

**Ловська А.О.**

Український державний університет залізничного транспорту

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВПЛИВУ НА МІЦНІСТЬ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ КРИТОГО ВАГОНА

*В матеріалах статті проведено визначення температурного впливу на міцність несучої конструкції універсального критого вагона моделі 11-217. При цьому дослідження проведені шляхом комп'ютерного моделювання з використанням методу скінчених елементів, який реалізовано в програмному комплексі SolidWorks Simulation.*

*При створенні просторової моделі несучої конструкції критого вагона враховано елементи, які жорстко взаємодіють між собою, тобто в моделі не враховано самоущільнені двері.*

*Континуальна модель несучої конструкції критого вагона утворена тетраедрами. При проведенні розрахунків до уваги прийнято дві схеми термічного навантаження несучої конструкції критого вагона: температурний вплив на внутрішню поверхню, що має місце при перевезенні високотемпературних вантажів; зовнішній температурний вплив на бокові стіни критого вагона, що може мати місце при розморожуванні вантажів.*

*Результати проведених розрахунків показали, що міцність несучої конструкції критого вагона при першій досліджуваній схемі навантаження забезпечується при дії температури у 118°C. При цьому максимальні еквівалентні напруження зафіксовані у вертикальних стійках і дорівнюють 344,8 МПа. У якості допустимих напружень враховано межу плинності матеріалу, яка для сталі 09Г2С дорівнює 345 МПа*

*При другій схемі навантаження несучої конструкції критого вагона максимальні еквівалентні напруження дотримуються в межах допустимих при зовнішньому температурному впливі у 136,2°C. Чисельні значення максимальних еквівалентних напружень при цьому складають 344,9 МПа та виникають у гофрах.*

*Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності використання залізничного транспорту шляхом можливості залучення критих вагонів до перевезень більш широкої номенклатури вантажів, а також створенню напрацювань щодо проектування мультифункціональних конструкцій вагонів.*

**Ключові слова:** транспортна механіка, критий вагон, несуча конструкція, термічний аналіз, напружений стан.

**Постановка проблеми.** Підвищення ефективності використання та конкурентоспроможності залізничного транспорту викликає необхідність забезпечення його багатofункціональності та можливості використання під перевезення широкої номенклатури вантажів, в тому числі і високотемпературних.

Одним з найбільш використовуваних вагонів, який застосовується для перевезень високотемпературних вантажів, а саме окатишів та гарячого агломерату з температурою не вище 700°C є вагон-хопер. Важливо сказати, що в експлуатації може мати місце необхідність перевезень залізницею вантажів і з меншою температурою. У зв'язку з тим, що поповнення вагонного парку Укрзалізниці в дійсний час є досить незначним, а кількість вагонів-хоперів в експлуатації є обмеженою, доцільним є розгляд можливості транспортування таких вантажів в інших вагонах, наприклад критих. У зв'язку з цим для забезпечення сталого розвитку економіки країни та транспортної галузі виникає необхідність проведення досліджень в зазначеному напрямку.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій.

З метою поліпшення ефективності використання універсальних вагонів в роботі [1] запропоновано здійснення їх модернізації. Проведено обґрунтування заходів щодо модернізації вагонів. При цьому використано методи комп'ютерного моделювання та проведено натурний експеримент. Однак запропонована модернізація не сприяє можливості перевезень вантажів з підвищеною температурою.

Визначення можливих шляхів покращення техніко-економічних показників залізничних вагонів висвітлюється у публікації [2]. Реалізація поставленої задачі досягається за рахунок підвищення осьового навантаження вагона. Наведено обґрунтування даного рішення. В якості прототипу обрано вантажний вагон BCNHL.

В роботі [3] досліджено перспективи застосування інноваційних матеріалів для зменшення тари вагонів. Обґрунтовано використання в якості матеріалу несучих конструкцій вагонів магнієвих сплавів. Наведені результати розрахунків доціль-

ності застосування даного матеріалу в металоконструкціях кузовів. Важливо сказати, що при цьому не приділено уваги визначенню температурного впливу на несучі конструкції вагонів.

В роботі [4] наведено результати обґрунтування покращення техніко-економічних показників вантажних вагонів шляхом впровадження високоміцних сталей в їх несучі конструкції. Проведено експериментальне уточнення умов міцності зварних з'єднань вагонів із високоміцних матеріалів. Розроблені способи підвищення витривалості зварних з'єднань. Однак в роботі не проводилось визначення температурного впливу на міцність несучих конструкцій вагонів з запропонованого матеріалу.

В роботі [5] авторами проводиться визначення навантаженості несучої конструкції вагона-хопера для перевезень окатишів та гарячого агломерату з обшивкою із композитного матеріалу. Результати розрахунків вагона довели доцільність даного впровадження. Однак дане рішення реалізоване стосовно вагона-хопера. Крім того, авторами не досліджувалось зовнішнього впливу температури на міцність несучої конструкції вагона.

Заходи щодо адаптації несучої конструкції напіввагона до перевезень високотемпературних вантажів обґрунтовано у роботі [6]. Авторами запропоновано встановлення у кузов напіввагона контейнерів з композитною обшивкою в яких можна розміщувати високотемпературний вантаж. Результати розрахунків на міцність, а також динамічну навантаженість підтвердили доцільність такого рішення.

В роботі [7] авторами запропоновано конструкцію багатофункціонального вагону для перевезень широкої номенклатури вантажів, в тому числі високотемпературних. Наведено результати розрахунків несучої конструкції вагона на міцність при основних експлуатаційних схемах навантажень. Разом з цим в даних роботах не досліджувалося зовнішнього впливу температурного навантаження на кузова вагонів, що має місце, наприклад, при розморожуванні вантажів у тепляках.

Проведений аналіз літературних джерел дозволяє зробити висновок, що доцільним є дослідження температурного впливу на несучу конструкцію критого вагона.

**Мета та основні завдання статті.** Метою статті є дослідження температурної навантаженості критого вагона при експлуатаційних режимах. Це дозволить підвищити ефективність використання критих вагонів та функціонування

транспортної галузі в цілому. Для досягнення зазначеної мети визначені такі завдання:

- визначити вплив температури перевозимого вантажу на міцність несучої конструкції критого вагона;
- дослідити міцність несучої конструкції критого вагона при розморожуванні вантажу, розміщеному у ньому.

**Викладення основного матеріалу статті.** Для визначення впливу температури перевозимого вантажу на міцність несучої конструкції критого вагона у якості прототипу обрано критий вагон моделі 11-217 (рис. 1 [8]).



Рис. 1. Критий вагон моделі 11-217

Основну технічну характеристику вагона наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

**Основна технічна характеристика критого вагона моделі 11-217**

Назва параметру	Значення
Вантажопідйомність, т	68
Тара, т	24,7
Швидкість конструкційна, км/год.	120
Габарит	1 – ВМ (0 – Т)
Осьове статичне навантаження, кН/вісь	231,8
База вагона, мм	10000
Довжина за осями зчеплення автозчепів, мм	14730
Довжина за кінцевими балками рами, мм	13870
Максимальна висота від рівня верха головки рейки, мм	4668
Кількість осей, шт.	4
Модель двохвісного візка	18-100
Наявність стоянкового гальма	є
Можливість встановлення буферів	немає

Для визначення допустимої температури перевозимого вантажу у вагоні проведено його термічний розрахунок. При цьому використано метод

скінчених елементів, який реалізовано в програмному комплексі SolidWorks Simulation. При створенні просторової моделі несучої конструкції критого вагона враховано елементи, які жорстко взаємодіють між собою, тобто в моделі не враховано самоущільнені двері.

Континуальна модель несучої конструкції критого вагона утворена тетраедрами. Модель налічує 230752 вузла та 656194 елементи. При цьому максимальний розмір елемента складає 100 мм, а мінімальний – 20 мм.

При складанні розрахункової схеми несучої конструкції критого вагона температурне навантаження  $P_T$  прикладалося до його внутрішніх поверхонь (рис. 2). Також розрахункова схема враховує вертикальне статичне навантаження  $P_B$ , зумовлене вагою вантажу розміщеного у кузові з використанням його повної вантажопідйомності. До упорів автотягача прикладалося повздовжнє навантаження  $P_L$  у 1,0 МН для імітації руху вагона у складі поїзда (рис. 3). У якості матеріалу конструкції використано сталь марки 09Г2С з лінійними ізотропними властивостями. Закріплення моделі здійснювалося в зонах її обпирання на ходові частини.

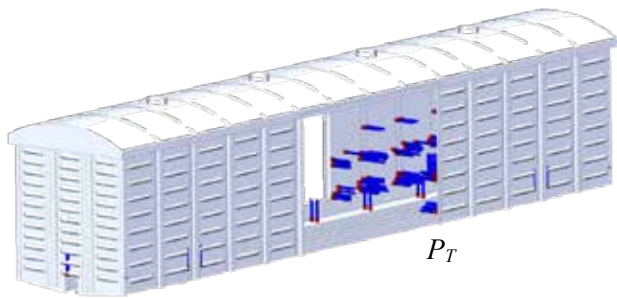


Рис. 2. Схема прикладення температурного навантаження до несучої конструкції критого вагона

Результати розрахунків показали, що міцність несучої конструкції критого вагона забезпечується при дії температури у 118°C (рис. 4). При цьому максимальні еквівалентні напруження зафіксовані у вертикальних стійках і дорівнюють 344,8 МПа (рис. 4). У якості допустимих напружень враховано межу плинності матеріалу, яка для сталі 09Г2С дорівнює 345 МПа [9].

Також в рамках дослідження проведено визначення можливості розігріву вантажу, розміщеного у критому вагоні в конвективному гаражі. При складанні розрахункової схеми враховано, що на несучу конструкцію критого вагона діє вертикальне статичне навантаження. Температурне навантаження при цьому прикладалося до зовнішніх поверхонь бокових стін (рис. 7).

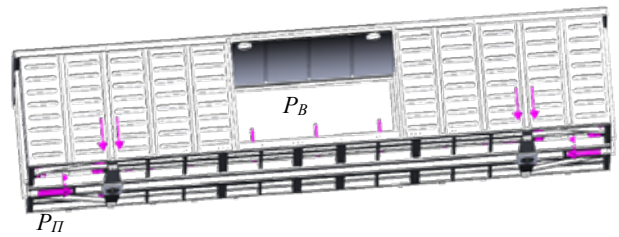


Рис. 3. Схема дії сил на несучу конструкцію критого вагона

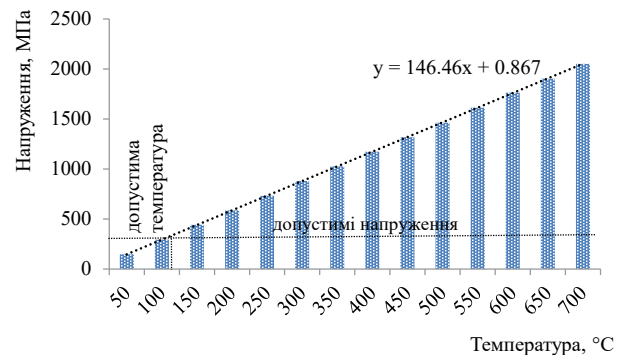


Рис. 4. Залежність напружень в несучій конструкції критого вагона від температурного впливу

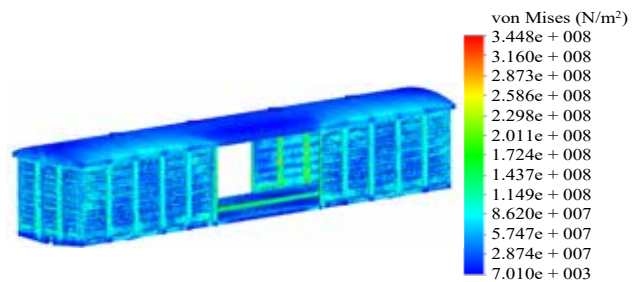


Рис. 5. Напружений стан несучої конструкції критого вагона

При цьому найбільш навантаженими складовими несучої конструкції вагона є бокові стіни (рис. 6).

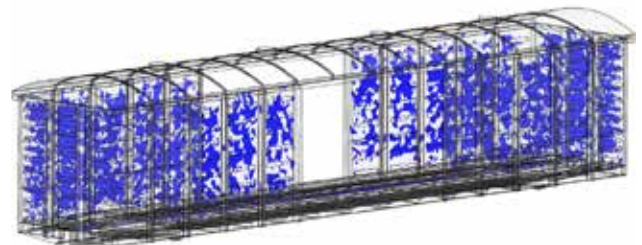


Рис. 6. Найбільш навантажені зони несучої конструкції критого вагона

Результати розрахунків встановили, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції критого вагона дотримуються в межах допустимих при зовнішньому температурному

впливі у 136,2°C (рис. 8). При цьому максимальні еквівалентні напруження складають 344,9 МПа та виникають у гофрах (рис. 9).

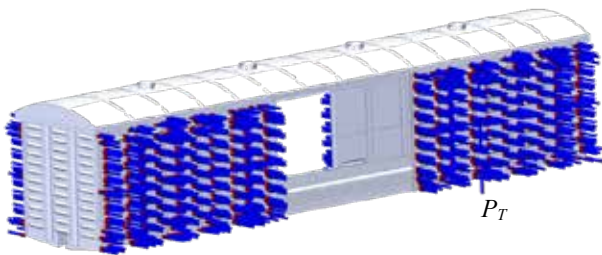


Рис. 7. Схема прикладення температурного навантаження до несучої конструкції критого вагона

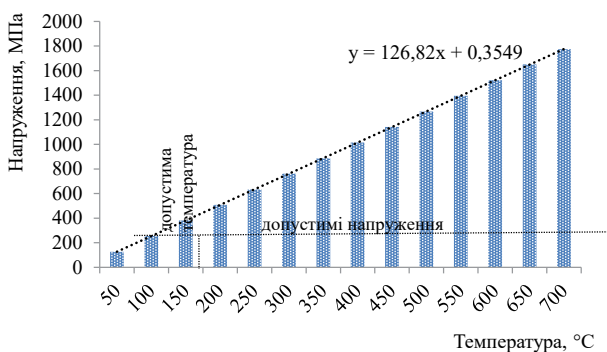


Рис. 8. Залежність напружень в несучій конструкції критого вагона від температурного впливу

Найбільш навантаженими складовими несучої конструкції вагона є бокові стіни (рис. 10).

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності використання залізничного транспорту шляхом можливості залучення критих вагонів до перевезень більш широкої номенклатури вантажів, а також створенню напрацювань щодо проектування мультифункціональних конструкцій вагонів.

#### Висновки

1. Визначено вплив температури перевозимого вантажу на міцність несучої конструкції критого

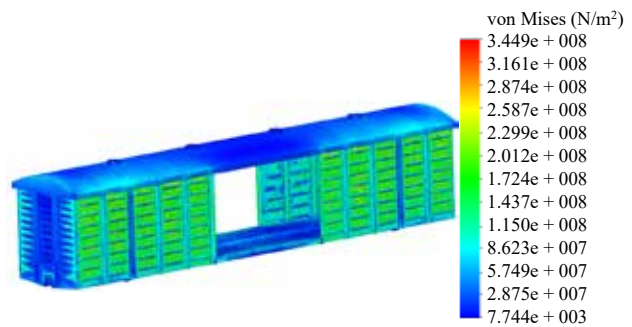


Рис. 9. Напружений стан несучої конструкції критого вагона

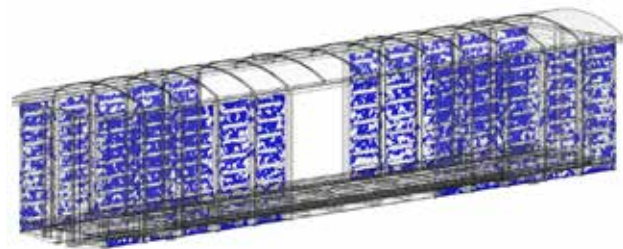


Рис. 10. Найбільш навантажені зони несучої конструкції критого вагона

вагона. Встановлено, що міцність несучої конструкції критого вагона забезпечується при дії температури у 118°C. Максимальні еквівалентні напруження зафіксовані у вертикальних стійках і дорівнюють 344,8 МПа.

2. Досліджено міцність несучої конструкції критого вагона при розморожуванні вантажу, розміщеному у ньому. Максимальні еквівалентні напруження дотримуються в межах допустимих при зовнішньому температурному впливі у 136,2°C. При цьому чисельні значення максимальних еквівалентних напружень складають 344,9 МПа та виникають у гофрах.

#### Список літератури:

1. Рейдемейстер А. Г., Калашник В. А., Шикун А. А. Модернизация как способ улучшения использования универсальных вагонов // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2016. № 2 (62). doi 10.15802/stp2016/67334
2. Chandra Prakash Shukla, Bharti P. K. Study and Analysis of Doors of BCNHL Wagons // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). 2015. Vol. 4, Issue 04. P. 1195–1200. doi: https://doi.org/10.17577/ijertv4is041031
3. Woo Geun Lee, Jung-Seok Kim, Seung-Ju Sun, Jae-Yong Lim. The next generation material for lightweight railway car body structures: Magnesium alloys // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 2016. Vol. 232. Issue 1. P. 25–42.
4. Бороненко Ю. П., Філіпова І. О. Выбор конструктивных решений элементов вагонов с малой массой тары // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2017. № 3 (69). P. 121–129. doi 10.15802/stp2017/104546

5. Oleksij Fomin, Alyona Lovska, Vadym Dzhenchako, Olexandr Zhylinkov, Anna Fomina, Andrii Lytvynenko. Determining the features of temperature influence on the loadbearing structure of a hopper car with a composite cladding when transporting pellets to metallurgical enterprises // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. Vol. 1/7 (115). P. 32–41. doi: 10.15587/1729-4061.2022.251300
6. Oleksij Fomin, Alyona Lovska, Maryna Khara, Iryna Nikolaienko, Andrii Lytvynenko, Sergiy Sova. Adapting the loadbearing structure of a gondola car for transporting hightemperature cargoes // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. № 2/7 (116). P. 6–13. doi: 10.15587/1729-4061.2022.253770
7. Oleksij Fomin, Alyona Lovska, Andrii Lytvynenko, Sergiy Sova. Determining the features of loading the bearing structure of a multifunctional car under operating modes // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. № 3/7 (117). P. 6–13. doi: 10.15587/1729-4061.2022.258201
8. 4-х осный крытый вагон с уширенными дверями 11-217 // <http://transport.in.ua/informatsiya/inform-zhd-perevozki/vagony-harakteristiki/vagon-mod-11-217/>
9. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 250 с.

### **Lovska A.O. RESEARCH OF THE TEMPERATURE EFFECT ON THE STRENGTH OF THE BEARING STRUCTURE OF A COVERED RAILROAD CAR**

*The article deals with the determination of the temperature effect on the strength of the bearing structure of a universal boxcar model 11-217. The study was carried out by computer modeling using the finite element method, which is implemented in the SolidWorks Simulation software package.*

*When creating a spatial model of the bearing structure of a covered railroad car, elements that rigidly interact with each other were taken into account, i.e., the model does not take into account self-sealing doors.*

*The continuum model of the bearing structure of a boxcar is formed by a tetrahedron. The calculations took into account two schemes of thermal loading of the bearing structure of a covered freight car: the temperature effect on the inner surface, which occurs during the transportation of high-temperature cargo; the external temperature effect on the side walls of a covered freight car, which can occur during defrosting of cargo.*

*The results of the calculations showed that the strength of the bearing structure of a covered railroad car under the first studied loading scheme is ensured at a temperature of 118°C. The maximum equivalent stresses were recorded in the vertical racks and equaled 344.8 MPa. The yield strength of the material was taken into account as permissible stresses, which for 09G2S steel is 345 MPa.*

*In the second loading scheme for the bearing structure of a covered railroad car, the maximum equivalent stresses are within the permissible limits for external temperature exposure of 136.2°C. The numerical values of the maximum equivalent stresses are 344.9 MPa and occur in the corrugations.*

*The research will contribute to improving the efficiency of rail transport by enabling the use of covered railcars for the transportation of a wider range of goods, as well as creating developments in the design of multifunctional railcar structures.*

**Key words:** *transport mechanics, covered railroad car, bearing structure, thermal analysis, stress state.*