера призначена для перевезень вантажів, які не потребують захисту від атмосферних опадів, що обмежує його затребуваність в експлуатації.

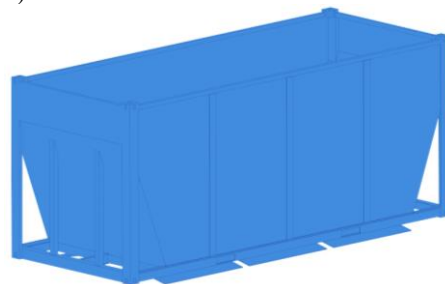
Дослідження навантаженості контейнера типорозміру 1АА висвітлено у публікації [8]. Проведено аналіз напруженого стану контейнера. Визначено зони концентрації найбільшої навантаженості його конструкції. Це дозволило сформулювати вимоги, які спрямовані на забезпечення безпеки його експлуатації. Важливо сказати, що в даній роботі не запропоновано заходів щодо підвищення функціональності конструкцій контейнерів.

Визначення навантаженості контейнера для перевезення плодоовочевої продукції проводиться у роботі [9]. До уваги прийнято основні схеми його навантажень в експлуатації. Встановлено, що міцність запропонованої конструкції контейнера забезпечується. Також у роботі зазначено вимоги до даної конструкції контейнера. Однак такий контейнер є вузькоспеціалізованим та призначений для перевезень конкретного типу вантажу.

Аналіз літературних джерел [3 – 9] дозволяє зробити висновок, що питання проектування та впровадження в експлуатацію перспективних конструкцій контейнерів з покращеними експлуатаційними властивостями є досить актуальними та потребують подальшого дослідження.

Мета статті. Метою статті є висвітлення конструкційних особливостей контейнера типу хопер, а також визначення його вертикальної навантаженості за умови розміщення на довгобазній конструкції вагона-платформи.

Викладення основного матеріалу статті. З метою підвищення ефективності перевезень вантажів запропоновано конструкцію контейнера типу хопер (рис. 2, а).



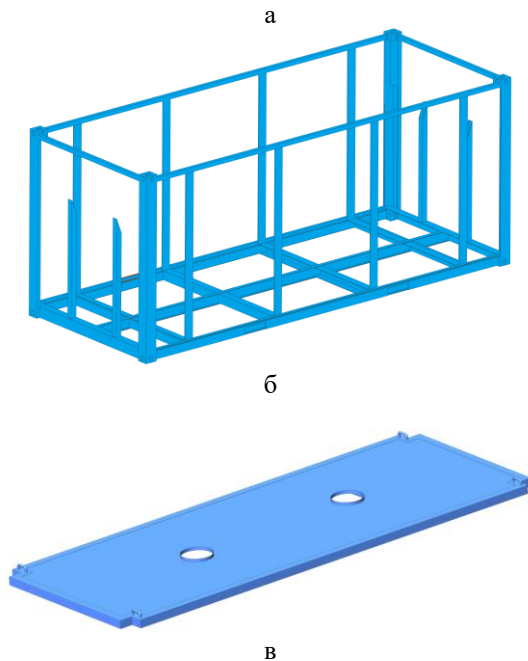


Рис. 2 – Контейнер типу хопер
а) загальний вигляд; б) каркас; в) зйомний дах

Особливістю контейнера є те, що його торцеві та бокові стіни розміщені під деяким кутом для можливості саморозвантаження насипного або навалювального вантажу через розвантажувальні люки, які утворюють його підлогу (по три з кожного боку), (рис. 2. б). Розвантаження контейнера може здійснюватися і через торцеву стіну. Для можливості перевезень у контейнері вантажів, які потребують захисту від атмосферних опадів він оснащений зйомним дахом (рис. 2, в).

З метою забезпечення схоронності контейнера при розвантаженні вантажу через нижні люки на даху передбачені верхні люки. При здійсненні розвантаження необхідним є їх відкриття для ліквідації вакууму у середині контейнера при зсипанні вантажу. Також є можливим здійснювати завантаження контейнера через верхні люки.

Для визначення вертикальних прискорень, які діють на контейнер типу хопер, розміщений на вагоні-платформі, сформовано математичну модель (1). Розрахункова схема вагона-платформи наведена на рис. 3. При цьому вагон-платформа складається з трьох тіл – несуча конструкція та два візки моделі 18-100. Враховано, що вагон-платформа завантажений чотирма контейнерами. Контейнери розглядалися як прикріплені маси, які повністю повторюють траєкторію переміщень несучої конструкції вагона-платформи у вертикальній площині. Розрахунок проведений за умови розміщення контейнерів на довгобазній конструкції вагона-платформи моделі 13-7024.

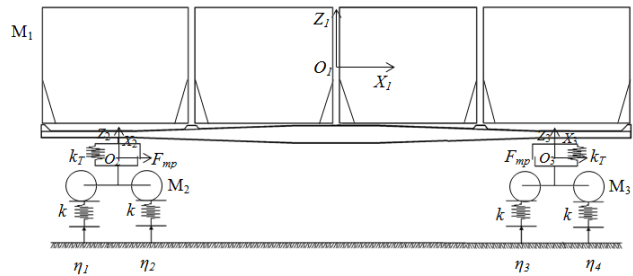


Рис. 3 – Розрахункова схема вагона-платформи, завантаженого контейнерами типу хопер

Система диференціальних рівнянь руху має вигляд

$$\begin{cases} M_1 \cdot \ddot{q}_1 + C_{1,1} \cdot \dot{q}_1 + C_{1,2} \cdot \dot{q}_2 + C_{1,3} \cdot \dot{q}_3 = \\ = -F_{TP} \cdot (\text{sign}(\dot{\delta}_1) + \text{sign}(\dot{\delta}_2)), \\ M_2 \cdot \ddot{q}_2 + C_{2,1} \cdot \dot{q}_1 + C_{2,2} \cdot \dot{q}_2 = F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{\delta}_1) + k(\eta_1 + \eta_2), \\ M_3 \cdot \ddot{q}_3 + C_{3,1} \cdot \dot{q}_1 + C_{3,3} \cdot \dot{q}_3 = F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{\delta}_2) + k(\eta_3 + \eta_4), \end{cases} \quad (1)$$

де M_1 – маса несучої конструкції вагона-платформи, завантаженого контейнерами типу хопер; M_2, M_3 – маса, відповідно, першого та другого візка; C_{ij} – характеристики пружності елементів коливальної системи, які визначаються значеннями коефіцієнтів жорсткості пружин k_T ; k – жорсткість колії; F_{TP} – сила тертя у ресорному комплекті візка; δ_i – деформації пружних елементів ресорного підвішування; η_i – нерівність колії.

В системі рівнянь руху (1) прийнято

$Z_1 \sim q_1$ – координата, що характеризує поступальні переміщення несучої конструкції вагона-платформи, завантаженого контейнерами відносно вертикальної осі;

$Z_2 \sim q_2$ – координата, що характеризує поступальні переміщення першого візка відносно вертикальної осі;

$Z_3 \sim q_3$ – координата, що характеризує поступальні переміщення другого візка відносно вертикальної осі.

Модель (1) враховує, що колія має пружні характеристики. Нерівність колії описано функцією [10, 11]

$$\eta_i = \frac{d}{2}(1 - \cos \omega t), \quad (2)$$

де d – глибина нерівності колії; ω – частота збурюючої дії.

Розв'язок математичної моделі здійснено за методом Рунге – Кутта [12, 13] у програмному комплексі MathCad

$$Q(t, y) = \begin{bmatrix} y_4 \\ y_5 \\ y_6 \\ \frac{-F_{TP} \cdot (\text{sign}(\dot{\delta}_1) + \text{sign}(\dot{\delta}_2)) - C_{1,1} \cdot y_1 - C_{1,2} \cdot y_2 - C_{1,3} \cdot y_3}{M_1} \\ \frac{F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{\delta}_1) + k(\eta_1 + \eta_2) - C_{2,1} \cdot y_1 - C_{2,2} \cdot y_2}{M_2} \\ \frac{F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{\delta}_2) + k(\eta_3 + \eta_4) - C_{3,1} \cdot y_1 - C_{3,3} \cdot y_3}{M_3} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$Z = \text{rkfixed}(Y0, tn, tk, n, Q).$$

Для цього використано стандартну функцію $\text{rkfixed}(Y0, tn, tk, n', Q)$. Вектор $Y0$ містить початкові умови (4). Величини tn і tk визначають початкову та кінцеву змінну інтегрування, n – фіксоване число кроків, Q – символічний вектор.

При цьому $y_1 = q_1$, $y_2 = q_2$, $y_3 = q_3$, $y_4 = \dot{y}_1$, $y_5 = \dot{y}_2$, $y_6 = \dot{y}_3$.

Початкові умови, тобто переміщення та швидкості, задані рівними нулю [14, 15]

$$Y0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Матриця інерційних коефіцієнтів має вигляд

$$M = \begin{bmatrix} M_1 & 0 & 0 \\ 0 & M_2 & 0 \\ 0 & 0 & M_3 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Матрицю пружних коефіцієнтів представлено таким чином

$$C = \begin{bmatrix} 2 \cdot k_r & -k_r & -k_r \\ -k_r & k_r + 2k & 0 \\ -k_r & 0 & k_r + 2k \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Узагальнені прискорення обчислювалися в масиві $ddq_{j,i}$

$$ddq_{j,1} = \frac{-F_{TP} \cdot (\text{sign}(\dot{\delta}_1) + \text{sign}(\dot{\delta}_2)) - C_{1,1} \cdot y_1 - C_{1,2} \cdot y_2 - C_{1,3} \cdot y_3}{M_1}, \quad (7)$$

$$ddq_{j,2} = \frac{F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{\delta}_1) + k(\eta_1 + \eta_2) - C_{2,1} \cdot y_1 - C_{2,2} \cdot y_2}{M_2}, \quad (8)$$

$$ddq_{j,3} = \frac{F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{\delta}_2) + k(\eta_3 + \eta_4) - C_{3,1} \cdot y_1 - C_{3,3} \cdot y_3}{M_3}. \quad (9)$$

Вхідні параметри до математичної моделі наведено в табл. 1.

Табл. 1. Вхідні параметри, які враховано при моделюванні вертикальної навантаженості контейнера типу хопер, розміщеного на вагоні-платформі

Назва параметру	Чисельне значення
Маса несучої конструкції вагона-платформи, т	13,7
Маса контейнера, т	23,2
Маса візка, т	4,3
Жорсткість ресорного підвішування, кН/м	8000
Коефіцієнт відносного тертя	0,1
Жорсткість колії, кН/м	100000
Глибина нерівності колії, м	0,01
Довжина нерівності, м	3,0
Швидкість руху, км/год.	90

На підставі проведених розрахунків отримано основні показники динаміки вагона-платформи, завантаженого контейнерами. Встановлено, що максимальне прискорення, яке діє в центрі мас несучої конструкції вагона-платформи, завантаженого контейнерами типу хопер, складає $1,28 \text{ м/с}^2$ ($\approx 0,13g$) (рис. 4), що не перевищує допустиме значення [16 – 18].

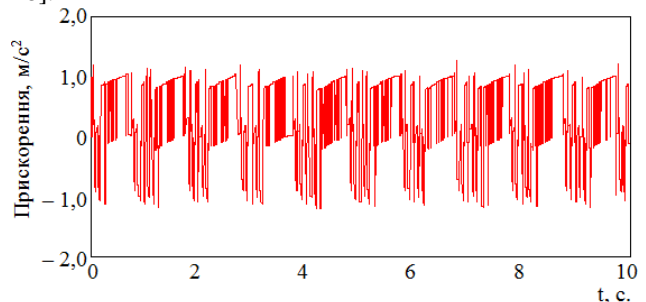


Рис. 4. Прискорення, яке діє в центрі мас несучої конструкції вагона-платформи, завантаженого контейнерами типу хопер

Прискорення візків дорівнює $25,1 \text{ м/с}^2$ ($\approx 2,6g$), (рис. 5). Сили, що виникають в ресорному підвішуванні дорівнюють $70,1 \text{ кН}$. Коефіцієнт вертикальної динаміки склав $0,13$. Хід руху вагона-платформи можна оцінити як “відмінний” [14, 15].

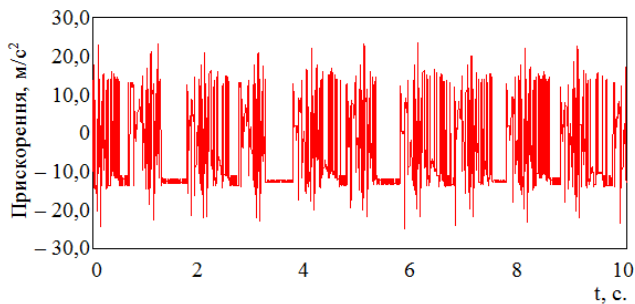


Рис. 5. Прискорення, яке діє на візку

Проведені дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо проектування перспективних конструкцій контейнерів та підвищенню ефективності експлуатації контейнерних перевезень.

Висновки.

1. Запропоновано конструкцію контейнера типу хопер для перевезень насипних та навалювальних вантажів. За необхідності контейнер може бути оснащений зйомним дахом, що сприяє можливості перевезень вантажів, які потребують захисту від атмосферних опадів.

2. Визначено основні показники динаміки вагона-платформи, завантаженого контейнерами типу хопер. Встановлено, що досліджувані показники динаміки знаходяться в межах допустимих. Максимальне прискорення, яке діє в центрі мас несучої конструкції вагона-платформи, завантаженого контейнерами типу хопер, склало $1,28 \text{ м/с}^2$ ($\approx 0,13g$). Коефіцієнт вертикальної динаміки дорівнює $0,13$. Хід руху вагона-платформи можна оцінити як “відмінний”.

Список літератури

1. Укрзалізниця нарощує контейнерні перевезення. – Режим доступу: <https://www.cargo-ukraine.com/ukrzeliznyca-kontejnerni-perevezennya/>. – Дата звернення: 25 серпня 2022.
2. First Test Train Passes the Trans-Caspian International Transport Route. – Режим доступу: <https://astanatimes.com/2016/02/first-test-train-passes-the-trans-caspian-international-transport-route/>. – Дата звернення: 25 серпня 2022.
3. Stephen Tiernan, Martin Fahy. Dynamic fea modelling of iso tank containers. *Journal of materials processing technology*. 2002. №124 (1). P. 126 – 132.
4. O. U. Chuan-jin, L. I. Bing-tao. Research and application of new multimodal transport equipment-swap bodies in China. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 145. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014>
5. Мишута Д. В., Альгин В. Б., Михайлов В. Г. Оценка напряженно-деформированного состояния кузова-контейнера переменного объема. *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2012. №4(37). С. 61 – 68.
6. Alyona Lovska, Oleksij Fomin, Vaclav Pistek, Pavel Kucera. Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10(16). 5710. doi:10.3390/app10165710
7. Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Glib Vatulia, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko. Determination of the Loading of a Flat Rack Container during Operating Modes. *Applied Science*. 2021. Vol. 11. 7623. <https://doi.org/10.3390/app11167623>
8. Arkadiusz Rzezycki, Bogusz Wisnicki. Strength analysis of shipping container floor with gooseneck tunnel under heavy cargo load. *Solid State Phenomena*. 2016. Vol. 252. P. 81 – 90.
9. Ибрагимов Н. Н., Рахимов Р. В., Хаджимухамедова М. А. Разработка конструкции контейнера для перевозки плодоовощной продукции. *Молодой ученый*. 2015. №21(101). С. 168 – 173.
10. Дьомін Ю. В., Ччерняк Г. Ю. Основи динаміки вагонів: навч. посіб. Київ: КУЕТТ, 2003. 269 с.
11. Fomin Oleksij, Lovska Alyona. Determination of dynamic loading of bearing structures of freight wagons with actual dimensions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 2/7 (110). P. 6 – 15. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.220534>
12. Кирьянов Д. В. Mathcad 13. СПб.: БХВ. Петербург, 2006. 608 с.
13. Дьяконов В. MATHCAD 8/2000: специальный справочник. СПб.: Питер, 2000. 592 с.
14. Соболенко О. В., Петречук Л. М., Іващенко Ю. С., Сгорцева С. С. Методи рішення математичних задач у середовищі Mathcad: Навчальний посібник з дисципліни “Інформатика і системологія”. Дніпро: НМетАУ, 2020. 60 с.
15. Lovska A. O. Computer simulation of wagon body bearing structure dynamics during transportation by train ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. Vol. 3. P. 9 – 14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.43749>
16. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). ДСТУ 7598:2014. [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015.
17. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колее 1520 мм (несамоходных), ГосНИИВ-ВНИИЖТ, М, 1996.
18. Вантажні контейнери. Контейнери універсальні (інтермодальні) для повітряних і наземних перевезень. Технічні умови і методи випробувань. ДСТУ ISO 8323:2015 (ISO 8323:1985, IDT). [Чинний від 2016-01-01]. Київ, 2016.

References (transliterated)

1. Ukrzaliznyca naroshhuje kontejnerni perevezennya. – Rezhim dostupu: <https://www.cargo-ukraine.com/ukrzeliznyca-kontejnerni-perevezennya/>. – Data zvernennya: 25 serpnya 2022.
2. First Test Train Passes the Trans-Caspian International Transport Route. – Rezhim dostupu: <https://astanatimes.com/2016/02/first-test-train-passes-the-trans-caspian-international-transport-route/>. – Data zvernennya: 25 serpnya 2022.
3. Stephen Tiernan, Martin Fahy. Dynamic fea modelling of iso tank containers. *Journal of materials processing technology*. 2002. №124 (1). P. 126 – 132.
4. O. U. Chuan-jin, L. I. Bing-tao. Research and application of new multimodal transport equipment-swap bodies in China. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 145. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014>
5. Mishuta D. V., Algin V. B., Mihajlov V. G. Ocenka napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kuzova-kontejnera peremennogo obema. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta*. 2012. №4(37). S. 61 – 68.
6. Alyona Lovska, Oleksij Fomin, Vaclav Pistek, Pavel Kucera. Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10(16). 5710. doi:10.3390/app10165710

7. Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Glib Vatulia, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko. Determination of the Loading of a Flat Rack Container during Operating Modes. *Applied Science*. 2021. Vol. 11. 7623. <https://doi.org/10.3390/app11167623>
8. Arkadiusz Rzezycki, Bogusz Wisnicki. Strength analysis of shipping container floor with gooseneck tunnel under heavy cargo load. *Solid State Phenomena*. 2016. Vol. 252. P. 81 – 90.
9. Ibragimov N. N., Rahimov R. V., Hadzhimuhamedova M. A. Razrabotka konstrukcii kontejnera dlya perevozki plodoovoshnoy produkcii. *Molodoj uchenyj*. 2015. №21(101). S. 168 – 173.
10. Domin YU. V., CHernyak G. YU. Osnovi dinamiki vagoniv: navch. posib. Kyiv: KUETT, 2003. 269 s.
11. Fomin Oleksij, Lovska Alyona. Determination of dynamic loading of bearing structures of freight wagons with actual dimensions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 2/7(110). P. 6 – 15. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.220534>
12. Kiryanov D. V. Mathcad 13. SPb.: BHV. Peterburg, 2006. 608 s.
13. Dyakonov V. MATHCAD 8/2000: specialnyj spravochnik. SPb.: Piter, 2000. 592 s.
14. Sobolenko O. V., Petrechuk L. M., Ivashhenko YU. S., Yegorceva Ye. Ye. Metodi rishennya matematichnih zadach u seredovishhi Mathcad: Navchalnij posibnik z disciplini "Informatika i sistemologiya". Dnipro: NMetAU, 2020. 60 s.
15. Lovska A. O. Computer simulation of wagon body bearing structure dynamics during transportation by train ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. Vol. 3. P. 9 – 14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.43749>
16. Vahony vantazhni. Zahalni vymohy do rozrakhunkiv ta proektuvannia novykh i modernizovanykh vahoniv kolii 1520 mm (nesamokhidnykh). DSTU 7598:2014. [Chynnyi vid 2015-07-01]. Kyiv, 2015.
17. Normi dlia rascheta y proektyrovannia vahonov zheleznykh doroh MPS koley 1520 mm (nesamokhodnykh), HosNYVV-VNYZZhT, M, 1996.
18. Vantazhni konteinery. Konteinery universalni (intermodalni) dlia povitrianykh i nazemnykh perevezen. Tekhnichni umovy i metody vyprobuvan. DSTU ISO 8323:2015 (ISO 8323:1985, IDT). [Chynnyi vid 2016-01-01]. Kyiv, 2016.

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Математичне моделювання вертикальної навантаженості контейнера типу хопер, розміщеного на довгобазній конструкції вагона-платформи / Г. Л. Ватуля, А. О. Ловська, Є. С. Краснокутський // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХПІ», 2022. Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2078-9130.

Математическое моделирование вертикальной нагруженности контейнера типа хопер, размещенного на длиннбазной конструкции вагона-платформы / Г. Л. Ватуля, А. А. Ловская, Е. С. Краснокутский // Вестник НТУ «ХПИ». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХПІ», 2022. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2078-9130.

Mathematical modelling of the vertical loading of a hopper container placed on the long-base flat car / G. L. Vatulia, A. O. Lovska, Ye. S. Krasnokutskiy // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Dynamics and strength of machines. – Kharkov : NTU "KhPI", 2022. – Bibliogr.: 18. – ISSN 2078-9130.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ватуля Гліб Леонідович – доктор технічних наук, професор, Український державний університет залізничного транспорту, проректор з наукової роботи; тел.: (057)730-10-05; e-mail: glebvatulya@gmail.com

Ватуля Глеб Леонидович – доктор технических наук, профессор, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, проректор по научной работе; тел.: (057)730-10-05; e-mail: glebvatulya@gmail.com

Vatulia Glib Leonidovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukrainian State University of Railway Transport, Vice-rector for research; tel.: (057)730-10-05; e-mail: glebvatulya@gmail.com

Ловська Альона Олександрівна – доктор технічних наук, доцент, Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції; тел.: (057) 730-10-35; e-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com.

Ловская Алена Александровна – доктор технических наук, доцент, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, доцент кафедры инженерии вагонов и качества продукции; тел.: (057) 730-10-35; e-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com.

Lovska Alyona Oleksandrivna – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Ukrainian State University of Railway Transport, Associate Professor at the Department of Wagon Engineering and Product Quality; tel.: (057) 730-10-35; e-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com.

Краснокутський Євген Сергійович – начальник відділу аудиту та нормативного забезпечення відділення Центр технічного аудиту Укрзалізниці, Філія “Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту” АТ “Укрзалізниця”; e-mail: ek1520mm@gmail.com

Краснокутский Евгений Сергеевич – начальник отдела аудита и нормативного обеспечения отделения Центр технического аудита Укрзалізниць, Филиал “Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт железнодорожного транспорта” АО “Укрзалізниця”; e-mail: ek1520mm@gmail.com

Krasnokutskiy Yevhen Sergijovich – Head of the Department of Audit and Regulatory Support of the Department of the Center for Technical Audit of Ukrainian railway, Branch “Scientific-Research and Design-Technological Institute of Railway Transport” Joint-Stock Company Ukrainian railway; e-mail: ek1520mm@gmail.com