

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463.65

М. І. ГОРБУНОВ<sup>1\*</sup>, О. В. ФОМІН<sup>2</sup>, А. О. ЛОВСЬКА<sup>3</sup>, В. В. КОВАЛЕНКО<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, пр. Центральний, 59-а, Северодонецьк, Україна, 93400, тел. +38 (095) 309 10 39, ел. пошта gorbunov0255@gmail.com, ORCID 0000-0002-8556-3392

<sup>2</sup>Каф. «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури і технологій, вул. Кирилівська, 9, Київ, Україна, 04071, тел. +38 (067) 813 97 88, ел. пошта fomin1985@ukr.net, ORCID 0000-0003-2387-9946

<sup>3</sup>Каф. «Вагони», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 35, ел. пошта alyonalovskaya.vagons@gmail.com, ORCID 0000-0002-8604-1764

<sup>4</sup>Каф. «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, пр. Центральний, 59-а, Северодонецьк, Україна, 93400, тел. +38 (095) 142 90 74, ел. пошта kkaterina@ukr.net, ORCID 0000-0003-1706-2710

### КОМПЛЕКСНИЙ РОЗРАХУНОК ВИКОНАННЯ КРИШКИ ЛЮКА НАПІВВАГОНА З РІЗНОТИПНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ПРОМІЖНИМ Ш-ПОДІБНИМ ОБВ'ЯЗУВАННЯМ

**Мета.** Запропоноване дослідження спрямоване на визначення показників міцності кришки люка універсального напіввагона, виконаного з проміжним Ш-подібним обв'язуванням із різнотипних матеріалів, за експлуатаційних схем навантажень. **Методика.** Для досягнення зазначеної мети створена принципово нова конструкція кришки люка напіввагона, особливістю якої є те, що вона складається з двох листів, що по периметру взаємодіють через Ш-подібне обв'язування. Простір, який утворюють листи та обв'язування, а також периметр кришки люка заповнені пружною (пружно-в'язкою) речовиною. Побудована просторова модель запропонованої конструкції кришки люка, проведений розрахунок її міцності. Розрахунок здійснений за методом скінчених елементів у середовищі програмного забезпечення CosmosWorks. **Результати.** Отримано показники міцності вдосконаленої конструкції кришки люка за експлуатаційних схем її навантаження. До уваги взяті основні схеми навантаження кришки люка напіввагона відповідно до нормативних документів, а також додаткові. До додаткових віднесено: імітація розкриття кришки люка під час експлуатаційних навантажень – безторсійний (без урахування роботи торсіону (-ів) неодноразовий (спочатку на один із упорів) удар кришки люка об упори проміжних балок рами вагона з максимальним кутом відкриття; неодноразове відкриття закидок – спірання кришки люка завантаженого вагона на одну закидку за один кронштейн (випадок, коли вже вибили одну закидку, а іншу ще не встигли); підтягування (закриття) кришки люка вивантаженого вагона ломиком. Встановлено, що міцність кришки люка забезпечується. **Наукова новизна.** Розроблена модель міцності вдосконаленої конструкції кришки люка універсального напіввагона дозволяє отримати показники її міцності за експлуатаційних схем навантажень. Результати проведених досліджень можуть бути використані під час проектування несучих конструкцій кузовів універсальних напіввагонів нового покоління з поліпшеними техніко-економічними показниками. **Практична значимість.** Урахування отриманих результатів сприятиме забезпеченню міцності конструкційних елементів кузовів напіввагонів під час експлуатації.

*Ключові слова:* напіввагон; кришка люка; удосконалена конструкція; моделювання міцності; експлуатаційні навантаження; еквівалентні напруження

#### Вступ

Розвиток зовнішньоекономічних зв'язків України як транзитної держави значною мірою залежить від транспортної галузі, провідною

складовою якої є залізничний транспорт. Для забезпечення безперебійного перевізного процесу в розпорядженні залізниць має бути справний рухомий склад.

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

За останні роки парк вантажних вагонів ПАТ «Укрзалізниця», а також промислових підприємств мало оновлювався через нестачу фінансових ресурсів. Тому на сьогодні значна частина вагонів залежно від типу і призначення в середньому на 80 % вичерпала термін служби, встановлений нормативно-технічними документами.

Відомо, що найбільш затребуваним типом вагонів в експлуатації є універсальні напіввагони. Аналіз статистичних даних спрацювання напіввагонів дозволив зробити висновок, що значна частка пошкоджень припадає на кришки люків.

Для ефективності функціонування напіввагонів необхідною є розробка заходів щодо удосконалення кришок люків як одного з найбільш навантажуваних елементів несучої конструкції кузова під час експлуатації.

Особливості оптимізації виконання стійок та обов'язки кузова напіввагона підвищеної вантажопідйомності наведені в роботі [4]. Аналіз проведений стосовно глухонного напіввагона.

Дослідження міцності знімного даху напіввагона описане в статті [3]. Виконані розрахунки на міцність даху в програмному комплексі FEMAP дозволили зробити висновок про доцільність прийнятих рішень.

Аналізу міцності удосконаленої несучої конструкції кузова напіввагона присвячена робота [12]. Розрахунки проведені для випадку його перевезення на залізничному поромі морем.

Моделювання міцності несучих конструкцій кузовів вантажних вагонів із урахуванням застосування в них у якості несучих елементів труб круглого перерізу викладене в працях [9, 18].

Питання проектування рухомого складу для перевезення великовагових вантажів розглянуті в статті [7]. Дослідження динаміки та міцності здійснене за допомогою сучасних засобів програмного забезпечення ProMechanica та CosmosWorks. Під час проектування несучої конструкції транспортера проведено дослідження щодо можливості його виконання з різнотипних матеріалів.

Вплив показників тертя між кузовом та візком на динамічні показники руху вагона досліджений у статті [16]. Моделювання проводило-

ся з використанням математичних методів розрахунку за допомогою програмного комплексу DYNRAIL.

Дослідження динаміки вагона з використанням методів мультитіла наведені у [13]. Розрахунок проведений у програмному забезпеченні MSC Adams.

У роботі визначений вплив конструкційних особливостей колісних пар на рух транспортних засобів під час проходження кривих відрізків колії [10].

Конструкційні особливості напіввагонів проаналізовані в статті [14], розглянуті переваги та недоліки перспективних конструкцій напіввагонів, а також тенденції їх удосконалення.

Дослідження міцності несучої конструкції модифікованого вантажного візка наведені в роботі [8]. Під час побудови моделі міцності до уваги прийняті нормативні величини навантажень відповідно до нормативних документів.

Стаття присвячена аналізу теоретичних та експериментальних досліджень міцності кузовів вагонів [5]. Теоретичні розрахунки проведені за методом скінчених елементів, а експериментальні за допомогою випробувань.

Дослідження міцності зварювальних швів у несучих конструкціях кузовів вагонів за методами математичного моделювання описане в роботі [6].

У статті наведений розрахунок статично й динамічно напруженого стану несучих конструкцій вагонів [15], а також представлені результати вібраційного аналізу вантажного та пасажирського вагонів.

Однак у розглянутих роботах не приділяється уваги дослідженню показників міцності кришок розвантажувальних люків напіввагонів, які як елементи несучої конструкції кузова сприймають найбільші навантаження під час експлуатації.

Окрім цього, у роботах [11, 17] визначені перспективи використання нових прогресивних матеріалів, проте у них не порушується питання впровадження цих матеріалів у конструкційні елементи кузовів вантажних вагонів.

### Мета

Основною метою дослідження є визначення показників міцності кришки люка універсального напіввагона, виконаної з різноманітних

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

матеріалів із проміжним Ш-подібним обв'язуванням, під дією експлуатаційних навантажень. Поставлена мета передбачає розв'язання наступних завдань:

1. Побудова просторової комп'ютерної моделі удосконаленої конструкції кришки люка напіввагона.

2. Дослідження міцності удосконаленої конструкції кришки люка напіввагона під час експлуатаційних навантажень.

**Методика**

Дослідження міцності кришки люка типової конструкції дозволили зробити висновок, що  $a - a$

максимальні еквівалентні напруження за деяких схем її навантаження в умовах експлуатації перевищують допустимі. Це зумовлює необхідність удосконалення кришки люка напіввагона.

Для забезпечення міцності кришки люка пропонуємо створити її принципово нову конструкцію з різнотипних матеріалів зі стандартним кріпленням (рис. 1), елементи якої виконані наступним чином:

– полотно кришки люка виконане з верхнього та нижнього листів, простір між якими заповнений пружною (пружно-в'язкою) речовиною;

$b - b$

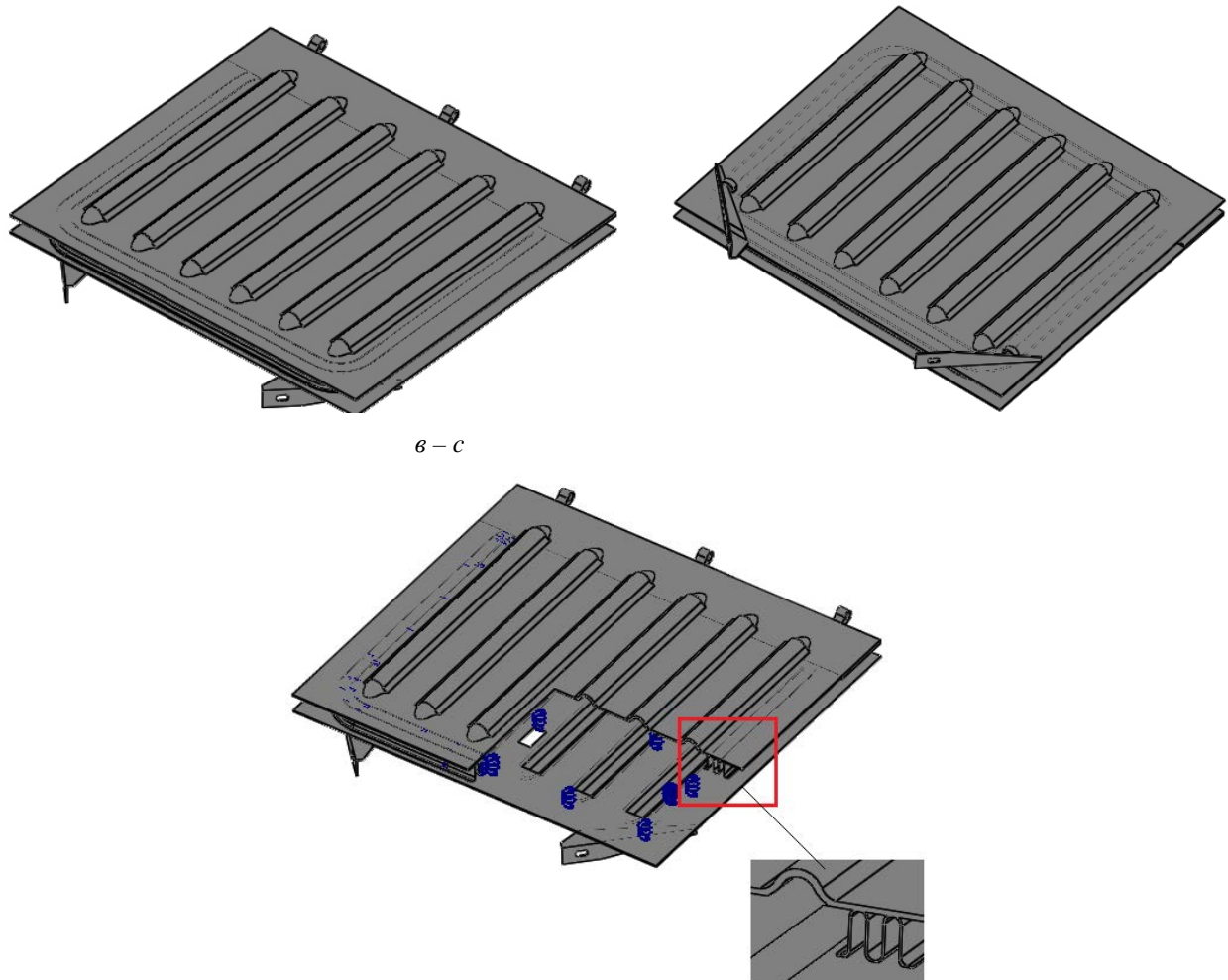


Рис. 1. Просторова комп'ютерна модель удосконаленої конструкції кришки люка напіввагона:  $a$  – вид знизу;  $b$  – вид зверху;  $c$  – розміщення пружного елемента в кришці люка

Fig. 1. Spatial computer model of the improved hatch cover design of the gondola car:  $a$  – bottom view;  $b$  – top view;  $c$  – placement of an elastic element in the hatch cover

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

– верхній гофрований лист має товщину 2,5 мм;

– нижній гофрований лист – 2,5 мм. Його гофри віддзеркалюють гофри верхнього листа на допустимих ділянках;

– обв'язування виконане з Ш-подібного профілю, гнutoго з листа товщиною 5 мм, і заповнене пружною (пружно-в'язкою) речовиною по периметру кришки люка, а також у середній частині. Його висота адаптована до встановлення елементів стандартного кріплення до хребтової балки та нижньої обв'язки напіввагона;

– петлі кришки люка (елементи взаємодії з хребтовою балкою) кріпляться до кришки люка зварюванням (не заклепове з'єднання);

– кронштейни кріпляться до нижньої обв'язки бокових стін типової конструкції.

Для визначення оптимального значення жорсткості кришки люка напіввагона до уваги взяте найбільше її навантаження під час експлуатації, а саме падіння на неї вантажу масою 150 кг з висоти 3 000 мм [1, 2].

## Результати

На підставі проведених розрахунків отримано графоаналітичну залежність (рис. 2), з якої можна зробити висновок, що міцність кришки люка забезпечується за умови жорсткості пружного елемента у вертикальному напрямку  $18\,000\text{ (Н/м)/м}^2$ .

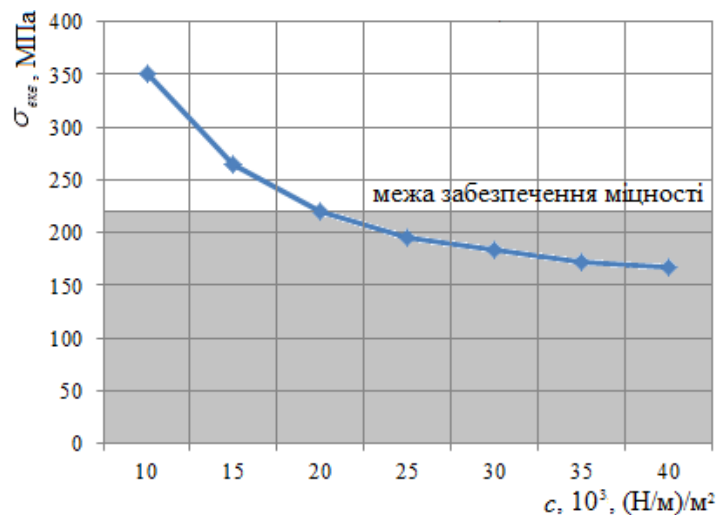


Рис. 2. Залежність максимальних еквівалентних напружень у кришці люка напіввагона від жорсткості розміщеного пружного елемента

Fig. 2. Maximum equivalent stresses in the hatch cover of the gondola car and the rigidity of the placed elastic element relationship

Модель міцності кришки люка наведена на рис. 3, а. Для розрахунку застосований метод скінченних елементів. Розрахунок проведений у середовищі програмного забезпечення CosmosWorks.

Кришка люка була закріплена за вушка петель. Враховувалося, що вона навантажена власною вагою. Матеріал конструкції – сталь марки 09Г2С зі значенням межі плинності 345 МПа.

Скінченно-елементна модель кришки люка наведена на рис. 3, б. В якості скінченних елементів використані ізопараметричні тетраедри. Оптимальна кількість елементів сітки визначе-

на за допомогою графоаналітичного методу, кількість елементів склала 115 171, вузлів – 36 363. Максимальний розмір елемента сітки дорівнює 80 мм, мінімальний – 16 мм, максимальне співвідношення боків елементів –  $2,75 \cdot 10^5$ , відсоток елементів зі співвідношенням боків менше трьох – 26, більше десяти – 5,81.

Результати розрахунку наведені на рис. 4, 5.

Максимальні еквівалентні напруження виникають у петлях, а також кінцевих частинах гофр, розміщених із боку петель, та складають близько 220 МПа. Максимальні переміщення у вузлах конструкції зафіксовані у запірних кронштейнах та складають близько 13 мм, мак-

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

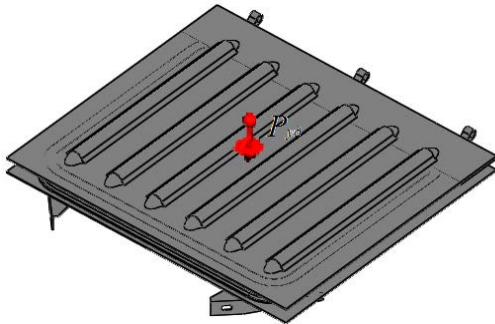
симальні деформації склали  $5,91 \cdot 10^{-1}$ . Тобто за заданої схеми навантаження міцність кришки люка забезпечується [1, 2].

Також проведено визначення показників міцності кришки люка удосконаленої конструкції під дією статичних навантажень.

Максимальні еквівалентні напруження від дії на кришку люка за її площею рівномірно

розподіленого навантаження  $P_b = 69,9$  кН виникають у петлях, а також кінцевих частинах гофр, розміщених із боку петель, та складають близько 150 МПа. Максимальні переміщення у вузлах конструкції зафіксовані у запірних кронштейнах, вони становлять близько 13 мм. Максимальні деформації склали  $5,34 \cdot 10^{-1}$ .

*a – a*



*б – б*

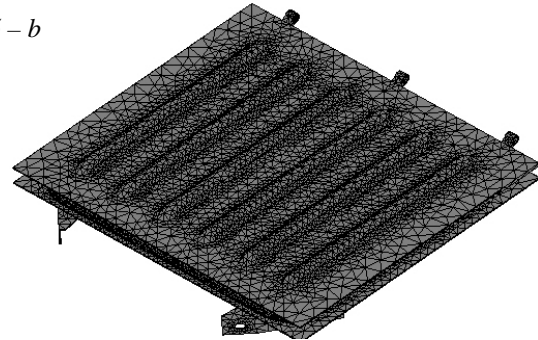


Рис. 3. Моделювання міцності удосконаленої конструкції кришки люка напіввагона:  
*a* – модель міцності; *б* – скінченно-елементна модель

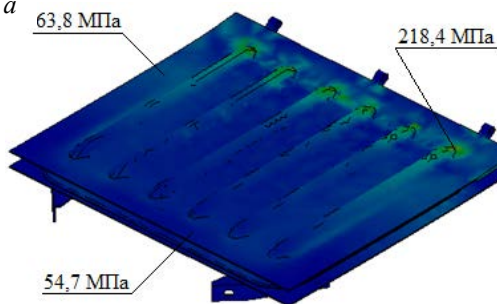
Fig. 3. Simulation of the strength of the improved hatch cover design of the gondola car:  
*a* – model of strength; *b* – finite element model

Під дією розподіленого в центрі кришки люка за площею  $25 \times 25$  см навантаження  $P_b = 50$  кН максимальні еквівалентні напруження складають близько 130 МПа. Вони виникають у петлях та кінцевих частинах гофр, розміщених із боку петель. Максимальні пере-

міщення у вузлах конструкції відбуваються у запірних кронштейнах і дорівнюють близько 10 мм. Максимальні деформації склали  $6,87 \cdot 10^{-1}$ .

Отже, за заданих схем навантаження міцність кришки люка забезпечується.

*a – a*



*б – б*

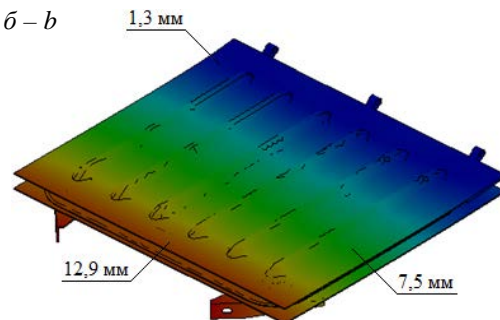


Рис. 4. Результати розрахунку вдосконаленої конструкції кришки люка напіввагона під дією на неї ударного навантаження:  
*a* – напружений стан; *б* – переміщення у вузлах

Fig. 4. Results of calculation of the improved hatch cover design of the gondola car at buffing loading effect:  
*a* – stress state; *b* – moving in nodes

Розрахунок міцності кришки люка удосконаленої конструкції на втому під дією циклічних ударних навантажень (500 циклів) також дозволив зробити висновок про дотримання

показників міцності в межах допустимих.

Окрім основних схем експлуатаційних навантажень удосконаленої конструкції кришки люка, до уваги взяті додаткові:



## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

1) імітація розкриття кришки люка під час вивантаження вантажу – безторсійний (без урахування роботи торсіону (-ів) неодночасний (спочатку на один із упорів) удар кришки люка об упори проміжних балок рами вагона з максимальним кутом відкриття;

2) неодночасне відкриття закидок – спирання кришки люка завантаженого вагона на одну закидку за один кронштейн (випадок, коли вже вибили одну закидку, а іншу ще не встигли);

3) підтягування (закриття) кришки люка вивантаженого вагона ломиком.

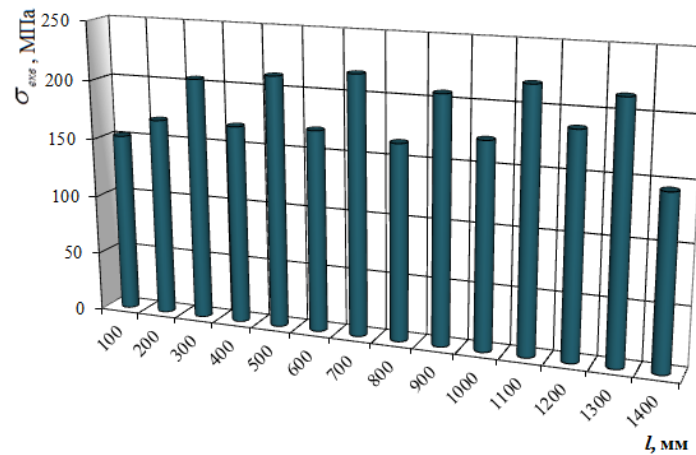


Рис. 5. Розподілення максимальних еквівалентних напружень у поперечному перетині верхнього листа кришки люка (зона розміщення кінцевих частин гофр) під дією ударного навантаження

Fig. 5. Distribution of maximum equivalent stresses in transverse crossing the top leaf of the hatch cover (area of placement of corrugation end portions) at buffing loading effect

Установлено, що максимальні еквівалентні напруження під час безторсійного неодночасного удару кришки люка об упори проміжних балок рами вагона виникають у петлях та складають близько 120 МПа. Максимальні переміщення у вузлах конструкції зафіксовані в запі-

рному кронштейні, що розміщений з протилежного боку від удару, складають близько 4 мм. Максимальні деформації склали  $8,5 \cdot 10^{-2}$  (рис. 6).

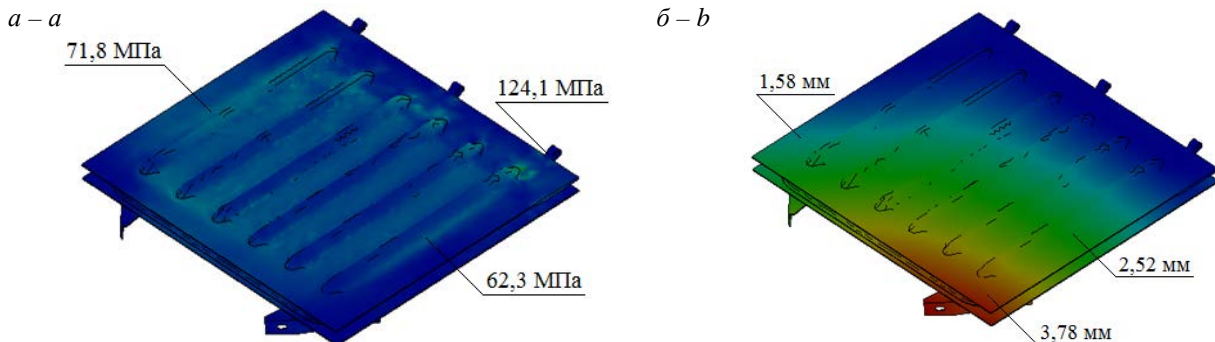


Рис. 6. Результати розрахунку вдосконаленої конструкції кришки люка напіввагона в момент безторсійного неодночасного удару об упори проміжних балок рами вагона: а – напружений стан; б – переміщення у вузлах

Fig. 6. Results of calculation of the improved hatch cover design of the gondola car at the moment of torsion-free non-simultaneous impact on the supports of the intermediate car frame beams: a – stress state; b – moving in nodes

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

У випадку безторсійного одночасного удару кришки люка об упори проміжних балок рами вагона максимальні еквівалентні напруження виникають у кінцевих частинах середніх гофр, розміщених із боку петель, вони дорівнюють близько 60 МПа. Максимальні переміщення у вузлах конструкції відбуваються в середній частині верхнього листа з боку розміщення запірних кронштейнів і складають близько 3 мм. Максимальні деформації склали  $6,7 \cdot 10^{-2}$ .

У разі неодноточасного відкривання закидок (спирання кришки люка завантаженого вагона на одну закидку за один кронштейн) максимальні еквівалентні напруження виникають у кінцевих частинах гофр, розміщених із боку петель (по діагоналі до запірних кронштейнів, механізм якого знаходиться у закритому положенні), і складають близько 200 МПа (рис. 7).

Максимальні переміщення у вузлах конструкції зафіксовані у зоні розміщення запірних кронштейнів, механізм якого знаходиться у закритому положенні, та складають близько 14,4 мм. Максимальні деформації склали  $5,2 \cdot 10^{-1}$ .

У випадку підтягування (закриття) кришки люка вивантаженого вагона ломиком максимальні еквівалентні напруження виникають у петлях і складають близько 75 МПа. Максимальні переміщення у вузлах конструкції зафіксовані в зоні розміщення запірних кронштейнів і складають 5,1 мм. Максимальні деформації склали  $2,24 \cdot 10^{-2}$ .

Отже, міцність кришки люка за додаткових схем навантажень забезпечується.

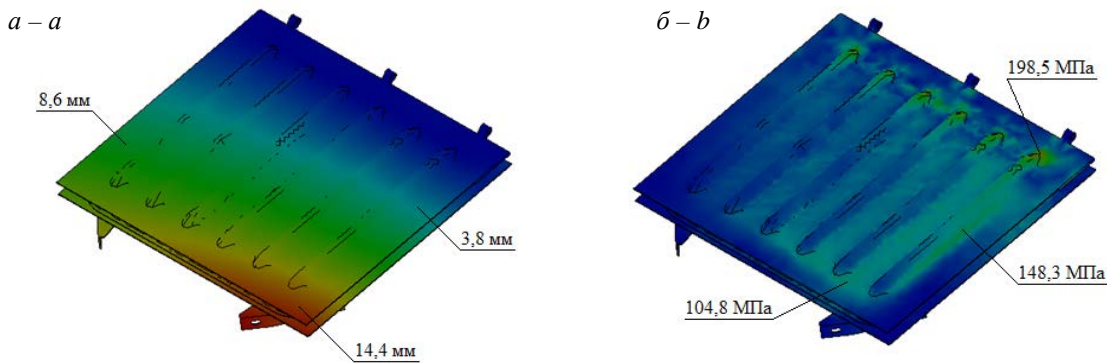


Рис. 7. Результати розрахунку міцності кришки люка напіввагона під час неодноточасного відкривання закидок: *a* – напружений стан; *b* – переміщення у вузлах

Fig. 7. Results of the calculation of the hatch cover strength of the gondola car at non-simultaneous opening of door latches: *a* – stress state; *b* – moving in nodes

### Наукова новизна та практична значимість

Розроблена модель удосконаленої конструкції кришки люка універсального напіввагона дозволяє отримати показники її міцності за експлуатаційних схем навантажень. Результати проведених досліджень можуть бути використані під час проектування несучих конструкцій кузовів універсальних напіввагонів нового покоління з поліпшеними техніко-економічними показниками.

Урахування отриманих результатів сприя-

тиме забезпеченню міцності конструкційних елементів кузовів напіввагонів під час експлуатації.

### Висновки

На підставі проведених досліджень можна зробити висновки:

1. Запропоновані заходи щодо вдосконалення конструкції кришки люка універсального напіввагона забезпечують її міцність за експлуатаційних схем навантажень.

2. Розрахунок показав, що показники міцності удосконаленої конструкції кришки люка за

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

експлуатаційних схем навантажень забезпечуються. При цьому максимальні еквівалентні напруження виникають у момент падіння на неї вантажу масою 150 кг з висоти 3 000 мм і складають близько 220 МПа, тобто не перевищують допустимі.

3. Упровадження запропонованої конструкції кришки люка напіввагона в експлуатацію дозволить зменшити кількість пошкоджень кузовів і сприятиме підвищенню ефективності використання напіввагонів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – Введ. 2014–12–22. – Москва : Стандартиформ, 2016. – 54 с.
- Кирильчук, О. А. Исследование прочности конструкции съемной крыши для полувагонов / О. А. Кирильчук, Д. А. Шатунова // Вагонный парк. – 2016. – № 5/6 (110/111). – С. 50–53.
- Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – Москва : ГосНИИВ : ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
- Пешков, А. В. Поиск рационального конструктивного исполнения стоек и обвязки кузова глухонного полувагона увеличенной грузоподъемности / А. В. Пешков, М. Р. Тохчукова // Трансп. Рос. Федерации. – 2011. – № 2 (33). – С. 65–68.
- Analysis of the results of theoretical and experimental studies of freight wagon fals / S. Slavchev, K. Georgieva, V. Stoilov, S. Purgić // Facta Universitatis. – 2014. – Vol. 13. – Iss. 2. – P. 91–98.
- Antipin, D. Ya. Justification of a Rational Design of the Pivot Center of the Open-Top Wagon Frame by means of Computer Simulation / D. Ya. Antipin, D. Yu. Racin, S. G. Shorokhov // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 150. – P. 150–154. doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.738
- Divya Priya, G. Modeling and analysis of twenty tonne heavy duty trolley / G. Divya Priya, A. Swarnakumari // Intern. J. of Innovative Technology and Research. – 2014. – Vol. 2, No. 6. – P. 1568–1580.
- Dizo, J. Structural Analysis of a Modified Freight Wagon Bogie Frame / Ján Dižo, Jozef Harušinec, Miroslav Blatnický // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 134 : 18<sup>th</sup> Intern. Scientific Conference – LOGI 2017. – P. 00010. doi: 10.1051/mateconf/201713400010
- Fomin, O. V. Improvement of upper bunding of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O. V. Fomin // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Vol. 7, No. 1. – P. 45–48.
- Impact of wheelset steering and wheel profile geometry to the vehicle behavior when passing curved track / V. Hauser, O. S. Nozhenko, K. O. Kravchenko, M. Loulová, J. Gerlici, T. Lack // Manufacturing Technology. – 2017. – Vol. 17, No. 3. – P. 306–312.
- Lovska, A. A. Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge / A. A. Lovska // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – No. 1. – P. 49–54.
- Multi-body Simulations of Railway Wagon Dynamics / K. Wójcik, J. Małachowski, P. Baranowski, Ł. Mazurkiewicz, K. Damaziak, W. Krasoń // J. of KONES. Powertrain and Transport. – 2015. – Vol. 19. – Iss. 3. – P. 499–506. doi: 10.5604/12314005.1138164
- Myamlin, S. V. Design Review of Gondola Car / S. V. Myamlin, I. U. Keбал, S. R. Kolesnykov // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 6 (54). – С. 136–145. doi: 10.15802/stp2014/33773
- Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models / C. Baykasoglu, E. Sunbuloglu, S. E. Bozdog, F. Aruk, T. Toprak and A. Mugan // International Iron & Steel Symposium, 02–04 April 2012, Karabük, Türkiye. – Karabük, 2012. – P. 579–586.
- Research into surface properties of disperse fillers based on plant raw materials / Yu. Danchenko, V. Andronov, A. Kariev, V. Lebedev, E. Rybka, R. Meleshchenko, D. Yavorska // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 5. – Iss. 12 (89). – P. 20–26. doi: 10.15587/1729-4061.2017.111350
- Research of friction indices influence on the freight car dynamics / S. Myamlin, L. Neduzha, A. Ten, A. Shvets // ТЕКА. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2013. – Vol. 13, No. 4. – P. 159–166.
- Research of the intermolecular interactions and structure in epoxyamine composites with dispersed oxides / Yu. Danchenko, V. Andronov, E. Barabash, T. Obigenko, E. Rybka, R. Meleshenko, A. Romin // Eastern-



European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 6. – Iss. 12 (89). – P. 4–12. doi: 10.15587/1729-4061.2017.118565

18. The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties / O. V. Fomin, A. O. Lovska, O. A. Plakhtii, V. P. Nerubatskyi // Науковий вісн. НГУ. – 2017. – № 6. – P. 89–96.

Н. И. ГОРБУНОВ<sup>1\*</sup>, А. В. ФОМИН<sup>2</sup>, А. А. ЛОВСКАЯ<sup>3</sup>, В. В. КОВАЛЕНКО<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Железнодорожный, автомобильный транспорт и подъемно-транспортные машины», Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, пр. Центральный, 59-а, Северодонецк, Украина, 93400, тел. +38 (095) 309 10 39, эл. почта gorbunov0255@gmail.com, ORCID 0000-0002-8556-3392

<sup>2</sup>Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Государственный университет инфраструктуры и технологий, ул. Кирилловская, 9, Киев, Украина, 04071, тел. +38 (067) 813 97 88, эл. почта fomin1985@ukr.net, ORCID 0000-0003-2387-9946

<sup>3</sup>Каф. «Вагоны», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61050, тел. +38 (057) 730 10 35, эл. почта alyonalovskaya.vagons@gmail.com, ORCID 0000-0002-8604-1764

<sup>4</sup>Каф. «Железнодорожный, автомобильный транспорт и подъемно-транспортные машины», Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, пр. Центральный, 59-а, Северодонецк, Украина, 93400, тел. +38 (095) 142 90 74, эл. почта kkaterina@ukr.net, ORCID 0000-0003-1706-2710

## КОМПЛЕКСНЫЙ РАСЧЕТ ВЫПОЛНЕНИЯ КРЫШКИ ЛЮКА ПОЛУВАГОНА ИЗ РАЗНОТИПНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ Ш-ОБРАЗНОЙ ОБВЯЗКОЙ

**Цель.** Предложенное исследование направлено на определение показателей прочности крышки люка универсального полувагона, исполненного с промежуточной Ш-образной обвязкой из разнотипных материалов при эксплуатационных схемах нагружения. **Методика.** Для достижения поставленной цели создана принципиально новая конструкция крышки люка полувагона, особенностью которой является то, что она состоит из двух листов, которые по периметру взаимодействуют через Ш-образную обвязку. Пространство, которое образуют листы и обвязка, а также периметр крышки люка, заполнены упругим (упруго-вязким) веществом. Построена пространственная модель предложенной конструкции крышки люка, проведен расчет ее прочности. Расчет осуществлен по методу конечных элементов в среде программного обеспечения CosmosWorks. **Результаты.** Получены показатели прочности усовершенствованной конструкции крышки люка при эксплуатационных схемах ее нагружения. К вниманию взяты основные схемы нагружения крышки люка полувагона соответственно нормативным документам, а также дополнительные. К дополнительным отнесены: имитация раскрытия крышки люка при эксплуатационных нагружениях – безторсионный (без участия работы торсиона (-ов) неодновременный (сначала на один из упоров) удар крышки люка по упорам промежуточных балок рамы вагона с максимальным углом открывания; неодновременное открывание закидок – опирание крышки люка загруженного вагона на одну закидку за один кронштейн (случай, когда уже выбили одну закидку, а другую еще не успели); подтягивание (закрывание) крышки люка выгруженного полувагона ломиком. Установлено, что прочность крышки люка обеспечивается. **Научная новизна.** Разработанная модель прочности усовершенствованной конструкции крышки люка универсального полувагона позволяет получить показатели ее прочности при эксплуатационных схемах нагружения. Результаты проведенных исследований могут использоваться при проектировании несущих конструкций кузовов универсальных полувагонов нового поколения с улучшенными технико-экономическими показателями. **Практическая значимость.** Использование полученных результатов будет способствовать обеспечению прочности конструктивных элементов кузовов полувагонов в эксплуатации.

**Ключевые слова:** полувагон; крышка люка; усовершенствованная конструкция; моделирование прочности; эксплуатационная нагруженность; эквивалентные напряжения

M. I. HORBUNOV<sup>1\*</sup>, O. V. FOMIN<sup>2</sup>, A. O. LOVSKA<sup>3</sup>, V. V. KOVALENKO<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Railway and Road Transport, Handling Equipment», Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Tsentralnyi Av., 59 a, Severodonetsk, Ukraine, 93400, tel. +38(095) 309 10 39, e-mail gorbunov0255@gmail.com, ORCID 0000-0002-8556-3392

<sup>2</sup>Dep. «Cars and Carriage Facilities», State University of Infrastructure and Technologies, Kyrylivska St., 19, Kyiv, Ukraine, 03049, tel. +38 (067) 813 97 88, e-mail fomin1985@list.ru, ORCID 0000-0003-2387-9946

<sup>3</sup>Dep. «Cars», Ukrainian State University of Railway Transport, Feierbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61500, tel. +38 (057) 730 10 35, e-mail alyonalovskaya.vagons@gmail.com, ORCID 0000-0002-8604-1764

<sup>4</sup>Dep. «Railway and Road Transport, Handling Equipment», Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Tsentralnyi Av., 59 a, Severodonetsk, Ukraine, 93400, tel. +38 (095) 142 90 74, e-mail kkaterina@ukr.net, ORCID 0000-0003-1706-2710

## COMPLEX CALCULATION OF HATCH COVER OF GONDOLA CAR FROM POLYTYPIC MATERIALS WITH INTERMEDIATE S-SHAPE STRAPPING

**Purpose.** The proposed study is aimed at determining the strength indicators of the hatch cover of universal gondola car with intermediate S-shaped strapping made of polytypic materials under operational loading schemes. **Methodology.** To achieve this goal, it has been proposed to create a fundamentally new hatch cover design for a gondola car. A feature of the hatch cover is that it consists of two leaves, which along the perimeter interact through the S-shaped strapping. The calculation was carried out using the finite element method implemented in the software environment of CosmosWorks. **Findings.** The strength indicators of the improved hatch cover design are obtained under operating schemes of its loading. The basic schemes of loading the hatch cover of the gondola car in accordance with the normative documents have been adopted, as well as additional ones. To the additional the following are classified as: simulating the opening of the hatch cover during operating loading - the torsion-free (without operation of the torsion (s)) non-simultaneous impact on the supports of the intermediate car frame beam with the maximum opening angle; non-simultaneous opening of the door latches - the hatch cover of the loaded car is supported by door latch for one bracket (the case when one has already knocked out one door latch and the other has not yet had time); pulling (closing) the hatch cover of the unloaded gondola car with a crowbar. It is established that the strength of the hatch cover is ensured. **Originality.** A developed strength model of the improved hatch cover design of the universal gondola car makes it possible to obtain indicators of its strength under operational loading schemes. The results of the carried out research can be used at designing of bearing designs of bodies of universal gondola cars of new generation with the improved technical and economic indicators. **Practical value.** The results of the research will contribute to ensuring the strength of the structural elements of the gondola car bodies in operation.

**Key words:** gondola car; hatch cover; improved design; strength modeling; operational loading; equivalent stresses

### REFERENCES

1. Vagony грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам, 54 GOST 33211-2014 (2016). (in Russian).
2. Kirilchuk, O. A., & Shatunova, D. A. (2016). Issledovanie prochnosti konstruktivnoy semnoy kryshi dlya poluvagonov. *Vagonnyy park*, 5-6 (110/111), 50-53 (in Russian).
3. *Normy dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)*. (1996). Moscow: GosNIIV: VNIIZhT. (in Russian)
4. Peshkov, A. V., & Tokhchukova, M. R. (2011). Poisk ratsionalnogo konstruktivnogo ispolneniya stoek i obyazki kuzova glukhodonnogo poluvagona uvelichennoy gruzopodemnosti. *Transport Rossiyskoy Federatsii*, 2 (33), 65-68. (in Russian).
5. Slavchev, S., Georgieva, K., Stoilov, V., & Purgić, S. (2015) Analysis of the results of theoretical and experimental studies of freight wagon fals. *Facta Universitatis*, 13 (2), 91- 98. (in English).
6. Antipin, D. Y., Racin, D.Y., & Shorokhov, S. G. (2016). Justification of a Rational Design of the Pivot Center of the OpenTop Wagon Frame by means of Computer Simulation. *Procedia Engineering*, 150, 150-154. doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.738 (in English).

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

7. Divya, P. G., & Swarnakumari, A. (2014). Modeling and analysis of twenty tonne heavy duty trolley. *International Journal of Innovative Technology and Research*, 2 (6), 1568-1580. (in English)
8. Jan Dizo, Jozef Harusinec, & Miroslav Blatnický (2017). Structural analysis of a modified freight wagon bogie frame. *MATEC Web of Conferences: 18th International Scientific Conference*, 134, 00010, 1- 8. doi: 10.1051/mateconf/201713400010 (in English).
9. Fomin, O. (2015). Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. *Metallurgical and Mining Industry*, 7(1), 45-48. (in English)
10. Hauser, V., Nozhenko, O. S., Kravchenko, K. O., Loulová, M., Gerlici, J., & Lack, T. (2017). Impact of wheelset steering and wheel profile geometry to the vehicle behavior when passing curved track. *Manufacturing Technology*, 17, 3, 306-312. (in English).
11. Lovska, A. A. (2015). Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge. *Metallurgical and Mining Industry*, 1, 49-54. (in English)
12. Wójcik, K., Małachowski, J., Baranowski, P., Mazurkiewicz, Ł., Damaziak, K., & Krasoń, W. (2015). Multi-body Simulations of Railway Wagon Dynamics. *Journal of KONES. Powertrain and Transport*, 19(3), 499-506. doi: 10.5604/12314005.1138164 (in English)
13. Myamlin, S. V., Kebal, I. U., & Kolesnykov, S. R. (2014). Design review of gondola car. *Science and Transport Progress*, 6(54), 136-145. doi: 10.15802/stp2014/33773 (in English)
14. Baykasoglu, C., Sunbuloglu, E., Bozdog, S. E., Aruk, F., Toprak, T., & Mugan, A. (2012). Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models. *International Iron & Steel Symposium (02-04 April 2012, Karabük, Türkiye)*, 579-586.
15. Danchenko, Y., Andronov, V., Kariev, A., Lebedev, V., Rybka, E., Meleshchenko, R., & Yavorska, D. (2017). Research into surface properties of disperse fillers based on plant raw materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(12) (89), 20-26. doi: 10.15587/1729-4061.2017.111350 (in English)
16. Myamlin, S. L., Neduzha, A., Ten, A., & Shvets, A. (2013). Research of friction indices influence on the freight car dynamics. *TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 13(4), 159-166. (in English).
17. Danchenko, Y., Andronov, V., Barabash, E., Obigenko, T., Rybka, E., Meleshchenko, R., Romin, A. (2017). Research of the intermolecular interactions and structure in epoxyamine composites with dispersed oxides. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(12) (89), 4-12. doi: 10.15587/1729-4061.2017.118565 (in English).
18. Fomin, O. V., Lovska, A. O., Plakhtii, O. A., Nerubatskyi, V. P. (2017). The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 6, 89- 96. (in English).

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. С. В. Мямліним (Україна)

Надійшла до редколегії: 01.03.2018

Прийнята до друку: 04.06.2018