

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

РИБІН АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 629.463:629.4.023.1

ДИСЕРТАЦІЯ

**УДОСКОНАЛЕННЯ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ВАНТАЖНИХ
ВАГОНІВ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ НАПОВНЮВАЧІВ В ЇХ
СКЛАДОВИХ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне
джерело

А. В. Рибін

Науковий керівник

ЛОВСЬКА Альона Олександрівна
доктор технічних наук, доцент

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Рибін А В. Удосконалення несучих конструкцій вантажних вагонів шляхом використання наповнювачів в їх складових. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація за здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів (273 – залізничний транспорт). – Український державний університет залізничного транспорту, МОН України, Харків, 2021.

У дисертаційній роботі проведено дослідження динамічної навантаженості та міцності несучих конструкцій основних типів вантажних вагонів з наповнювачами в хребтових балках. Актуальність роботи обумовлена тим, що внаслідок циклічності дії експлуатаційних навантажень має місце пошкодження несучих конструкцій вантажних вагонів та необхідність здійснення позапланових видів ремонту.

У Вступі наведено загальну характеристику дисертаційної роботи, визначено її актуальність, зв'язок із науковими темами, сформульовано мету, а також задачі досліджень, представлено практичну та наукову цінність роботи.

У першому розділі проведено огляд та аналіз досліджень з забезпечення міцності несучих конструкцій вантажних вагонів в експлуатації. Досліджено статистичні дані основних пошкоджень вантажних вагонів АТ “Укрзалізниця”. Встановлено, що найбільша кількість пошкоджень припадає на несучі конструкції вагонів. Найбільш пошкоджуваними складовими несучих конструкцій є рама. Проведено аналіз науково-технічних публікацій з питань визначення навантаженості та удосконалень несучих конструкцій вагонів. Здійснено патентний аналіз щодо удосконалень несучих конструкцій вантажних вагонів.

У другому розділі розглянуто особливості навантаженості несучих конструкцій вагонів в експлуатації. Визначено основні режими та схеми

навантажень несучих конструкцій вагонів. Досліджено найбільш неблагоприємні режими навантажень, які випробовує вагон. Проведено розрахунок на міцність основних типів вантажних вагонів. Визначено, що найбільш навантаженим вузлом несучої конструкції вагонів є рама. Встановлено, що циклічність дії навантажень на неї в умовах експлуатації зумовлює пошкодження вагонів та необхідність здійснення позапланових видів ремонту. Тому виникає необхідність створення заходів щодо забезпечення міцності несучих конструкцій вагонів в експлуатації.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячений дослідженню навантаженості несучих конструкцій вагонів з урахуванням використання наповнювачів в їх складових. Досліджено навантаженість типової несучої конструкції вагона з урахуванням використання наповнювачів в її складових. Розрахунок проведений стосовно напіввагона моделі 12-757 побудови ПАТ “КВБЗ”. Встановлено, що з урахуванням застосування наповнювача в складових типової несучої конструкції вагона, які мають замкнений переріз, максимальні еквівалентні напруження в них зменшуються в інтервалі 12 – 38%.

Проведено розрахунок на втомну міцність рами напіввагона. Результати розрахунку довели, що втомна міцність несучої конструкції напіввагона з наповнювачем в його складових збільшується на 7 % у порівнянні з типовою конструкцією. Разом з цим збільшується тара вагона. Тому раціонально здійснювати використання наповнювача в найбільш навантажених елементах несучої конструкції, а саме – хребтовій балці.

Тому в роботі запропоновано заходи щодо удосконалення хребтової балки вагона для зменшення її навантаженості при експлуатаційних режимах. Пропонується замість типових профілів, які використовуються у рамах вагонів, використання профілю, замкнутого перерізу. Визначено оптимальні параметри товщини стінок хребтової балки за критерієм мінімуму матеріалоемності. Здійснено розрахунок на міцність рами вагона з удосконаленою хребтовою балкою. Результати розрахунку на міцність підтвердили доцільність прийнятих рішень.

Досліджено доцільність удосконалення рами напіввагона шляхом впровадження в якості несучих елементів SIN-балок. Використання SIN-балок в якості основних несучих елементів рами сприяє зменшенню її маси на 6% у порівнянні з рамою вагона-прототипу. Проведено розрахунок на міцність рами напіввагона. Результати розрахунку показали, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції рами не перевищують допустимі. Визначено основні показники динаміки несучої конструкції напіввагона. При цьому оцінка ходу напіввагона є “відмінною”. Однак використання таких балок викликає складність проведення технологічних процесу ремонту та технічного обслуговування вагонів.

Для зменшення динамічної навантаженості рами вагона запропоновано використання наповнювачів в хребтових балках за умови їх виконання замкнутого перерізу. З метою обґрунтування зазначеного рішення проведено математичне моделювання динамічної навантаженості при маневровому співударянні. До уваги прийнято наявність наповнювача з пружними, в’язкими та пружно-в’язкими властивостями. Результати проведеного розрахунку показали, що найбільш оптимальним з точки зору зниження динамічної навантаженості вагона та технологічності є використання наповнювачів з в’язкими або пружно-в’язкими властивостями. При використанні наповнювача з в’язкими властивостями максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію напіввагона складають $36,8 \text{ м/с}^2$. Дана величина прискорення на 4% нижча за ту, що отримана для несучої конструкції без наповнювача.

Проведено комп’ютерне моделювання динамічної навантаженості напіввагона з наповнювачем в несучій конструкції при маневровому співударянні. Встановлено, що максимальні прискорення зосереджені в середній частині рами напіввагона і складають близько 38 м/с^2 . Проведено верифікацію сформованих моделей динамічної навантаженості напіввагона з наповнювачем в несучій конструкції. При цьому гіпотеза про адекватність не відхиляється.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячений обґрунтуванню створення концепту несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами. Така конфігурація бокових стін дозволяє підвищити корисний об'єм кузова на 8% у порівнянні з вагоном-прототипом. Проведено визначення основних показників міцності несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами. Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають при I розрахунковому режимі (удар) та не перевищують допустимі. Розраховано основні показники динаміки несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами. Максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію напіввагона складають близько 0,4g та не перевищують допустимі. Хід руху напіввагона оцінюється як "відмінний". Проектний строк служби несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами складає не менше 32 років.

Для зменшення динамічної навантаженості несучої конструкції концепту напіввагона з випуклими стінами запропоновано впровадження замкненої конструкції хребтової балки з наповнювачем. Результати розрахунків на міцність показали, що максимальні еквівалентна напруження виникають при I розрахунковому режимі (удар) та не перевищують допустимих. Отримана величина максимальних еквівалентних напружень на 7% нижча за ту, що розрахована для конструкції без наповнювача.

Розрахунок економічного ефекту від впровадження наповнювачів в несучі конструкції вантажних вагонів досягається за рахунок скорочення витрат на позапланові види їх ремонтів. Економічний ефект виникає на шостий рік реалізації проекту та складає 2366,496 тис. грн. Економічний ефект наростаючим підсумком в останній рік розрахункового періоду дорівнює 10338,89 тис. грн.

В п'ятому розділі дисертаційної роботи проведено експериментальне дослідження міцності пустотілого стрижня замкненого перерізу, а також з наповнювачем для обґрунтування запропонованих рішень щодо удосконалення несучої конструкції вагона. В якості дослідних зразків використано прямокутні пустотілі стрижня, а також з наповнювачем. При цьому використано методом

електричного тензометрування. Встановлено, що з урахуванням застосування наповнювача в стрижні зменшуються напруження, які виникають в ньому на 5,3% у порівнянні з конструкцією без наповнювача.

При цьому максимальні напруження, які виникають у наповнювачі знаходяться в діапазоні 2,89 – 3,04 МПа. Отримані результати сприятимуть створенню напрацювань щодо визначення оптимальних характеристик наповнювачів складових вагонних конструкцій.

Основні положення та рекомендації дисертаційної роботи передані з метою розгляду та подальшого впровадження у Філію Дарницький вагоноремонтний завод АТ “Укрзалізниця” (м. Київ). Також результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі УкрДУЗТ при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальністю 273 “Залізничний транспорт”, а також для слухачів факультету підвищення кваліфікації кадрів.

Ключові слова: транспортна механіка, залізничний транспорт, рухомий склад залізниць, вагони, несуча конструкція, навантаженість конструкції.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Lovskaya A., Rybin A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. № 3 P. 4 – 8. (видання індексується в базі Scopus).
2. Ловська А. О., Фомін О. В., Рибін А. В. Визначення навантаженості рами напіввагона із замкненою конструкцією хребтової балки. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. 2021. № 2 (21). С. 12 – 19.
3. Панченко С. В., Фомін О. В., Ватуля Г. Л., Ловська А. О., Павлюченков М. В., Рибін А. В. Обґрунтування впровадження SIN-балок в несучу конструкцію напіввагона. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*. 2021. №42. С. 174 – 183. doi: 10.31498/2225-6733.42.2021.240690
4. Ловська А. О., Фомін О. В., Рибін А. В., Лебідь Г. О. Визначення динамічної навантаженості напіввагона з замкненою хребтовою балкою, заповненою наповнювачем. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Том 32 (71). № 4, 2021. С. 255 – 259.
5. Фомін О. В., Ловська А. О., Рибін А. В. Дослідження повздовжньої навантаженості вагона-платформи з наповнювачем в несучій конструкції. *Наукові вісті Далівського університету*. 2021. №21. doi: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-21-17>
6. Ловська А. О., Фомін О. В., Рибін А. В. Дослідження динамічної навантаженості несучої конструкції піввагона з пружно-в'язким наповнювачем у хребтовій балці. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2021. № 3 (93). С. 59 – 66. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2021/242038>

Публікації у виданнях інших держав:

7. Oleksij Fomin, Oleksandr Logvinenko, Oleksiy Burlutsky, Andriy Rybin. Scientific substantiation of thermal leveling for deformations in the car structure. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. No. 7 (4.3). P. 125 – 129. (видання індексується в базі Scopus).
8. Fomin O., Lovska A., Rybin A. Peculiarities of determination of strength of universal open wagon frame with girder beam of short-shaped profiles. *The scientific heritage*. 2021, No. 67. С. 44 – 50.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

9. Ловська А. О., Фомін О. В., Рибін А. В. Визначення доцільності використання наповнювачів в несучій конструкції напіввагона. Матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології засобів транспорту». (Харків – Миргород, 23 – 24 вересня). Харків – Миргород, 2021. С. 77 – 78.
10. Panchenko S., Fomin O., Vatulia G., Ustenko O., Lovska A., Rybin A., Voloshyna L. Determination of loading of a hopper car with an improved design of the spine beam. VIRTUAL INTERNATIONAL CONFERENCE “IN-SERVICE DAMAGE OF MATERIALS, ITS DIAGNOSTICS AND PREDICTION”. (Ternopil, October 11 – 13). Ternopil, 2021. P. 10.
11. Фомін О. В., Ловська А. О., Рибін А. В. Дослідження динамічної навантаженості та міцності рами напіввагона з замкненою конструкцією хребтової балки. *III International Scientific and Practical Conference: SCIENCE, EDUCATION, INNOVATION: TOPICAL ISSUES AND MODERN ASPECTS*. (Tallinn, June 25-26). Tallinn, 2021. P. 255 – 257.
12. Ловська А. О., Фомін О. В., Рибін А. В. Особливості визначення динамічних навантажень, які діють на кузов напіввагона з наповнювачем в хребтовій балці. *IV Международная научно-практическая конференция “THEORY AND PRACTICE OF SCIENCE: KEY ASPECTS”*. (Рим, 19-20 июля). Рим, 2021. P. 396 – 399.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

13. Oleksij Fomin, Alyona Lovska, Andrij Rybin. Substantiation of improvements for the bearing structure of an open car when unloading with grab bucket. III International Scientific and Practical Conference: GLOBAL AND REGIONAL ASPECTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT. (Denmar, May 4-5). Denmar, 2021. P. 545 – 547.
14. Фомін О. В., Ловська А. О., Рибін А. В. Дослідження динамічної навантаженості та міцності несучої конструкції критого вагона з пружно-фрикційною хребтовою балкою. Міжнародна науково-практична конференція «НАУКА, ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ: АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ». (Прага, 12–13 березня). Прага, 2021. С. 220 – 223.
15. Oleksij Fomin, Alyona Lovska, Andrij Rybin. Improving to a passenger car body to ensure reliability of its fastening on a railway ferry. VIII МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ: SCIENTIFIC HORIZON IN THE CONTEXT OF SOCIAL CRISES. (Токуо, 11-12 квітня). Токуо, 2021. P. 595 – 597.
16. Піввагон із гофробалками в несучій конструкції: пат. 149128 України, МПК (2006) B61D 3/00. u202102610; заявл. 18.05.21; опубл. 21.10.21, Бюл. № 42/2021.

ANNOTATION

Rybin A.V. Improved bearing structures of freight cars by means of fillers in their components. – Qualification scientific work – manuscript copyright.

Thesis for a Candidate of Technical Sciences in Specialty 05.22.07 – Rolling Stock of Railways and Train Traction (273 – Railway Transport).– Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The thesis deals with the research into the dynamic loading and the strength of the bearing structures of main types of freight cars with fillers in their center sills. The relevance of research is conditioned by the cyclic character of the operational loads that cause failures in the bearing structures of freight cars, which require out-of-schedule repairs.

The Introduction part presents the general overview of the thesis, the relevance of research, connection to other scientific problems; it also describes the purpose and tasks of the research, and its practical and scientific value.

Part One gives an overlook and analysis of the research into the strength of the bearing structures of freight cars in operation. It is based on the statistical data of main failures in the freight cars owned by Ukrainian Railways (UZ). It was found that most of failures have occurred in the bearing structures of freight cars. And the frame is the most vulnerable component. It also presents the analysis of scientific and technical papers on the determination of loads and improvements in the bearing structures of freight cars; the patent analysis of the improvements is also given.

Part Two describes special aspects of the loading on the bearing structures of freight cars in operation and the main operational modes and loading diagrams.

The most unfavorable loading modes for a freight car were also studied. The strength calculation was made for main types of freight cars. It was found that the most loaded component of the bearing structure is the frame. The cyclic loads on the frame in operation cause damage of cars that requires out-of-schedule repairs. Therefore,

there is a need to develop means to provide the strength of the bearing structures of freight cars in operation.

Part Three deals with the research into the loading on the bearing structures of freight cars with fillers in their components. It was conducted for the standard bearing structure with filler in its components. The calculation was made for a standard 12-757 open car manufactured by Kryukiv Car Building Works. It was found that when filled applied the maximum equivalent stresses in the closed-section components of the bearing structure were 12 – 38% lower.

The fatigue strength calculation for the frame of the open car was also made. The results demonstrated that the fatigue strength of the bearing structure of the open car with filler in its components increased by 7% in comparison with that for the standard structure. The tare weight was also increased. Thus, it is efficient to apply filler in the most loaded components of the bearing structure, in particular, the center sill.

It has been suggested that the loads during the operational modes should be reduced through improvements in the center sill of a freight car. Thus, the standard profiles, used for car frames, should be replaced with closed-section profiles. The research also presents the optimal parameters of the thickness of the center sill sides by the criterion of minimum material capacity. The strength calculation of the car frame with the improved center sill is also presented. And the results of this calculation proved the efficiency of the solutions.

The research also deals with improvements for an open car frame through the use of SIN-beams as the bearing elements. This decreased the mass by 6% in comparison with the mass of the prototype car. The frame of this open car was calculated for the strength. The results obtained demonstrated that the maximum equivalent stresses in the bearing structure of the frame did not exceed the allowable values. The basic dynamic characteristics of the open car were also determined. The movement of this open car was estimated as excellent. However the application of these beams requires complicated technological repairs and maintenance.

The dynamic loading in the frame of an open car can be decreased by means of

fillers in the closed-section center sills. It was substantiated with the mathematical modeling of the dynamic loading during a shunting impact. The calculation was made for elastic, viscous and elastic-viscous fillers. The results of this calculation demonstrated that the application of viscous or elastic-viscous fillers was the most efficient technological solution for decreasing the dynamic loading and improving the performance of the freight car. With viscous filler applied the maximum accelerations on the bearing structure of the open car were 36.8 m/s^2 . This value is 4% lower than that obtained for the bearing structure without filler.

The dynamic loading on the bearing structure of the open car with filler during a shunting impact was also studied with the computer modeling. It was found that the maximum accelerations were concentrated in the middle part of the open car frame; they were about 38 m/s^2 . The models of dynamic loading on the open car with filler in the bearing structure were verified. And the hypothesis on adequacy was not rejected.

Chapter Four presents the substantiation of the concept of the bearing structure of an open car with convex walls. This configuration can improve the useful capacity of the body by 8% in comparison with that for the prototype car. The basic dynamic characteristics of the bearing structure of an open car with convex walls were determined. It was found that the maximum equivalent stresses occurred in the bearing structure of an open car during Design Mode I (impact), and they did not exceed the allowable values. The basic dynamic characteristics of the bearing structure of an open car with convex sidewalls were also calculated. The maximum accelerations were about 0.4g; they did not exceed the allowable values. And the movement was estimated as excellent. The design service life of the bearing structure of an open car with convex sidewalls car was calculated as no less than 32 years.

The dynamic loading on the bearing structure of the open car concept with convex walls can be decreased with the application of closed-section beams with fillers for the center sill. The results of the strength calculation demonstrated that the maximum equivalent stresses occurred in Design Mode I (impact); they did not

exceed the allowable values. The value of maximum equivalent stresses obtained was 7% lower than that obtained for the bearing structure without filler.

The cost-benefit analysis from the application of fillers in the bearing structures of freight cars demonstrated that the efficiency could be improved through lower costs of out-of-schedule repairs. The economic effect can be achieved at the 6th year of the project implementation and it can amount to 2,366,496 hrn. The cumulative economic impact in the final year of the project implementation can be estimated as 10,338,890 hrn.

Part Five presents the experimental research into the strength of an empty closed-section beam and a beam with filler; the results were used for substantiation of the solutions on improvements in the car structure. The tests were conducted for box-section empty beams and beams with filler by means of the method of electrical strain measurement.

It was found that the application of filler in the beam could decrease the stresses by 5.3% in comparison with those occurred in a beam without filler.

The maximum stresses in the filler were in a range of 2.89 – 3.04 MPa. The results obtained can be used by those who are concerned about the determination of the optimal characteristics of fillers for the components of car structures.

The main statements and recommendations presented in the research were submitted to Darnitsky Rail Car Repair Works (UZ, Kiev) for further manufacturing application. The results of the thesis are also used in the Bachelor's and Master's programs for Specialty 273 "Railway Transport" and for students of advanced training courses in Ukrainian State University of Railway Transport.

Keywords: transport mechanics, railway transport, rolling stock of railways, bearing structure, structural loading.

The list of author's publications

Journals where basic scientific results of the thesis has been published

1. Lovskaya A., Rybin A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. № 3 P. 4 – 8. (видання індексується в базі Scopus).
2. Lovska A. O., Fomin O. V., Rybin A. V. Determination of the load of the gondola frame with a closed structure of the spine beam. *Collection of scientific works of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding*. 2021. № 2 (21). P. 12 – 19.
3. Panchenko S. V., Fomin O. V., Vatulia G. L., Lovska A. O., Pavlyuchenkov M. V., Rybin A. V. Rationale for the introduction of SIN-beams in the load-bearing structure of the gondola. *Bulletin of the Azov State Technical University. Series: Technical Sciences*. 2021. №42. P. 174 – 183. doi: 10.31498 / 2225-6733.42.2021.240690
4. Lovska A. A., Fomin O. V., Rybin A. V., Lebid G. O. Determination of the dynamic load of a gondola car with a closed spine beam filled with filler. *Scientific notes of Tavriya National University named after V. I. Vernadsky. Series: Technical Sciences*. Volume 32 (71). № 4, 2021. P. 255 – 259.
5. Fomin O. V., Lovska A. O., Rybin A. V. Investigation of the longitudinal load of the platform car with filler in the load-bearing structure. *Scientific news of Daliv University*. 2021. №21. doi: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-21-17>
6. Lovska A. O., Fomin O.V., Rybin A.V. Investigation of the dynamic load of the load-bearing structure of a gondola car with an elastic-viscous filler in the spine beam. Science and progress of transport. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*. 2021. № 3 (93). P. 59 – 66. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2021/242038>

Publications in other countries

7. Oleksij Fomin, Oleksandr Logvinenko, Oleksiy Burlutsky, Andriy Rybin. Scientific substantiation of thermal leveling for deformations in the car structure. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. No. 7 (4.3). P. 125 – 129. (видання індексується в базі Scopus).
8. Fomin O., Lovska A., Rybin A. Peculiarities of determination of strength of universal open wagon frame with girder beam of short-shaped profiles. *The scientific heritage*. 2021, No. 67. C. 44 – 50.

Proceedings that certify an approvement of thesis materials

9. Lovska A. A., Fomin O.V., Rybin A.V. Determination of the feasibility of using fillers in the load-bearing structure of the gondola. Proceedings of the first international scientific and technical conference "Progressive technologies of vehicles". (Kharkiv – Myrhorod, September 23-24). Kharkiv – Myrhorod, 2021. P. 77 – 78.
10. Panchenko S., Fomin O., Vatulia G., Ustenko O., Lovska A., Rybin A., Voloshyna L. Determination of loading of a hopper car with an improved design of the spine beam. VIRTUAL INTERNATIONAL CONFERENCE "IN-SERVICE DAMAGE OF MATERIALS, ITS DIAGNOSTICS AND PREDICTION". (Ternopil, October 11 – 13). Ternopil, 2021. P. 10.
11. Fomin O. V., Lovska A. A., Rybin A. V. Investigation of dynamic loading and strength of a gondola frame with a closed structure of the spine beam. *III International Scientific and Practical Conference: SCIENCE, EDUCATION, INNOVATION: TOPICAL ISSUES AND MODERN ASPECTS*. (Tallinn, June 25-26). Tallinn, 2021. P. 255 – 257.
12. Lovska A. A., Fomin O. V., Rybin A. V. Features of determining the dynamic loads acting on the body of a gondola car with a filler in the spine. *IV International Scientific and Practical Conference "THEORY AND PRACTICE OF SCIENCE: KEY ASPECTS"*. (Rome, July 19-20). Rome, 2021. P. 396 – 399.

Scientific works that additionally reflect scientific dissertation results

13. Oleksij Fomin, Alyona Lovska, Andrij Rybin. Substantiation of improvements for the bearing structure of an open car when unloading with grab bucket. III International Scientific and Practical Conference: GLOBAL AND REGIONAL ASPECTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT. (Denmar, May 4-5). Denmar, 2021. P. 545 – 547.
14. Fomin O. V., Lovska A. O., Rybin A. V. Investigation of dynamic loading and strength of the load-bearing structure of a covered car with an elastic-friction spine beam. International scientific-practical conference "SCIENCE, TECHNOLOGY AND TECHNOLOGIES: CURRENT ISSUES AND RESEARCH". (Prague, March 12-13). Czech Republic, Prague, 2021. P. 220 – 223.
15. Oleksij Fomin, Alyona Lovska, Andrij Rybin. Improving to a passenger car body to ensure reliability of its fastening on a railway ferry. VIII МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ: SCIENTIFIC HORIZON IN THE CONTEXT OF SOCIAL CRISES. (Tokyo, 11-12 квітня). Tokyo, 2021. P. 595 – 597.
16. Gondola car with corrugated beams in the load-bearing structure: US Pat. 149128 Ukraine, IPC (2006) B61D 3/00. u202102610; declared 18.05.21; publ. 21.10.21, Bull. № 42/2021.

ЗМІСТ

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ	19
Вступ	20
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ З ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЦНОСТІ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ВАГОНІВ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ	26
1.1 Дослідження статистичних даних пошкоджень несучих конструкцій вагонів в експлуатації	26
1.2 Аналіз науково-технічних публікацій з питань визначення навантаженості та удосконалень несучих конструкцій вагонів	31
1.3 Патентний аналіз щодо удосконалення несучих конструкцій вагонів	39
1.4 Висновки до розділу 1	48
РОЗДІЛ 2 ОСОБЛИВОСТІ НАВАНТАЖЕНОСТІ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ВАГОНІВ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ	50
2.1 Визначення основних режимів та схем навантажень несучих конструкцій вагонів в експлуатації	50
2.2 Визначення навантаженості несучої конструкції вагона при основних експлуатаційних режимах	54
2.3 Висновки до розділу 2	64
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ВАГОНІВ З УРАХУВАННЯМ ВИКОРИСТАННЯ НАПОВНЮВАЧІВ В ЇХ СКЛАДОВИХ	66
3.1 Дослідження доцільності використання наповнювачів в складових несучої конструкції вагона	66
3.2 Удосконалення хребтової балки вагона для зменшення її навантаженості при експлуатаційних режимах	80
3.3 Обґрунтування впровадження SIN-балок в несучу конструкцію вагона	91
3.4 Визначення динамічної навантаженості напіввагона з замкненою хребтовою балкою, заповненою наповнювачем	95
3.5 Висновки до розділу 3	113

РОЗДІЛ 4 ОБГРУНТУВАННЯ СТВОРЕННЯ КОНЦЕПТУ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ НАПІВВАГОНА З ВИПУКЛИМИ СТІНАМИ	117
4.1 Особливості концепту несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами	117
4.2 Визначення основних показників динаміки несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами	122
4.3 Визначення навантаженості несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами з наповнювачем в хребтовій балці	127
4.4 Розрахунок економічної ефективності впровадження запропонованих заходів	130
4.5 Висновки до розділу 4	139
5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПУСТОТІЛИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАМКНЕНОГО ПЕРЕРІЗУ, А ТАКОЖ З НАПОВНЮВАЧЕМ	141
5.1 Експериментальне дослідження напружено-деформованого стану пустотілих елементів замкненого перерізу	141
5.2 Експериментальне дослідження напружено-деформованого стану пустотілих елементів замкненого перерізу з наповнювачем	150
5.3 Висновки до розділу 5	164
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	166
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	170
Додаток А Акти про впровадження результатів дисертації	185
Додаток Б Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	190
Додаток В Результати розрахунку на міцність стрижнів замкненого перерізу	193

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Втомна міцність (опір втомі) – властивість матеріалу не руйнуватися з часом під дією робочих навантажень.

Динамічна навантаженість – процес, що характеризується швидкою зміною в часі значень, напрямків або точок (зон) прикладання динамічних навантажень і виникнення в елементах конструкції динамічних сил.

Інноваційна конструкція вагона – несуча конструкція вагона, яка дозволяє при серійному впровадженні досягти значного економічного ефекту та підвищену ефективність експлуатації рухомого складу.

Концепт — інноваційна ідея, що містить в собі творчий сенс.

Міцність – властивість матеріалу чинити опір руйнуванню під дією напружень, що виникають під впливом зовнішніх сил.

Модуль вагона – конструктивно закінчена складова вагону, призначена для реалізації цільових і/або забезпечуючих функцій.

Напружений стан – сукупність нормальних та дотичних напружень, що виникають на різних майданчиках, які проходять через дану точку.

Несуча конструкція вагону – сукупність конструкційних елементів, що сприймають основні навантаження в експлуатації.

Пошкодження вагона – подія, що полягає в порушенні справного стану вагону при збереженні працездатного стану.

Проектний строк служби вагона – це період, протягом якого вагон за належного утримання може виконувати передбачені проектом функції, а рівень безпеки при цьому не знижується нижче показників, встановлених правилами експлуатації.

Строк служби вагона – календарна тривалість експлуатації вагона від початку експлуатації або її відновлення після ремонту, або модернізації до переходу до граничного стану.

ВСТУП

Актуальність теми. Забезпечення конкурентоспроможності залізничної галузі зумовлює необхідність створення та впровадження в експлуатацію сучасних конструкцій рухомого складу. При створенні такого рухомого складу важливим є урахування технічних рішень, які сприятимуть покращенню його техніко-економічних, експлуатаційних, а також екологічних показників.

Аналіз статистичних даних пошкоджень вантажних вагонів АТ “Укрзалізниця” за останні роки свідчить, що значна кількість пошкоджень, близько 68%, припадає на їх несучі конструкції. Найбільш навантаженим вузлом несучих конструкцій вантажних вагонів є рама. Основне повздовжнє навантаження, яке діє на раму при експлуатаційних режимах сприймає хребтова балка. Внаслідок циклічності дії повздовжніх навантажень на хребтову балку можуть мати місце поява тріщин, деформацій та інших її пошкоджень. Така обставина викликає необхідність здійснення позапланових видів ремонту вагонів, додаткових витрат на їх утримання в експлуатації або взагалі виключення з інвентарного парку. Крім того, дані пошкодження можуть впливати на екологічність та безпеку перевезень вантажів залізничним транспортом. Тому актуальним постає питання удосконалення несучих конструкцій вантажних вагонів для забезпечення міцності при найбільш несприятливих експлуатаційних режимах навантаження.

Зважаючи на згадане, дисертаційна робота присвячена питанням удосконалення несучих конструкцій вантажних вагонів шляхом використання наповнювачів в їх складових. Це дозволить знизити матеріалоємність вагонів, покращити показники міцності при експлуатаційних режимах навантаження, збільшити термін служби та зменшити витрати на їх утримання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з Національною транспортною стратегією України на період до 2030 року (від 30 травня 2018 р. № 430-р),

Стратегічними пріоритетними напрямками інноваційної діяльності на 2011-2021 роки.

Дослідження за темою дисертаційної роботи проводились дисертантом при виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт: «Фундаментальні основи створення адекватно-спрямованого напружено-деформованого стану мультифункціональних модулів вагоноконструкцій з можливостями перспективного широкого машинобудівного застосування» (№ДР 0119U100437) та «Розроблення науково-технічних рішень проблеми забезпечення високошвидкісного руху поїздів комбінованого транспорту на залізницях України» (№ДР 0120U102133) у яких автор був виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення несучих конструкцій вантажних вагонів шляхом використання наповнювачів в їх складових.

Для досягнення поставленої мети вирішені такі наукові завдання:

- проаналізувати наукові дослідження з удосконалення несучих конструкцій вантажних вагонів для забезпечення їх міцності в експлуатації;
- дослідити особливості навантаженості несучих конструкцій вагонів в експлуатації;
- дослідити навантаженість типової несучої конструкції вагона з урахуванням використання наповнювачів в складових, що мають замкнений переріз;
- запропонувати заходи щодо удосконалення хребтової балки вагона для зменшення її навантаженості при експлуатаційних режимах;
- сформувати математичну модель для визначення динамічної навантаженості вагона з замкненою хребтовою балкою, заповненою наповнювачем;
- провести теоретичне обґрунтування створення концепту несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами;

- провести експериментальне дослідження міцності пустотілої балки замкнутого перерізу, а також з наповнювачем для обґрунтування запропонованих рішень щодо удосконалення несучої конструкції вагона;

- провести техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень щодо удосконалення несучих конструкцій вантажних вагонів.

Об'єкт дослідження – процеси виникнення, сприйняття та перерозподілу навантажень в несучих конструкціях вантажних вагонів з наповнювачами в їх складових.

Предмет дослідження – закономірності функціонування несучих конструкцій вантажних вагонів з наповнювачами в їх складових.

Методи дослідження. При виконанні дисертаційної роботи здобувачем використовувалися такі теорії та методи досліджень: сучасні методи математичної статистики при визначенні основних пошкоджень несучих конструкцій вагонів при експлуатаційних режимах; метод Лагранжа II роду при дослідженні динамічної навантаженості несучих конструкцій вантажних вагонів; метод скінчених елементів при визначенні основних показників міцності та комп'ютерному моделюванні динамічної навантаженості несучих конструкцій вантажних вагонів при експлуатаційних режимах; метод Фішера для верифікації сформованих моделей динамічної навантаженості; метод математичного планування експерименту при визначенні оптимальних параметрів товщини стінок хребтових балок вантажних вагонів; сучасні методи експериментальних досліджень при визначенні навантаженості пустотілих балок замкнутого перерізу, а також з наповнювачем; метод визначення проектного строку служби для визначення проектного строку служби удосконалених несучих конструкцій вагонів.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше:

- проведено формалізацію задачі оптимізаційного проектування за критерієм мінімальної матеріалоемності товщини стінки хребтової балки вагона замкнутого перерізу;

- отримано залежності динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів з пружним, в'язким та пружно-в'язким наповнювачами в хребтовій балці замкненого перерізу при найбільш несприятливих експлуатаційних режимах навантажень, зокрема маневрових співударяннях.

Дістали подальший розвиток:

- доопрацьовано математичну модель динамічної навантаженості несучої конструкції вагона при дії повздовжньої сили на нього з урахуванням застосування наповнювачів з пружними, в'язкими та пружно-в'язкими характеристиками в хребтовій балці. Модель дозволяє отримати динамічне навантаження, яке діє на несучу конструкцію вагона при маневровому співударянні;

Удосконалено:

- метод проектування несучих конструкцій вагонів, зокрема, обґрунтовано доцільність створення напіввагонів з випуклими стінами та використання наповнювачів в хребтових балках основних типів вантажних вагонів замкненого перерізу.

Практичне значення отриманих результатів.

- сформовані скінчено-елементні моделі вантажних вагонів з хребтовими балками замкненого перерізу, заповнених наповнювачами, які дозволяють визначити їх динамічну навантаженість, а також міцність при експлуатаційних режимах та можуть бути використані при проведенні відповідних науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт;

- удосконалено та запатентовано напіввагон із гофробалками в несучій конструкції – патент України 149128;

- запропоновані доповнення нормативного документу ДСТУ 7598-2014 “Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)”, шляхом впровадження в нього особливостей розрахунків несучих конструкцій вантажних вагонів з наповнювачами в хребтових балках;

- основні положення та рекомендації дисертаційної роботи передані з метою розгляду та подальшого впровадження у Філію Дарницький вагоноремонтний завод АТ “Укрзалізниця” (м. Київ). Також результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі УкрДУЗТ при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальністю 273 “Залізничний транспорт”, а також для слухачів факультету підвищення кваліфікації кадрів.

Особистий внесок здобувача. Усі результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримані особисто здобувачем або за його безпосередньої участі. У роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить:

- аналіз особливостей навантаженості несучих конструкцій вагонів при експлуатаційних режимах – [1, 13 – 15];

- створення скінчено-елементних моделей несучих конструкцій вантажних вагонів та проведення розрахунку на міцність при основних експлуатаційних режимах – [2 – 6, 8, 10, 13];

- аналіз заходів щодо удосконалення процесу ремонту складових вантажних вагонів – [7];

- створення закономірностей динамічної навантаженості несучих конструкцій вантажних вагонів з наповнювачем в хребтовій балці – [9, 11, 12];

- пошук аналогів вагонів та формування заявки на корисну модель [16].

Апробація результатів дисертації. Основні матеріали результатів дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали схвалення на 7 наукових конференціях:

- Першій міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивні технології засобів транспорту», Український державний університет залізничного транспорту, УкрДУЗТ, 2021. (Україна, м. Харків – Миргород);

- VIRTUAL INTERNATIONAL CONFERENCE “IN-SERVICE DAMAGE OF MATERIALS, ITS DIAGNOSTICS AND PREDICTION””, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. (Україна, м. Тернопіль);

- III International Scientific and Practical Conference:
SCIENCE, EDUCATION, INNOVATION: TOPICAL ISSUES AND
MODERN ASPECTS,
2021 (Естонія, м. Талін);
- IV Международная научно-практическая конференция “THEORY
AND PRACTICE OF SCIENCE: KEY ASPECTS”, 2021 (Італія, м. Рим);
- III International Scientific and Practical Conference: GLOBAL AND
REGIONAL ASPECTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2021
(Dania,
Denmark);
- Міжнародній науково-практичній конференції «НАУКА, ТЕХНІКА І
ТЕХНОЛОГІЇ: АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ», 2021
(Чеська
Республіка, Прага);
- III МІЖНАРОДНІЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНІЙ
КОНФЕРЕНЦІЇ: SCIENTIFIC HORIZON IN THE CONTEXT OF
SOCIAL CRISES, 2021 (Japan, Tokyo).

В повному обсязі результати дисертаційної роботи доповідались та були схвалені на розширеному семінарі кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту за участю членів спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04.

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи і результати досліджень опубліковані в 16 наукових працях, в тому числі: 6 статтях в наукових фахових виданнях України; 2 наукових статтях, що індексуються наукомеричною базою даних SCOPUS, зокрема, 1 з яких опублікована в виданні іншої держави; 4 працях апробаційного характеру та 4 додаткових працях, серед них 1 патент на корисну модель України.

Структура і обсяг роботи. Дисертація має вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел зі 135 найменувань та 3 додатки. Повний обсяг дисертації складає 194 сторінки, в тому числі 118 сторінок основного тексту, 40 таблиць, 102 рисунки, 10 сторінок додатків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 8-вісний піввагон: пат. 146775 Україна: МПК В61D 3/00. № u202006036; заявл. 21.09.2020; опубл. 17.03.2021, бюл. №11.
2. Алямовский А.А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Инженерный анализ методом конечных элементов. Москва: ДМК, 2007. 784 с.
3. Балака Є. І., Зоріна О. І., Колесникова Н. М., Писаревський І. М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті: Навчальний посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 210 с.
4. Богомаз Г. И., Мехов Д. Д., Пилипченко О. П., Черномашенцева Ю. Г. Нагруженность контейнеров-цистерн, расположенных на железнодорожной платформе, при ударах в автосцепку. *Збірник наукових праць “Динаміка та керування рухом механічних систем”*. 1992. С. 87 – 95.
5. Бороненко Ю. П., Белгородцева Т. М., Васильев С. Г., Смирнов Н. В. Инновационное решение – 120-футовая платформа сочлененного типа для перевозки трех 40-футовых крупнотоннажных контейнеров. *Транспорт Российской Федерации*. 2009. № 5 (24). С. 56–59.
6. Бороненко Ю. П., Белгородцева Т. М. , Кукушина Н. А. Выбор конструктивных решений сочлененных грузовых вагонов для колеи 1520 мм. *Транспорт Российской Федерации*. 2013. № 3 (46). С. 3–9.
7. Булычев М. А. Методика оптимизации несущей системы кузова вагона с учетом ограничений по прочности и сопротивлению усталости: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. Брянск, 1999. 24 с.
8. Вагоны / Шадура Л. А. и др.; под ред. Л. А. Шадура. Москва: Транспорт, 1980. 139 с.
9. Вагон-платформа: пат. 2473437 Російська Федерація: МПК В61D3/08, В61F1/02. Заявл. 07.05.2008; опубл. 27.01.2013.
10. Вагон-платформа для перевезення контейнерів: пат. 134913 Україна: МПК В61D 3/08 (2006.01), В61D 3/20 (2006.01). № u201813016; заявл.

28.12.2018; опубл. 10.06.2019, бюл. №11.

11. Вагон-хопер для мінеральних добрив з пружними елементами в несучій конструкції: пат. 148121 Україна: МПК В61D 7/00. № u202100204; заявл. 20.01.2021; опубл. 07.07.2021, бюл. №27.

12. Вагон-цистерна: пат. 118481 Україна: МПК В61D 17/04 (2006.01), В61D 17/08 (2006.01), В61D 17/10 (2006.01), В61D 17/12 (2006.01), В61F 1/00. № a201700044; заявл. 03.01.2017; опубл. 25.01.2019, бюл. №15.

13. Візник Р.І. Визначення характеристик міцності кузова піввагона при вивантаженні сипучих вантажів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. Харків, 2003. 20 с.

14. Візник Р. І., Чепурченко І. В., Яценко А. О. Особливості визначення експлуатаційних навантажень кузова напіввагона та шляхи удосконалення його конструкції з метою забезпечення міцності і збереження. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. 2016. Вип. 159. С. 91 – 97.

15. Городецкий А. С. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений. Москва: Транспорт, 1981. 143 с.

16. ГОСТ 33788-2016. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества. [25.05.2016]. Москва: Стандартинформ, 2016. 40 с.

17. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. [22.12.2014]. Москва: Стандартинформ, 2016. 54 с.

18. ГОСТ 20259-80. Контейнеры универсальные. Общие технические условия. [07.2002]. Москва: ИПК стандартов, 2002. 17 с.

19. Довгобазний вагон-платформа з пружними елементами в несучій конструкції: пат. 146847 Україна: МПК В61D 3/00. № u202007247; заявл. 13.11.2020; опубл. 24.03.2021, бюл. №12.

20. Донченко А. В., Федосов-Ніконов Д. В. Методика розрахунково-експериментальних досліджень конструкції довгобазної платформи. Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія : Транспортні системи і технології. 2016. Вип. 28. С. 53–60.

21. Дьомін, Р. Ю. Розвиток методів і засобів досліджень з забезпечення технічної експлуатації залізничного рухомого складу: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.22.07. Сєвєродонецьк, 2018. 40 с.
22. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). [01.07.2015]. Київ, 2015. 162 с.
23. Дьомін Ю. В., Черняк Г. Ю. Основи динаміки вагонів: навч. посіб. Київ: КУЕТТ, 2003. 269 с.
24. Дьяконов В. MATHCAD 8/2000: специальный справочник. СПб.: Питер, 2000. 592 с.
25. Ермоленко И. Ю., Железняк В. Н. Исследование динамики подвижного состава с использованием экспериментального вагона-лаборатории при движении по сложным участкам дороги ВСЖД. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 4 (52). С. 199–203.
26. Забродин В. П., Серегин А. А., Суханова М. В., Портаков А. Б. Экспериментальные методы определения напряжений и деформаций: учебное пособие. зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2017. 104 с.
27. Залізничний піввагон: пат. 89330 Україна: МПК В61D 3/08 (2006.01), В61D 3/04 (2006.01), В61F 1/00, В61D 17/00, Е06С 5/00 . № а200813255; заявл. 17.11.2008; опубл. 11.01.2010, бюл. №1.
28. Залізничний піввагон універсальний: пат. 99052 Україна: МПК В61D 3/00, В61D 17/04 (2006.01), В61F 1/00. № а201104152; заявл. 06.04.2011; опубл. 10.07.2012, бюл. №13.
29. Залізничний вагон-платформа: пат. 112239 Україна: МПК В61D 3/00, В61F 1/02 (2006.01), В61F 1/00, В61F 1/08 (2006.01). № а201501317; заявл. 17.02.2015; опубл. 10.08.2016, бюл. №15.
30. Залізничний вагон-хопер відкритого типу: пат. 118389 Україна: МПК В61D 7/00, В61F 1/10 (2006.01), В61F 1/02 (2006.01). № а201701810; заявл. 27.02.2017; опубл. 10.08.2017, бюл. №15.

31. Ивченко Г. И., Медведев Ю. И. Математическая статистика. Москва: Книжный дом “Либроком”, 2014. 352 с.
32. Инновационный подвижной состав производства «Уралвагонзавода» для железных дорог «пространства 1520 мм. Транспорт Российской Федерации. 2010. №3(28). С. 20–21
33. Кебал Ю. В., Шатов В. А., Тьокотев О. М., Мурашова Н. Г. (2017). Удосконалення конструкції вагона-хопера для перевезення зерна. Збірник наукових праць ДЕГУТ. Серія «Транспортні системи і технології». Вип. 30. С. 113 – 122.
34. Кельріх М. Б., Федосов-Ніконов Д. В. Дослідження на міцність конструкції довгобазної платформи. Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля. 2016. № 1 (225). С. 90–94.
35. Кирьянов Д. В. Mathcad 13. СПб.: БХВ. Петербург, 2006. 608 с.
36. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Москва: Физматлит, 2006. 816 с.
37. Конструирование и расчет вагонов / Лукин В. В и др.; под. ред. В. В. Лукина. Москва: УМК МПС России, 2000. 731 с.
38. Контейнер-цистерна: пат. 119563 Україна: МПК В65D 88/12 (2006.01), В65D 90/20 (2006.01), В61D 3/00, В61D 5/00. № а201700025; заявл. 03.01.2017; опубл. 10.07.2019, бюл. №13.
39. Космин В.В. Основы научных исследований. Москва: ГОУ “Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте”, 2007. 271 с.
40. Критий вагон-хопер для перевезення цементу: пат. 146774 Україна: МПК В61D 3/00, В61D 3/18 (2006.01). № u202006035; заявл. 21.09.2020; опубл. 17.03.2021, бюл. №11.
41. Кудрявцев И. А. Применение метода конечных элементов для расчета конструкций на транспорте. Гомель, 1985. 67 с.

42. Кулагин Н. Н. Нормирование труда на железнодорожном транспорте: Учебник для техникумов ж.-д. трансп. Москва: Транспорт, 1985. 320 с.

43. Литвинов В. П. Моделирование нагруженности при ударах в автосцепку кузовов вагонов как двумерных механических систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22. Днепропетровск, 1984. 20 с.

44. Ловська А. О., Фомін О. В., Рибін А. В. Визначення доцільності використання наповнювачів в несучій конструкції напіввагона. Матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології засобів транспорту». (Харків – Миргород, 23 – 24 вересня). Харків – Миргород, 2021. С. 77 – 78.

45. Ловська А. О., Фомін О. В., Рибін А. В. Визначення навантаженості рами напіввагона із замкненою конструкцією хребтової балки. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. 2021. № 2 (21). С. 12 – 19.

46. Ловська А. О., Фомін О. В., Рибін А. В. Дослідження динамічної навантаженості несучої конструкції піввагона з пружно-в'язким наповнювачем у хребтовій балці. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2021. № 3 (93). С. 59 – 66. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2021/242038>.

47. Ловська А. О., Фомін О. В., Рибін А. В., Лебідь Г. О. Визначення динамічної навантаженості напіввагона з замкненою хребтовою балкою, заповненою наповнювачем. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 32 (71). № 4, 2021. С. 255 – 259.

48. Ловська А. О., Фомін О. В., Рибін А. В. Особливості визначення динамічних навантажень, які діють на кузов напіввагона з наповнювачем в хребтовій балці. IV Международная научно-практическая конференция “THEORY AND PRACTICE OF SCIENCE: KEY ASPECTS”. (Рим, 19-20 июля). Рим, 2021. Р. 396 – 399.

49. Макаров Р. А. Тензометрия в машиностроении. Москва: Машиностроение, 1975. 288 с.
50. Масленников А.М. Расчет строительных конструкций методом конечных элементов. Ленинград: ЛИСИ, 1977. 71 с.
51. Методика выполнения измерений статических и динамических деформаций при испытаниях изделий машиностроения. Мариуполь, 1998 г.
52. Мехеда В. А. Тензометрический метод измерения деформаций: учебное пособие. Самара: Издательство Самарского государственного аэрокосмического университета, 2011. 56 с.
53. Недужа Л. О., Швець А. О. Теоретичні та експериментальні дослідження міцнісних якостей хребтової балки вантажного вагона. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2018. № 1 (73). С. 131 – 147.
54. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). Москва: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. 319 с.
55. Панченко С. В., Фомін О. В., Ватуля Г. Л., Ловська А. О., Павлюченков М. В., Рибін А. В. Обґрунтування впровадження SIN-балок в несучу конструкцію напіввагона. Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки. 2021. №42. С. 174 – 183. doi: 10.31498/2225-6733.42.2021.240690.
56. Пановко Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. Изд. 3-е, доп. и переработ. Ленинград: Машиностроение, 1976. 320 с.
57. Піввагон: пат. 111112 Україна: МПК В61D 3/00, В61F 1/02 (2006.01), В61D 17/04 (2006.01), В61D 17/06 (2006.01), В61D 17/08 (2006.01). № а201409649; заявл. 03.09.2014; опубл. 25.03.2016, бюл. №6.
58. Піввагон глуходонний: пат. 111317 Україна: МПК В61D 3/00, В61D 3/16 (2006.01), В61D 17/00, В61D 17/08 (2006.01), В61F 1/02 (2006.01), В61F 1/08 (2006.01), В61F 1/00. № а201509004; заявл. 18.09.2015; опубл. 10.11.2016, бюл. №21.
59. Піввагон глуходонний: пат. 130258 Україна: МПК В61D 3/00. №

u201807212; заявл. 26.06.2018; опубл. 26.11.2018, бюл. №22.

60. Піввагон з глухим кузовом: пат. 122775 Україна: МПК B61D 3/00, B61F 1/02 (2006.01), B61F 1/08 (2006.01), B61D 17/04 (2006.01), B61D 17/06 (2006.01), B61D 17/08 (2006.01). № а201702702; заявл. 23.03.2017; опубл. 06.01.2021, бюл. №1.

61. Піввагон зі складовими типу "сендвіч": пат. 145833 Україна: МПК B61D 3/00. № u202004427; заявл. 16.07.2020; опубл. 06.01.2021, бюл. №1.

62. Піввагон із алюмінієвих сплавів: 2345918 Російська Федерація: МПК B61D17/00, B61F1/00, B61D3/00. Заявл. 06.07.2007; опубл. 10.02.2009.

63. Піввагон із гофробалками в несучій конструкції: пат. 149128 Україна: МПК B61D 3/00. № u202102610; заявл. 18.05.2021; опубл. 20.10.2021, бюл. №42.

64. Проектирование подъемных барабанов в SolidWorks Simulation / К. Заболотный, А. Жупиев, Е. Панченко, И. Протыняк, С. Калюжный, Ю. Овчинников. *САМ-СИСТЕМЫ*. 2010. № 1. С. 16 – 21.

65. РД 24.050.37-95. “Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества”, ГосНИИВ, 1995 г.

66. Рама вагона: пат. 2116920 Російська Федерація: МПК B61F1/02. Заявл. 05.06.1996; опубл. 10.08.1998.

67. Рама вагона-цистерни: пат. 2081017 Російська Федерація: МПК B61F1/02. Заявл. 21.10.1994; опубл. 10.06.1997.

68. Рама кузова вантажного вагона: пат. 127720 Україна: МПК B61F 1/02 (2006.01), B61F 1/10 (2006.01). № u201709742; заявл. 06.10.2017; опубл. 27.08.2018, бюл. №16.

69. Рама кузова піввагона: пат. 128286 Україна: МПК B61F 1/00. № u201803343; заявл. 30.03.2018; опубл. 10.09.2018, бюл. №17.

70. Рама піввагона з вентиляційним отвором в шворневій балці: пат. 77215 Україна: МПК B61F 1/02 (2006.01). № u201206513; заявл. 29.05.2012; опубл. 11.02.2013, бюл. №3.

71. Рама піввагона: пат. 61133 Україна: МПК (2011.01): B61F 1/00,

B61F 1/02 (2006.01). № u201015014; заявл. 13.12.2010; опубл. 11.07.2011, бюл. №13.

72. Рама суцільнометалевого вантажного вагона: пат. 45354 Російська Федерація: МПК В61F 1/02 (2006.01). № RU187694U1; заявл. 06.12.2018; опубл. 14.03.2019.

73. Рама суцільнометалевого вантажного вагона: пат. 94038 Україна: МПК В61F 1/02 (2006.01). № u201405190; заявл. 16.05.2014; опубл. 27.10.2014, бюл. №20.

74. Рама універсального піввагона з люками в підлозі кузова: пат. 34367 Україна: МПК В61D 17/00. № u200802743; заявл. 03.03.2008; опубл. 11.08.2008, бюл. №15.

75. Руденко В. М. Математична статистика. Київ: Центр учбової літератури, 2012. 304 с.

76. Соколов А. М., Савушкина Ю. В., Новоселов А. Ю., Коротков Д. С. Универсальный профиль для хребтовой балки вагонов. Транспорт Российской Федерации. 2019. №1(80). С. 50 – 55.

77. Спосіб підвищення втомної міцності несучої конструкції довгобазного вагона-платформи: пат. 148108 Україна: МПК В61D 3/00. № u202007248; заявл. 13.11.2020; опубл. 07.07.2021, бюл. №27.

78. Сучасні технології в науці та освіті. Колективна монографія / під. ред. О. Б. Целіщева, Г. О. Татарченко, Г. М. Хорошун. – Сєверодонецьк : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2021. – 320 с. doi: [https://doi.org/10.33216/MonographSNU\(978-617-11-0211-8\)-2021-320](https://doi.org/10.33216/MonographSNU(978-617-11-0211-8)-2021-320).

79. Третьяков А. В., Третьяков О. А., Зимакова М. В., Петров А. А. Экспериментальная оценка спектров ударного отклика подвижного состава. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2017. № 3 (69). С. 147–159.

80. Устич П. А., Карпыч В. А., Овечников М. Н. Надежность рельсового нетягового подвижного состава. Москва: УМЦ МПС России, 1999. 416 с.

81. Федосов-Ніконов Д.В. Покращення міцнісних якостей довгобазних вагонів-платформ шляхом удосконалення їх конструкцій та методів розрахунків: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. Київ, 2018. 23 с.

82. Фомін, О. В. Аналіз доцільності застосування шестигранних порожнистих профілів в якості складових елементів несучих систем напіввагонів / О. В. Фомін // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 6 (54).– С. 146–153.

83. Фомін, О. В. Використання профілю з перерізом у вигляді прямокутної труби в якості елементів каркасів кузовів залізничних напіввагонів / О. В. Фомін, В. В. Фомін // Зб. наук. пр. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2012. – № 3 (174). – С. 244–250.

84. Фомін О. В. Розвиток наукових основ створення та ефективного використання вантажних вагонів: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.22.07. Сєверодонецьк, 2016. 40 с.

85. Фомін О.В. Модернізація елементів стіни бокової універсальних напіввагонів вітчизняного виробництва. Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. 2011. Вип. 26. С. 111–115

86. Фомін О. В., Ловська А. О. Визначення вертикальних прискорень несучої конструкції вагона-платформи з в'язкими зв'язками у повздовжніх балках. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2021, Том 32 (71). № 1, Частина 2, С. 135-140.

87. Фомін О. В., Ловська А. О., Горбань А. В., Скок П. О. Дослідження динамічної навантаженості контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом. Актуальні проблеми інженерної механіки: Тези доповідей VI Міжнародної конференції. (Одеса, 20–24 травня 2019 р.). Одеса: ОДАБА, 2019. С. 198–200.

88. Фомін О. В., Ловська А. О. Дослідження доцільності застосування круглих труб в якості елементів несучих систем залізничних вагонів-платформ.

Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. 2015. №1(218). С. 38–45.

89. Фомін О. В., Ловська А. О., Рибін А. В. Дослідження динамічної навантаженості та міцності несучої конструкції критого вагона з пружно-фрикційною хребтовою балкою. Міжнародна науково-практична конференція «НАУКА, ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ: АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ». (Прага, 12–13 березня). Прага, 2021. С. 220 – 223.

90. Фомін О. В., Ловська А. О., Рибін А. В. Дослідження динамічної навантаженості та міцності рами напіввагона з замкненою конструкцією хребтової балки. III International Scientific and Practical Conference: SCIENCE, EDUCATION, INNOVATION: TOPICAL ISSUES AND MODERN ASPECTS. (Tallinn, June 25-26). Tallinn, 2021. P. 255 – 257.

91. Фомін О. В., Ловська А. О., Рибін А. В. Дослідження повздовжньої навантаженості вагона-платформи з наповнювачем в несучій конструкції. Наукові вісті Далівського університету. 2021. №21. doi: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-21-17>

92. Фомін О. В., Ловська А. О., Чимшир В. І., Букатова О. М., Яренчук Л. Г. Особливості визначення навантаженості несучої конструкції кузова напіввагона зчленованого типу з круглих труб. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: тези доповідей 8-ої Міжнародної науково-технічної конференції. (Харків, 20 –22 листопада 2019 р.). Харків, УкрДУЗТ, 2019. С. 95–96

93. ЦВ-0142. Вагони вантажні залізниць України колії 1520 (1524) мм. Настанова з деповського ремонту. [26.12.2013]. Київ: Девалта, 2014. 159 с.

94. ЦВ-0016. Вантажні вагони залізниць України колії 1520 мм. Правила капітального ремонту. [20.06.2006]. Київ, 2006. 173 с.

95. ЦВ-0019. Інструкція по зварюванню та наплавленню при ремонті вантажних вагонів та контейнерів. Київ, 2007. 229 с.

96. ЦВ-0063. Правила виключення вантажних вагонів з інвентарного парку. [151-ЦЗ 11.05.2005]. Київ, 2005. 38с.

97. ЦВ-0065. Норми витрат матеріалів та запасних частин на ремонт вагонів у вагонних депо залізниць України. Київ, 2010. 113с.
98. Чепурной А. Д., Литвиненко А. В., Шейченко Р. И., Граборов Р. В., Чубань М. А. Ходовые прочностные и динамические испытания вагона-платформы. Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". 2015. Вип. 31 (1140). С. 111–128
99. Шам Тику. Эффективная работа SolidWorks 2005. Официальное руководство. СПб.: Питер, 2006. 720 с.
100. Шевченко В.В., Горбенко А. П. Вагоны промышленного железнодорожного транспорта. Киев: Вища школа, 1980. 224 с.
101. Яблонский А. А., Никифорова А. А. Курс теоретической. Москва: Высшая школа, 1977. 368 с.
102. Antipin D.Ya., Racin D.Yu., Shorokhov S.G. Justification of a Rational Design of the Pivot Center of the Open-top Wagon Frame by means of Computer Simulation. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150. P. 150–154.
103. Bhattacharyya, Rudraprasad. A study on stress analysis of ISO tank container / Rudraprasad Bhattacharyya, Abhishek Hazra. // 58th Congress of The Indian Society of Theoretical and Applied Mechanics. - 2013. P. 1-5.
104. Bulychev Mihail, Antipin Dmitriy. (2019). Improvement of strength calculation procedure of car side upper framing in gondola cars. *Bulletin of Bryansk State Technical University*, 3 (76). 58 – 64.
105. Divya Priya G., Swarnakumari A. Modeling and analysis of twenty tonne heavy duty trolley. *Intern. J. of Innovative Technology and Research*. 2014. Vol. 2. No. 6. P. 1568–1580.
106. EN 12663–2. Railway applications – structural requirements of railway vehicle bodies – Part 2: Freight wagons. [01.07.2010]. Bulgaria: BIS, 2010. 54 с.
107. Haraka S.S. Structural dynamic analysis of freight railway wagon using finite element method / S.S. Haraka, S.C. Sharma, S.P. Harshaa // *Procedia Materials Science*. – 2014. – Vol. 6. –Pp. 1891-1898.

108. Improvement of the open wagon for cargoes which imply loading with a «hat» / A. Reidemeister, L. Muradian, V. Shaposhnyk, O. Shykunov, O. Kyryl'chuk, V. Kalashnyk // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 985, 012034. – Pp. 1-7.
109. Fomin, O. V. Increase of the freight wagons ideality degree and prognostication of their evolution stages / O. V. Fomin // Scientific Bulletin of National Mining University. - 2015. - 3. P. 68-76.
110. Fomin O. Improvements in passenger car body for higher stability of train ferry / O. Fomin, A. Lovska // Engineering Science and Technology an International Journal. – 2020. – Vol. 23. –Iss. 6. – Pp. 1455-1465.
111. Fomin O/ Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. Scientific and technical journal “Metallurgical and Mining Industry”. 2015. №1. P.45-48.
112. Fomin Oleksij, Lovska Alyona. Establishing patterns in determining the dynamics and strength of a covered freight car, which exhausted its resource // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 6. Issue 7 (108). P. 21 – 29. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217162
<http://journals.uran.ua/eejet/article/view/217162>
113. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Gorobchenko Oleksandr, Turpak Serhii, Kyrychenko Iryna, Burlutski Oleksii. Analysis of dynamic loading of improved construction of a tank container under operational load modes. EUREKA: Physics and Engineering. 2019. 2. P. 61–70.
114. Fomin O., Lovska A., Medvediev I., Shatkovska H. Establishing patterns in the dynamic loading on the body of a semi-wagon with an elastic middle part of the girder beam. EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies. – 2020. № 5/7 (107), P. 30 – 37.
115. Fomin O., Lovska A., Rybin A. Peculiarities of determination of strength of universal open wagon frame with girder beam of short-shaped profiles. The scientific heritage. 2021, No. 67. C. 44 – 50.

116. Hecht Markus. Innovative rail freight wagons - A precondition to increase the market-share of rail freight / Markus Hecht // Archives of Transport. – 2015. – Vol. 29 (1). – Pp. 17-26.

117. Kelrykh M., Fomin O. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. Scientific and technical journal “Metallurgical and Mining Industry”. 2014. №6. P.64-67.

118. Kitov Y., Verevicheva M., Vatulia G., Orel Y., Deryzemlia S. Design solutions for structures with optimal internal stress distribution. *MATEC Web of Conferences*. 2017, Vol. 133(1–3) 03001 DOI: 10.1051/mateconf/201713303001

119. Lovska Alyona. A new fastener to ensure the reliability of a passenger coach car body on a railway ferry / Alyona Lovska, Oleksij Fomin // Acta Polytechnica. – 2020. – Vol. 60. – Iss. 6. – Pp. 478-485.

120. Lovskaya A., Rybin A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. № 3 P. 4 – 8. (видання індексується в базі Scopus).

121. Milovanovic V., Dunic V., Rakic D., Zivkovic M. (2013). Identification causes of cracking on the underframe of wagon for containers transportation – Fatigue strength assessment of wagon welded joints. *Engineering Failure Analysis*, 31. 118 – 131.

122. Oleksij Fomin, Oleksandr Logvinenko, Oleksiy Burlutsky, Andriy Rybin. Scientific substantiation of thermal leveling for deformations in the car structure. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. No. 7 (4.3). P. 125 – 129. (видання індексується в базі Scopus).

123. Oleksij Fomin, Alyona Lovska, Andriy Rybin. Substantiation of improvements for the bearing structure of an open car when unloading with grab bucket. III International Scientific and Practical Conference: GLOBAL AND REGIONAL ASPECTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT. (Denmar, May 4-5). Denmar, 2021. P. 545 – 547.

124. Panchenko S., Fomin O., Vatulia G., Ustenko O., Lovska A., Rybin A., Voloshyna L. Determination of loading of a hopper car with an improved design of

the spine beam. VIRTUAL INTERNATIONAL CONFERENCE “IN-SERVICE DAMAGE OF MATERIALS, ITS DIAGNOSTICS AND PREDICTION”. (Ternopil, October 11 – 13). Ternopil, 2021. P. 10.

125. Płaczek M., Wróbel A., Buchacz A. (2016). A concept of technology for freight wagons modernization. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 161. doi:10.1088/1757-899X/161/1/012107.

126. Pavol Šťastniak, Pavol Kurčík, Alfréd Pavlík. Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform. MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 235(2). 00030.

127. Research into a possibility to prolong the time of operation of universal open top wagon bodies that have exhausted their standard resource / Okorokov A., Fomin O., Lovska A., Vernigora R., Zhuravel I., Fomin V. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 3, Issue 7 (93). P. 20–26.

128. Sandu N., Zaharia N. L. Static and dynamic tests performed on a flat wagon. Problemy kolejnictwa. 2014. Zeszyt 163 (2014). P. 67–77.

129. The next generation material for lightweight railway car body structures: Magnesium alloys / Woo Geun Lee, Jung-Seok Kim, Seung-Ju Sun, Jae-Yong Lim // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. – 2016. – Vol. 232. – Iss. 1. – Pp. 25 – 42.

130. Vatulia G., Falendysh A., Orel Y., Pavliuchenkov M. Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages. Procedia Engineering. 2017. Vol. 187. P. 301–307. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.379

131. Wiesław Krason, Tadeusz Niezgoda, Michał Stankiewicz. Innovative Project of Prototype Railway Wagon and Intermodal Transport System. Transportation Research Procedia. 2016. Vol. 14. P. 615–624.

132. Wójcik K., Malachowski J., Baranowski P., Mazurkiewicz L., Damaziak K., Krason W.. Multi-body simulations of railway wagon dynamics. J. of KONES Powertrain and Transport. 2012. Vol. 19. No. 3. P. 499–506.

133. WBN. Wagonbau Niesky GmbH: Developing a flexible platform of freight wagons. Intern. Edition. 2016. №1. P.46.

134. Yoon S. C. et al. Evaluation of Structural Strength in Body Structure of Freight Car. *Key Engineering Materials*. 2010. Vol. 417–418. P.181–184.

135. Yuan Y.Q., Li Q., Ran K. Analysis of C80B Wagons Load-Stress Transfer Relation. *Applied Mechanics and Materials*. 2012. Vol. 148-149. P. 331– 335.