

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-271-1-53-57>

УДК 629.463.65

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ НАПІВВАГОНА ПРИ РОЗМОРОЖУВАННІ В НЬОМУ ВАНТАЖУ

Фомін О.В., Ловська А.О., Сова С.С., Литвиненко А.С.

## EXAMINATION OF THE LOAD-BEARING STATE OF THE CAR LOAD-BEARING STRUCTURE WHEN THE CARGO IS FROZEN IN IT

Fomin O.V., Lovska A.O. Sova S.S., Lytvynenko A.S.

В матеріалах статті наведені результати дослідження напруженого стану несучої конструкції напіввагона при розморожуванні в ньому вантажу. В якості прототипу обрано універсальний напіввагон моделі 12-757 побудови ПАТ "КВБЗ". Просторову модель напіввагона створено в програмному комплексі SolidWorks. При побудові просторової моделі несучої конструкції напіввагона враховано елементи конструкції, які жорстко взаємодіють між собою – зварюванням або заклепками, тобто в моделі не враховано кришки розвантажувальних люків.

Для визначення температурного впливу на несучу конструкцію напіввагона здійснено розрахунок за методом скінчених елементів, який реалізовано в програмному комплексі SolidWorks Simulation (CosmosWorks). Враховано, що напіввагон завантажений кам'яним вугіллям. В якості матеріалу несучої конструкції напіввагона застосовано сталь марки 09Г2С з межею плинності 345 МПа та межею міцності 490 МПа. Скінчено-елементу модель несучої конструкції напіввагона утворено ізопараметричними тетраедрами, оптимальну чисельність яких визначено графоаналітичним методом. На підставі проведених розрахунків встановлено, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції напіввагона знаходяться в межах допустимих при температурі розморожування вантажу до 91°C. При цьому максимальні еквівалентні напруження зафіксовані в зоні взаємодії обв'язування нижнього з обшивкою та дорівнюють 343,8 МПа. Максимальні переміщення в несучій конструкції напіввагона виникають в середній частині рами та складають 3,6 мм. Визначено найбільш навантажені зони несучої конструкції напіввагона при розморожуванні вантажу. До таких зон відноситься обшивка бокових та торцевих стін.

Для забезпечення збереження несучих конструкцій напіввагонів при розморожуванні вантажів в них необхідним є дотримання безпечного температурного режиму або впровадження термостійких складових у їх несучі конструкції.

Проведені дослідження сприятимуть створенню напрямків щодо проектування сучасних конструкцій вантажних вагонів з покращеними техніко-економічними показниками.

**Ключові слова:** транспортна механіка, напіввагон, несуча конструкція, міцність, навантаженість кузова, температурний вплив.

**Вступ.** Одним з найбільш пріоритетних напрямків розвитку залізничного транспорту, як провідної складової транспортної галузі, що сприяє утриманню його лідерських позицій є створення та впровадження в експлуатацію інноваційних конструкцій рухомого складу. При проектуванні такого рухомого складу важливим є урахування уточнених експлуатаційних навантажень та розрахункових схем.

З метою розморожування змерзлих вантажів в несучих конструкціях вантажних вагонів у зимовий час використовуються конвективні гаражі (рис. 1). При здійсненні процесу розморожування важливим є дотримання температурних режимів при яких забезпечується збереження складових рухомого складу. Підвищення температурного впливу на складові несучої конструкції вагона може сприяти появі її пошкоджень та необхідності здійснення позапланових видів ремонту.

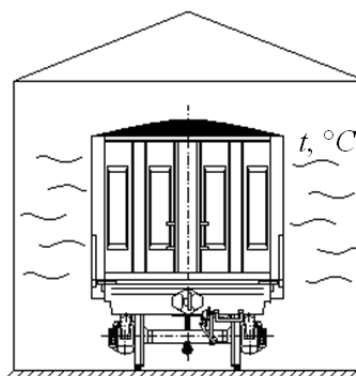


Рис. 1. Схема розморожування вагона в конвективному гаражі

Тому визначення допустимого температурного впливу на несучу конструкцію напіввагона при здійсненні розморожування вантажів в них є досить актуальним питанням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі [1] наведено методику визначення тривалості розморожування вантажів в конвективних гаражах розморожування. Отримано залежність температури розігріву від величини шару змерзлого вантажу.

Особливості визначення тривалості розігріву вантажу в вагонах на основі методу планування експерименту розглянуті у публікації [2]. Контрольна перевірка встановила достатню надійність використання запропонованої методики.

При цьому питанню визначення напруженого стану несучої конструкції вагона при розморожуванні вантажу в ньому уваги не приділено.

В роботі [3] наведено чисельний розрахунок процесу розморожування вантажу в напіввагоні. Розрахунок здійснений за умови використання елементів інфрачервоного випромінювання. Однак в роботі не визначено впливу температури розморожування на міцність несучої конструкції вагона.

Особливості визначення міцності несучої конструкції вагона висвітлюються у публікації [4]. Також в роботі визначено причини виникнення дефектів у складових елементах кузова вагона.

Структурно-елементний аналіз напіввагона типу “ВОХН25” з використанням метода скінчених елементів проводиться у роботі [5]. Проведено розрахунок на міцність та модальний аналіз конструкції вагона.

Важливо сказати, що питанням визначення міцності несучих конструкцій вагонів при розморожуванні вантажів в них в даних роботах уваги не приділялося.

Концепція створення кузова вагона з алюмінієвих панелей розглянута у роботі [6]. Особливістю панелей є те, що вони виготовлені по типу “сендвіч”. При цьому характеристична функція пошуку оптимальної комбінації визначена максимальними напруженнями та зміщеннями. Однак авторами не проводилося дослідження температурного впливу на удосконалену конструкцію вагона.

В публікаціях [7, 8] наведено обґрунтування заходів щодо удосконалення несучих конструкцій напіввагонів в експлуатації. Наведені результати розрахунку на міцність несучих конструкцій напіввагонів, а також результати модального аналізу. Разом з цим визначенню температурного впливу на запропоновані несучі конструкції напіввагонів при розморожуванні вантажів в них уваги не приділено.

Аналіз літературних джерел [1 – 8] дозволяє зробити висновок, що питанню визначення температурного впливу на несучі конструкції вагонів при розморожуванні вантажів в них досі не приділялося належної уваги. Це викликає необхідність проведення досліджень в цьому напрямку.

**Мета статті.** Метою статті є висвітлення результатів дослідження напруженого стану несучої конструкції напіввагона при розморожуванні в ньому вантажу. Для досягнення зазначеної мети визначені такі задачі:

- визначити основні показники міцності несучої конструкції напіввагона при розморожуванні в ньому вантажу;

- визначити найбільш навантажені зони несучої конструкції напіввагона при розморожуванні в ньому вантажу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Для визначення навантаженості несучої конструкції напіввагона при розморожуванні змерзлого вантажу, розміщеному у ньому, проведено розрахунок. При цьому застосовано метод скінчених елементів, який реалізований в програмному комплексі SolidWorks Simulation. Розрахунок здійснений на прикладі несучої конструкції універсального напіввагона моделі 12-757 побудови ПАТ “КВБЗ”.

При побудові просторової моделі несучої конструкції напіввагона враховано елементи конструкції, які жорстко взаємодіють між собою – зварюваннями або заклепками.

При складанні розрахункової схеми враховано, що на несучу конструкцію напіввагона діє вертикальне статичне навантаження  $P_{e\text{cm}}$  з використанням повної вантажопідйомності напіввагона (рис. 2).

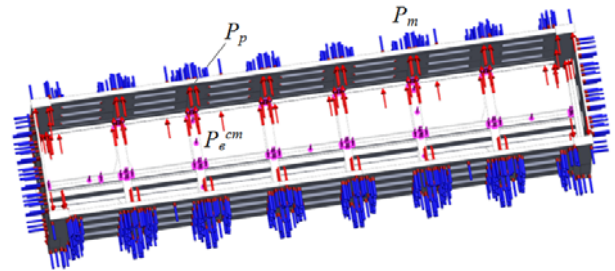


Рис. 2. Розрахункова схема несучої конструкції напіввагона

Також враховано тиск розпору насипного вантажу  $P_p$  на бокові та торцеві стіни. До зовнішньої поверхні кузова прикладалася температура  $P_m$ .

В якості насипного вантажу прийняте кам'яне вугілля. Тиск розпору насипного вантажу на бокові стіни та торцеві двері кузова напіввагону, визначені за методикою, наведеною в [9, 10]. Згідно цієї методики приймається, що навантаження розпору насипного вантажу на бокові стіни кузова вагону розподілене за законом трикутника з максимумом у його основи, а на торцеву – за законом трапеції.

Максимальні навантаження біля основ стійок бокової стіни визначаються [9]

$$q_1 = 0,5 \cdot p_a \cdot l_1, \quad (1)$$

$$q_2 = 0,5 \cdot p_a \cdot (l_1 + l_2), \quad (2)$$

$$q_3 = 0,5 \cdot p_a \cdot (l_2 + l_3), \quad (3)$$

$$q_4 = 0,5 \cdot p_a \cdot (l_3 + l_4), \quad (4)$$

де  $P_a$  – активний (статичний) тиск розпору насипного вантажу, який приходить на одиницю площі поверхні вертикальної стіни на рівні підлоги, кПа;

$l_1$  – відстань від кінцевої балки рами до геометричної осі п’ятника вагона, м;

$l_2$  – відстань від геометричної осі п’ятника вагона до другої стійки кузова, м;

$l_3$  – відстань від другої стійки кузова до третьої, м;

$l_4$  – відстань від третьої стійки кузова до вертикальної геометричної осі кузова вагона, м.

Активний тиск розпору насипного вантажу визначався за формулою [9]

$$p_a = \gamma \cdot g \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (5)$$

де  $\gamma$  – щільність насипного вантажу, т/м<sup>3</sup>;

$H$  – висота бокової стіни, м;

$\varphi$  – кут природнього відкосу вантажу, рад;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Тиск нерівномірнорозподіленого навантаження, яке прикладене до стулки торцевої двері визначався за формулою [9]

$$p = p_a + p_n, \quad (6)$$

де  $p_n$  – пасивний тиск насипного вантажу, який визначається за формулою (5), в якій квадрат тангенса різності двох кутів замінюється квадратом тангенса їх суми та з урахуванням коефіцієнту вертикальної динаміки, а також кута природнього відкосу.

Інтенсивність трапецієподібного навантаження, що приходить на кутову стійку визначається [9]

$$q_{T1}^H = 0,5(p_a + p_n) \cdot b_1; \quad (7)$$

$$q_{T1}^6 = 0,5 \cdot p_n \cdot b_1; \quad (8)$$

на проміжну стійку:

$$q_{T2}^H = 0,5(p_a + p_n) \cdot (b_1 + b_2); \quad (9)$$

$$q_{T2}^6 = 0,5 \cdot p_n \cdot (b_1 + b_2); \quad (10)$$

на середню стійку:

$$q_{T3}^H = 0,5(p_a + p_n) \cdot b_2; \quad (11)$$

$$q_{T3}^6 = 0,5 \cdot p_n \cdot b_2 \quad (12)$$

При складанні скінчено-елементної моделі несучої конструкції напіввагона застосовані ізопараметричні тетраедри [11, 12], оптимальна чисельність яких визначена за графоаналітичним методом [13, 14]. Основні характеристики скінчено-елементної моделі наведені в табл. 1.

Закріплення моделі здійснювалося в зонах її обпирання на ходові частини. В якості матеріалу конструкції застосовано сталь марки 09Г2С з межею плинності 345 МПа та межею міцності 490 МПа [15, 16].

Таблиця 1

**Основні характеристики скінчено-елементної моделі несучої конструкції напіввагона**

Кількість елементів	352435
Кількість вузлів	116609
Максимальний розмір елементу, мм	100,0
Мінімальний розмір елементу, мм	20,0
Максимальне співвідношення боків елементів	38400
Відсоток елементів з співвідношенням боків менше трьох	18,4
Відсоток елементів з співвідношенням боків більше десяти	36,8
Мінімальна кількість елементів в колі	9
Співвідношення збільшення розміру елементу	1,7

На підставі проведених розрахунків встановлено, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції напіввагона знаходяться в межах допустимих при температурі розморожування 91°C (рис. 3).

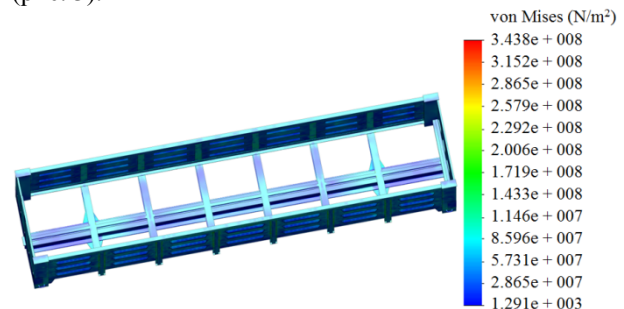


Рис. 3. Напружений стан несучої конструкції напіввагона

Максимальні еквівалентні напруження при цьому зафіксовані в зоні взаємодії обв’язування нижнього з обшивкою та дорівнюють 343,8 МПа. Максимальні переміщення в несучій конструкції напіввагона виникають в середній частині рами та складають 3,6 мм (рис. 4).

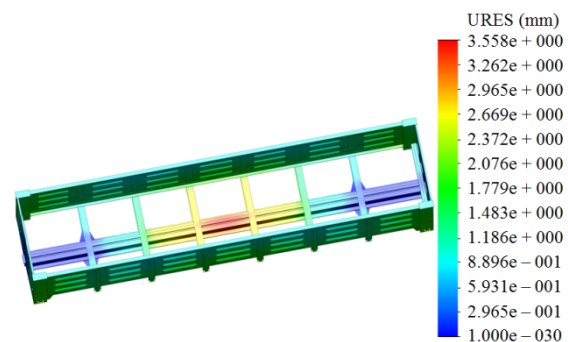


Рис. 4. Переміщення в вузлах несучої конструкції

За розрахунковою схемою, наведеною на рис. 2, визначено найбільш навантажені зони несучої конструкції напіввагона при розморожуванні вантажу (рис. 5). До них відноситься обшивка бокових та торцевих стін.

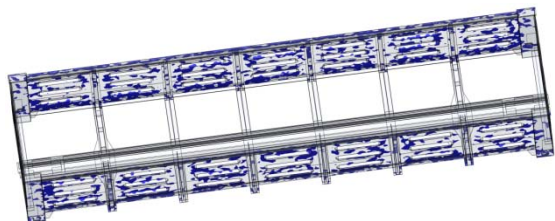


Рис. 5. Найбільш навантажені зони несучої конструкції напіввагона при розморожуванні вантажу в ньому

### Висновки:

1. Визначено основні показники міцності несучої конструкції напіввагона при розморожуванні в ньому вантажу. При цьому максимальні еквівалентні напруження зафіксовані в зоні взаємодії об'язування нижнього з обшивкою та дорівнюють 343,8 МПа. Максимальні переміщення в несучій конструкції напіввагона зосереджені в середній частині рами та складають 3,6 мм

2. Визначено найбільш навантажені зони несучої конструкції напіввагона при розморожуванні в ньому вантажу. До таких зон відноситься обшивка бокових та торцевих стін.

Для забезпечення збереження несучих конструкцій напіввагонів при розморожуванні вантажів в них необхідним є дотримання безпечного температурного режиму або впровадження термостійких складових у їх несучі конструкції.

Проведені дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо проектування сучасних конструкцій вантажних вагонів з покращеними техніко-економічними показниками.

### Література

1. Парунакян В. Э. Методика определения продолжительности разогрева грузов в конвективных гаражах размораживания / Парунакян В. Э., Дженчако В. Г. // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2004. – Вип. 14. – С. 319 – 322.
2. Парунакян В. Э. Определение продолжительности разогрева груза в вагонах на основе метода планирования эксперимента / Парунакян В. Э., Дженчако В. Г. // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2006. – Вип. 16. – С. 233 – 239.
3. Беляев Н. Н. Численный расчет процесса размораживания груза в полувагоне / Беляев Н. Н., Карпо А. А. // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Безопасность жизнедеятельности. – 2015. – Вип. 83. – С. 29 – 33.
4. Antipin D.Ya. Justification of a Rational Design of the Pivot Center of the Open-top Wagon Frame by means of Computer Simulation / Antipin D.Ya., Racin D.Yu., Shorokhov S.G. // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 150. – P. 150 – 154.

5. Harak S. S. Structural Dynamic Analysis of Freight Railway Wagon Using Finite Element Method / Harak S. S., Sharma S. C., Harsha S. P. // Procedia Materials Science. – 2014. – Vol. 6. – P. 1891 – 1898.
6. Hyun-Ah Lee. Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels / Hyun-Ah Lee, Seong-Beom Jung, Hwan-Hak Jang, Dae-Hwan Shin, Jang Uk Lee, Kwang Woo Kim, Gyung-Jin Park // Journal of Rail and rapid transit. – 2016. – No. 11.
7. Fomin O. Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam / Fomin O., Gerlici J., Gorbunov M., Vatulia G., Lovska A., Kravchenko K. // Materials. – 2021. – Vol. 14 (12). 3420. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
8. Fomin O. Dynamics and strength of circular tube open wagons with aluminum foam filled center sills / Fomin O., Gorbunov M., Lovska A., Gerlici J., Kravchenko K. // Materials. – 2021. – Vol. 14(8). 1915. <https://doi.org/10.3390/ma14081915>
9. Конструирование и расчет вагонов / Лукин В. В., Шадур Л. А., Котуранов В. И., Хохлов А. А., Анисимов П. С. – М.: УМК МПС России, 2000. – 731 с.
10. O. Fomin. Determining the dynamic loading on an open-top wagon with a two-pipe girder beam / O. Fomin, A. Lovska, O. Daki, V. Bohomia, O. Tymoshchuk, V. Tkachenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – № 3/7 (99) – P. 18 – 25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.166329>
11. Alyona Lovska. Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry / Alyona Lovska, Oleksij Fomin, Vaclav Pistek, Pavel Kucera // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10(16). 5710. doi:10.3390/app10165710
12. Lovska A. Calculation of Loads on Carrying Structures of Articulated Circular-Tube Wagons Equipped with New Draft Gear Concepts / Lovska A., Fomin O., Kučera P., Pištěk V. // Appl. Sci. – 2020. – Vol. 10(7441). doi:10.3390/app10217441.
13. Vatulia G. Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results / Vatulia G., Komagorova S., Pavliuchenkov M. // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 230. 02037. doi: 10.1051/mateconf/201823002037
14. Vatulia G. Regression equations for circular CFST columns carrying capacity evaluation / Vatulia G., Rezunenko M., Orel Y., Petrenko D. // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 107. 00051.
15. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015. 250 с.
16. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. [Действителен от 2016-07-01]. Москва, 2016. 54 с.

### References

1. Parunakyan V. E. Metodika opredeleniya prodolzhitel'nosti razogreva tovarov v konvektivnykh garazhakh razmorazhivaniya / Parunakyan V. E., Dzhenchako V. G. // Visnik Priazov'skogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu. – 2004. – Vip. 14. – S. 319 – 322.
2. Parunakyan V. E. Opredelenie prodolzhitel'nosti razogreva tovara v vagonah na osnove metoda planirovaniya eksperimenta / Parunakyan V. E., Dzhenchako V. G. // Visnik Priazov'skogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu. – 2006. – Vip. 16. – S. 233 – 239.

3. Belyaev N. N. Chislennyj raschet processa razmora-zhivaniya gruzha v poluvagone / Belyaev N. N., Karpo A. A. // Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. – 2015. – Vip. 83. – S. 29 – 33.
4. Antipin D.Ya. Justification of a Rational Design of the Pivot Center of the Open-top Wagon Frame by means of Computer Simulation / Antipin D.Ya., Racin D.Yu., Shorokhov S.G. // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 150. P. 150 – 154.
5. Harak S. S. Structural Dynamic Analysis of Freight Railway Wagon Using Finite Element Method / Harak S. S., Sharma S. C., Harsha S. P. // Procedia Materials Science. – 2014. – Vol. 6. – P. 1891 – 1898.
6. Hyun-Ah Lee. Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels / Hyun-Ah Lee, Seong-Beom Jung, Hwan-Hak Jang, Dae-Hwan Shin, Jang Uk Lee, Kwang Woo Kim, Gyung-Jin Park // Journal of Rail and rapid transit. – 2016. – No. 11.
7. Fomin O. Research into the Strength of an OpenWagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam / Fomin O., Gerlici J., Gorbunov M., Vatulia G., Lovska A., Kravchenko K. // Materials. – 2021. – Vol. 14 (12). 3420. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
8. Fomin O. Dynamics and strength of circular tube open wagons with aluminum foam filled center discs / Fomin O., Gorbunov M., Lovska A., Gerlici J., Kravchenko K. // Materials. – 2021. – Vol. 14(8). 1915. <https://doi.org/10.3390/ma14081915>
9. Konstruirovaniye i raschet vagonov / Lukin V. V., Shadur L. A., Koturanov V. I., Hohlov A. A., Ani-simov P. S. – M.: UMK MPS Rossii, 2000. – 731 s.
10. O. Fomin. Determining the dynamic loading on an open-top wagon with a two-pipe girder beam / O. Fomin, A. Lovska, O. Daki, V. Bohomia, O. Tymoshchuk, V. Tkachenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – № 3/7 (99) – P. 18 – 25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.166329>
11. Alyona Lovska. Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry / Alyona Lovska, Oleksij Fomin, Vaclav Pistek, Pavel Kucera // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10(16). 5710. doi:10.3390/app10165710
12. Lovska A. Calculation of Loads on Carrying Structures of Articulated Circular-Tube Wagons Equipped with New Draft Gear Concepts / Lovska A., Fomin O., Kučera P., Pištěk V. // Appl. Sci. – 2020. – Vol. 10(7441). doi:10.3390/app10217441.
13. Vatulia G. Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results / Vatulia G., Komagorova S., Pavliuchenkov M. // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 230. 02037. doi: 10.1051/mateconf/201823002037
14. Vatulia G. Regression equations for circular CFST columns carrying capacity evaluation / Vatulia G., Rezunenkov M., Orel Y., Petrenko D. // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 107. 00051.
15. DSTU 7598:2014. Vagoni vantazhni. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv koliyi 1520 mm (nesamohidnih). [Chinniy vid 2015-07-01]. Kyiv, 2015. 250 p.
16. GOST 33211-2014. Vagonyi gruzovyye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam. [Deystvitelen ot 2016-07-01]. Moskva, 2016. 54 p.

**Fomin O. V., Lovska A. O., Sova S. S., Lytvynenko A. S. Examination of the load-bearing state of the car load-bearing structure when the cargo is frozen in it**

*This article presents the results of the examination of the load-bearing state of the nonversatile wagon load-bearing structure when the cargo is unfrozen in it.*

*In order to determine the temperature influence on the load-bearing structure of the wagon, we carried out calculations by the method of linked elements, which is implemented in the SolidWorks Simulation (CosmosWorks) program complex. For this purpose, a spacious model of the load-bearing structure of the wagon was created in the SolidWorks software package. During the construction of the spacious model of the car load-bearing structure the elements of the structure that tightly interact with each other are taken into account, i.e. the model does not include the cranks of the loading hatches, since they interact with the load-bearing structure in a hinged manner.*

*During the calculations it was taken into account that the car is loaded with stone coal. The material of the load-bearing structure of the wagon is 09G2S steel. When constructing the structural-element model of the wagon load-carrying structure, spacious and exoparametric tetrahedrons were used. The optimum number of connected elements was determined by graphoanalytic method.*

*The results of the calculations showed that the maximum equivalent loads in the load-bearing structure of the wagon are within the permissible limits at the temperature of freezing of the cargo up to 91°C. The maximum equivalent loads in this case are recorded in the area of interaction of the lower shell with the cladding and amount to 343.8 MPa. The maximum displacements in the load-bearing structure of the car are 3.6 mm and occur in the middle part of the frame. The work also includes the results of the identification of the most stressed zones of the load-bearing structure of the wagon when the cargo is frozen in it.*

*In order to ensure the preservation of load-bearing structures of open wagons during freezing of vans in them it is necessary to maintain a safe temperature regime or the introduction of thermal-strength components in their load-bearing structures.*

*The results of the conducted research will contribute to the creation of guidelines for the design of modern designs of freight cars with improved technical and economic indicators.*

**Keywords:** transport mechanics, wagon, load-bearing structure, strength, body load, temperature impact.

**Фомін Олексій Вікторович** – д.т.н., професор кафедри “Вагони та вагонне господарство” Державного університету інфраструктури та технологій, e-mail: [fomin1985@ukr.net](mailto:fomin1985@ukr.net).

**Ловська Альона Олександрівна** – д.т.н., доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: [alyonalovskaya.vagons@gmail.com](mailto:alyonalovskaya.vagons@gmail.com).

**Сова Сергій Сергійович** – аспірант кафедри “Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини” Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, e-mail: [gorbunov0255@gmail.com](mailto:gorbunov0255@gmail.com)

**Литвиненко Андрій Сергійович** – аспірант, Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, e-mail: [andrijlitvinenko7@gmail.com](mailto:andrijlitvinenko7@gmail.com)