

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463.004.4:656.211.7

А. О. ЛОВСЬКА^{1*}

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

ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ КОНТЕЙНЕРІВ У СКЛАДІ КОМБІНОВАНИХ ПОЇЗДІВ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗАЛІЗНИЧНИМ ПОРОМОМ

Мета. Дане дослідження спрямоване на визначення навантаженості контейнерів у складі комбінованих поїздів при перевезенні залізничним поромом. **Методика.** Для досягнення зазначеної мети проведені дослідження прискорень (як складових динамічного навантаження), що діють на несучу конструкцію універсального контейнера типорозміру ІСС, розміщеного на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом. Для визначення прискорень, що діють на несучу конструкцію контейнера, складено математичну модель його переміщень при коливаннях залізничного порому. До уваги прийняті кутові переміщення залізничного порому відносно повздовжньої осі (крен), як випадку найбільшої навантаженості несучої конструкції, а також впливу на стійкість контейнера відносно рами вагона-платформи. При складанні рівнянь руху розглянуті три схеми взаємодії контейнера з вагоном-платформою, розміщеного на палубі залізничного порому: 1) відсутність переміщень вагона-платформи та контейнерів відносно початкового положення при коливаннях залізничного порому; 2) наявність переміщень вагона-платформи при коливаннях залізничного порому з урахуванням нерухомості контейнерів відносно рами вагона-платформи; 3) наявність переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів – відносно рами вагона-платформи. Вирішення диференціальних рівнянь руху здійснено в середовищі програмного забезпечення Mathcad із урахуванням зведення їх до нормальної форми Коші з наступним інтегруванням за методом Рунге-Кутти. **Результати.** Отримано уточнені значення прискорень, які діють на несучу конструкцію контейнерів, розміщених на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом. **Наукова новизна.** Запропоновано математичні моделі переміщень несучих конструкцій контейнерів, розміщених на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом. **Практична значимість.** Результати проведених досліджень можуть використовуватися при проектуванні несучих конструкцій контейнерів нового покоління, а також сприятимуть підвищенню ефективності комбінованих перевезень у напрямку міжнародних транспортних коридорів.

Ключові слова: контейнер; несуча конструкція; динаміка; моделювання; навантаженість конструкції; залізнично-поромні перевезення

Вступ

Географічне розміщення України на перехресті міжнародних транспортних коридорів зумовлює її участь у перевезеннях між країнами Європи та Азії. Для підвищення ефективності перевізного процесу набули розвитку комбіновані транспортні системи, одними з найбільш успішних серед таких симбіозів є залізнично-поромні перевезення.

На сьогоднішній день залізнично-поромні маршрути сполучають Україну з Болгарією,

Грузією, Туреччиною. Враховуючи прискорені темпи розвитку даного виду комбінованих перевезень прогнозується збільшення кількості залізнично-поромних маршрутів через акваторію Чорного моря.

Підвищення об'ємів вантажоперевезень між євроазіатськими країнами зумовлюють впровадження в експлуатацію нових транспортних маршрутів. Один з останніх серед таких є ланцюгом міжнародного транспортного коридору, який пов'язав між собою країни Європи та Азії

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

і почав експлуатуватися з початку минулого року, коли перший поїзд комбінованого транспорту перетнув акваторію Чорного моря на залізничному поромі і прослідував у Китай (рис. 1).

Для забезпечення безпеки перевезень поїздів комбінованого транспорту на залізничних поромках морем необхідним є проведення досліджень щодо динамічної навантаженості

і стійкості контейнерів відносно рам вагонів-платформ.

Аналіз останніх досліджень

Дослідження міцності контейнера-цистерни моделі ТК25 та оптимізація його несучої конструкції наведені в [5, 9]. При складанні моделі міцності контейнера-цистерни враховані нормативні величини навантажень, наведені в [1].



Рис. 1. Перевезення залізничними поромками вагонів-платформ, завантажених контейнерами:

a – рух вагонів-платформ з контейнерами до виставного парку;
б – накат вагонів-платформ на залізничний пором

Fig. 1. Flat cars transportation by train ferry loaded with containers:
a – flat cars movement with containers to the removable park;
b – rolling of flat cars on the train ferry

В роботах [10, 11] обґрунтовано доцільність проектування та впровадження в експлуатацію контейнерів-цистерн, як транспортних засобів, наведені результати оптимізації конструкцій контейнерів-цистерн. Розроблено удосконалені конструкції контейнерів-цистерн для перевезення нафтопродуктів.

Конструкційні особливості контейнерів-цистерн для перевезення скраплених газів розглянуто у [12]. У якості матеріалу несучої конструкції контейнера використовується нержавіюча сталь. Для обмеження теплового впливу від навколишнього середовища на контейнер запропоновано його інкапсуляцію ізоляційною системою.

Особливості комп'ютерного моделювання несучої конструкції контейнера-цистерни наведені у [14]. В якості розрахункового методу застосований метод скінчених елементів.

Дослідження передачі теплового потоку через внутрішні опори циліндричних посудів на прикладі контейнера-цистерни розглянуті у [17].

В статті наведено симуляцію теплового потоку через багат шарову опору, виконану з пластику.

Випробування металевих та композитних контейнерів під впливом низьких температур наведені у [13]. Визначено, які типи контейнерів доцільно використовувати для перевезення завданої номенклатури вантажів з урахуванням низької температури навколишнього середовища.

Питання щодо створення ідеальних несучих конструкцій залізничних транспортних засобів та вимоги, яким вони повинні відповідати на сучасному етапі розвитку висвітлені у [15, 16].

Важливо зазначити, що у розглянутих працях не приділялося уваги питанням дослідження динамічної навантаженості несучих конструкцій контейнерів у складі поїздів комбінованого транспорту при перевезенні залізничним поромом.

Мета

Метою досліджень, які наведені в статті є визначення навантаженості контейнерів

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

у складі комбінованих поїздів при перевезенні залізничним поромом. Для досягнення поставленої мети виділені наступні задачі:

1. Скласти математичні моделі переміщень контейнерів, розміщених на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом;

2. Отримати уточнені значення динамічних навантажень, які діють на несучі конструкції контейнерів, розміщених на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом;

3. Дослідити стійкість рівноваги контейнерів відносно рами вагона-платформи при перевезенні залізничним поромом.

Методика

Для визначення динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію контейнера у складі комбінованого поїзда при перевезенні на залізничному поромі складено математичну модель. При цьому враховано, що власні переміщення несучої конструкції вагона-платформи відносно палуби відсутні, оскільки ці переміщення будуть обмежені засобами закріплення відносно палуби (рис. 2, а).

До уваги прийняті кутові переміщення вагона-платформи з контейнерами навколо повздо-

вжньої осі X на кут θ (еквівалент коливань бічна хитавиця в динаміці вагонів), як випадку найбільшої навантаженості несучої конструкції вагона-платформи з контейнерами, а також забезпечення їх стійкості відносно палуби.

Розрахунки проведені стосовно залізничного порому «Герои Шипки», що рухається акваторією Чорного моря. В якості базової моделі вагона-платформи обрана модель 13-4012, а контейнера – модель 1СС, масою брутто 24 т.

Ударна дія морських хвиль на корпус залізничного порому з вагонами, розміщеними на його борту до уваги не приймалася. При складанні моделі враховано трохохідальний закон руху збудуючої дії (морської хвилі) на залізничний пором з вагонами, розміщеними на його палубах та дисипативну складову, яка виникає при коливаннях залізничного порому в умовах морської хитавиці, а також курсові кути морської хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому та вітрове навантаження, що діє на надводну проекцію залізничного порому, вагона-платформи, розміщеного на верхній палубі та контейнерів.

$$\left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q} + \left(\Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q} = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \quad (1)$$

де $q = \theta$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню відносно повздожньої осі. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому; D – вагове водовитіснення; B – ширина залізничного порому; h – висота борта залізничного порому; Λ_θ – коефіцієнт опору коливанням; z_g – координата центру ваги залізничного порому; p' – вітрове навантаження; $F(t)$ – закон дії зусилля, яке збудує рух залізничного порому з вагонами, розміщеними на його палубах.

Початкове переміщення та швидкість залізничного порому прийняті рівними нулю.

Вхідні параметри математичної моделі: геометричні характеристики залізничного порому, гідрометеорологічні характеристики акваторії Чорного моря, координати розміщення вагонів відносно центру коливань залізничного порому.

Для розв'язання диференціального рівняння складено програму розрахунку в середовищі пакету Mathcad [6, 7], для чого воно зводилося до нормальної форми Коші, після чого інтегрувалися за методом Рунге – Кутти.

На рис. 3 наведено прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи з контейнерами, що розміщений на крайній від фальшборта колії верхньої палуби залізничного порому при кутових переміщеннях навколо повздожньої осі. Найбільша величина прискорення виникає при курсовому куті хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому $\chi = 120^\circ$.

Приведені величини прискорень не враховують горизонтальну складову прискорення вільного падіння.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта вагон-платформу з контейнерами, склала близько 0,25g.

Для визначення прискорень, які діють на вагон-платформу з контейнерами при перевезенні залізничним поромом з урахуванням можливих переміщень вагона відносно палуби в умовах хвилювання моря (рис. 2, б), розроблена математична модель (2).

Перше рівняння математичної моделі характеризує переміщення залізничного порому

$$\begin{cases} \left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q}_1 + \left(\Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q}_1 = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \\ I_\theta^{ВПФ} \cdot \ddot{q}_2 = p'_{ВПФ} \cdot \frac{h_{ВПФ}}{2} + M_{ВПФ}^\Pi, \end{cases} \quad (2)$$

де $q_1 = \theta_1$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню залізничного порому відносно повздовжньої осі; $q_2 = \theta_2$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню вагона-платформи з контейнерами відносно повздовжньої осі. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому; $I_\theta^{ВПФ}$ – момент інерції вагона-платформи з контейнерами відносно повздовжньої осі; $p'_{ВПФ}$ – вітрове навантаження на бокову проекцію вагона-платформи з контейнерами, розміщеного на верхній палубі залізничного порому; $h_{ВПФ}$ – висота бокової проекції вагона-платформи з контейнерами; $M_{ВПФ}^\Pi$ – момент сил, що виникає між вагоном-платформою та палубою залізничного порому при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі.

Початкове переміщення та швидкість залізничного порому прийняті рівними нулю, для вагона-платформи з контейнерами початкове переміщення визначено можливою податливістю його вузлів відносно палуби (буксовий вузол відносно осі колісної пари, рама візка відносно осі буксового вузла, фрикційний клин відносно середини боковини, надресорна балка

в умовах хвилювання моря, а друге – вагона-платформи з контейнерами відносно палуби.

При складанні математичної моделі враховано, що вагон-платформа має власну ступінь вільності відносно палуби залізничного порому, яка може бути обумовлена:

- нерівністю палуби;
- можливими відхиленнями в геометрії рами;
- несиметричністю закріплення вагона-платформи, тощо.

відносно фрикційного клина, п'ятник по підп'ятнику [8]) та склала 31 мм. Початкова швидкість прийнята рівною нулю.

В розробленій математичній моделі не враховано ударну дію морських хвиль на корпус залізничного порому з вагонами, розміщеними на його борту.

Результати розрахунків наведені на рис. 4. Загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта вагон-платформу з контейнерами, склала близько 0,3g.

Отримані результати дозволяють зробити висновки, що дана величина прискорення перевищує прискорення, яке діє контейнер, розміщений на вагоні-платформі з урахуванням жорсткого закріплення відносно палуби майже на 20 %.

З метою визначення прискорень при наявності переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів відносно рами вагона-платформи складено математичну модель, яка враховує кутові переміщення елементів системи («залізничний пором – вагон-платформа – контейнер») навколо повздовжньої осі (рис. 2, в).

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

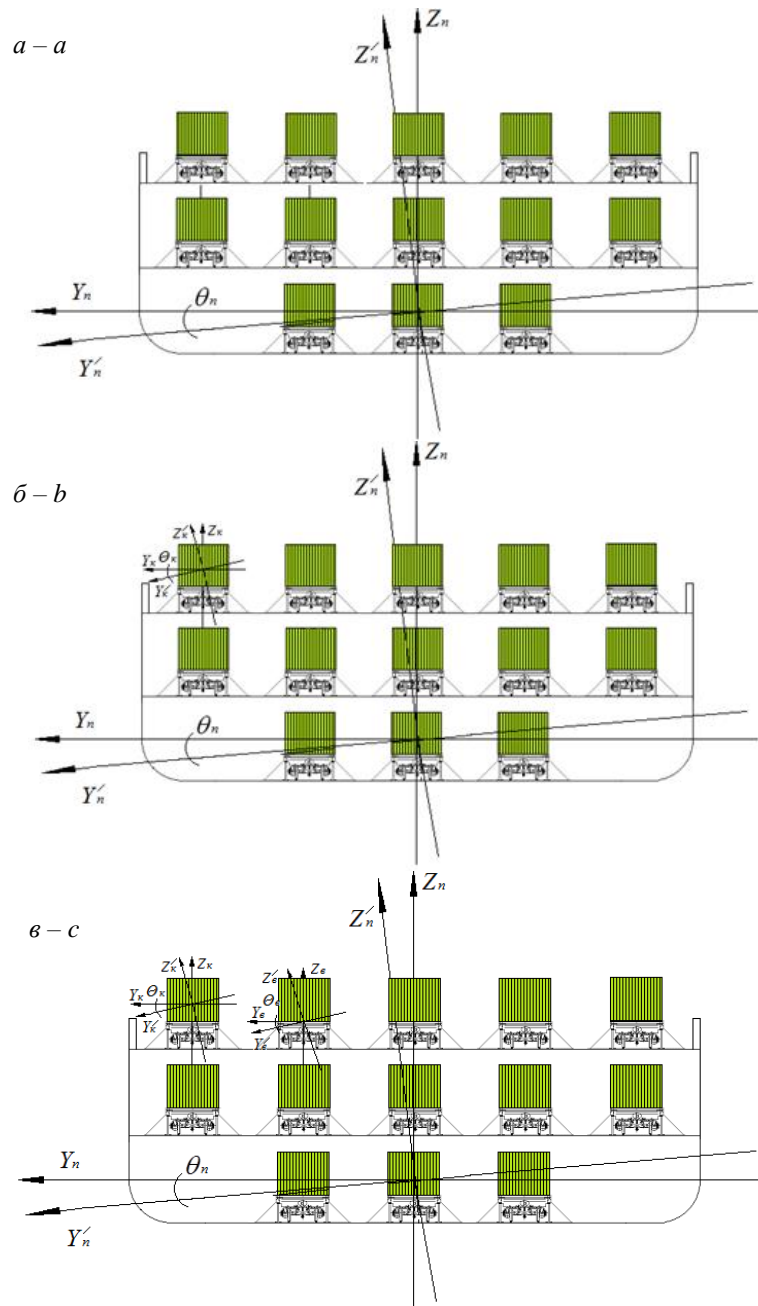


Рис. 2. Розрахункова схема для дослідження кутових переміщень відносно поздовжньої осі вагона-платформи з контейнерами, розміщеними на залізничному поромі:

a – при відсутності переміщень вагона-платформи з контейнерами відносно палуби;

b – при наявності переміщень вагона-платформи відносно палуби та відсутності переміщень контейнерів відносно рами вагона-платформи;

c – при наявності переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів відносно рами вагона-платформи

Fig. 2. Scheme for the study of angular displacements in relation to the longitudinal axis of flat cars with containers located on a train ferry:

a – in the absence of displacements of the flat car with containers relative to the deck;

b – in the presence of displacements of the flat car relative to the deck and absence of container movements relative to the flat car frame;

c – in the presence of displacements of the flat car relative to the deck and containers relative to the flat car frame

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

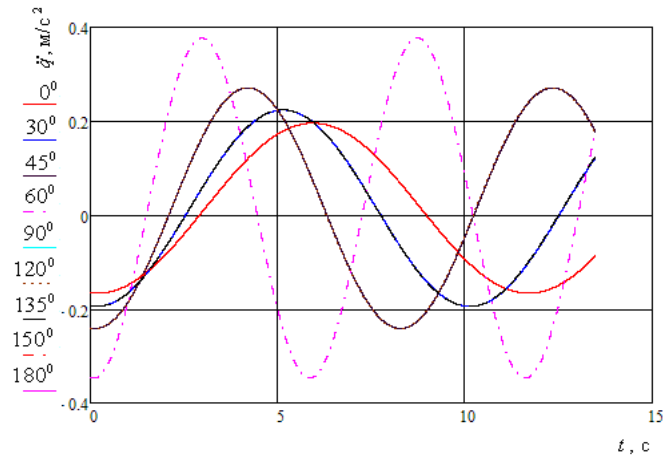


Рис. 3. Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи з контейнерами при коливаннях залізничного порому

Fig. 3. Accelerations acting on the bearing structure of a flat car with containers at the fluctuations of the train ferry

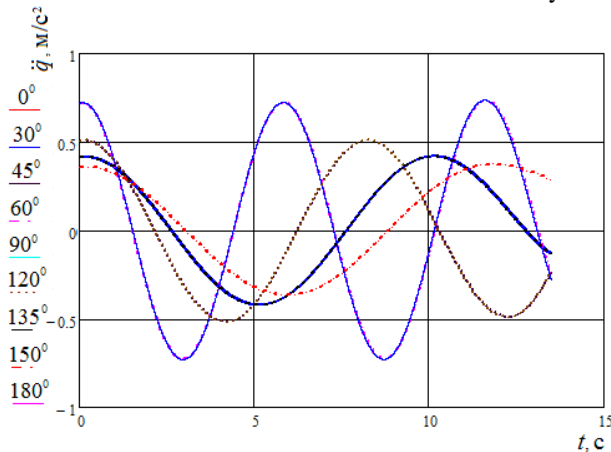


Рис. 4. Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи з контейнерами при перевезенні залізничним поромом з урахуванням можливих переміщень відносно палуби

Fig. 4. Accelerations acting on the bearing structure of the flat car with containers when transportation by train ferry taking into account possible displacements relative to the deck

$$\left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q}_1 + \left(\Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q}_1 = p'_{3П} \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \quad (3)$$

$$I_{ВПФ}^0 \cdot \ddot{q}_2 = p'_{ВПФ} \cdot \frac{h_{ВПФ}}{2} + M_{ВПФ}^П + M_{ВПФ}^К, \quad (4)$$

$$I_K^0 \cdot \ddot{q}_3 = p'_K \cdot \frac{h_K}{2} + M_K^{ВПФ}, \quad (5)$$

де $q_1 = \theta_1$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо поздовжньої осі залізничного порому; $q_2 = \theta_2$ – уза-

гальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо поздовжньої осі вагона-платформи; $q_3 = \theta_3$ – узагальнена координата,

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

що відповідає кутовому переміщенню навколо повздовжньої осі контейнера. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому; $M_{ВПФ}^K$ – момент сил, що виникає між вагоном-платформою та контейнерами при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі; I_K^0 – момент інерції контейнера; h_K – висота бокової поверхні контейнера; p'_K – вітрове навантаження на бокову поверхню контейнера; $M_K^{ВПФ}$ – момент сил, що виникає між контейнером та вагоном-платформою при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі.

При визначенні моменту сил, що виникає між вагоном-платформою та палубою взята до уваги горизонтальна складова ваги бруто з урахуванням сили тертя між складовими вагона. При визначенні моменту сил між вагоном-платформою та контейнером до уваги прийнята горизонтальна складова ваги бруто контейнера, сили тертя між фітинговим упором та фітингом, а також геометрія фітингового упору.

Прийняте припущення, що вагон-платформа при кутових переміщеннях навколо повздовжньої осі має власну ступінь вільності до моменту часу, коли сила тертя F_{TP} прийме значення менше за динамічне навантаження P_0 . Коли це станеться – кузов переміститься на величину можливих горизонтальних зміщень елементів конструкції [8] та буде повторювати траєкторію переміщення залізничного порому. Для урахування цього у математичній моделі при її розв'язанні введено умову: if $t = n$ then $q_2 = q_1$, де n – момент часу, коли $F_{TP} < P_0$. Теж саме стосується і контейнера, можливі зміщення якого обумовлені наявністю технологічного зазору між фітинговим упором та фітингом [2–4]. Тобто, вагон-платформа має власну ступінь вільності, обмежену величиною можливих зміщень елементів конструкції, після чого він буде повторювати траєкторію переміщення залізничного порому. Контейнер має власну ступінь вільності до моменту часу коли здійсниться спирання вертикальної стінки фітинга у фітинговий упор.

На підставі проведених розрахунків встановлено, що найбільші величини прискорень виникають при курсових кутах хвилі по відно-

шенню до корпусу залізничного порому $\chi = 60^0$ та $\chi = 120^0$. Результати розрахунків наведені на рис. 5.

При цьому максимальні прискорення контейнера склали близько $2,5 \text{ м/с}^2$, вагона-платформи – $1,8 \text{ м/с}^2$ (рис. 5).

Чисельні значення прискорень приведені без урахування складової прискорення вільного падіння.

Загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта вагон-платформу, складала близько $0,4g$, а на контейнера, розміщені на ньому, близько $0,47g$.

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що дана величина прискорення перевищує прискорення, яке діє на контейнер, розміщений на вагоні-платформі з урахуванням жорсткого закріплення відносно палуби майже на 50 %, а при наявності переміщень вагона-платформи відносно палуби та відсутності переміщень контейнерів відносно рами на 35 %.

Для оцінки стійкості контейнерів відносно рами вагона-платформи проведені дослідження коефіцієнту стійкості рівноваги k_c при кутових переміщеннях залізничного порому відносно повздовжньої осі (рис. 6).

Для забезпечення стійкості рівноваги контейнера відносно рами вагона-платформи повинна виконуватися умова:

$$k_c = \frac{M_{\text{відн}}}{M_{\text{пер}}} \geq 1, \quad (6)$$

де $M_{\text{відн}}$ – величина відновлюючого моменту; $M_{\text{пер}}$ – величина перекидаючого моменту.

$$M_{\text{пер}} = p'_k \cdot \frac{h_k}{2} + M_{\text{оп}} \cdot (g \cdot \sin \theta + \ddot{q}_k) \cdot \frac{h_k}{2}, \quad (7)$$

$$M_{\text{відн}} = P_{\text{оп}} \cdot \cos \theta \cdot \frac{B_k}{2} + n_{\phi} \cdot \left(M_{\text{оп}} \cdot (g \cdot \sin \theta + \ddot{q}_k) \right) \cdot \frac{h_{\phi}}{2}, \quad (8)$$

де $M_{\text{оп}}$ – маса бруто контейнера; \ddot{q}_k – прискорення, яке діє на контейнер при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі; $P_{\text{оп}}$ – вага бруто контейнера; B_k – ширина ко-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

нтейнера; n_{ϕ} – кількість фітингових упорів на які здійснюється обпирання контейнера при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі; h_{ϕ} – висота фітингового упора.

При визначенні перекидаючого моменту взяті до уваги максимальні чисельні значення прискорень, які розраховані за допомогою математичного моделювання (1–5) та є складовими динамічного навантаження, що діють на контейнер. При цьому поріг стійкості встановлюється у випадку коли величини відновлюючого та перекидаючого моментів рівні між собою. Проведені дослідження дозволили зробити висновок, що коефіцієнт стійкості контейнера відносно рами вагона-платформи має значення менше 1 при наявності переміщень фітингів контейнерів відносно фітингових упорів вагона-платформи. При цьому стійкість контейнера

забезпечується при кутах крену залізничного порому до 25° .

Результати

Отримано уточнені величини динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи з контейнерами, розміщеними на ньому при перевезенні на залізничному поромі.

Наукова новизна та практична значимість

Розроблено математичні моделі переміщень контейнерів, розміщених на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом.

Результати проведених досліджень можуть використовуватися при проектуванні несучих конструкцій контейнерів нового покоління з покращеними техніко-економічними показниками.

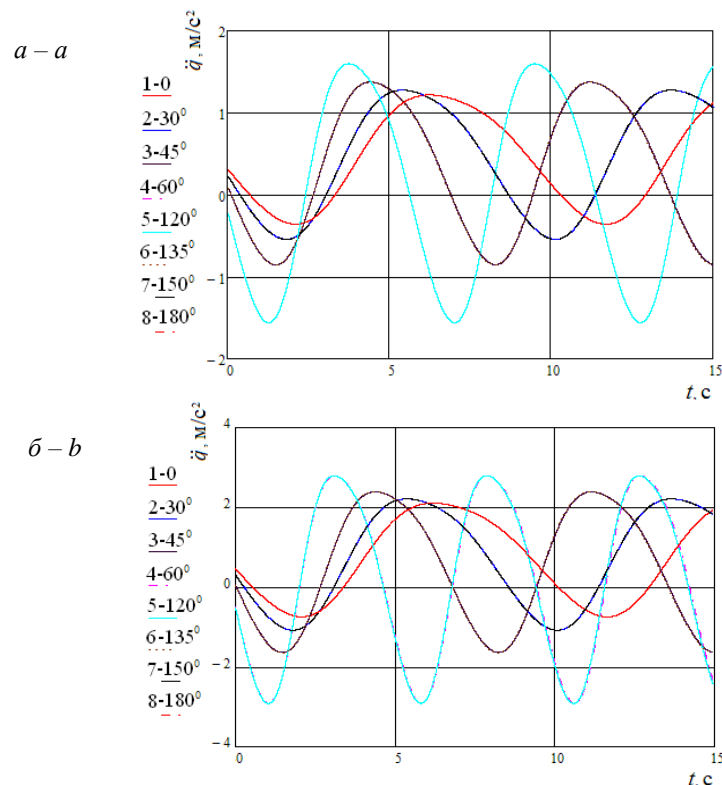


Рис. 5. Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи з контейнерами при перевезенні залізничним поромом з урахуванням можливих переміщень відносно початкового положення: a – вагон-платформа; b – контейнер

Fig. 5. Accelerations acting on the supporting structure of the flat car with containers when traveling by the train ferry taking into account possible displacements relative to the initial position: a – flat car; b – container

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

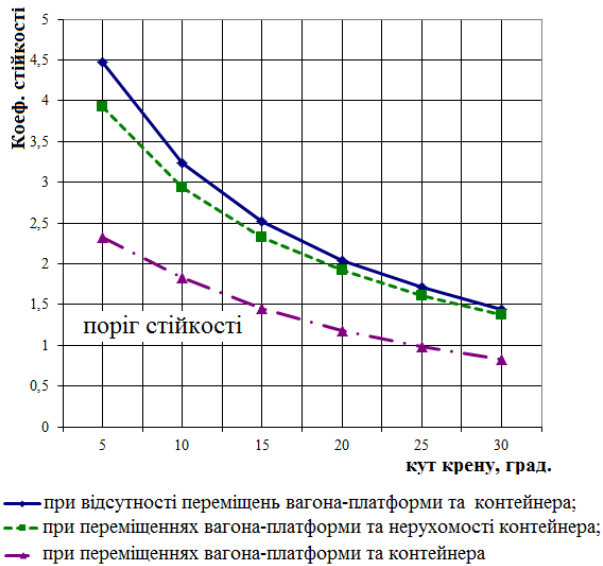


Рис. 6. Залежність коефіцієнту стійкості контейнера відносно рами вагона-платформи від кутів крену залізничного порому

Fig. 6. Dependence of the container stability coefficient relative to the flat car frame on the banking angle of the train ferry

Висновки

На підставі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Проведено дослідження динамічної навантаженості несучих конструкцій контейнерів, розміщених на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом. Отримано уточнені значення прискорень, які діють на несучі конструкції контейнерів;

2. Визначено максимальні кути крену залізничного порому при яких забезпечується стійкість контейнерів відносно рами вагона-платформи;

3. Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності комбінованого транспорту в напрямку міжнародних транспортних коридорів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- ГОСТ 31232–2004. Контейнеры для перевозки опасных грузов. Требования по эксплуатационной безопасности. – Введ. 2005–10–01. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2005. – 6 с.
- ГОСТ 20259–80. Контейнеры универсальные. Общие технические условия. – Введ. 1982–01–01. – Москва : ИПК стандартов, 2002. – 17 с.
- ГОСТ 18477–79. Контейнеры универсальные. Типы, основные параметры и размеры. – Введ. 1980–01–01. – Москва : ИПК стандартов, 2004. – 12 с.
- ГОСТ 20527–82. Фитинги угловые крупнотоннажных контейнеров. Конструкция и размеры. – Введ. 1983–01–01. – Москва : ИПК стандартов, 2004. – 9 с.
- Дослідження міцності контейнера-цистерни удосконаленої конструкції при комп'ютерному моделюванні експлуатаційних умов / А. О. Ловська, О. В. Фомін, А. М. О कोरोков, О. М. Мельничук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 2. – С. 180–188.
- Дьяконов, В. МATHCAD 8/2000 : спец. справ. / В. Дьяконов. – Санкт-Петербург : Питер, 2000. – 592 с.
- Кириянов, Д. В. Mathcad 13 / Д. В. Кириянов. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. – 608 с.
- Конструирование и расчет вагонов / В. В. Лукин, Л. А. Шадур, В. И. Котуранов, А. А. Хохлов, П. С. Анисимов. – Москва : УМК МПС России, 2000. – 731 с.
- Ловська, А. О. Удосконалення контейнерів-цистерн для перевезення нафтопродуктів шляхом впровадження в їх несучі конструкції круглих труб / А. О. Ловська, О. М. Мельничук, О. В. Фомін // Залізн. трансп. України. – 2015. – № 1. – С. 40–44.
- Мямлин, С. В. Перспективные конструкции контейнеров-цистерн для перевозки светлых нефтепродуктов, аммиака и углеводородных газов / С. В. Мямлин, Ю. В. Кебал, С. М. Кондратюк // Залізн. трансп. України. – 2012. – № 2 – С. 44–46.
- Lisowski, E. Transport and storage of lng in container tanks / E. Lisowski, W. Czyzycki // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2011. – Vol. 18, no. 3. – P. 193–201.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

12. Lisowski, E. Wdrożenie produkcji cystern kontenerowych do transportu i przechowywania gazów skroplonych / E. Lisowski, W. Czyżycki, K. Łazarczyk // Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach. – 2012. – R. 56, nr 2. – P. 25–31.
13. Metal and Composite Intermodal Containers in Comparative Cold Tests with Wood Chips / J. Föhr, K. Karttunen, J. Enström [et al.] // Journal of Sustainable Bioenergy Systems. – 2015. – Vol. 05. – Iss. 01. – P. 32–39. doi: 10.4236/jsbs.2015.51003.
14. 3d modeling of a shrink fitted concave ended cylindrical tank for automotive industry / M. C. Ghiță, C. A. Micu, M. D. L. Țălu, Ș. D. L. Țălu // Acta Technica Corviniensis : Bulletin of Engineering. – 2013. – Vol. 6. – Iss. 4. – P. 87–92.
15. Fomin, O. V. Increase of the freight wagons ideality degree and prognostication of their evolution stages / O. V. Fomin // Наук. вісник НГУ. – 2015. – № 2. – С. 68–76.
16. Fomin, O. V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars / O. V. Fomin // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – No. 5. – P. 31–43.
17. Wojciech czyżycki modeling of heat flow through multilayer internal supports of cryogenic vessels // Technical transportations. – 2015. – № 2. – P. 27–34.

А. А. ЛОВСКАЯ^{1*}

^{1*}Каф. «Вагоны», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61500, тел. +38 (057) 730 10 35, эл. почта alyonalovskaya.vagons@gmail.com, ORCID 0000-0002-8604-1764

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ КОНТЕЙНЕРОВ В СОСТАВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОЕЗДОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПАРОМОМ

Цель. Данное исследование направлено на определение нагруженности контейнеров в составе комбинированных поездов при перевозке железнодорожным паромом. **Методика.** Для достижения поставленной цели проведены исследования ускорений (как составляющих динамической нагрузки), которые действуют на несущую конструкцию универсального контейнера типоразмера 1СС, размещенного на вагонеплатформе при перевозке железнодорожным паромом. Для определения ускорений, которые действуют на несущую конструкцию контейнера, составлена математическая модель его перемещений при колебаниях железнодорожного парама. Во внимание приняты угловые перемещения железнодорожного парама относительно продольной оси (крен), как случая наибольшей нагруженности несущей конструкции, а также влияния на устойчивость контейнера относительно рамы вагона-платформы. При составлении уравнений движения рассмотрены три схемы взаимодействия контейнера с вагоном-платформой, размещенного на палубе железнодорожного парама: 1) отсутствие перемещений вагона-платформы и контейнеров относительно первоначального положения при колебаниях железнодорожного парама; 2) наличие перемещений вагона-платформы при колебаниях железнодорожного парама с учетом неподвижности контейнеров относительно рамы вагона-платформы; 3) наличие перемещений вагона-платформы относительно палубы и контейнеров – относительно рамы вагона-платформы. Решение дифференциальных уравнений движения осуществлено в среде программного обеспечения Mathcad с учетом сведения их к нормальной форме Коши с последующим интегрированием по методу Рунге-Кутты. **Результаты.** Получены уточненные значения ускорений, которые действуют на несущую конструкцию контейнеров, размещенных на вагонеплатформе при перевозке железнодорожным паромом. **Научная новизна.** Предложены математические модели перемещений несущих конструкций контейнеров, размещенных на вагонеплатформе при перевозке железнодорожным паромом. **Практическая значимость.** Результаты проведенных исследований могут использоваться при проектировании несущих конструкций контейнеров нового поколения, а также будут способствовать повышению эффективности комбинированных перевозок в направлении международных транспортных коридоров.

Ключевые слова: контейнер; несущая конструкция; динамика; моделирование; нагруженность конструкции; железнодорожно-паромные перевозки

A. O. LOVSKA^{1*}

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

DETERMINATION OF THE LOADING OF CONTAINERS IN MIXED TRAINS WHEN TRANSPORTING BY TRAIN FERRIES

Purpose. The study is aimed at determination of the loading of containers in mixed trains when transporting by train ferries. **Methodology.** In order to achieve the objective the author studied accelerations (as components of the dynamic load) influencing the bearing structure of a 1CC standard container located on a flat car during transportation by train ferry. In order to determine accelerations influencing the bearing structure of a container, a mathematical model of the container's movements under train ferry oscillations was made. The model considered angular displacements of a train ferry relative to the longitudinal axis (bank) as being the maximum load on the bearing structure, as well as changes in the container stability relative to the flat car frame. While working out the motion equations three diagrams of interrelation between the container and the flat car located on the train ferry deck were considered: 1) absence of displacements of the flat car and containers relative to the initial place under the train ferry oscillations; 2) with displacements of the flat car under the train ferry oscillations when containers are immovable relative to the flat car frame; 3) with displacements of the flat car relative to the deck and relative to the flat car frame. The differential equations of motion were solved in Mathcad taking into account their reduction to a normal Cauchy problem with a subsequent integration by the Runge–Kutta method. **Findings.** Refined values of accelerations influencing the bearing structure of containers located on the flat car while transporting by train ferry were obtained. **Originality.** The mathematical models of displacements of container bearing structures located on a flat car while transporting by train ferry were proposed. **Practical value.** The results of investigations can be applied for designing bearing structures of new generation containers, besides they may improve the efficiency of mixed transportation along the international transport corridors.

Keywords: container; bearing structure; dynamics; modeling; structural loading; railway ferry transportations

REFERENCES

1. Konteynery dlya perevozki opasnykh gruzov. Trebovaniya po ekspluatatsionnoy bezopasnosti, GOST 31232–2004 (2005). (in Russian)
2. Konteynery universalnyye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya, GOST 20259-80 (2002). (in Russian)
3. Konteynery universalnyye. Tipy, osnovnyye parametry i razmery, GOST 18477-79 (2004). (in Russian)
4. Fitingi uglovye krupnotonnazhnykh konteynerov. Konstruktsiya i razmery, GOST 20527-82 (2004). (in Russian)
5. Lovskaya, A. O., Fomin, O. V., Okorokov, A. M. & Melnychuk, O. M. (2015). Research of a tank-container strength of improved construction using the computer simulation of operating conditions. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 2, 180-188. (in Ukrainian)
6. Dyakonov, V. (2000). *MATHCAD 8/2000*. Saint Petersburg, SPb: Piter. (in Russian)
7. Kiryanov, D. V. (2006). *Mathcad 13*. Saint Petersburg, SPb: BHV. (in Russian)
8. Lukin, V. V., Shadur, L. A., Koturanov, V. I., Hohlov, A. A., & Anisimov, P. S. (2000). *Konstruirovaniye i raschet vagonov*. Moscow: UMK MPS Rossii. (in Russian)
9. Lovskaya, A., Fomin, O., & Melnichuk, O. (2015). Improvement of tank containers for petroleum products transportation using round pipes as their supporting structures. *Railway Transport of Ukraine*, 1, 40-44. (in Ukrainian)
10. Myamlin, S. V., Keбал, Yu. V., & Kondratyuk, S. M. (2012). Perspektivnyye konstruksii konteynerov-tsistern dlya perevozki svetlykh nefteproduktov, ammiaka i uglevodorodnykh gazov. *Railway Transport of Ukraine*, 2, 44-46. (in Russian)
11. Lisowski, E., & Czyzycki, W. (2011). Transport and storage of lng in container tanks. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 18(3), 193-201. (in English)
12. Lisowski, E., Czyzycki, W., & Łazarczyk, K. (2012). Wdrożenie produkcji cystern kontenerowych do transportu i przechowywania gazów skroplonych. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach*, 56(2), 25-31. (in Polish)

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

13. Föhr, J., Karttunen K., Enström, J., Johannesson, T. & Ranta, T. (2015). Metal and Composite Intermodal Containers in Comparative Cold Tests with Wood Chips. *Journal of Sustainable Bio-energy Systems*, 5, 32-39. doi:10.4236/jsbs.2015.51003. (in English)
14. Ghita, M. C, Micu, C. A., Talu, M. D L, & Talu, S. D L. (2013). 3d modelling of a shrink fitted concave ended cylindrical tank for automotive industry Acta Technica Corviniensis. *Bulletin of Engineering*, 6(4), 87-92. (in English)
15. Fomin, O. V. (2015). Increase of the freight wagons ideality degree and prognostication of their evolution stages. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 2, 68-76. (in English)
16. Fomin, O. V. (2014). Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars. *Metallurgical and Mining Industry*, 5, 31-43. (in English)
17. Wojciech czyżycki modeling of heat flow through multilayer internal supports of cryogenic vessels (2015). *Technical transportations*, 2, 27-34. (in English)

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

Надійшла до редколегії: 08.08.2017

Прийнята до друку: 23.11.2017