

Г. Л. ВАТУЛЯ, А. О. ЛОВСЬКА, С. С. МЯМЛІН, М. В. ПАВЛЮЧЕНКОВ

ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ ЗЙОМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ДОВГОМІРНИХ ВАНТАЖІВ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ У СКЛАДІ КОМБІНОВАНОГО ПОЇЗДА ЗАЛІЗНИЧНИМ ПОРОМОМ

В статті наведено результати визначення навантаженості зйомного модуля для довгомірних вантажів при перевезенні у складі комбінованого поїзда залізничним поромом. Наведено результати математичного моделювання динамічної навантаженості зйомного модуля, розміщеного на вагоні-платформі при бортовій хитавиці залізничного порому. Враховано, що вагон-платформа жорстко закріплений на палубі і здійснює переміщення разом з нею. Переміщення зйомного модуля відносно рами вагона-платформи і вантажу відносно зйомного модуля не враховувалися. Розв'язок математичної моделі здійснено методом варіації довільних постійних та підтверджено шляхом розрахунку в програмному комплексі Mathcad. Встановлено, що максимальна величина прискорення, яке діє на вагон-платформу зі зйомним модулем, складає близько $2,35 \text{ м/с}^2$ (0,24g). Отриману величину прискорення враховано при розрахунку на міцність зйомного модуля. В якості розрахункового застосовано метод скінчених елементів, який реалізовано в програмному комплексі SolidWorks Simulation. При цьому застосовано критерій Мізеса. Скінчено-елементу модель утворено просторовими ізопараметричними тетраедрами. Результати розрахунків показали, що максимальні еквівалентні напруження зафіксовані в зоні взаємодії вертикальних стійок з фітингами і складають 284,7 МПа. Отримані напруження нижче за допустимі на 17,5%. У якості допустимих напружень застосовано межу плинності матеріалу конструкції. Визначено коефіцієнт стійкості рівноваги зйомного модуля. Стійкість зйомного модуля на вагоні-платформі за умови відсутності власних переміщень, а також довгомірного вантажу, розміщеного у ньому, дотримується при кутах крену залізничного порому до 25° . Проведені дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо проектування транспортних засобів комбінованих перевезень та підвищенню ефективності їх експлуатації.

Ключові слова: зйомний модуль, динамічна навантаженість, міцність, стійкість рівноваги, залізнично-поромні перевезення.

В статье приведены результаты определения нагруженности съемного модуля для длинномерных грузов при перевозке в составе комбинированного поезда железнодорожным паромом. Представлены результаты математического моделирования динамической нагруженности съемного модуля, размещенного на вагоне-платформе при бортовой качке железнодорожного парома. Учтено, что вагон-платформа жестко закреплена на палубе и осуществляет перемещение вместе с ней. Перемещения съемного модуля относительно рамы вагона-платформы и груза относительно съемного модуля не учитывались. Решение математической модели осуществлено методом вариации произвольных постоянных и подтверждено путем расчета в программном комплексе Mathcad. Установлено, что максимальная величина ускорения, действующая на вагон-платформу со съемным модулем, составляет около $2,35 \text{ м/с}^2$ (0,24 g). Полученная величина ускорения учтена при расчете на прочность съемного модуля. В качестве расчетного применен метод конечных элементов, реализованный в программном комплексе SolidWorks Simulation. При этом применен критерий Мизеса. Конечно-элементная модель образована пространственными изопараметрическими тетраэдрами. Результаты расчетов показали, что максимальные эквивалентные напряжения зафиксированы в зоне взаимодействия вертикальных стоек с фитингами и составляют 284,7 МПа. Полученные напряжения ниже допускаемых на 17,5%. В качестве допускаемых напряжений применен предел текучести материала конструкции. Определен коэффициент устойчивости равновесия съемного модуля. Устойчивость съемного модуля на вагоне-платформе при отсутствии собственных перемещений, а также длинномерного груза, размещенного в нем, соблюдается при углах крена железнодорожного парома до 25° . Проведенные исследования будут способствовать созданию наработок по проектированию транспортных средств комбинированных перевозок и повышению эффективности их эксплуатации.

Ключевые слова: съемный модуль, динамическая нагруженность, прочность, устойчивость равновесия, железнодорожно-паромные перевозки.

The article presents the results of determination of the loading of a removable module for transportation of long freight in a combined train by the train ferry. The article describes the results of the mathematical modelling of the dynamic loading on a removable module placed on the flat car during rolling motion of the train ferry. It suggested that the flat car was rigidly fastened and displaced together with the deck. The displacements of the removable module relative to the flat car frame and the freight relative to the removable module were neglected. The mathematical model was solved with the method of variation of constants and confirmed by means of calculation in Mathcad. It was found that the maximum value of acceleration to the flat car with the removable module was about 2.35 m/s^2 (0.24g). The value of acceleration obtained was included in the strength calculation for the removable module. The calculation was based on the finite element method and realized in SolidWorks Simulation with the Mises criterion. The finite element model was formed with spatial isoparametric tetrahedrons. The results of the calculation demonstrated that the maximum equivalent stresses were in the contact area between the vertical posts and the fittings; they amounted to 284.7 MPa. The stresses obtained were lower than the allowable values by 17.5%. The yield strength of the structural material was taken as the allowable stress. The equilibrium stability factor for the removable module was also determined. The strength of the removable module on the flat car without proper displacements and with the long freight inside was provided at the roll angles of the train ferry up to 25° . The results of the research will be of value for those who are dealing with development of transport facilities with better operational efficiency for combined transportation.

Key words: removable module, dynamic loading, strength, equilibrium stability, train ferry transportation.

Вступ. Забезпечення ефективності функціонування машинобудівної галузі зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію сучасних конструкцій транспортних засобів [1, 2]. Відомо, що найбільш конкурентоспроможною складовою машинобудівної галузі вже тривалий час є залізничний транспорт. З метою подальшого утримання позицій першочини залізничних перевезень актуальним є адаптація існуючого рухомого складу під перевезення завданої номенклатури вантажів.

Перспективним варіантом досягнення цього є впровадження зйомних модулів (змінних кузовів). Перевезення їх залізницею здійснюється на вагонах-платформах, обладнаних фітинговими упорами.

На даний час існує велика різноманітність за конструкційними особливостями та технологією обслуговування зйомних модулів, в тому числі для перевезень довгомірних вантажів (ліс у хлистах, труби тощо).

Важливо сказати, що перевезення цих вантажів

здійснюється не тільки залізницею, а і морем. Для цього на морських судах використовуються спеціальні пристрої та схеми для забезпечення надійності закріплень вантажів при коливаннях судна [3, 4]. Для підвищення ефективності перевезень довгомірних вантажів є можливим розгляд варіанту їх слідування у складі поїздів комбінованого транспорту на залізничних поромках. Це б скоротило процес вантажно-розвантажувальних операцій у морських портах, а також простій вагонів в очікуванні завантаження або розвантаження. Тому виникає необхідність проведення досліджень в зазначеному напрямку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання перевезень транспортних засобів морем є досить актуальними. Так, удосконалення несучої конструкції вагона-платформи для можливості перевезень контейнерів у складі комбінованих поїздів морем проводиться в публікації [5]. Дане удосконалення полягає у встановленні вертикальних надбудівель на несучу конструкцію вагона-платформи. Запропоноване рішення підтверджено теоретичними розрахунками на міцність. Разом з цим авторами не проводилося визначення міцності удосконаленої конструкції вагона-платформи при перевезенні довгомірних вантажів.

В публікації [6] наведено результати визначення сил, які діють на контейнер та засоби закріплення при морських перевезеннях. Запропоновано рішення по оптимальному кріпленню контейнерів на палубі з точки зору забезпечення безпеки їх перевезень морем. При цьому запропонована схема не є прийнятною для закріплень інших типів вантажів на палубах, наприклад, довгомірних.

Особливості розміщення, кріплення та навантаженості вантажів на палубах залізничних поромів, які експлуатуються в акваторії Чорного моря, висвітлено у документах [7 – 11]. Наведено можливі схеми кріплень вантажів. Зазначено умови міцності багатообертових засобів закріплень. Однак в цих нормативних документах не розглянуто питань перевезень довгомірних вантажів на залізничних поромках.

Питання завантаження та кріплення сталевих рулонів у контейнерах при залізнично-водних перевезеннях розглянуто у публікації [12]. Запропоновано заходи щодо забезпечення безпеки перевезень сталевих рулонів. Разом з цим питання можливості перевезень контейнерів, завантажених сталевими рулонами у складі поїздів комбінованого транспорту морем авторами не досліджувалися.

Обґрунтування застосування зйомних кузовів для підвищення ефективності залізничних перевезень розглянуто у роботі [13]. Зазначено технічні засоби завантаження/розвантаження зйомних кузовів при їх перевезеннях транспортними засобами. Визначено основні переваги застосування зйомних кузовів, а також перспективи їх використання.

В роботі [14] висвітлено особливості використання зйомних кузовів на залізницях Китаю. Зазначено переваги використання зйомних кузовів у

порівнянні з іншими мультимодальними засобами. Розглянуто можливі проблеми при експлуатації зйомних кузовів, а також шляхи їх подолання. Наведено рекомендації щодо їх впровадження в експлуатацію. Важливо сказати, що авторами даних робіт не розглядалося можливості перевезень зйомних кузовів у складі комбінованих поїздів морем.

Проведений літературний огляд дозволяє зробити висновок, що дослідження, присвячені визначенню навантаженості зйомного модуля для довгомірних вантажів при перевезенні морем є актуальними.

Мета статті. Метою статті є висвітлення результатів визначення динамічної навантаженості та міцності зйомного модуля для довгомірних вантажів при перевезенні морем у складі комбінованого поїзда.

Викладення основного матеріалу статті. Для можливості перевезень довгомірних вантажів на універсальних вагонах-платформах пропонується впровадження в експлуатацію зйомного модуля (рис. 1).

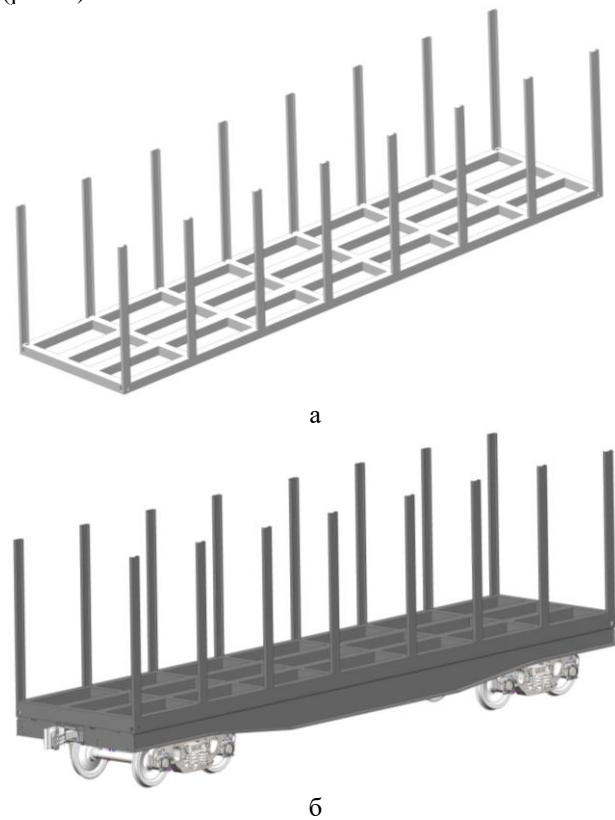


Рис. 1 – Зйомний модуль для перевезень довгомірних вантажів

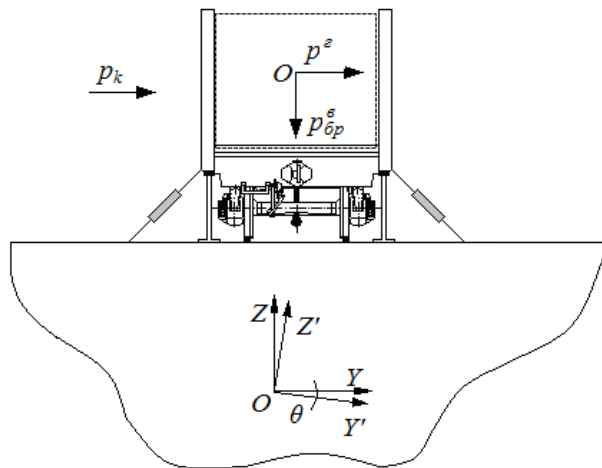
а) просторова модель; б) розміщення на вагоні-платформі

Особливістю зйомного модуля є те, що складові його дніща мають П-подібний перетин, який утворено трьома листами, звареними між собою. В середині П-подібних профілів розміщені пружні елементи, перекриті горизонтальними листами. Таке рішення дозволяє зменшити динамічні навантаження, які діють на модуль за рахунок пружно-дисипативних сил, що виникають при коливаннях підсакування

вагона [15, 16].

З метою визначення можливості перевезень зйомного модуля залізничним поромом у складі комбінованого поїзда проведено дослідження його динамічної навантаженості. Для цього використано математичну модель, наведену у роботі [17].

До уваги прийнято бортову хитавицю (крен) залізничного порому з вагонами-платформами, розміщеними на його палубах. Розрахункову схему наведено на рис. 2.



P_d^{pe} – вертикальна складова ваги бруто; P^z – навантаження, яке враховує горизонтальну складову ваги бруто та інерційне навантаження; P_k – вітрове навантаження

Рис. 2 – Розрахункова схема вагона-платформи, завантаженого зйомним модулем при бортовій хитавиці залізничного порому

В моделі враховано, що вагон-платформа жорстко закріплений на палубі і здійснює переміщення разом з нею. Переміщення зйомного модуля відносно рами вагона-платформи і вантажу відносно модуля на даному етапі досліджень не враховувалося. Прийнято припущення, що зйомний модуль завантажений умовним вантажем з використанням повної вантажопідйомності. Кутову жорсткість пружних елементів в балках зйомного модуля не враховано.

Математична модель переміщень вагона-платформи, завантаженого зйомним модулем при бортовій хитавиці залізничного порому має вигляд

$$I_\theta \cdot \ddot{q} + \left(\Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q} = p_k \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \quad (1)$$

де $q = \theta$ – узагальнена координата, що відповідає кутівому переміщенню залізничного порому при бортовій хитавиці; I_θ – момент інерції залізничного порому з вагонами-платформами, розміщеними на його палубах; B – ширина залізничного порому; h – висота борта залізничного порому; Λ_θ – коефіцієнт опору коливанням; p_k – вітрове навантаження; $F(t)$ – закон дії зусилля, яке збуджує рух залізничного порому

з вагонами-платформами, розміщеними на його палубах.

Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому.

Дослідження проведені для випадку перевезення вагонів-платформ на залізничному поромі “Герои Плевны” акваторією Чорного моря. Рух морської хвилі описано трохгойдальним законом.

Розв’язок диференціального рівняння (1) здійснено методом варіації довільних постійних та підтверджено шляхом розрахунку в програмному комплексі Mathcad [18, 19].

Встановлено, що при бортовій хитавиці залізничного порому максимальна величина прискорення, як складова динамічного навантаження, що діє на вагон-платформу зі зйомним модулем, складає близько $2,35 \text{ м/с}^2$ ($0,24g$). Величина прискорення приведена з урахуванням горизонтальної складової прискорення вільного падіння для крайнього від фальшборта вагону-платформи, розміщеного на верхній палубі залізничного порому.

Отриману величину прискорення враховано при визначенні основних показників міцності зйомного модуля. Розрахунок реалізовано за методом скінчених елементів в програмному комплексі SolidWorks Simulation [20, 21]. При цьому застосовано критерій Мізеса, що ґрунтується на теорії енергії формозміни [22].

При складанні розрахункової схеми враховано, що на зйомний модуль діє вертикальне навантаження P_v , яке прикладене до днища модуля (рис. 3). До вертикальних стійок зйомного модуля прикладалося рівномірнорозподілене навантаження P_{cm} від перевозимого вантажу. До кутівих фітингів з боку нахилу модуля прикладалося повздожне навантаження P_ϕ .

Величина навантаження P_{cm} за висотою стійки у відповідності до “Местные технические условия размещения и крепления круглых лесоматериалов длиной 3,0, 4,0, 6,0 на специализированной платформе модели 13-9997” визначалася за формулою

$$P_c = \frac{n \cdot (F_n + W') - F_{mp}^n}{L_{cm}}, \quad (2)$$

де n – коефіцієнт, який розраховується при створенні технічних умов на вагон-платформу; F_n – поперечне інерційне навантаження від маси штабеля вантажу з урахуванням розміщення його за довжиною вагона-платформи та дії відцентрової сили; W' – вітрове навантаження, яке діє на вантаж; F_{mp}^n – сила тертя, що діє на штабель вантажу з урахуванням розміщення його за довжиною вагона-платформи у поперечному напрямку; L_{cm} – висота стійки.

При проведенні розрахунків величина рівномірнорозподіленого навантаження з боку нахилу зйомного модуля в умовах бортової хитавиці залізничного порому враховувала динамічну складову, розраховану за математичною моделлю (1).

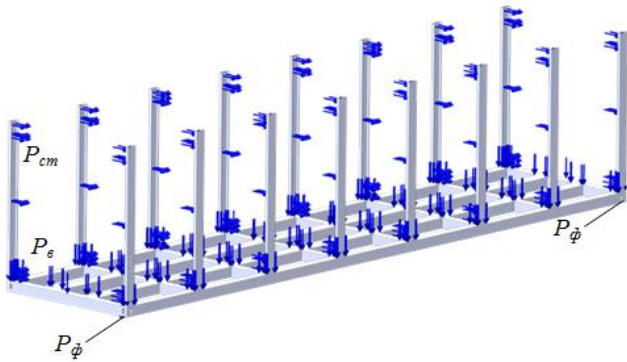


Рис. 3 – Розрахункова схема зйомного модуля

Закріплення зйомного модуля здійснювалося в зонах його обпирання на вагон-платформу.

При побудові скінчено-елементної моделі зйомного модуля використовувалися ізопараметричні тетраедри. Чисельність вузлів моделі складала 21695, елементів – 66537. Максимальний розмір елемента дорівнює 110 мм, мінімальний – 22 мм. Матеріал конструкції – сталь марки 09Г2С. Дана марка сталі має модуль пружності $2,1 \cdot 10^5$ МПа, межу міцності 490 МПа, межу плинності – 345 МПа [23, 24]. Результати розрахунків наведено на рис. 4, 5.

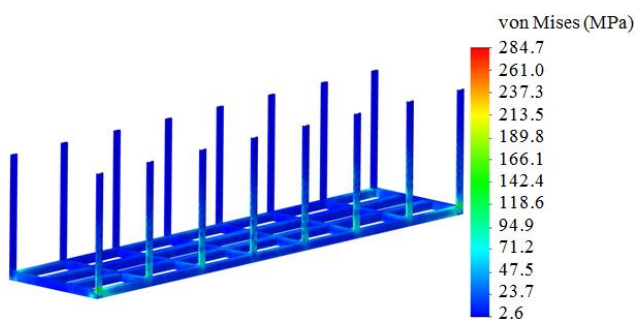


Рис. 4 – Напружений стан зйомного модуля

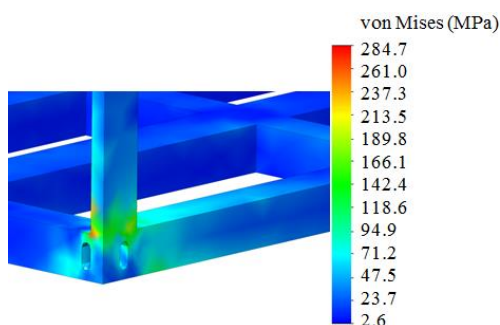


Рис. 5 – Напружений стан зйомного модуля в зоні взаємодії вертикальної стійки з фітингом

Результати проведених розрахунків показують, що максимальні еквівалентні напруження виникають в зонах взаємодії вертикальних стійок з фітингами і складають 284,7 МПа. Отримані напруження нижче за допустимі на 17,5%. У якості допустимих напружень застосовано межу плинності матеріалу конструкції.

На підставі проведених досліджень можна

зробити висновок, що міцність зйомного модуля при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі забезпечується.

З метою визначення стійкості рівноваги зйомного модуля при бортовій хитавиці залізничного порому проведено розрахунок [25]. Розрахункову схему наведено на рис. 6.

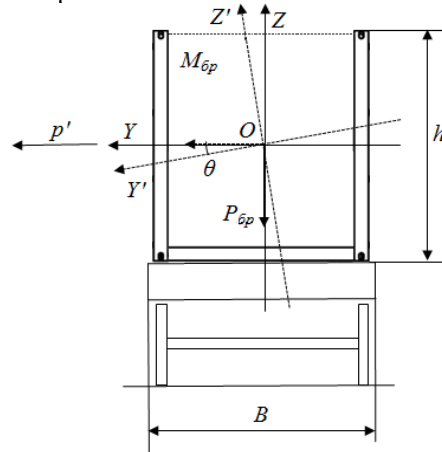


Рис. 6 – Розрахункова схема для визначення коефіцієнту стійкості зйомного модуля

Умова стійкості зйомного модуля має вигляд

$$k_c = \frac{M_{відн}}{M_{нер}} = \frac{P_{\phi p} \cdot \cos \theta \cdot \frac{B}{2} + n_{\phi} \cdot \Delta_{\epsilon} \cdot \frac{h_{\phi}}{2}}{P' \cdot \frac{h}{2} + \Delta_n \cdot \frac{h}{2}} \geq 1, \quad (4)$$

$$\Delta_{\epsilon} = M_{\epsilon p} \cdot (g \cdot \sin \theta + \ddot{q}), \quad (5)$$

$$\Delta_n = M_{\phi p} \cdot (g \cdot \sin \theta + \ddot{q}), \quad (6)$$

де $M_{відн}$ – величина відновлюючого моменту; $M_{нер}$ – величина перекидаючого моменту; $M_{\epsilon p}$ – маса бруто зйомного модуля; \ddot{q} – прискорення, яке діє на зйомний модуль при бортовій хитавиці; $P_{\phi p}$ – вага бруто зйомного модуля; B – ширина зйомного модуля; n_{ϕ} – кількість фітингових упорів на які здійснюється обпирання зйомного модуля при бортовій хитавиці; h_{ϕ} – висота фітингового упора.

Результати розрахунку показали, що стійкість зйомного модуля на вагоні-платформі дотримується при кутах крену залізничного порому до 25° (рис. 7).

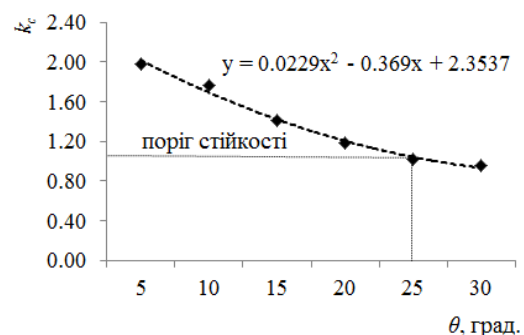


Рис. 7 – Залежність коефіцієнту стійкості зйомного модуля від кута крену

При цьому поріг стійкості встановлюється у випадку, коли величини відновлюючого та перекидаючого моментів рівні між собою.

Висновки.

1. Визначено динамічну навантаженість зйомного модуля при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі. Встановлено, що при бортовій хитавиці залізничного порому максимальна величина прискорення, що діє на вагон-платформу зі зйомним модулем, складає близько $2,35 \text{ м/с}^2$ ($0,24g$).

2. Досліджено міцність зйомного модуля. Максимальні еквівалентні напруження зафіксовані в зонах взаємодії вертикальних стійок з фітингами і склали 284,7 МПа. Важливо сказати, що отримані напруження нижче за допустимі на 17,5%.

3. Визначено коефіцієнт стійкості рівноваги зйомного модуля. Стійкість зйомного модуля на вагоні-платформі за умови відсутності власних переміщень, а також довгомірного вантажу дотримується при кутах крену залізничного порому до 25° .

Подальшим розвитком даного дослідження є визначення навантаженості зйомного модуля для довгомірних вантажів при перевезенні у складі комбінованого поїзда морем з урахуванням наявності власних переміщень, обумовлених технологічними зазорами між фітингами та фітинговими упорами. Також потребують уваги питання визначення навантаженості зйомного модуля в випадку переміщень довгомірного вантажу при коливаннях залізничного порому.

Список літератури

1. Pavol Štastniak, Pavol Kurčík, Alfréd Pavlík. 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
2. Wiesław Krasoń, Tadeusz Niezgodą, Michał Stankiewicz. Innovative Project of Prototype Railway Wagon and Intermodal Transport System. *Transportation Research Procedia*. 2016. Vol. 14. P. 615–624. doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.307
3. Wisnu Wardhana, Yoyok Setyo Hadiwidodo, Faisal Siswanto. Strength Analysis and Sea-Fastening Design of Container Crane Structure for Heavy Lifting Sea Transportation. *Applied Mechanics and Materials*. 2018. Vol. 874. P. 147 – 154. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.874.147>
4. Мельник О. М. Питання забезпечення безпеки процесу морського перевезення негабаритних вантажів. *Комунальне господарство міст*. 2019, Том 6, Вип. 152. С. 204 – 208. doi: 10.33042/2522-1809-2019-6-152-204-208
5. 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
6. Zoran Radisic. Necessity of proper lashing of containers on the ship's deck as part of optimization of the sea voyage. *Promet-Traffic – Traffico*. 2004. Vol. 16, No. 2. P. 97 – 104.
7. Наставление по креплению груза для т/х “Петровск” ПР. № 002CNF001 – ЛМПЛ – 805. – Офиц. изд. – Одесса: МИБ, 2005. 52 с.
8. Наставление по креплению генеральных грузов при морской перевозке для т/х “Герои Плевны”. Cargo securing manual for m/v “Geroi Plevny” № 2512. 02. – Офиц. изд. – Одесса: Мин. транспорта Украины. Гос. департамент морского и речного транспорта, 1997. 51 с.
9. Наставление по креплению генеральных грузов при морской перевозке для т/х “Герои Шипки”. Cargo securing manual for m/v “Geroi Shipky” № 2512. 02. – Офиц. изд. – Одесса: Мин. транспорта Украины. Гос. департамент морского и речного транспорта. 1997. – 51 с.
10. Cargo securing manual m/v “Geroite na Sevastopol” – Varna: Navigation maritime Bulgare, LTD, 1997. p. 85.
11. Cargo securing manual transocean line a/s ms “Greifswald” – Germanischer Lloyd, 2001. p. 39.
12. Hongxia Lv, Zhengjiang Yang, Yushuang Zhou. Measures of Loading and Securing Steel Coils in Containers in Rail-Water Combined Transport. *ICTE*. 2013, October.
13. Krzysztof Lewandowski. Nadwozia wymienne (swap body) w bezterminalowym systemie transportu szynowego. *Systemy transportowe*. 2006. Vol. 6. P. 53–55.
14. Ou Chuan-jin. Research and application of new multimodal transport equipment-swap bodies in China. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 145. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014502001>
15. S. Panchenko, O. Fomin, G. Vatulia, O. Ustenko, A. Lovska. Determining the load on the long-based structure of the platform car with elastic elements in longitudinal beams. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. №1/7 (109). P. 6 – 13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224638>
16. O. Fomin, J. Gerlici, A. Lovska, Y. Fomina. Dynamic Loading Determination of the Supporting Structure of the Hopper Wagon Having Elastic Elements in the Center Sill. *Proceedings of 25th International Scientific Conference. Transport Means 2021, Part II*, 2021, October 6 – 8, Kaunas, Lithuania. P. 705 – 710.
17. Lovskaya Alyona. Assessment of dynamic efforts to bodies of wagons at transportation with railway ferries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. Vol. 3, Issue 4. P. 36–41. doi: 10.15587/1729-4061.2014.24997
18. Андруник В. А., Висоцька В. А., Пасічник В. В., Чиркн Л. Б., Чирун Л. В. Чисельні методи в комп'ютерних науках: навчальний посібник, Том 2. Львів: Новий Світ, 2018. 536 с.
19. Богач І. В., Краковецький О. Ю., Крилик Л. В. Чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь засобами MathCAD : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2020. 106 с.
20. Алямовский А. А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Инженерный анализ методом конечных элементов. Москва: ДМК, 2007. 784 с. ил. (Серия “Проектирование”).
21. Алямовский А. А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций в среде SolidWorks. Москва: ДМК, 2010. 784 с. (Серия “Проектирование”).
22. Долгов О. М. Механіка руйнування. Дніпро: НТУ “Дніпровська політехніка”, 2019. 166 с.
23. 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. 250 с.
24. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных), ГосНИИВ-ВНИИЖТ, М, 1996. 84 с.
25. Ловська А. О. Вплив тиску насипного вантажу на стійкість контейнера при перевезенні залізничним поромом. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. Серія: Динаміка і міцність машин. 2019. № 1. С. 23 – 27.

References (transliterated)

1. Pavol Šťastniak, Pavol Kurčik, Alfréd Pavlík. 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
2. Wiesław Krason, Tadeusz Niezgod, Michał Stankiewicz. Innovative Project of Prototype Railway Wagon and Intermodal Transport System. *Transportation Research Procedia*. 2016. Vol. 14. P. 615–624. doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.307
3. Wisnu Wardhana, Yoyok Setyo Hadiwidodo, Faisal Siswanto. Strength Analysis and Sea-Fastening Design of Container Crane Structure for Heavy Lifting Sea Transportation. *Applied Mechanics and Materials*. 2018. Vol. 874. P. 147 – 154. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.874.147>
4. Melnyk O. M. Pytannia zabezpechennia bezpeky protsesu morskoho perevezennia nehablynykh vantazhiv. *Komunalne hospodarstvo mist*. 2019, Tom 6, Vyp. 152. S. 204 – 208. doi: 10.33042/2522-1809-2019-6-152-204-208
5. 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
6. Zoran Radisic. Necessity of proper lashing of containers on the ship's deck as part of optimization of the sea voyage. *Promet-Traffic – Traffico*. 2004. Vol. 16, No. 2. P. 97 – 104.
7. Nastavlenye po krepelyu hruga dlia t/kh "Petrovsk" PR. № 002SNF001 – LMPL – 805. – Ofyts. yzd. – Odessa: MYB, 2005. 52 s.
8. Nastavlenye po krepelyu heneralnykh hrucov pry morskoi perevozke dlia t/kh "Heroy Plevny". Cargo securing manual for m/v "Geroi Plevny" № 2512. 02. – Ofyts. yzd. – Odessa: Myn. transporta Ukrainy. Hos. departament morskoho y rechnoho transporta, 1997. 51 s.
9. Nastavlenye po krepelyu heneralnykh hrucov pry morskoi perevozke dlia t/kh "Heroy Shypky". Cargo securing manual for m/v "Geroi Shipky" № 2512. 02. – Ofyts. yzd. – Odessa: Myn. transporta Ukrainy. Hos. departament morskoho y rechnoho transporta. 1997. 51 s.
10. Cargo securing manual m/v "Geroite na Sevastopol" – Varna: Navigation maritime Bulgare, LTD, 1997. p. 85.
11. Cargo securing manual transocean line a/s ms "Greifswald" – Germanischer Lloyd, 2001. p. 39.
12. Hongxia Lv, Zhengjiang Yang, Yushuang Zhou. Measures of Loading and Securing Steel Coils in Containers in Rail-Water Combined Transport. *ICTE*. 2013, October.
13. Krzysztof Lewandowski. Nadwozia wymienne (swap body) w bezterminalowym systemie transportu szynowego. *Sistemy transportowe*. 2006. Vol. 6. P. 53–55.
14. Ou Chuan-jin. Research and application of new multimodal transport equipment-swap bodies in China. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 145. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014502001>
15. S. Panchenko, O. Fomin, G. Vatulia, O. Ustenko, A. Lovska. Determining the load on the long-based structure of the platform car with elastic elements in longitudinal beams. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. №1/7 (109). P. 6 – 13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224638>
16. O. Fomin, J. Gerlici, A. Lovska, Y. Fomina. Dynamic Loading Determination of the Supporting Structure of the Hopper Wagon Having Elastic Elements in the Center Sill. *Proceedings of 25th International Scientific Conference. Transport Means 2021*, Part II, 2021, October 6 – 8, Kaunas, Lithuania. P. 705 – 710.
17. Lovskaya Alyona. Assessment of dynamic efforts to bodies of wagons at transportation with railway ferries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. Vol. 3, Issue 4. P. 36–41. doi: 10.15587/1729-4061.2014.24997
18. Andrunyk V. A., Vysotska V. A., Pasichnyk V. V., Chyrkn L. B., Chyrun L. V. Chyselni metody v kompiuternykh naukakh: navchalnyi posibnyk, Tom 2. Lviv: Novyi Svit, 2018. 536 s.
19. Bohach I. V., Krakovetskyi O. Yu., Krylyk L. V. Chyselni metody rozviazannia dyferentsialnykh rivnian zasobamy MathCAD : navchalnyi posibnyk. Vinnytsia: VNTU, 2020. 106 s.
20. Aliamovskiy A. A. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Ynzhenetnyy analiz metodom konechnykh elementov. Moskva: DMK, 2007. 784 s. yl. (Seriya "Proektyrovanye")
21. Aliamovskiy A. A. COSMOSWorks. Osnovy rascheta konstruksiy v srede SolidWorks. Moskva: DMK, 2010. 784 s. (Seriya "Proektyrovanye")
22. Dolhov O. M. Mekhanika ruinovannia. Dnipro: NTU "Dniprovska politehnika", 2019. 166 s.
23. Vahony vantazhni. Zahalni vymohy do rozrakhunkiv ta proektuvannia novykh i modernizovanykh vahoniv kolii 1520 mm (nesamokhodnykh). DSTU 7598:2014. [Chynnyi vid 2015-07-01]. Kyiv, 2015. 250 s.
24. Normy dlia rascheta y proektyrovannia vahonov zheleznykh doroh MPS kolej 1520 mm (nesamokhodnykh), HosNYVV-VNYZZhT, M, 1996. 84 s.
25. Lovska A. O. Vplyv tysku nasypnoho vantazhu na stiikist konteineru pry perevezenni zaliznychnym poromom. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: Dynamika i mitsnist mashyn*. 2019. № 1. S. 23 – 27.

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Дослідження навантаженості зйомного модуля для довгомірних вантажів при перевезенні у складі комбінованого поїзда залізничним поромом / Г. Л. Ватуля, А. О. Ловська, С. С. Мямлін, М. В. Павлюченков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХПІ», 2022. Бібліогр.: 25 назв. – ISSN 2078-9130.

Исследование нагруженности съёмного модуля для длинномерных грузов при перевозке в составе комбинированного поезда железнодорожным паромом / Г. Л. Ватуля, А. А. Ловская, С. С. Мямлин, М. В. Павлюченков // Вестник НТУ «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХПІ», 2022. – Бібліогр.: 25 назв. – ISSN 2078-9130.

Research into the loading of a removable module for transportation of long freight in a combined train by the train ferry / G. L. Vatulia, A. O. Lovska, S. S. Myamlin, M. V. Pavliuchenkov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Dynamics and strength of machines. – Kharkov : NTU "KhPI", 2022. – Bibliogr.: 25. – 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 Leonidovych – 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.

Мямлін Сергій Сергійович – кандидат технічних наук, Український державний університет залізничного транспорту, науковий співробітник кафедри інженерії вагонів та якості продукції; тел.: (057) 730-10-35; e-mail: sergeymyamlin91@gmail.com.

Мямлин Сергей Сергеевич – кандидат технических наук, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, научный сотрудник кафедры инженерии вагонов и качества продукции; тел.: (057) 730-10-35; e-mail: sergeymyamlin91@gmail.com.

Myamlin Serhii Serhiiovych – PhD, Ukrainian State University of Railway Transport, Scientific Employee at the Department of Wagon Engineering and Product Quality; tel.: (057) 730-10-35; e-mail: sergeymyamlin91@gmail.com.

Павлюченко Михайло Васильович – кандидат технічних наук, доцент, Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки; тел.: (057) 730-10-70; e-mail: pavliuchenkov@ukr.net.

Павлюченков Михаил Васильевич – кандидат технических наук, доцент, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, доцент кафедры строительной механики и гидравлики; тел.: (057) 730-10-70; e-mail: pavliuchenkov@ukr.net.

Pavliuchenkov Mykhailo Vasylovych – PhD, Associate Professor, Ukrainian State University of Railway Transport, Associate Professor at the Department of Structural Mechanics and Hydraulics; tel.: (057) 730-10-70; e-mail: pavliuchenkov@ukr.net.