

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ КУЗОВА ВАГОНА ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗАЛІЗНИЧНИМ ПОРОМОМ

А. О. Ловська

Кандидат технічних наук

Кафедра вагонів

Український державний університет

залізничного транспорту

пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050

E-mail: alyonaLovskaya@rambler.ru

В статті наведені результати комп'ютерного моделювання динаміки несучої конструкції кузова вагона при перевезенні залізничним поромом в умовах хвилювання моря. Отримано величини прискорень, які діють на кузова вагонів, розміщених відносно палуб залізничного порому. Результати проведеного дослідження сприяють забезпеченню безпеки руху вагонів посередництвом залізничних поромів морем, а також підвищенню ефективності залізнично-поромних перевезень

Ключові слова: вагон, динаміка вагона, навантаження конструкції, залізнично-водний транспорт, залізнично-поромні перевезення

В статье представлены результаты компьютерного моделирования динамики несущей конструкции кузова вагона при перевозке железнодорожным паромом в условиях волнения моря. Получены величины ускорений, которые действуют на кузова вагонов, размещенных относительно палуб железнодорожного парома. Результаты проведенного исследования способствуют обеспечению безопасности движения вагонов посредством железнодорожных паромов морем, а также повышению эффективности железнодорожно-паромных перевозок

Ключевые слова: вагон, динамика вагона, нагружение конструкции, железнодорожно-водный транспорт, железнодорожно-паромные перевозки

1. Вступ

Географічне розміщення України забезпечує підвищення її зовнішньоекономічних зв'язків з іншими державами через акваторії Чорного та Азовського морів, які є вратами в міжнародне сполучення. З метою підвищення ефективності перевізного процесу набула розвитку комбінована взаємодія між окремими галузями транспортної системи. Однією з найбільш успішних серед таких взаємодій є симбіоз залізничного та морського видів транспорту, що утворюють залізнично-поромні перевезення.

Перша залізнично-поромна переправа на Україні вступила в дію в 1954 р. та поєднала між собою Кримський півострів з Кавказом (Керч–Тамань).

В 1978 р. залізнично-поромний маршрут поєднав СРСР з НРБ (Іллічівськ–Варна). Позитивний досвід експлуатації переправи зумовив відкриття у 1994 р. залізнично-поромного сполучення Іллічівськ–Поті, а в 1996 р. Іллічівськ–Батумі (Україна–Грузія).

З 2001 р. почала діяти переправа Іллічівськ–Дериндже (Україна–Туреччина), яку обслуговують залізничні пороми (ЗП) “Герои Шипки” та “Герои Плевны”.

У 2007 р. українська судова компанія “Ukrfergy” відкрила нову контейнерну лінію “Іллічівськ–Поті” та новий залізнично-поромний маршрут “Керч–Поті”.

Враховуючи прискорені темпи інтеграції України в систему міжнародних транспортних коридорів у майбутньому прогнозується збільшення кількості залізнично-поромних маршрутів України з іншими державами.

2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

З метою забезпечення безпеки руху вагонів морем на кафедрі вагонів (УкрДУЗТ) проведені дослідження зусиль, які діють на кузова вагонів при перевезенні їх ЗП в умовах хвилювання моря [1]. Одним з найбільш визначальних з точки зору забезпечення стійкості вагонів відносно палуб є інерційні зусилля, обумовлені коливаннями ЗП.

Величини інерційних зусиль, які діють на вагони при перевезенні морем, значно відрізняються від експлуатаційних відносно магістральних колій. Тому з метою забезпечення безпеки руху комбінованого транспорту необхідним є на стадії проектування вагонів нового покоління врахування навантажень, що можуть діяти на них при перевезенні морем.

Дослідженню інерційних зусиль, які діють на кузова вагонів при перевезенні ЗП присвячені труди ВНИИЖТа [2]. Визначення прискорень, що діють відносно штатних місць розміщення вагонів на палубах, проводилося на підставі диференціювання закону руху морської хвилі. Розрахунки проведені стосовно ЗП типу “Советский Азербайджан”, що курсував між Азербайджаном та Дагестаном, а також Туркменістаном. Отримані при цьому результати стали основою для формування п. 2.18 “Норм для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)” [3].

Важливо зазначити, що у зв'язку з інтенсифікацією розвитку залізнично-поромних перевезень, створенням нових за конструкційними особливостями та

технологією обробки ЗП, різних гідрометеорологічних характеристик акваторій плавання ЗП необхідним є розширення п. 2.18 “Норм...”.

Оцінка зовнішніх зусиль, які діють на вагони при перевезенні ЗП наведена в [4]. При цьому прискорення, які діють на кузова вагонів в умовах хвилювання моря визначаються на підставі розрахунку хитавиці ЗП, яка відбувається з шістьма ступенями вільності в умовах нерегулярного трьохвимірного хвилювання при русі зі швидкістю 6,5 вузлів.

Ця методика може бути використана для однопалубного ЗП обмеженого району плавання.

Конструкційні особливості вагонів нового покоління з підвищеними техніко-економічними параметрами наведені в [5–7]. Важливо зазначити, що в цих працях не оговорюється, чи здійснювалося на стадії проектування та розрахунку урахування навантажень, які можуть діяти на кузова вагонів при перевезенні ЗП в умовах хвилювання моря.

Історичні аспекти розвитку залізнично-поромних перевезень в Америці та перспективи їх функціонування наведені в [8]. Але при цьому не приділяється увага питанням взаємодії вагонів з палубою ЗП, необхідності удосконалення несучих конструкцій кузовів до закріплення відносно палуб та іншим технічним аспектам.

Дослідження динамічних особливостей залізничного рухомого складу при взаємодії його з рейковою колеєю наведені в [9, 10]. Однак в цих працях не приділяється уваги дослідженню динаміки кузовів вагонів при перевезенні їх ЗП в умовах морського хвилювання.

3. Мета і завдання дослідження

Метою роботи є комп'ютерне моделювання динаміки несучої конструкції кузова вагона при перевезенні ЗП.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

- побудова просторової моделі фрагменту ЗП з кузовами вагонів, розміщеними відносно його палуб;
- побудова скінчено-елементної моделі (СЕМ) фрагменту ЗП з кузовами вагонів, розміщеними відносно його палуб;
- побудова моделі міцності фрагменту ЗП з кузовами вагонів, розміщеними відносно його палуб. Визначення прискорень, які діють на кузова вагонів в умовах морського хвилювання.

4. Особливості комп'ютерного моделювання динаміки несучої конструкції кузова вагона при перевезенні ЗП

4. 1. Побудова просторової моделі фрагменту ЗП з кузовами вагонів, розміщеними відносно його палуб

Коливання ЗП з вагонами на його борту в умовах хвилювання моря можна розглядати як коливання твердого тіла з прикріпленими до нього масами. При цих коливаннях виникають зусилля, які пропорційні величині переміщень ЗП відносно першепечаткового положення. Дані зусилля, наводяться у вигляді додаткових сил плавучості корпусу ЗП [11]. Тому,

ЗП розглядається як тверде тіло з трьома ступенями вільності:

- поступальні переміщення в вертикальному напрямку відносно осі Z;
- кутові переміщення навколо поперечної вісі Y на кут ϕ ;
- кутові переміщення навколо повздовжньої вісі X на кут θ .

Інші три можливих переміщення (поступальне переміщення у повздовжньому напрямку відносно осі X, кутове переміщення навколо вісі Z на кут ψ , поступальне переміщення у поперечному напрямку відносно осі Y), не можуть мати характеру коливального руху, оскільки вони не супроводжуються зміною величини або форми підводного об'єму корпусу ЗП [11, 12].

При коливаннях ЗП з вагонами на його борту в умовах хвилювання моря окрім обертових переміщень навколо поперечної та повздовжньої вісей, що проходять через його центр ваги, він отримує також переміщення, при якому ці вісі переміщуються за деякими траєкторіями, близькими до кола. Це переміщення відбувається з періодом, який дорівнює періоду хвилі. Радіус вказаної траєкторії переміщення ЗП з вагонами на його борту може бути прийнятий в розрахунках рівним половині висоти морської хвилі.

З метою комп'ютерного моделювання динаміки вагонів, розміщених на ЗП в умовах морської хитавиці, побудовано просторову модель фрагменту ЗП типу “Герои Шипки” (рис. 1). При складанні моделі враховані основні конструкційні елементи корпусу ЗП. Довжина моделі складає 39,6 м, ширина – 26 м.

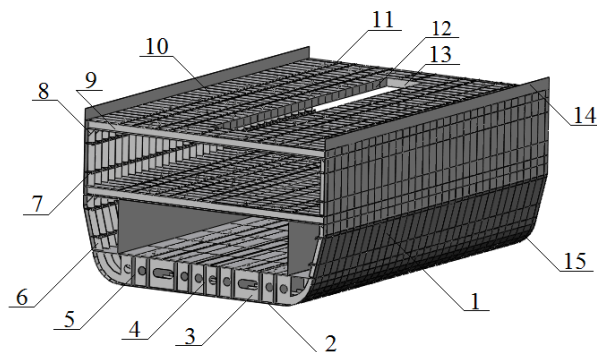


Рис. 1. Просторова модель фрагменту ЗП типу “Герои Шипки”: 1 – обшивка борта; 2 – кільовий пояс; 3 – флор; 4 – кіль; 5 – днищовий стрингер; 6 – шпангоут; 7 – бортовий стрингер; 8 – книця; 9 – бімс; 10 – настил палуби; 11 – рейка; 12 – комінгс люка повздовжній; 13 – комінгс люка поперечний; 14 – ширстрек; 15 – лист скулової обшивки

В якості досліджуваного типу вагону обраний напіввагон моделі 12-757, побудови ПАТ “КВБЗ”.

Просторову модель фрагменту ЗП з урахуванням напіввагонів, розміщених відносно його палуб, наведено на рис. 2.

З метою забезпечення обпирання несучих конструкцій кузовів вагонів на палуби побудовано просторову модель механічного упор-домкрату за альбомом креслень багатообертових засобів закріплення (рис. 3, а, б).

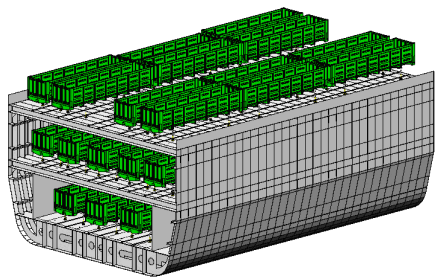


Рис. 2. Просторова модель фрагменту ЗП з напіввагонами, розміщеними відносно його палуб

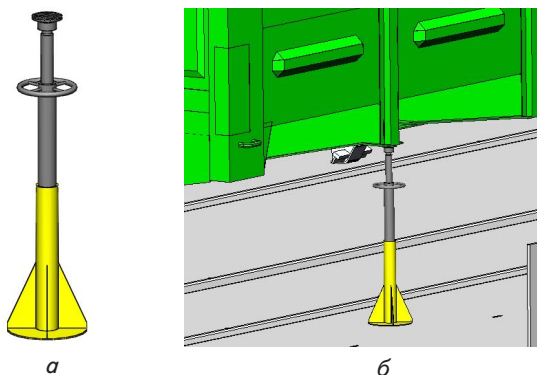


Рис. 3. Моделювання взаємодії кузова напіввагона з механічним упор-домкратом: *а* – механічний упор-домкрат у вільному стані; *б* – при взаємодії з кузовом вагона

4. 2. Побудова СЕМ фрагменту ЗП з кузовами вагонів, розміщеними відносно його палуб

На базі складеної просторової моделі побудовано модель для визначення прискорень напіввагонів, розміщених на ЗП в умовах бортової хитавиці.

Розрахунок виконано за допомогою методу скінченних елементів в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks, версія 2015.

СЕМ ЗП з кузовами напіввагонів наведено на рис. 4. При складанні СЕМ використані просторові ізопараметричні тетраедри. При цьому кількість вузлів сітки складала 149223, елементів – 500354. Максимальний розмір елемента дорівнює 1000 мм, мінімальний – 200 мм. Мінімальна кількість елементів в колі складала 15, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,8. Максимальне співвідношення боків – $9,5 \cdot 10^5$, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3–6,96, більше 10–81,5.

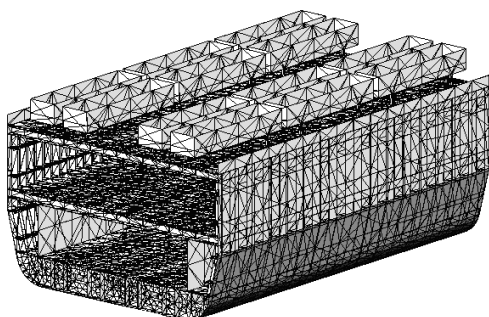


Рис. 4. СЕМ фрагменту ЗП типу “Герой Шипки” з кузовами вагонів

4. 3. Побудова моделі міцності фрагменту ЗП з кузовами вагонів, розміщеними відносно його палуб. Визначення прискорень, які діють на кузов вагонів в умовах морського хвилювання

При складанні моделі міцності (рис. 5) враховано, що на ЗП діють наступні зусилля: вертикально-статичне навантаження $P_{в.ст}$, обумовлене вагою бруто ЗП, вітрове $P_{в}$, гідростатичний тиск $P_{г.с}$. на занурену частину корпусу ЗП, виштовхуюча сила $P_{а}$, зусилля, які діють на палубу ЗП посередництвом вагонів у вертикальному напрямку $P_{в.вар}^{ст}$ та горизонтальному $P_{г.вар}^{ст}$, а також зусилля, які діють на палубу через багатообертові засоби закріплення вагонів, тобто ланцюгові стяжки $P_{л.с}^i$ та механічні упор-домкрати $P_{уд}$.

У зв'язку з тим, що в розрахунках враховано фрагмент ЗП, то з метою урахування його відкинutoї частини у відповідних перерізах прикладені зусилля (вертикальні, повздовжні та поперечні), чисельні значення яких визначено за методом перетинів.

При визначенні зусиль, які діють на палубу ЗП посередництвом вагонів, розміщених на ній враховано кут крену ЗП, при цьому горизонтальне навантаження, прикладене від гребенів коліс на рейки з внутрішнього боку дії збудуючого зусилля, включає в себе складову прискорення вільного падіння, вітрове та інерційне навантаження.

При визначенні вітрового навантаження, яке діє на надводну проекцію ЗП з кузовами вагонів, розміщеними на верхній палубі врахований вітровий тиск, що притаманний для акваторії Чорного моря та дорівнює $1,47 \text{ кН/м}^2$.

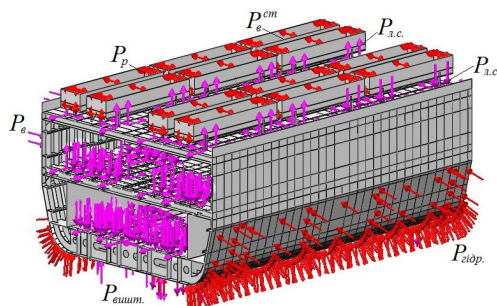


Рис. 5. Модель міцності фрагменту ЗП з кузовами вагонів

Для моделювання зусилля, яке діє на палубу ЗП через ланцюгові стяжки використовувалися накладки, конфігурація яких ідентична геометрії зони закріплення риму до палуби (рис. 6). Внаслідок просторового розміщення ланцюгових стяжок зусилля, яке діє на палубу через них розкладалося на складові з урахуванням кутів розміщення стяжок у просторі (рис. 7). У зонах обпирання механічних упор-домкратів на палубу ЗП також встановлювалися накладки, геометрія яких повторює геометрію опорної частини упор-домкрата на палубу. Зусилля, на накладки визначене з урахуванням кута крену ЗП, тобто з зовнішнього боку дії збудуючого зусилля відбувається їх розвантаження, а з внутрішнього – завантаження.

В якості матеріалу моделі ЗП застосована сталь марки D, для якої притаманне значення межі міцності $\sigma_{в} = 440 - 590 \text{ МПа}$ та пластичності $\sigma_{т} = 315 \text{ МПа}$, для несучої конструкції кузова вагона застосована сталь 09Г2С зі значенням $\sigma_{в} = 490 \text{ МПа}$ та $\sigma_{т} = 345 \text{ МПа}$.

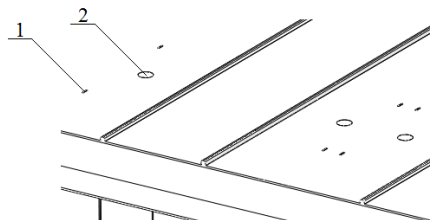


Рис. 6. Розміщення накладок для імітації дії зусиль від багатообертових засобів закріплення на палубу залізничного порому: 1 – палубний рим; 2 – механічний упор-домкрат

Чисельне значення зусиль, які діють на ЗП в умовах кутових переміщень навколо повздовжньої вісі наведені в табл. 1.

В дослідженнях враховано, що на несучу конструкцію напіввагонів діють наступні навантаження (табл. 2): вертикально-статичне навантаження $P_{в.ст}$, обумовлене вагою бруття вагона, вітрове $P_{в}$ на крайні від фальшборта вагони, розміщені з боку дії вітрового навантаження, зусилля розпору насипного вантажу P_p (кам'яне вугілля), а також

зусилля, які діють на кузов напіввагона через ланцюгові стяжки $P_{л.с.}$.

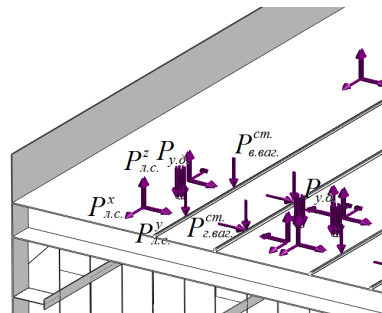


Рис. 7. Схема дії зусиль на палубу ЗП від вагонів, розміщених на ній та багатообертових засобів закріплення

При цьому закріплення кузова напіввагона моделювалося у кутах, утворених вертикальною стійкою кузова зі шворневою балкою у відповідності з “Наставлением...”. У зв'язку з тим, що ланцюгова стяжка має просторове розміщення, зусилля, яке діє від неї на кузов розкладалося на три складові.

Таблица 1

Зусилля, які діють на ЗП в умовах кутових переміщень навколо повздовжньої вісі

Вертикально-статичне навантаження, кН	Вітрове навантаження, кН	Гідростатичний тиск, кПа	Виштовхуюча сила, кН	Навантаження, яке діє на палубу ЗП від вагона			Навантаження, яке діє на палубу ЗП від багатообертових засобів закріплення, кН				
				Вертикально-статичне навантаження, яке діє на палубу у зонах обширання коліс, кН	Горизонтальне навантаження, яке діє на крайній від фальшборта вагон, розміщений на верхній палубі ЗП, кН	Горизонтальне навантаження, яке діє на другий та третій від фальшборта вагони, розміщені на верхній палубі ЗП, кН	Навантаження, яке діє на палубу через ланцюгові стяжки, кН			Навантаження, яке діє на палубу через механічні упор-домкрати, кН	
							Верхня палуба	Головна палуба	Трюмна палуба	З боку завантаження, кН	З боку розвантаження, кН
22102,34	530,27	74,61	76818,456	112,1	54,35	50	З боку завантаження крайнього від фальшборта вагона: $P_x=110,64$ кН $P_y=129,94$ кН $P_z=173,24$ кН	З боку завантаження вагона: $P_x=104$ кН $P_y=124$ кН $P_z=180,6$ кН	З боку завантаження вагона: $P_x=104$ кН $P_y=124$ кН $P_z=180,6$ кН	196 200	191 769
							З боку завантаження другого та третього від фальшборта вагонів: $P_x=106,9$ кН $P_y=127$ кН $P_z=170$ кН	З боку розвантаження вагона: $P_x=54$ кН $P_y=74$ кН $P_z=94$ кН	З боку розвантаження вагона: $P_x=54$ кН $P_y=74$ кН $P_z=94$ кН		
							З боку розвантаження вагона: $P_x=54$ кН $P_y=74$ кН $P_z=94$ кН				

Результати дослідження прискорень, які діють на кузова вагонів, розміщених на ЗП, наведені на рис. 8. При цьому з метою зменшення часу розрахунку дослідження проводилися в три етапи. На першому етапі напіввагони розміщувалися на верхній палубі, на другому – головній, на третьому – трюмній.

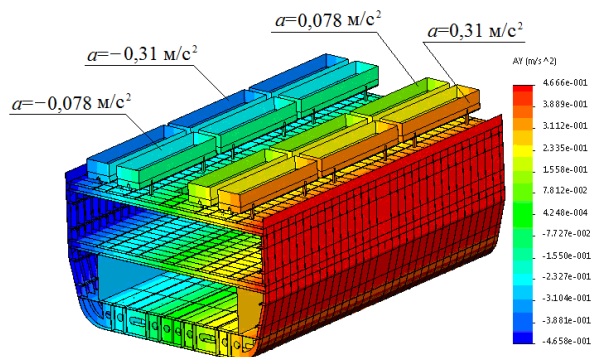


Рис. 8. Прискорення, які діють на кузова вагонів, розміщені відносно верхньої палуби ЗП в умовах морського хвилювання

Максимальні прискорення, які зафіксовані під час досліджень виникають при розміщенні вагонів на верхній палубі ЗП крайніх від фальшборта коліях.

Зусилля, які діють на кузов напіввагона в бортовій хитавиці ЗП в випадку симетричного закріплення відносно палуби

Зусилля, які діють на кузов напіввагона				Складові навантаження, які діють на кузов напіввагона від ланцюгових стяжок					
				Вітрове навантаження, кН			Зусилля від на-тяжіння ланцюгових стяжок, кН		
Вертикаль-но-статич-не наванта-ження, кН	Вітрове наван-тажен-ня, кН	Зусилля розпору, МПа	Зусилля від на-тяжіння ланцю-гових стяжок, кН	XY	YZ	XZ	XY	YZ	XZ
$p_y=175$ $p_z=811$	9,4	$15,5 \cdot 10^{-3}$ $-1,02 \cdot 10^{-3}$	54	$p_x=1,7$ $p_y=1,7$	$p_y=1,2$ $p_z=2,04$	$p_x=2,04$ $p_z=1,2$	$p_x=27$ $p_y=47$	$p_y=27$ $p_z=47$	$p_x=27$ $p_z=47$

5. Апробація результатів отриманих прискорень, які діють на кузова вагонів при перевезенні ЗП в умовах морського хвилювання

З метою апробації проведених досліджень побудовано математичну модель коливань вагонів, розміщені відносно палуб ЗП в умовах кутових переміщень навколо повздовжньої вісі [1]:

$$\left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q} + \left(\Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q} = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \quad (1)$$

де $q = \theta$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню ЗП з вагонами на його борту навколо повздовжньої вісі. Початок системи координат розміщений в центрі мас ЗП; D – вагове водовитіснення, кН; B – ширина ЗП, м; h – висота борта ЗП, м; Λ_0 – коефіцієнт опору коливанням, кН·с·м⁻¹; z_g – координата центру ваги ЗП, м; p' – вітрове навантаження, кН; $F(t)$ – закон дії зусилля, яке збудує рух ЗП з кузовами вагонів, розміщеними на його палубах.

Вхідними параметрами математичної моделі є технічні характеристики ЗП, гідрометеорологічні характеристики акваторії моря, координати розміщення кузовів вагонів відносно центру коливань ЗП.

Розв'язання рівнянь здійснено в середовищі програмного забезпечення Mathcad з використанням метода Рунге-Кутта. Отримані результати, дозволили зробити висновок, що максимальні прискорення, які діють відносно штатних місць вагонів на палубах ЗП складають близько 0,4 м/с², а з урахуванням горизонтальної складової прискорення вільного падіння 2,4 м/с² (0,24g). З метою перевірки адекватності розробленої моделі застосований критерій Фішера. Похибка апроксимації при цьому склала близько 10%. Результати проведених досліджень дозволили зробити висновок, що гіпотеза про адекватність розробленої моделі не відхиляється.

Таблиця 2

6. Висновки

1. Проведені дослідження сприятимуть підвищенню безпеки руху вагонів на ЗП морем, а також розширенню п. 2.18 “Норм...” [3], з урахуванням внесення уточнених величин прискорень, які діють на кузова вагонів при перевезенні різними типами ЗП та відповідних характеристик акваторій їх плавання.

2. Для забезпечення безпеки руху вагонів на ЗП морем необхідним є удосконалення їх несучих конструкцій

шляхом оснащення спеціальними вузлами, призначеними для взаємодії з багатообертковими засобами закріплення ЗП.

3. При проектуванні вагонів нового покоління в умовах проектно-конструкторських бюро вагонобудівних заводів необхідним є урахування зусиль, які діють на їх несучі конструкції в умовах хвилювання моря.

Література

1. Визняк, Р. И. Уточнение величин усилий, которые действуют на кузова вагонов при их перевозке железнодорожными парами [Текст] / Р. И. Визняк, А. А. Ловская. – Вестник ВНИИЖТа – 2013. – № 2. – С. 20–27.
2. Землезин, И. Н. Методика расчета и исследования сил, действующих на вагон при транспортировке на морских парамах [Текст] / И. Н. Землезин. – М.: Транспорт, 1970. – 104 с.
3. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст] / М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
4. Наставление по креплению груза для т/х “Петровск” ПР. № 002CNF001 – ЛМПЛ – 805 [Текст] / Офиц. изд. – Одесса: МИБ, 2005. – 52 с.

5. New livery for tarmac wagons [Text] / Online. – 2011. – Issue 17. – 2 p.
6. Our freight wagons [Text] / DB Schenker, 2013. – 113 p.
7. Freight cars major metals [Text] / Trains, 2015. – 20 p.
8. Tracks Across the Gulf [Text] / Marine Technology, 2012. – P. 50–53.
9. Andersson, E. Rail Vehicle Dynamics [Text] / E. Andersson, M. Berg, S. Stichel. – KTH Railway Technology, Stockholm, 2007.
10. Wickens, A. H., The dynamics of railway vehicle – From Stephenson to Carter, Proc. Instn. Mech. Engrs. [Text] / Wickens, A. H. – 212 (Part F), 1999. – P. 209 – 217.
11. Шиманский, Ю. А. Динамический расчет судовых конструкций [Текст] / Ю. А. Шиманский. – Л.: Государственное издательство судостроительной промышленности, 1963. – 444 с.
12. Крылов, А. Н. Качка корабля [Текст] / А. Н. Крылов. – М.: Воениздат, 1938. – 295 с.

На прикладі забудови схилу розглянуто вплив техногенних факторів на формування зсувних деформацій. Показана роль техногенних факторів в активізації зсувних процесів. На основі методу скінченних елементів (МСЕ) зроблено аналіз напружено-деформованого стану (НДС) схилу та проведена прогнозна оцінка стійкості зсувонебезпечної території при влаштуванні споруд інженерного захисту

Ключові слова: схил, зсувонебезпечна територія, метод скінченних елементів, підпірна стінка, основа

На примере застройки склона показано влияние техногенных факторов на формирование оползневых деформаций. Показана роль техногенных факторов в активизации оползневых процессов. На основе метода конечных элементов (МКЭ) сделан анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) склона и проведена прогнозная оценка устойчивости оползнеопасной территории при устройстве сооружений инженерной защиты

Ключевые слова: склон, оползнеопасная территория, метод конечных элементов, подпорная стенка, основание

УДК 624.131

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.43727

ДОСЛІДЖЕННЯ АКТИВІЗАЦІЇ ДЕФОРМАЦІЙ ОСНОВИ НА ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ СХИЛАХ ПРИ ТЕХНОГЕННІЙ ДІЇ

Є. Ю. Петренко

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: ed2952@voliacable.com

М. Махді Гараканлу

Аспірант*

E-mail: mehdi_qsa@yahoo.com

*Кафедра основ і фундаментів

Київський національний університет

будівництва і архітектури

пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03680

1. Вступ

Будівельна галузь постійно потребує залучення все більшої кількості потенційних майданчиків для проектування та зведення споруд різного призначення. Така нагальна потреба вимагає використання територій, що в недалекому минулому або не розглядалися взагалі як майданчики будівництва, або розглядалися частково. До таких сильно еродованих територій відносяться і зсувонебезпечні ділянки. Рациональне і безпечне використання територій в межах впливу споруд на схилах потребує визначення їх напружено-деформованого стану (НДС) як від дії особистої ваги ґрунту, так і при додатковому статичному навантаженні (наприклад вплив проектуемого або надбудова існуючого будинку). Нормативні документи вимагають поряд із розглядом НДС схилу визначати і його коефіцієнт стійкості K_{st} , значення якого залежить від багатьох природних та техногенних факто-

рів. Граничні значення K_{st} для основних сполучень навантажень впливають на вибір протизсувних захисних споруд та їх розташування в плані [1]. Дійсне значення K_{st} можна отримати лише визначивши розташування потенційної поверхні скозання (ППС), що в більшості випадків має складну конфігурацію [2]. На практиці найбільш достовірну геометричну форму ППС можна отримати завдяки використанню інструментального обладнання (наприклад інклінометрів). Але ефективно, рациональне використання такої апаратури можливо лише при зануренні їх у потенційно ослаблені ділянки в межах інженерно-геологічних елементів (ІГЕ) зсувного або зсувонебезпечного схилу. Тому вирішення такого складного, комплексного питання, як отримання дійсної картини зміни НДС зсувонебезпечного схилу при додатковому статичному навантаженні можливо лише в межах нелінійної механіки ґрунтів із застосуванням чисельних методів розрахунку [2–5].