

М. І. ГОРБУНОВ, О. В. ФОМІН, А. О. ЛОВСЬКА, В. В. КОВАЛЕНКО

УТОЧНЕННЯ ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ КРИШКИ ЛЮКА НАПІВВАГОНА, МОДЕЛЮВАННЯМ ДОДАТКОВИХ РОЗРАХУНКОВИХ РЕЖИМІВ

В статті приведені дослідження показників міцності кришки люка напіввагона при моделюванні додаткових розрахункових режимів. Для досягнення зазначеної мети побудовано просторову комп'ютерну модель кришки люка універсального напіввагона. Для визначення показників міцності кришки люка при експлуатаційних режимах навантаження проведений розрахунок на міцність з використанням методу скінчених елементів. До уваги прийняті основні схеми навантаження кришки люка напіввагона у відповідності до нормативних документів, а також додаткові схеми її навантаження. Отримано уточнені значення показників міцності кришки люка при експлуатаційних режимах навантаження. Встановлено, що міцність кришки люка при деяких схемах навантаження не забезпечується. Результати проведених досліджень можуть використовуватися при проектуванні несучих конструкцій кузовів напіввагонів нового покоління з покращеними техніко-економічними параметрами.

Ключові слова: транспортна механіка, напіввагон; кришка люка; додаткові розрахункові режими, моделювання міцності; навантаженість конструкції; еквівалентні напруження.

М. И. ГОРБУНОВ, А. В. ФОМИН, А. А. ЛОВСКАЯ, В. В. КОВАЛЕНКО

УТОЧНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ КРЫШКИ ЛЮКА ПОЛУВАГОНА, МОДЕЛИРОВАНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАСЧЕТНЫХ РЕЖИМОВ

В статье проведены исследования показателей прочности крышки люка полувагона при моделировании дополнительных расчетных режимов. Для достижения поставленной цели создана пространственная компьютерная модель крышки люка универсального полувагона. Для определения показателей прочности крышки люка при эксплуатационных режимах нагружения произведен расчет на прочность с использованием метода конечных элементов. Ко вниманию приняты основные схемы нагружения крышки люка полувагона в соответствии с нормативными документами, а также дополнительные схемы ее нагружения. Получены уточненные значения показателей прочности крышки люка при эксплуатационных режимах нагружения. Установлено, что прочность крышки люка при некоторых схемах нагружения не обеспечивается. Результаты проведенных исследований могут использоваться при проектировании несущих конструкций кузовов полувагонов нового поколения с улучшенными технико-экономическими параметрами.

Ключевые слова: транспортная механика, полувагон; крышка люка; дополнительные расчетные режимы, моделирование прочности; нагруженность конструкции; эквивалентные напряжения.

M. I GORBUNOV, O. V. FOMIN, A. O. LOVSKA, V. V. KOVALENKO

DETERMINATION OF PERFORMANCE INDICATORS OF THE SQUEEZING LINE CURVES, MODELING ADDITIONAL CALCULATING MODES

In the article studies of the strength of the lid of the manhole of the open top car were studied in the simulation of additional calculation modes. In order to achieve the set goal, a spatial computer model of the manhole cover of the universal open top car was created. To determine the strength indicators of the hatch cover under operating load conditions, a strength calculation using the finite element method was performed. Attention is paid to the basic schemes of loading of the cover of the manhole of the open top car in accordance with the normative documents, as well as additional schemes of its loading. The refined values of indicators of the strength of the manhole cover under operating load conditions have been obtained. It has been established that the strength of the manhole cover is not ensured under certain load patterns. The results of the research can be used in the design of bearing structures of bodies of open top car of the new generation with improved technical and economic parameters.

Key words: transport mechanics, open top car, hatch cover, additional design modes, strength modeling, structural loading, equivalent stresses

Вступ. Важливо зазначити, що одним з найбільш пошкоджуваних елементів несучих конструкцій кузовів напіввагонів, як найбільш поширеного типу вагона в експлуатації, є кришки люків. Це обумовлено їх значною навантаженістю в експлуатації, оскільки дані елементи конструкції кузовів, утворюють підлогу напіввагонів.

Частою причиною пошкоджень кришок люків в експлуатації є вантажно-розвантажувальні операції кузова напіввагона в умовах морських портів та приватних підприємств.

Для забезпечення міцності кришок люків напіввагонів необхідним є визначення та аналіз показників їх міцності при експлуатаційних режимах навантаження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження міцності несучої конструкції кузова

напіввагона при падінні глиби вантажу наведені у [1]. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції при цьому перевищують допустимі. Для забезпечення міцності кузова напіввагона запропоновано введення в його несучу конструкцію пружних зв'язків. Важливо зазначити, що дослідження проведені стосовно глухонного напіввагона. Питанню дослідження міцності кришок люків в роботі уваги не приділяється.

Розрахунок напружено-деформованого стану кришки люка напіввагона при падінні шматків вантажу проводиться у [2]. Результати розрахунку дозволили зробити висновок, що типова конструкція кришки люка не відповідає умовам міцності. Дослідження міцності кришки люка напіввагона при інших схемах навантаження в роботі не проводиться.

В роботі [3] наведено результати досліджень з

визначення характеру та рівня впливу різних вантажних візків на міцнісні якості несучих систем вагонів.

Заходи щодо удосконалення несучої конструкції кузова напіввагона з метою забезпечення надійності його кріплення на палубі залізничного порому наведені у [4].

Однак питанню дослідження міцності кришок люків напіввагонів в умовах експлуатації в зазначених роботах уваги не приділяється.

Вплив впровадження круглих труб в несучі системи вантажних вагонів на їх фізико-механічні властивості розглянутий у [5]. Дослідження динамічної навантаженості та міцності кузова напіввагона проведено без урахування наявності кришок люків в конструкції. Тобто в моделі враховано елементи, які жорстко взаємодіють між собою.

Дослідження міцності несучих конструкцій кузовів вантажних вагонів з урахуванням впровадження в них труб (круглих та шестигранних) проводиться у [6 – 8]. При цьому в роботах не ставиться задача дослідження міцності кришок люків напіввагонів при експлуатаційних навантаженнях.

Особливості визначення експлуатаційних навантажень кузова напіввагона та шляхи удосконалення його конструкції з метою забезпечення міцності і збереження розглядаються у [9]. Для забезпечення міцності кришки люка напіввагона, як одного з найбільш пошкоджуваних вузлів при вантажно-розвантажувальних операціях, пропонується посилення її обв'язки, а також встановлення розкосів. В якості матеріалу конструкції кришки люка застосована високоміцна сталь (alform600, $\sigma_T = 600$ МПа).

Заходи щодо удосконалення конструкції кришки люка напіввагона наведені у [10, 11]. Особливістю запропонованої конструкції є зміна профілю листа, який у частині кріплення має ступінчасту форму, що забезпечує опору на внутрішню частину люка кузова напіввагона.

В зазначених роботах не проводиться дослідження міцності кришки люка при основних експлуатаційних режимах навантаження її конструкції.

Огляд конструкційних особливостей напіввагонів проводиться у [12]. Розглянуті переваги та недоліки перспективних конструкцій напіввагонів, а також тенденції їх удосконалення.

Питання визначення міцності складових елементів несучих конструкцій кузовів напіввагонів в роботі не розглянуті.

Мета статті. Метою досліджень, які наведені в статті є уточнення показників міцності кришки люка універсального напіввагону при додаткових розрахункових режимах навантаження.

Для досягнення поставленої мети виділені наступні задачі:

1. Побудова просторової комп'ютерної моделі кришки люка напіввагона;

2. Дослідження міцності кришки люка напіввагона при типових схемах її навантаження у відповідності до нормативних документів;

3. Дослідження міцності кришки люка напіввагона при додаткових схемах її навантаження, які можливі в експлуатації.

Викладення основного матеріалу статті. Для визначення показників міцності кришки люка напіввагона побудовано її просторову комп'ютерну модель (рис. 1). Графічні роботи проведені в середовищі програмного забезпечення SolidWorks.

Розрахунок на міцність проведений з використанням методу скінченних елементів в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks.

Оптимальна кількість елементів сітки визначена з використанням графоаналітичного методу.

При цьому кількість елементів сітки склала 125228, вузлів – 40323. Максимальний розмір елемента сітки дорівнює 52 мм, мінімальний – 10,4 мм, максимальне співвідношення боків елементів – 4602,6, відсоток елементів з співвідношенням боків менше трьох – 46,3, більше десяти – 5,21.

При складанні моделі міцності кришки люка на першопочатковому етапі дослідження до уваги прийняті дві схеми її навантаження:

- дія за площею кришки люка рівномірно розподіленого навантаження $P_a = 69,9$ кН, яке складається з сили ваги бруто кришки люка та динамічного навантаження;

- дія розподіленого в центрі кришки люка за площею 25x25 см навантаження $P_a = 50$ кН.

Комп'ютерна модель міцності кришки люка наведена на рис. 2. Закріплення моделі здійснювалося за вушка петель. Для моделювання взаємодії кронштейна з закидкою запірною пристрою на внутрішній поверхні кронштейна встановлювалася накладка, площа якої ідентична до геометрії контактної частини закидки. До цих накладок прикладалися реакції P_p , які виникають у кронштейні від дії вертикального навантаження P_a на кришку люка.

Матеріал конструкції – сталь марки 09Г2С зі значенням межі плинності 345 МПа та межі міцності 490 МПа [13, 14].

Результати розрахунку на міцність кришки люка наведені на рис. 3, 4. Максимальні еквівалентні напруження при першій схемі навантаження виникають в обв'язці кришки люка, а також середній петлі та складають близько 190 МПа (рис. 3, а), максимальні переміщення в вузлах конструкції зафіксовані у кінцевих частинах кронштейнів запірних та складають близько 3,62 мм (рис. 4, а), максимальні деформації склали $4,41 \cdot 10^{-3}$.

Максимальні еквівалентні напруження при дії розподіленого в центрі кришки люка навантаження виникають в середній частині поперечної балки, що утворює обв'язку кришки та складають близько 210 МПа (рис. 3, б), максимальні переміщення в

вузлах конструкції зафіксовані у середній частині кришки та складають 1,4 мм (рис. 4, б), максимальні деформації склали $5,9 \cdot 10^{-3}$.

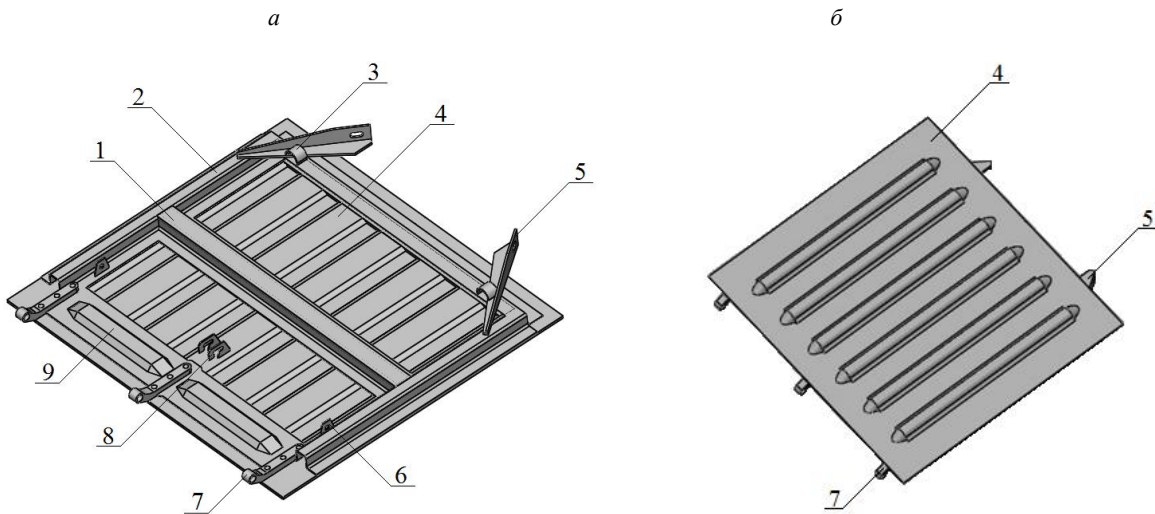


Рис. 1. Просторова комп'ютерна модель кришки люка напіввагона
 а – вид знизу; б – вид зверху
 1, 2 – обв'язка; 3 – скоба; 4 – лист; 5 – кронштейн запірний;
 6 – планка; 7 – петля; 8 – опора; 9 – планка

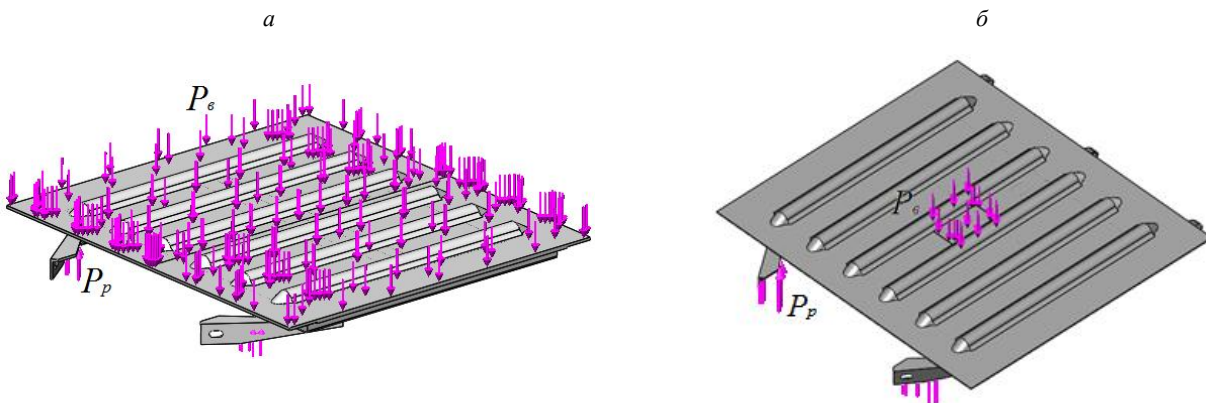


Рис. 2. Комп'ютерна модель міцності кришки люка
 а – дія на кришку люка рівномірнорозподіленого навантаження P_s ;
 б – дія розподіленого в центрі кришки люка навантаження P_s
 P_s – вертикальне навантаження; P_p – реакція у кронштейні запірному на дію навантаження P_s

Тобто при завданих схемах навантаження міцність кришки люка забезпечується.

Для дослідження міцності кришки люка при циклічних ударних навантаженнях, чисельне значення яких дорівнює 500 [13, 14], проведено комп'ютерне моделювання в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks.

При цьому закріплення моделі відбувалося за вушка петель, а до кронштейнів запірних

прикладалися реакції від дії ударного навантаження (рис. 5, а).

Крива втоми отримана на підставі модуля пружності сталі марки 09Г2С.

Проведені розрахунки дозволили зробити висновок, що міцність кришки люка при завданій базі випробувань забезпечується.

Також міцність кришки люка перевірялася при падінні на неї вантажу масою 150 кг з висоти 3000 мм [13, 14]. Модель міцності кришки люка наведена на рис. 5, б).

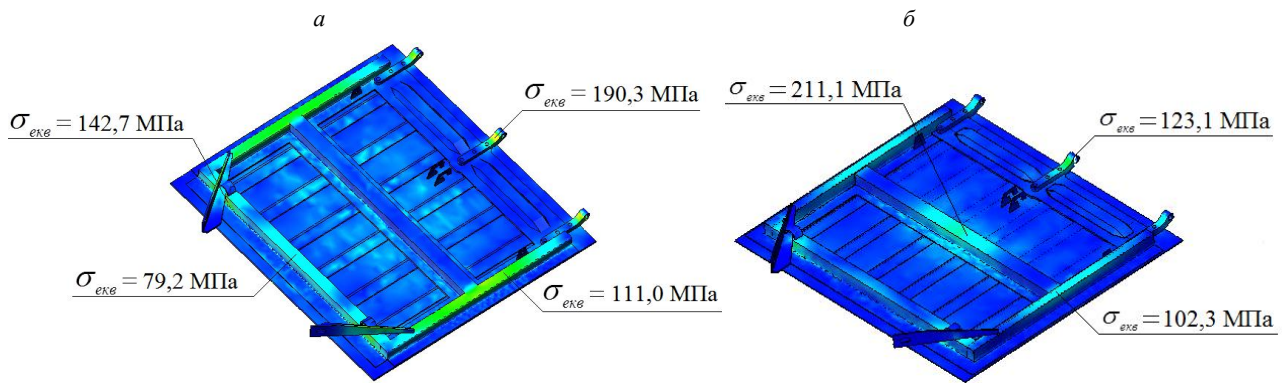


Рис. 3. Напружений стан кришки люка напіввагона
 а – дія на кришку люка рівномірнорозподіленого навантаження P_0 ;
 б – дія розподіленого в центрі кришки люка навантаження P_0

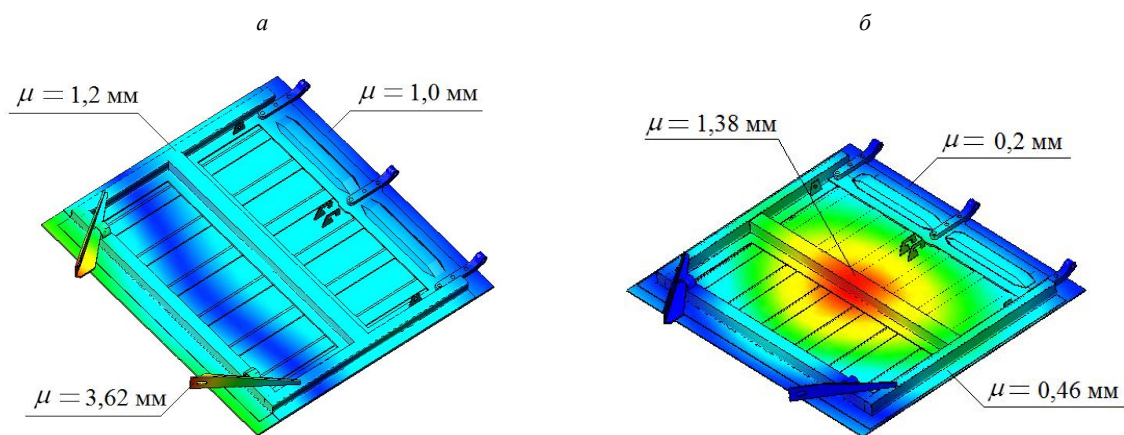


Рис. 4. Переміщення в вузлах кришки люка напіввагона
 а – дія на кришку люка рівномірнорозподіленого навантаження P_0 ;
 б – дія розподіленого в центрі кришки люка навантаження P_0

Закріплення моделі відбувалося за вушка петель. Результати розрахунку наведені на рис. 6.

Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають у кронштейнах запірних та складають близько 900 МПа (рис. 6, а), максимальні переміщення в вузлах конструкції зафіксовані у кронштейнах запірних та складають 18,8 мм (рис. 6, б), максимальні деформації склали $1,72 \cdot 10^{-2}$. Тобто при завданій схемі навантаження міцність кришки люка не забезпечується.

Розподілення максимальних еквівалентних напружень в поперечному поясі об'язки за її довжиною наведені на рис. 7. Максимальні еквівалентні напруження в поясі виникають в зонах розміщення кронштейнів запірних, до центра за довжиною пояса вони зменшуються, а в центральній частині підвищуються майже до 380 МПа.

Для уточненого дослідження міцності кришки люка напіввагона розглянуті такі додаткові схеми її навантаження:

1) імітація розкриття кришки люка при вивантаженні вантажу – безторсійний (без урахування

роботи торсіону (-ів)) неодночасний (спочатку на один із упорів) удар кришки люка об упори проміжних балок рами вагону з максимальним кутом відкриття;

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

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

Модель міцності кришки люка при її безторсійному неодночасному ударі по упорах проміжних балок рами вагону наведена на рис. 8. Розрахунок на міцність проведений в статистиці.

Результати розрахунку наведені на рис. 9. Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають у петлі кришки люка та складають близько 400 МПа (рис. 9, а), максимальні переміщення в вузлах конструкції зафіксовані у кутах кришки люка з боку розташування кронштейнів запірних та складають 11,7 мм (рис. 9, б), максимальні деформації склали $2,6 \cdot 10^{-3}$.

Розподілення максимальних еквівалентних напружень в повздовжньому поясі обв'язки за її довжиною наведено на рис. 10. Максимальні еквівалентні напруження при цьому підвищуються від зони розміщення кронштейна запірною до петлі. В кінцевій частині обв'язки напруження зменшуються до 60 МПа.

Також до уваги прийнятий випадок безторсійного одночасного удару кришки люка по упорах проміжних балок рами вагону. Закріплення моделі відбувалося за вушка петель. Розрахунок на міцність проведений в статичі.

Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають у бокових петлях та складають близько 90 МПа. Максимальні переміщення в вузлах

конструкції зафіксовані у кутах кришки люка з боку розташування кронштейнів запірних та складають 23,5 мм, максимальні деформації склали $4,93 \cdot 10^{-3}$. Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають у петлі, що діаметрально розміщена до кронштейна запірною, механізм якого знаходиться у закритому положенні та складають близько 410 МПа.

Максимальні переміщення в вузлах конструкції зафіксовані у зоні розміщення кронштейна запірною, механізм якого знаходиться у закритому положенні та складають близько 11,5 мм, максимальні деформації склали $7,6 \cdot 10^{-3}$.

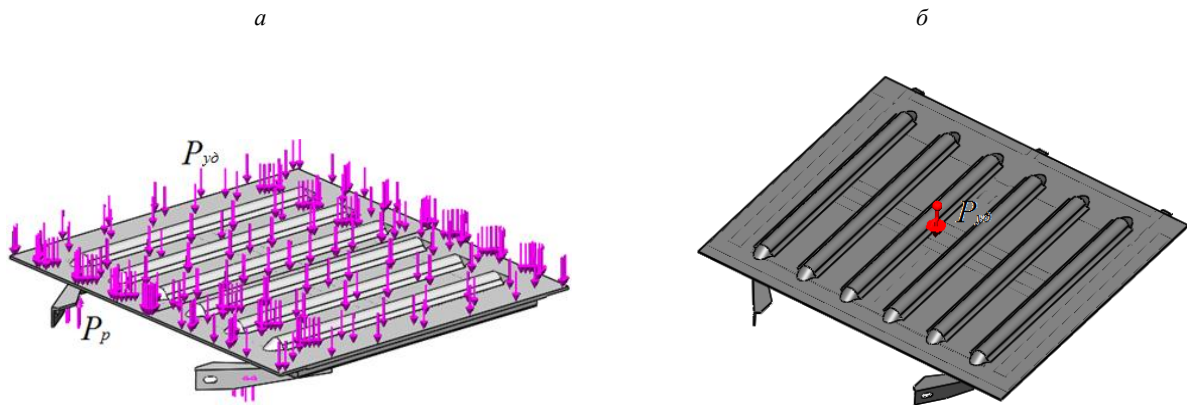


Рис. 5. Комп'ютерна модель міцності кришки люка при дії динамічних навантажень на неї
 а – при дослідженні втомної міцності;
 б – при падінні на кришку люка вантажу масою 150 кг з висоти 3000 мм
 P_{yo} – ударне навантаження; P_p – реакція у кронштейні запірному на дію навантаження P_{yo}

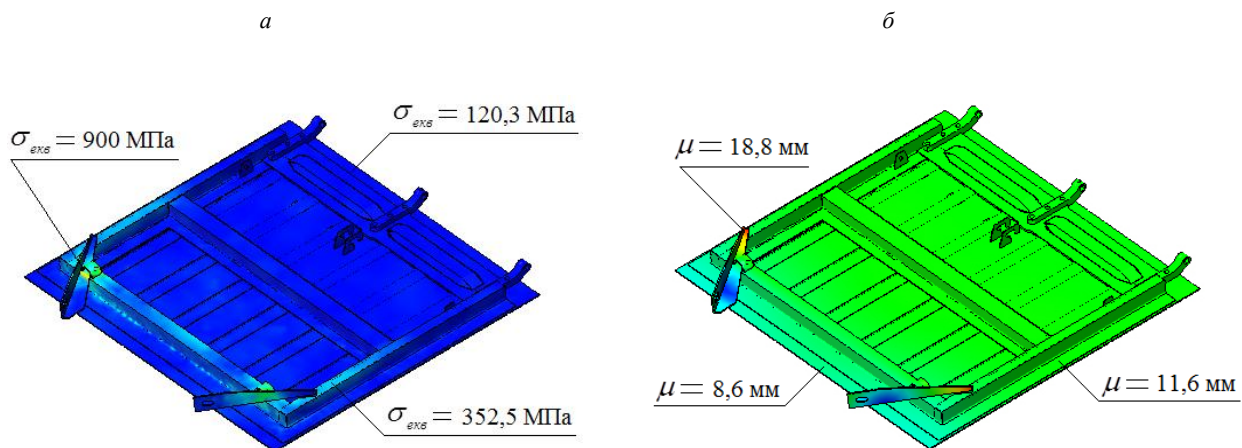


Рис. 6. Результати розрахунку на міцність кришки люка напіввагону при падіння на неї вантажу масою 150 кг з висоти 3000 мм
 а – напружений стан; б – переміщення в вузлах

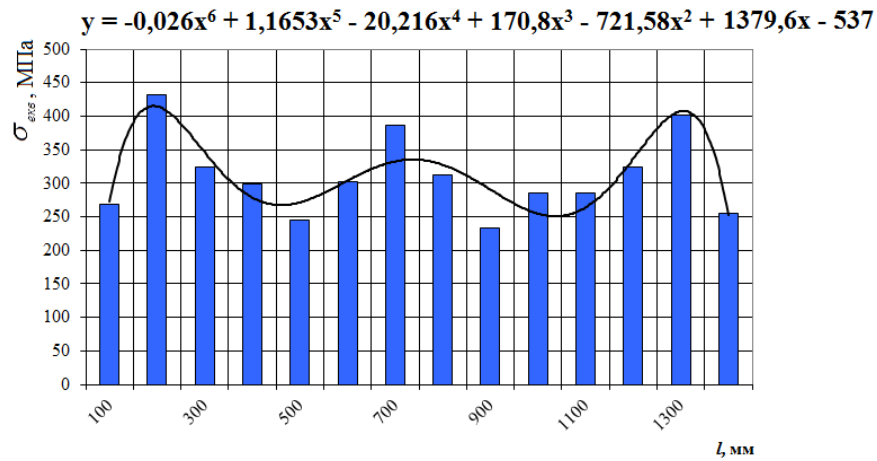


Рис. 7. Розподілення максимальних еквівалентних напружень в поперечному поясі обв'язки за її довжиною

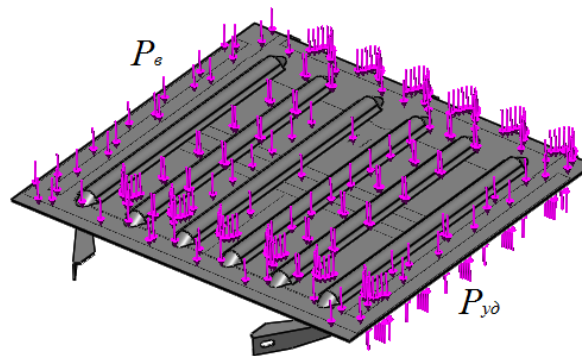


Рис. 8. Модель міцності кришки люка при її безторсійному одночасному ударі по упорах проміжних балок рами вагону
 P_v – вертикальне навантаження; P_{ud} – ударне навантаження

Для випадку підтягування (закриття) кришки люка вивантаженого вагону ломиком вона навантажувалася власною вагою. Навантаження від лома прикладалося по центру кінцевої частини кришки люка з боку розміщення кронштейнів запірних.

Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають у петлях та складають близько 60 МПа. Максимальні переміщення в вузлах конструкції зафіксовані у зоні розміщення кронштейнів запірних та складають 2,8 мм, максимальні деформації склали $3,29 \cdot 10^{-4}$.

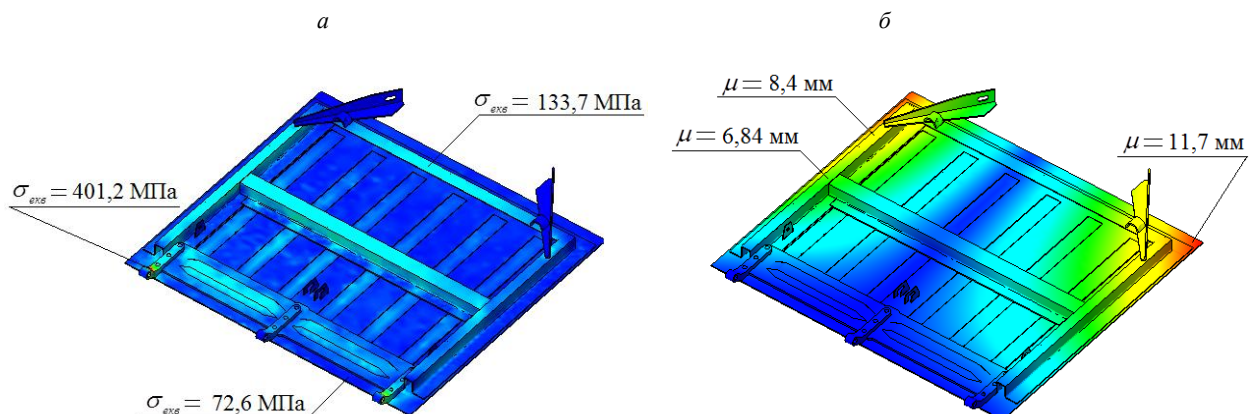


Рис. 9. Результати розрахунку на міцність кришки люка напіввагона при одночасному відкриванні закидок
 a – напружений стан; b – переміщення в вузлах

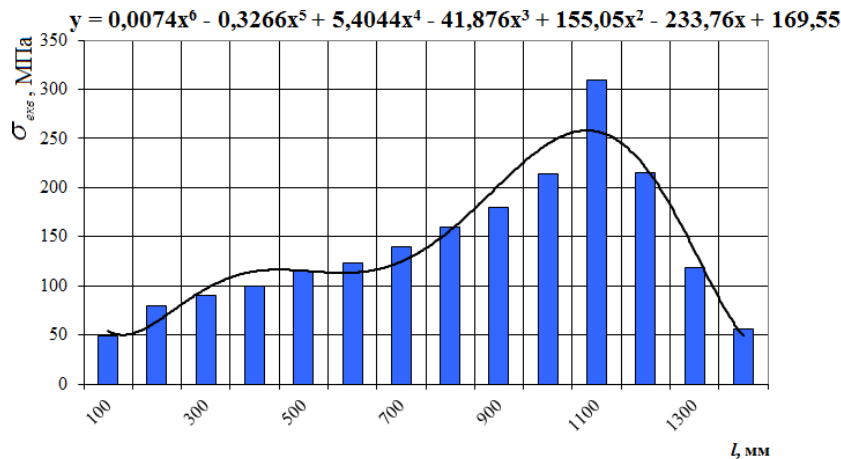


Рис. 10. Розподілення максимальних еквівалентних напружень в повздовжньому поясі обв'язки за її довжиною

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку:

1. Міцність кришки люка при експлуатаційних режимах забезпечується не для всіх схем її навантаження, а саме, для випадку падіння на неї вантажу масою 150 кг з висоти 3000 мм, при її безторсійному неодноточасному ударі по упорах проміжних балок рами вагону, а також при неодноточасному відкриванні закидок максимальні еквівалентні напруження значно перевищують допустимі;

2. Для забезпечення міцності кришки люка при експлуатаційних режимах навантаження необхідним є удосконалення її конструкції.

Список літератури

1. Герасимов К. В. Нагруженность кузова полу вагона глуходонного типа при падении глыбы груза: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Герасимов Кирилл Вячеславович; Брянский государственный технический университет. – Москва, 2017. – 20 с.
2. Путятю А. В. Моделирование напряженно-деформированного состояния крышки люка полувагона при падении кусков груза / А. В. Путятю // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки. – 2011. – №5. – С. 113 – 122.
3. Jarno Föhr, Kalle Karttunen, Johanna Enström, Tomas Johannesson, Tapio Ranta Metal and Composite Intermodal Containers in Comparative Cold Tests with Wood Chips Journal of Sustainable Bioenergy Systems, 2015, 5, 32-39
4. Lovska, A. A. Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge [Text] / A. A. Lovska // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №1. – P. 49 – 54.
5. Fomin, O. V. 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 // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2017. – №6. – P. 89 – 96.
6. Фомін, О.В. Аналіз доцільності застосування шестигранних порожнистих профілів в якості складових елементів несучих систем напіввагонів / О.В. Фомін // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: науковий журнал. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, 2014. – Вип. 6(54) – С. 146-153.
7. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.

8. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013. – №4(193). – С. 267–271.
9. Візньак Р. І. Особливості визначення експлуатаційних навантажень кузова напіввагона та шляхи удосконалення його конструкції з метою забезпечення міцності і збереження / Р. І. Візньак, І. В. Чепурченко, А. О. Яценко // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 159. – С. 91–97.
10. Кебал І. Ю. Совершенствование конструкции крышки люка полувагона / И. Ю. Кебал, С. В. Мямлин // Вагоний парк. – 2016. – №7-8 – С. 41 – 43.
11. Мямлин С. В. Крышка люка универсального полувагона / С. В. Мямлин, Д. Н. Барановский, И. Ю. Кебал // Бюллетень науч. раб. Брянского филиала МИИТ: Сб. науч. работ. – Брянск, 2015. – Вып. 7. – С. 45 – 48.
12. Myamlin S. V. Design review of gondola car / S. V. Myamlin, I. U. Keбал, S. R. Kolesnykov // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – Дніпропетровськ, 2014, №6 (54). – С. 136 – 145.
13. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст] / М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
14. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. ГОСТ 33211-2014. – [Действителен от 22.12.2014] – М.: Стандартинформ, 2016. – 54 с.

References (transliterated)

1. Gerasimov, K. V. Nagruzhenost kuzova polu vagona grluhodonnoho tipa pri padenii glybyi gruzha: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk : 05.22.07 / Gerasimov Kirill Vyacheslavovich; Bryanskiy gosudarstvennyy tehnikeskii universitet. – Moskva, 2017. – 20 s.
2. Putyato, A. V. Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kryishki lyuka poluvagona pri padenii kuskov gruzha / A. V. Putyato // Mehanika. Nauchnyie issledovaniya i uchebno-metodicheskie razrabotki. – 2011. – №5. – S. 113 – 122.
3. Jarno Föhr, Kalle Karttunen, Johanna Enström, Tomas Johannesson, Tapio Ranta Metal and Composite Intermodal Containers in Comparative Cold Tests with Wood Chips Journal of Sustainable Bioenergy Systems, 2015, 5, 32-39
4. Lovska, A. A. Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge [Text] / A. A. Lovska // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №1. – P. 49 – 54.
5. Fomin, O. V. 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 // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2017. – №6. – P. 89 – 96.
6. Fomin, O.V. Analiz dotsilnosti zastosuvannya shestigrannih porozhnistih profiliv v yakosti skladovih elementiv nesuchih sistem napivvagoniv/ O.V. Fomin // Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitetu zaliznizhnogo

- transportu imeni akademika V. Lazaryana: naukoviy zhurnal. – Dnipropetrovsk: DNUZT im. V. Lazaryana, 2014. – Vip. 6(54) – S. 146-153.
7. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.
 8. Fomin O.V. Kontseptsiya idealnih kuzoviv napivvagoniv / O.V. Fomin // Visnik Shidnoukrayinskogo natsionalnogo universitetu imeni Volodimira Dalya: naukoviy zhurnal. – Lugansk: SNU Im. V. Dalya, 2013. – №4(193). – S. 267–271.
 9. Viznyak R. I. OsoblivostI viznachennya ekspluatatsiy nih navantazhen kuzova napivvagona ta shlyahi udoskonalennya yogo konstruksiyi z metoyu zabezpechennya mitsnosti i zberezhennya / R. I. Viznyak, I. V. Chepurchenko, A. O. Yatsenko // Zbirnik naukovih prats Ukrayinskogo derzhavnogo universitetu zaliznichnogo transportu. – Harkiv: UkrDUZT, 2016. – Vip. 159. – S. 91–97.
 10. Keбал I. Yu. Sovershenstvovanie konstruksii kryishki lyuka poluvagona / I. Yu. Keбал, S. V. Myamlin // Vagoniy park. – 2016. – №7-8 – S. 41 – 43.
 11. Myamlin S. V. Kryishka lyuka universalnogo poluvagona / S. V. Myamlin, D. N. Baranovskiy, I. Yu. Keбал // Byulleten nauch. rab. Bryanskogo filiala MIIT: Sb. nauch. rabot. – Bryansk, 2015. – Vyip. 7. – S. 45 – 48.
 12. Myamlin S. V. Design review of gondola car / S. V. Myamlin, I. U. Keбал, S. R. Kolesnykov // Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu. – Dnipropetrovsk, 2014, №6 (54). – S. 136 – 145.
 13. Normyi dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznyih dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyih) [Tekst] / M.: GosNIIV – VNIIZhT, 1996. – 319 s.
 14. Vagoniy gruzovyye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam. GOST 33211-2014. – [Deystvitelen ot 22.12.2014] – M.: Standartinform, 2016. – 54 s.

Надійшла (received) 22.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Горбунов Микола Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет імені В.Далія, e-mail: gorbunov0255@gmail.com

Фомін Олексій Вікторович – доктор технічних наук, професор кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури та технологій, e-mail: fominaleksejvictorovic@gmail.com.

Ловська Альона Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту, e-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com.

Коваленко Вячеслав Валерійович – аспірант кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини» Східноукраїнського національного університету ім. В. Далія, e-mail: kkaterina@ukr.net.