

УДК 629.463.62
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/49>

Фомін О.В.

Державний університет інфраструктури та технологій

Ловська А.О.

Український державний університет залізничного транспорту

Фоміна А.М.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

Литвиненко А.С.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ МОДЕРНІЗОВАНОЇ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ З КОМПОЗИТНИМИ СТІЙКАМИ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЛІСУ У ХЛИСТАХ

Ефективність функціонування транспортної галузі зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію сучасних транспортних засобів з покращеними техніко-економічними показниками. Для підвищення ефективності використання залізничного транспорту також є доцільним здійснення модернізації наявного рухомого складу.

У матеріалах статті запропоновані рішення щодо адаптації універсальної несучої конструкції вагона-платформи до перевезення лісу у хлистах. Така модернізація полягає у монтажі вертикальних стійок на основні поздовжні балки рами. Особливістю стійок є те, що вони виготовлені з композитного матеріалу. Встановлення стійок здійснюється у металеві стакани, розміщені на поворотних секторах, які мають можливість обертатися відносно вертикальної осі для зручності завантаження вагона-платформи.

З урахуванням запропонованих рішень можна зменшити тару модернізованої конструкції вагона-платформи на 4,6% порівняно з використанням сталевих стійок.

Для визначення основних показників міцності модернізованої несучої конструкції вагона-платформи проведено розрахунок за методом скінчених елементів, який реалізовано в програмному комплексі SolidWorks Simulation.

У разі складання скінчено-елементної моделі враховані ізопараметричні тетраедри. Оскільки сталь є ізотропним матеріалом, а композит – анізотропним, то розрахунок здійснений за двома критеріями – Мізеса та максимальних нормальних напружень.

Встановлено, що максимальні напруження в несучій конструкції вагона-платформи не перевищують допустимих значень. Також проведено розрахунок на міцність модернізованої несучої конструкції вагона-платформи і стосовно інших розрахункових схем. Результати розрахунків показали, що міцність несучої конструкції забезпечується.

Проведені дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо проектування інноваційних конструкцій рухомого складу та підвищенню ефективності його функціонування.

Ключові слова: транспортна механіка, вагон-платформа, несуча конструкція, модернізація конструкції, міцність.

Постановка проблеми. З метою адаптації наявного парку вагонів до перевезень завданої номенклатури вантажів здійснюється їх модернізація. Важливим фактором у разі здійснення подібних модернізацій є мінімальне збільшення підресореної маси несучої конструкції вагона. Досягти цього можна шляхом використання матеріалів, які мають полегшену масу порівняно зі сталлю як основного конструкційного матеріалу у

вагонобудуванні, для забезпечення умов міцності в експлуатації. Одним з таких матеріалів є композити. Тому для обґрунтування використання їх як матеріалу складників несучих конструкцій вагонів доцільним є проведення відповідних досліджень у цьому напрямі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження міцності вагона-платформи нового покоління з поворотною рамою наведені в роботі

[1]. Розрахунок на міцність несучої конструкції вагона-платформи проведений за методом скінчених елементів у середовищі програмного комплексу Nastran.

Визначення показників міцності вагона-платформи проводиться в роботі [2]. При цьому розрахунок на міцність проведений у статиці. Чисельні значення розрахункових навантажень, які діють на вагон-платформу, прийняті у відповідності до нормативів PNEN12663 та BN – 77/3532 – 40. Міцність вагона-платформи визначалася з урахуванням чотирьох схем навантажень її конструкції:

- стискуючих зусиль у 2 МН за осями буферів;
- стискуючих зусиль у 0,4 МН, прикладених за діагоналлю на рівні буферів;
- зусилля розтягування у 1 МН за осями буферів;
- вертикального інерційного навантаження, що діє на несучу конструкцію вагона-платформи з урахуванням прискорення 1,95 g.

При цьому питання адаптації несучої конструкції вагона-платформи під перевезення завданої номенклатури вантажів у роботі не розглянуті.

Перспективи експлуатації вагона-платформи нового покоління наведені у публікації [3]. У разі виготовлення моделі було поставлене завдання зменшення опору повітря під час руху, яке вирішене шляхом оптимізації розміщення контейнерів за довжиною вагона-платформи. Модель такого вагона-платформи виготовлена у Німеччині та пройшла експериментальні дослідження у Великобританії.

Доцільність експлуатації вагонів-платформ для перевезення контейнерів, у тому числі контейнерів-цистерн побудови заводу «Трансмаш» (Росія), зазначена у публікації [4]. Конструкція вагона-платформи має вантажопідйомність 73 тонни та може здійснювати перевезення контейнерів типорозміру 1СС, 1С, а також 1СХ.

Разом із тим у разі проектування таких конструкцій вагонів-платформ не розглянуто можливість використання як їхніх складників перспективних матеріалів для зменшення тари.

Конструкційні особливості вагона-платформи для інтермодальних перевезень наведені у статті [5]. Описані загальні вимоги щодо організації технології інтермодальних перевезень, а також визначені їхні переваги. При цьому в роботі не оговорюється, чи є можливою модернізація такої конструкції вагона-платформи під перевезення завданої номенклатури вантажів.

Дослідження динаміки залізничного вагона з відкритою завантажувальною платформою наведені в роботі [6]. Розрахунок проведений у середовищі

програмного комплексу MSC Adams. При цьому дослідження стійкості проти перекидання вагона здійснювалося у разі його вписування у криву радіусом 250 м з урахуванням різної швидкості руху.

Експериментальне дослідження дослідного зразка шарнірно-з'єднаного вагона-платформи моделі 13-1839 для перевезення великовантажних контейнерів наводиться у публікації [7]. Особливістю зазначеної конструкції вагона-платформи є використання двох секцій із загальною завантажувальною довжиною 80 футів, що встановлені на двох візках. У процесі здійснення випробувань дослідного зразка вагона-платформи проводилися: статичні випробування на міцність, випробування на співударення, стаціонарні гальмівні випробування, випробування на проходження кривих малого радіусу та випробування щодо проходження сортувальних гірок.

Важливо зазначити, що авторами таких робіт не розглянуті питання можливості впровадження перспективних матеріалів у складники несучих конструкцій вагонів-платформ.

Постановка завдання. Метою статті є визначення показників міцності модернізованої несучої конструкції вагона-платформи з композитними стійками для перевезення лісу у хлистах, що сприятиме підвищенню ефективності експлуатації залізничного транспорту.

Викладення основного матеріалу дослідження. Для підвищення ефективності використання універсальної конструкції вагона-платформи пропонується його модернізація для можливості перевезення лісу у хлистах. Дослідження проведені на прикладі несучої конструкції вагона-платформи моделі 13-401 побудови Дніпродзержинського вагонобудівного заводу (рис. 1).

Модернізація полягає у монтажі вертикальних стійок на основні повздовжні балки рами (рис. 2). Особливістю стійок є те, що вони виготовлені з композитного матеріалу. Встановлення стійок здійснюється у металеві стакани, розміщені на поворотних секторах, які мають можливість обертатися відносно вертикальної осі для зручності завантаження вагона-платформи.

З урахуванням запропонованих рішень можна зменшити тару модернізованої конструкції вагона-платформи на 4,6% порівняно з використанням сталевих стійок.

Для визначення основних показників міцності модернізованої несучої конструкції вагона-платформи проведено розрахунок за методом скінчених елементів, який реалізовано в програмному комплексі SolidWorks Simulation.



Рис. 1. Вагон-платформа моделі 13-401

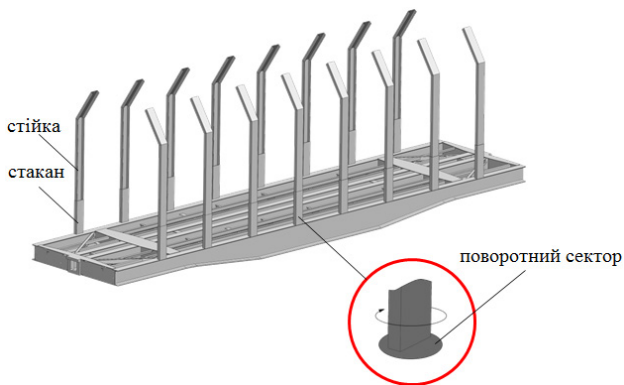


Рис. 2. Несуча конструкція вагона-платформи

У разі складання скінчено-елементної моделі враховані ізопараметричні тетраедри [8–10]. Оптимальна кількість елементів моделі визначена за графоаналітичним методом [11–13]. Кількість вузлів моделі становила 263362, елементів – 768396. Максимальний розмір елемента становив 100 мм, а мінімальний – 20 мм. Відсоток елементів зі співвідношенням боків більше

десяти – 13,5, менше трьох – 13,5. Мінімальна кількість елементів у колі становила 9, співвідношення збільшення розміру елементів – 1,7. Закріплення моделі здійснювалося в зонах обпирання її на візки. Матеріал несучої конструкції вагона-платформи – сталь марки 09Г2С, а стійок – композит з межею міцності 1500 МПа та щільністю 2200 кг/м³.

Розрахункова схема несучої конструкції вагона-платформи наведена на рис. 3.

На початковому етапі проведено розрахунок несучої конструкції вагона-платформи у разі I режиму [14; 15]. Враховано, що на несучу конструкцію вагона-платформи діє вертикальне навантаження P_v , яке розподілене за хребтовою та повздовжніми балками у пропорціях 5/8 та 3/8 відповідно. На несучу конструкцію вагона-платформи діє повздовжнє навантаження P_n , яке прикладалося до заднього упору автозчепу та дорівнює 3,5 МН, а також поперечні навантаження на стійки P_c . При цьому прийнято, що висота стійок дорівнює 3,169 м [16].

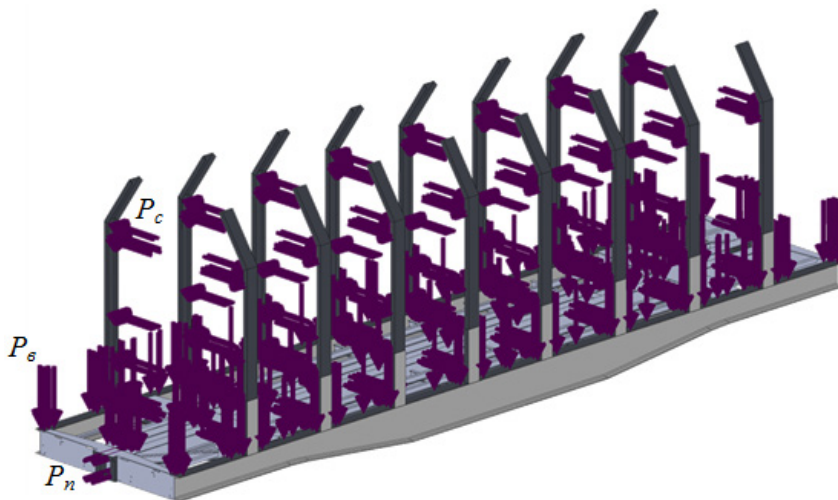


Рис. 3. Розрахункова схема несучої конструкції вагона-платформи

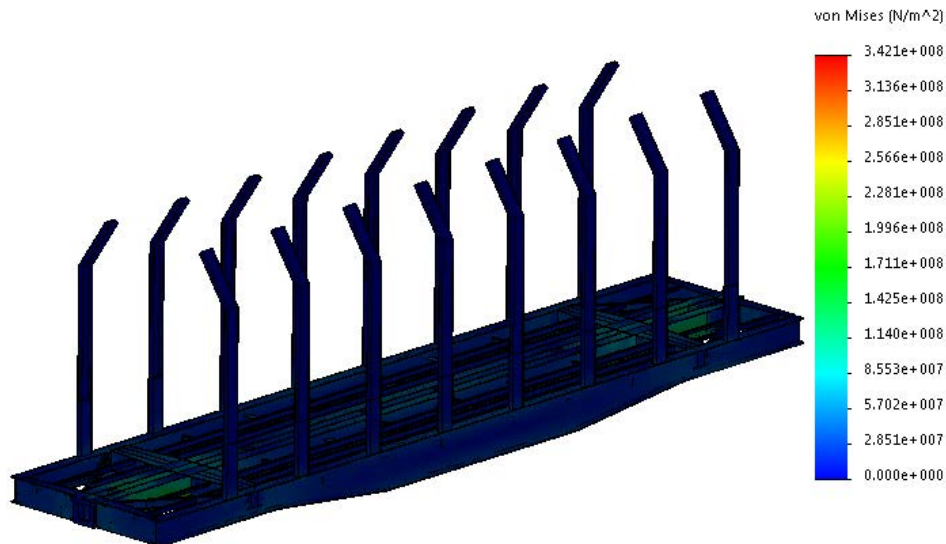


Рис. 4. Напружений стан несучої конструкції вагона-платформи

Величина рівномірно-розподіленого за висо-
тою стійки поперечного навантаження для кож-
ного штабеля визначалася [16]

$$P_c = \frac{\Delta F_n}{L_{cm}}, \quad (1)$$

ΔF_n – поперечна інерційна сила від маси штабеля з
урахуванням розміщення за довжиною вагона, кН.

При цьому

$$\Delta F_n = n \cdot (F_n + W) - F_{mp}^n, \quad (2)$$

n – коефіцієнт, який розраховується у разі ство-
рення ТУ на вагон-платформу; F_n – поперечне
інерційне навантаження від маси штабеля ван-
тажу з урахуванням розміщення його за довжи-
ною вагона та дії відцентрової сили; W – вітрове
навантаження, яке діє на вантаж; F_{mp}^n – сила тертя,
що діє на штабель вантажу з урахуванням роз-
міщення його за довжиною вагона у поперечному
напрямку.

Під час проведення розрахунків враховано, що
вагон-платформа завантажений штабелем у 6 м.
Оскільки сталь є ізотропним матеріалом, а компо-
зит – анізотропним, то розрахунок здійснений за
двома критеріями – Мізеса та максимальних нор-
мальних напружень [9; 10].

Встановлено, що максимальні еквівалентні
напруження в несучій конструкції вагона-плат-
форми виникають у зонах взаємодії шворневих
балок з хребтовою та становлять близько 342 МПа
і не перевищують допустимих [14; 15] (рис. 4).

Розрахунок за критерієм максимальних нор-
мальних напружень встановив, що максимальні
нормальні напруження в повздовжньому напрямку

становлять 237,5 МПа, поперечному – 151,7 МПа
та вертикальному – 174,8 МПа. Отже, отримані
значення напружень не перевищують допустимих
[14; 15].

Також проведено розрахунок на міцність
модернізованої несучої конструкції вагона-плат-
форми і стосовно інших розрахункових схем.
Результати розрахунків показали, що міцність
несучої конструкції забезпечується.

Висновки.

1. Запропоновано модернізацію несучої кон-
струкції вагона-платформи для перевезення лісу
у хлистах шляхом монтажу вертикальних стій-
жок із композиту на основні повздовжні балки
рами. З урахуванням запропонованих рішень
можна зменшити тару модернізованої конструкції
вагона-платформи на 4,6% порівняно з викорис-
танням сталевих стійок.

2. Проведено розрахунок на міцність модер-
нізованої несучої конструкції вагона-платформи
для перевезення лісу у хлистах. Максимальні
еквівалентні напруження в несучій конструкції
вагона-платформи за критерієм Мізеса виникають
у зонах взаємодії шворневих балок з хребтовою
та становлять близько 342 МПа і не перевищують
допустимих.

Розрахунок за критерієм максимальних
нормальних напружень встановив, що макси-
мальні нормальні напруження в повздовжньому
напрямку становлять 237,5 МПа, поперечному –
151,7 МПа та вертикальному – 174,8 МПа. Отже,
отримані значення напружень не перевищують
допустимих.

Список літератури:

1. Karol Chlus, Wieslaw Krason. Dynamic analysis of railway platform chassis model. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. 2011, Vol. 18, No. 2. P. 93–100.
2. Karol Chlus, Wieslaw Krason. Numerical standard tests of railway carriage platform. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. 2012, Vol. 19, No. 3. P. 59–64.
3. New livery for tarmac wagons. Online. 2011, Issue 17 summer. P. 1.
4. Switching over to the home platform. *Journal for partners Transmashholding*. 2015, No. 3, 09. P. 22–23.
5. Mirosław Nader, Marian Sala, Jarosław Korzeb, Arkadiusz Kostrzewski. Kolejowy wagon transportowy jako nowatorskie, innowacyjne rozwiązanie konstrukcyjne do przewozu naczeł siodłowych i zestawów drogowych dla transportu intermodalnego. *Logistyka*. 2014, No. 4. P. 2272–2279.
6. Tadeusz Niezgodą, Wieslaw Krason, Michal Stankiewicz. Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable loading floor carried out in MSC Adams software. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. 2012, Vol. 19, No. 4. P. 495–502.
7. Бубнов В.М., Мямлин С.В., Гуржи Н.Л. Экспериментальные исследования шарнирно соединенного вагона-платформы для крупнотоннажных контейнеров модели 13–1839. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2009, Вип. 28. С. 12–16.
8. Fomin O., Lovska A., Pištěk V., Kučera P. Dynamic load effect on the transportation safety of tank containers as part of combined trains on railway ferries. *VIBROENGINEERING PROCEDIA*. 2019, Vol. 29, P. 12–129.
9. Алямовский А. А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006–2007. Инженерный анализ методом конечных элементов. Москва, 2007. 784 с.
10. Алямовский А.А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций в среде SolidWorks. Москва, 2010. 784 с.
11. Fomin O., Gorbunov M., Lovska A., Gerlici J., Kravchenko K. Dynamics and strength of circular tube open wagons with aluminum foam filled center sills. *Materials*. 2021, Vol. 14(8). 1915. URL: <https://doi.org/10.3390/ma14081915>.
12. Фомін О.В., Ловська А.О. Дослідження динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу з круглих труб, завантаженого контейнерами-цистернами. *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології»*. 2021, Вип. 37. С. 31–40.
13. Vatulia G., Falendysh A., Orel Y., Pavliuchenkov M. Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages. *Procedia Engineering*. 2017, Vol. 187. P. 301–307. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.379.
14. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проєктування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 162 с.
15. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. Москва, 2016. 54 с.
16. Местные технические условия размещения и крепления круглых лесоматериалов длиной 3,0, 4,0, 6,0 на специализированной платформе модели 13-9997. 2014. 16 с.

Fomin O.V., Lovska A.O., Fomina A.M., Lytvynenko A.S. DETERMINATION OF STRENGTH INDICATORS OF THE MODERNIZED LOAD-BEARING STRUCTURE OF A FLATCAR WITH COMPOSITE STRUTS FOR THE TRANSPORTATION OF TIMBER IN SOLID WOOD

Efficiency of functioning of the transport sector necessitates the introduction into operation of modern transport vehicles with improved technical and economic indicators. To increase the efficiency of railway transport is also appropriate to carry out the modernization of the current rolling stock.

The article offers solutions for adaptation of universal load-bearing structure of a flat car to the transportation of timber in pieces of wood. This modernization consists in installation of vertical struts on the main beams of the frame. The particularity of the struts is that they are made of composite material. Frames are installed in metal cages placed on swivel sectors that can be rotated relative to the vertical axis for easy loading of the flat car.

Taking into account the proposed solutions it is possible to reduce the tare of the modernized design of the flat car by 4.6% in comparison with the use of steel columns.

To determine the main indicators of strength of the modernized load-bearing structure of the flat car, the calculation was carried out by the method of joined elements, which was implemented in the SolidWorks Simulation software package.

When creating the bonded-element model, the isoparametric tetrahedrons were taken into account. Since steel is an isotropic material and composite is anisotropic, the calculation was carried out according to two criteria – Mises and maximum normal loads.

It was found that the maximum loads in the load-bearing structure of the flat wagon do not exceed the permissible values. The strength of the modernized load-bearing structure of the flatcar was also calculated according to other design schemes. The results of the calculations showed that the strength of the load-bearing structure is ensured.

The conducted research will contribute to the creation of guidelines for the design of innovative structures of the rolling stock and increasing the efficiency of its functioning.

Key words: transport mechanics, flatcar, load-bearing structure, modernization of structure, strength.