

УДК 629.4.023.14.004.15:656.211.7

**ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЬ РОЗПОРУ НАСИПНОГО ВАНТАЖУ НА СТИНИ КУЗОВА НАПІВВАГОНА ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗАЛІЗНИЧНИМ ПОРОМОМ**

Кад. техн. наук А.О. Ловська

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ РАСПОРА НАСЫПНОГО ГРУЗА НА СТЕНЫ КУЗОВА ПОЛУВАГОНА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПАРОМОМ**

Канд. техн. наук А.А. Ловская

**THE DEFINITION OF FREIGHT PRESSURE WHICH INFLUENCE UPON THE WALL OF OPEN-TOP WAGON UNDER TRANSPORTATION WITH RAILWAY-FERRY BOAT**

Cand. of techn. sciences A.A. Lovskaya

*В статті проводиться аналіз зусиль, які впливають на міцність несучих конструкцій кузовів вагонів при перевезенні залізничним паромом. Отримані результати дадуть змогу забезпечити збереження вагонів при експлуатації в міжнародному залізнично-водному сполученні і підвищити надійність перевезення вантажів у міжнародних напрямках.*

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

*В статье проводится анализ усилий, которые влияют на прочность несущих конструкций кузовов вагонов при перевозке железнодорожным паромом. Полученные результаты позволят обеспечить сохранность вагонов при эксплуатации в международном железнодорожно-водном сообщении и повысить надежность перевозки грузов в международных направлениях.*

**Ключевые слова:** вагон, динамика вагона, нагрузка конструкции, железнодорожно-водный транспорт, железнодорожно-паромные перевозки.

*The historical development of railway ferry-boat transportation in Ukraine with other countries of the Black Sea basin is being researched in this article.*

*Juefilled investigation is grounding co – operation railway and marin transport and is justifying the necessity to in introduce new ferry-boat routes.*

*The article analyses the efforts effecting strength on elements of wagon bodies under transportation with ferry-boat. It gives us an opportunity to develop measures as to the adaptation of wagons bodies to the interaction with the fastenings of railway-ferries by means of equipping their bearing constructions with special fastening assembly units. Such technical solution will allow decreasing expenses for unscheduled repair of wagons while transporting them on railway-ferries and providing safety of traffic of combined transport.*

*The investigation data allows ensuring safety of a wagon fleet while operating it in the international railway-water communication and increasing the efficiency of combined transport in the spectrum of international transportations.*

**Keywords:** wagon, the dynamics of wagon, loading of construction, railway-ferry transport, railway-ferry boat transportation.

**Вступ.** Інтеграція України в систему міжнародних транспортних коридорів обумовлює необхідність створення систем комбінованого транспорту. У зв'язку з чим набули розвитку залізнично-поромні перевезення. Розвиток залізнично-поромного

сполучення в Україні розпочався в 1954 р. Саме тоді була введена в експлуатацію перша залізнично-поромна переправа між Україною та Росією. Зараз в Україні експлуатуються поромні маршрути: Крим – Кавказ (Україна – Росія), Іллічівськ – Варна (Україна – Болгарія),

Іллічівськ – Поті/Батумі, Керч – Поті (Україна – Грузія), Іллічівськ – Дериндже (Україна – Туреччина).

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями.** На підставі досліджень щодо перевезень вантажів вагонами на залізничних поромках (ЗП) встановлено, що одними з найбільш поширених типів є насипні (близько 10 % від загального вантажообігу), перевезення яких здійснюється напіввагонами. Відомо, що перевезення насипних вантажів напіввагонами обумовлює дію зусиль розпору на несучу конструкцію кузовів, що в умовах залізнично-поромних перевезень значно впливає на безпеку руху. Це викликає необхідність дослідження та визначення зусиль, які діють на несучу конструкцію кузовів вагонів при перевезенні ЗП в умовах хвилювання моря.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У працях І.М. Землезина розглянутий випадок навантаження вагона зусиллям розпору насипним вантажем в умовах перевезення вагонів на ЗП [1]. Показано, що тиск насипного вантажу на стіни кузова вагона є функцією кутів крену при кутових переміщеннях навколо повздовжньої осі та прискорень, які виникають при цьому. Для урахування інерційних зусиль з боку насипного вантажу на стіни вагона прийнято, що сумарна величина прискорення  $\sum W_x$  однакова для всіх часток вантажу. З цих досліджень встановлено, що різниця між горизонтальними прискореннями вантажу при коливаннях ЗП на рівні центру ваги вагона та на рівні підлоги не перевищують 2-2,5 %, а вертикальні прискорення не залежать від висоти розміщення центру ваги над рівнем головки рейки. Недоліками наведеної методики при визначенні інерційного навантаження на бокову стіну кузова вагона є неможливість урахування курсового кута хвилі по відношенню до корпусу ЗП, а також вітрового зусилля, яке діє на надводну проекцію ЗП з кузовами вагонів, розміщеними на його верхній палубі.

**Визначення мети дослідження.** Визначення зусиль розпору насипного вантажу на стіни кузова напіввагона при перевезенні ЗП.

**Основна частина дослідження.** Для визначення зусилля розпору на стіни кузова напіввагона при перевезенні ЗП пропонується використання методу Кулона [1, 2], згідно з яким воно дорівнює:

$$p = G \frac{\sin(\vartheta - \rho)}{\sin(\vartheta + \psi - \rho)}, \quad (1)$$

де  $G$  – вага призми зрушення вантажу;

$\vartheta$  – кут нахилу площини спаду до горизонтальної лінії;

$$\psi = 90^\circ - \alpha - \delta;$$

$\rho$  – кут внутрішнього тертя (для ідеально сипкого середовища дорівнює куту природного відкосу [3]);

$\delta$  – кут тертя між вантажем та стіною.

Важливо зазначити, що максимальний тиск буде відповідати напрямку площини сповзання. Для визначення величини максимального тиску можна використати метод, запропонований В. В. Синельниковим [4], згідно з яким необхідно замінити в умові максимуму тиску  $\left(\frac{dp}{d\vartheta} = 0\right)$ , змінну  $\vartheta$  – кут

нахилу площини сповзання, який у загальному випадку визначити аналітичним шляхом неможливо, на деяку змінну  $x$  (у нашому випадку кут  $\alpha = \theta$ ). Оберемо початком координат системи точку  $A$  (рис. 1). Вісь  $x$  спрямована під кутом  $\rho$  до горизонтальної площини, а вісь  $y$  сумістимо з лінією  $AB$ , тобто по боковій стіні кузова вагона. Відрізком  $AD = x$  визначимо положення площини спаду.

Для визначення тиску насипного вантажу на бокові стіни кузова напіввагона пропонується використання формули [1]:

$$p = \gamma h \frac{\cos^2(\rho - \alpha)}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin \rho \sin(\rho - \alpha)}{\cos \alpha}}\right]^2 \cos \alpha}, \quad (2)$$

де  $\gamma$  – об'ємна маса вантажу, кН/м<sup>3</sup>;

$h$  – висота кузова напіввагона, м.

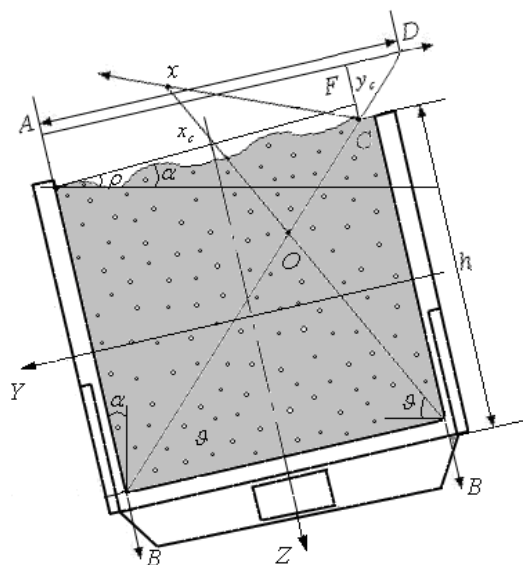


Рис. 1. Схема дії зусиль насипного вантажу на бокову стіну кузова напіввагона

Для протилежної стіни кузова напіввагона формула для визначення тиску має такий вигляд:

$$p = \gamma h \frac{\cos^2(\rho + \alpha)}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin \rho \sin(\rho + \alpha)}{\cos \alpha}}\right]^2 \cos \alpha} \quad (3)$$

При переміщенні напіввагона ЗП в умовах хвилювання моря до уваги також необхідно брати величину прискорень, які діють на нього. Схема дії зусиль на кузов напіввагона при кутових переміщеннях навколо поздовжньої осі наведена на рис. 2.

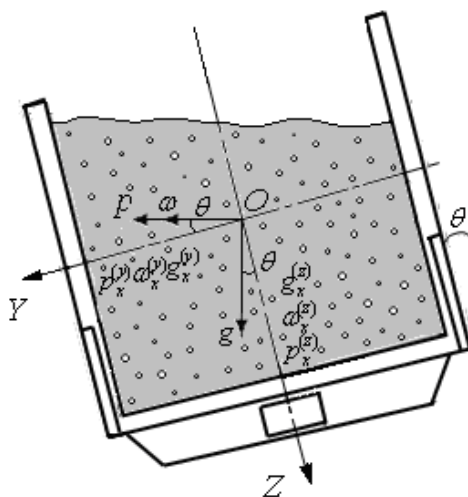


Рис. 2. Схема дії зусиль на кузов напіввагона при кутових переміщеннях навколо поздовжньої осі:  $\omega_x^{(y)}, \omega_x^{(z)}$  – складові прискорення кузова вагона;  $g_x^{(y)}, g_x^{(z)}$  – складові прискорення вільного падіння;  $p$  – інерційне зусилля, яке діє на кузов вагона;  $p_x^{(y)}, p_x^{(z)}$  – складові інерційного зусилля

Особливості визначення зусилля інерції на кузов вагона при кутових переміщеннях навколо поздовжньої осі наведені в [5].

Оскільки вантаж має розподілення відносно стіни кузова вагона, а додаткове зусилля розпору складе:

$$F_{\text{доо}}^{(\theta)} = \frac{F_{\theta}}{L_{\kappa} \cdot h_{\kappa}}, \quad (4)$$

де  $F_{\theta}$  – сила інерції, яка діє на насипний вантаж, кН;

$L_{\kappa}$  – довжина бокової стіни кузова вагона, м;

$h_{\kappa}$  – висота бокової стіни кузова вагона, м.

Тоді для визначення тиску насипного вантажу на стіни кузова вагона при кутових переміщеннях ЗП навколо поздовжньої осі може бути використана формула:

$$p = \gamma h \left[ \frac{\cos^2(\rho + \alpha)}{1 + \sqrt{\frac{\sin \rho \sin(\rho + \alpha)}{\cos \alpha}}} \right]^2 \pm F_{\text{доо}}^{(\theta)} \quad (5)$$

При визначенні зусиль розпору насипного вантажу на бокові стіни кузова напіввагона на ЗП в умовах хвилювання моря пропонується в якості закону його розподілення використання закону трикутника з максимумом у основи, у відповідно до [6].

Підхід до визначення тиску насипного вантажу на стіни кузова вагона при перевезенні його ЗП в умовах хвилювання моря відрізняється від відомих способом визначення інерційної складової, а також законом розподілення зусилля розпору на бокову стіну кузова напіввагона.

Зусилля розпору на торцеві стіни при диференті ЗП можна визначити за вищенаведеним способом.

Для визначення чисельного значення зусилля розпору насипного вантажу на стіни кузова напіввагона при перевезенні його ЗП акваторією Чорного моря за насипний вантаж обрано кам'яне вугілля (як один із найбільш поширених вантажів експортного напрямку) із насипною масою  $\gamma = 8,83$  кН/м<sup>3</sup>. На підставі проведених розрахунків при куті крену ЗП  $12,2^{\circ}$  отримано значення величини тиску насипного вантажу на бокову стіну кузова напіввагона близько 15 кПа, що перевищує величину тиску насипного вантажу при експлуатації вагонів на магістральних коліях більше ніж на 50 %.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Проведені дослідження дозволяють отримати уточнену величину тиску насипного вантажу на бокові стіни кузовів напіввагонів при перевезенні ЗП, що може бути враховано при проектуванні та розрахунках кузовів вагонів нового покоління на вагонобудівних заводах. Це дасть змогу забезпечити міцність несучих конструкцій кузовів вагонів при перевезенні на ЗП у міжнародному сполученні.

### Список використаних джерел

1. Землезин, И.Н. К оценке нагрузок распора сыпучих грузов в условиях транспортировки вагонов на морских парамах [Текст] / И.Н. Землезин // Исследование динамики вагонов: труды ЦНИИ МПС. – М.: Транспорт, 1965. – Вып. 307. – С. 37 – 63.
2. Рабинович, И.М. Основы строительной механики стержневых систем [Текст] / И.М. Рабинович. – М.: Госстройиздат, 1954. – Ч. II.
3. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов [Текст] / Р. Л. Зенков. – М.: Машиностроение, 1964. – 250 с.
4. Синельников, В.В. Развитие метода Кулона при определении давления сыпучего тела [Текст] / В.В. Синельников // Труды МИИТа. – М.: Трансжелдориздат, 1946. – Вып. 69. – 323 с.
5. Візняк, Р.І. Визначення динамічних зусиль, які діють на кузова вагонів при перевезенні залізничним поромом в умовах хвилювання моря [Текст] / Р.І. Візняк, А.О. Ловська // Залізничний транспорт України. – 2013. – № 2. – С. 54 – 58.
6. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов

Ловська Альона Олександрівна, канд. техн. наук, старший викладач кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-35. E-mail: alyonaLovskaya@rambler.ru

Lovskaya Alyona Alexandrovna, candidate of technical sciences, Sen. Lecturer department wagons Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-35. E-mail: alyonaLovskaya@rambler.ru