

Міністерство освіти і науки України
Державний університет інфраструктури та технологій

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КОШЕЛЬ ОЛЕКСІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 629.463.67:629.4.018

ДИСЕРТАЦІЯ

**ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ТА ПРОДОВЖЕННЯ
СТРОКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НЕСІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ СПЕЦІАЛЬНОГО
РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

273 – залізничний транспорт

27 – транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

О.О. Кошель

Науковий керівник

Сапронова Світлана Юріївна

доктор технічних наук, професор

Київ – 2023

АНОТАЦІЯ

Кошель О.О. Прогнозування залишкового ресурсу та продовження строку експлуатації несівних конструкцій спеціального рухомого складу залізничного транспорту. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт». – Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, 2023.

Дана дисертаційна робота присвячена прогнозуванню залишкового ресурсу несівних конструкцій та продовженню строку експлуатації спеціального рухомого складу залізничного транспорту і є актуальною для залізничної галузі, зокрема забезпеченню безпечної експлуатації даного типу рухомого складу.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше запропоновано в якості додаткового розрахункового режиму навантаження елементів несівних конструкцій думпкарів (вагонів-самоскидів) в процесі дослідження їх міцності режим, який імітує випадок навантаження конструкції при відмові (заклинюванні) одного з пневматичних приладів розвантажування, враховуючи, що при однократному навантаженні в цьому режимі може мати місце зародження первинних тріщин в найбільш напружених точках.

Удосконалено:

- принцип визначення точок контролю параметрів напруження при експериментальних дослідженнях міцності думпкарів на основі врахування даних про втомні дефекти несівних елементів протягом експлуатації;

- науковий підхід до методів підвищення конструкційної міцності елементів несівних конструкцій думпкарів та хопер-дозаторів – на основі аналізу додаткових концентраторів напружень, що виникають після посиленням небезпечних перетинів.

- формулу для прогнозування граничного терміну експлуатації вагонів, на основі врахування експериментальних даних вимірювання напружень та

напружень отриманих при 3D-моделюванні;

- ефективний коефіцієнт концентрації напружень, що враховує зниження опору втомі шляхом введення коригуючих коефіцієнтів у кожній точці вимірювання в порівнянні із даними отриманими розрахунковим методом у зоні безпосередньої близькості до точки наклеювання тензодатчика.

Дістала подальшого розвитку теорія втомної міцності на основі врахування механізму утворення первинних дефектів елементів несівних конструкцій, які стали причиною зародження втомних тріщин, заснованого на статистичному аналізі наднормативних навантажень конструкції протягом експлуатації.

Практичне значення отриманих результатів:

- запропонований додатковий (аварійний) розрахунковий режим навантаження елементів несівних конструкцій думпкарів в процесі дослідження їх міцності, що імітує випадок навантаження конструкції при відмові (заклинюванні) одного з пневматичних циліндрів розвантажування, при якому можуть зароджуватися первинні тріщини в найбільш напружених точках;

- нове конструкторсько-технічне рішення з удосконалення конструкції думпкарів (вагонів-самоскидів), яке захищене державним патентом України на корисну модель №151144 та може бути використане при проектуванні вагонів нового покоління або модернізації існуючих;

- уточнена формула для прогнозування граничного терміну експлуатації вагонів, заснована на порівнянні експериментальних даних вимірювання напружень та напружень отриманих при 3D-моделюванні;

- на основі результатів проведених розрахунків на міцність запропоновано зміни до Внутрішнього нормативного документу ЦВ-0033 «Керівництво на капітальний ремонт вагонів-самоскидів (думпкарів) моделей 5BC-60, 6BC-60», а саме – п. 10.2 в частині технології усунення дефектів на нижній рамі.

Основні результати дисертаційної роботи впроваджено:

- у філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут

залізничного транспорту» акціонерного товариства «Українська залізниця» при проведенні міцнісних розрахунків та аналізу несправностей вагонів спеціального рухомого складу, написанні програми та методики технічного діагностування думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів з метою продовження строку експлуатації (акт впровадження філії «НДКП»);

- програма та методика технічного діагностування вагонів-самоскидів (думпкарів), міцнісні розрахунки, аналіз несправностей вагонів спеціального рухомого складу в навчальному процесі Державного університету інфраструктури та технологій (ДУІТ) на кафедрі «Вагони та вагонне господарство» в лекційному курсі навчального освітнього компоненту «Надійність та технічне діагностування вантажних вагонів» для підготовки студентів 2-го освітнього ступеня Магістр за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт» (акт впровадження ДУІТ);

- у Департаменті вагонного господарства акціонерного товариства «Українська залізниця» при проектуванні нових думпкарів (вагонів-самоскидів), міцнісні розрахунки нижньої рами вагона, спосіб підвищення конструкційної міцності несівних конструкцій, інженерні рішення при написанні нормативних документів на виконання планових видів ремонту (акт впровадження ЦВ).

Відповідно до теми дисертаційної роботи опубліковано: 4 наукові статті в українських виданнях, які входять до затвердженого МОН України переліку наукових фахових видань, 1 наукова стаття у виданні, що індексується в наукометричній базі даних Scopus, 8 статей та тез доповідей, які додатково відображають результати роботи, 1 патент України на корисну модель та 1 авторське право на твір.

У ВСТУПІ обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, зв'язок з науковими програмами, представлено гіпотезу дослідження, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт та предмет дослідження, вказано методи досліджень, визначено наукову новизну дисертації, практичне значення та наведено данні про впровадження результатів.

Висунуто гіпотезу дослідження: причиною втомних тріщин, виявлених в результаті обстеження елементів несівних конструкцій думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів є первинні дефекти (залишкові деформації, мікротріщини тощо), які виникають при епізодичних навантаженнях з перевищенням допустимих напружень в аварійних чи нестандартних ситуаціях, наприклад, при розвантажувальних операціях при заклинюванні одного з приладів розвантаження (пневматичних циліндрів-розвантажувачів).

У РОЗДІЛІ 1 за темою дисертації проведено розгляд публікацій спрямованих на прогнозування залишкового ресурсу та продовження строку експлуатації вантажних вагонів. Питання пов'язане з визначенням залишкового ресурсу та продовження строку експлуатації спеціального рухомого складу (думпкари та хопер-дозатори), а також відновлення спроможності їх несівних конструкцій залишається на даний час актуальним.

У РОЗДІЛІ 2 проведено аналіз технічного стану спеціального рухомого складу, який знаходиться в експлуатації (думпкари та хопер-дозатори). Встановлено, що відсоток вагонів спеціального рухомого складу у загальному парку вагонів становить приблизно 2,3% від загальної кількості. Вагони спеціального рухомого складу, у яких строк експлуатації перевищив призначений термін служби складають 100% для думпкарів (вагонів-самоскидів) з терміном служби 22 роки та 98% для хопер-дозаторів з терміном служби 25 років. Для порівняння технічних якостей вагонів спеціального рухомого складу з різними термінами експлуатації, проведено аналіз парку даних вагонів. З цією метою впроваджено 3 вікові групи:

- термін служби призначений заводом виготовлення;
- після завершення терміну служби призначеного заводом виготовлення до полуторного терміну служби;
- понад полуторний термін служби.

В зв'язку з тим, що термін служби спеціального рухомого складу вичерпаний, аналізу технічного стану було приділено особливу увагу. Для цього було проведено дослідження несправностей вузлів парку вагонів

спеціального рухомого складу АТ «Укрзалізниця», які знаходяться в експлуатації.

Серед 9 груп несправностей в більшій мірі було розглянуто 5 групу – несправність кузова вагона та 6 групу – несправність рами вагона.

За результатами аналізу несправностей встановлено однотипні дефекти у вигляді тріщин:

- у думпкарах – в хребтовій балці нижньої рами між шворневою балкою та циліндровим кронштейном;
- у хопер-дозаторів – в хребтовій балці в районі ребра жорсткості розвантажувального механізму.

Діючий в АТ «Укрзалізниця» порядок продовження строку експлуатації вантажних вагонів, не визначає критеріїв списання та виключення вантажних вагонів із вагонного парку. За участю автора розроблено зміни до стандарту підприємства, в якому поліпшено цей порядок та запропоновано ознаки та дефекти, за наявності яких здійснюється ця процедура.

У РОЗДІЛІ 3 проведено комплекс робіт з випробувань спеціального рухомого складу залізничного транспорту.

Метою проведення випробувань було визначення залишкового ресурсу та обґрунтування можливості продовження строку експлуатації спеціального рухомого складу (думпкарів та хопер-дозаторів).

Під час підготовки та проведення випробувань було запропоновано розширену схему встановлення тензодатчиків.

Удосконалено принцип визначення точок контролю параметрів напруження при експериментальних дослідженнях на основі врахування даних про втомні дефекти несівних елементів рухомого складу протягом експлуатації.

Уточнено формулу для прогнозування граничного терміну експлуатації вагонів, засновану на врахуванні експериментальних даних вимірювання напружень та напружень отриманих при 3D-моделюванні. Уточнення полягає у введенні коригуючих коефіцієнтів у кожній точці вимірювання на основі даних, отриманих розрахунковим методом у зонах безпосередньої близькості до точок

розміщення тензодатчиків.

На основі комплексу проведених робіт по несівним конструкціям спеціального рухомого складу залізничного транспорту з аналізу несправностей, розрахунків на міцність та технічного діагностування можна зробити висновок, що думпкари та хопер-дозатори мають залишковий ресурс. Обґрунтовано можливість продовження строку експлуатації думпкарів до 55 років включно та хопер-дозаторів до 65 років.

Запропонована періодичність проведення робіт з контролю технічного стану (діагностування) вагонів з метою продовження терміну подальшої експлуатації – один раз на шість років.

У РОЗІДІ 4 проведено дослідження напружено-деформованого стану на основі думпкара моделі 31-638.

Для проведення розрахунків на міцність нижньої рами було використано продукт автоматизованого проектування SolidWorks. На основі розробленої 3-D моделі побудовано скінченно-елементну модель.

Розроблена скінченно-елементна модель складається з 576075 вузлів та 2266538 елементів. Розмір елементів становить 6 мм і 30 мм.

Схему навантаження нижньої рами думпкара 31-638 розроблено згідно ДСТУ 7598:2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)» та ДСТУ 7776:2015 «Вагони-самоскиди (думпкари). Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих думпкарів залізниць колії 1520 мм». Розрахунки виконувалися для найбільш не вигідних можливих поєднань одночасно діючих нормативних сил у відповідності зі встановленими розрахунковими режимами I, II та III.

На основі розрахункових схем проведено статичний міцнісний розрахунок нижньої рами. Встановлено, що сили, які діють на нижню раму думпкара, при II режимі (розвантаження), створюють значні моменти скручування для хребтової балки.

При скручуванні хребтової балки, вектори головних напружень

направлені під кутом 45° відносно повздовжньої осі нижньої рами. Саме через ці напруження з'являються втомні тріщини, які поширюються перпендикулярно до напрямку цих напружень.

Запропоновано додатковий розрахунковий режим навантаження елементів несівних конструкцій думпкарів, який імітує навантаження конструкції при відмові (заклинюванні) одного з пневматичних приладів розвантажування (пневматичних циліндрів).

З метою усунення виникнення втомних тріщин та підвищення конструкційної міцності хребтової балки нижньої рами думпкара удосконалено науковий підхід до методів підвищення конструкційної міцності елементів несівних конструкцій думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів, пов'язаних з посиленням небезпечних перетинів, на основі аналізу небезпеки виникнення додаткових концентраторів напружень.

Розроблено 3 проекти ремонту зон виникнення тріщин. За результатами проведених розрахунків на міцність встановлено максимально ефективний варіант усунення дефекту шляхом заварювання тріщини та посиленням бічної стінки хребтової балки нижньої рами думпкара накладкою 5 мм між шворневою балкою та циліндровим кронштейном.

Ключові слова: спеціальний рухомий склад, залізничний транспорт, хопер-дозатор, думпкар (вагон-самоскид), експлуатація, прогнозування, залишковий ресурс, технічне діагностування, методи діагностування, продовження строку експлуатації, строк служби, експлуатаційні характеристики, несучі конструкції, несправності, системний аналіз, скінченно-елементна модель, 3D-моделювання, математична модель, параметри, розрахункові навантаження, напруження, міцність, опір втомі.

ABSTRACT

Oleksii Koshel. Forecasting the remaining resource and extending the service life of the load-bearing structures of the special rolling stock of railway transport. –

Qualifying scientific work on manuscript rights. Dissertation for the Doctor of Philosophy degree in specialty 273 «Railway transport». – State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, 2023.

The dissertation is devoted to the solution of an actual scientific question regarding the possibility of determining the residual resource and extending the period of operation of the load-bearing structures of the special rolling stock of railway transport (dump cars and hopper-dispensers) for further safe operation during the shortage of freight rolling stock in JSC «Ukrzaliznytsia».

This dissertation work is devoted to the forecasting of the residual resource of load-bearing structures and the extension of the service life of special rolling stock of railway transport and is relevant for the railway industry, in particular, ensuring the safe operation of this type of rolling stock.

Scientific novelty of the obtained results.

For the first time, it was proposed as an additional design mode for loading elements of load-bearing structures of dump cars (self-dumping cars) in the process of studying their strength, a mode that simulates the case of loading a structure in the event of a failure (jamming) of one of the pneumatic unloading devices, given that even with a single load in this mode, to take place the initiation of primary fatigue cracks at the most stressed points.

Improved:

- the principle of determining points of control of stress parameters during experimental studies of the strength of dump wagons based on taking into account data on fatigue defects of load-bearing elements during operation;

- a scientific approach to the methods of increasing the structural strength of the elements of load-bearing structures of dump cars and hopper-dosers – based on the analysis of additional stress concentrators that arise after the strengthening of dangerous intersections.

- a formula for predicting the maximum service life of wagons, based on taking into account experimental data of stress measurements and stresses obtained during 3D modeling;

- the effective coefficient of stress concentration, which takes into account the reduction of fatigue resistance by introducing correction coefficients at each measurement point in comparison with the data obtained by the calculation method in the area in close proximity to the point of gluing the strain gauge.

The theory of fatigue strength was further developed based on the consideration of the mechanism of formation of primary defects in the elements of load-bearing structures, which caused the initiation of fatigue cracks, based on the statistical analysis of excess structural loads of the structure during operation.

Practical significance of the obtained results:

- proposed additional (emergency) calculated mode of loading of load-bearing structures of dump cars during the study of their strength, which simulates the case of structural loading in case of failure (jamming) of one of the pneumatic unloading cylinders, in which case primary fatigue cracks may appear at the most stressed points;

- a new design and technical solution for improving the construction of dump cars (self-dumping cars), which is protected by the state patent of Ukraine for utility model No. 151144 and can be used in the design of new generation wagons or the modernization of existing ones;

- a refined formula for predicting the maximum service life of wagons, based on the combination of experimental stress measurement data and stresses obtained during 3D modeling;

- on the basis of the results of strength calculations, changes are proposed to the Internal regulatory document DW-0033 «Guidelines for overhaul of self-dumping cars (dump cars) models 5BC-60, 6BC-60», namely, clause 10.2 in the part of the technology for eliminating defects on the lower frame.

The main results of the dissertation have been implemented:

- at the branch «Rail Transport Scientific and Engineering Institute» of joint stock company «Ukrainian railways» in carrying out strength calculations and analysis of malfunctions of special rolling stock wagons, writing programs and techniques for technical diagnostics of dump cars (self-dumping cars) and hopper-

dispensers with the aim of extension of the period of operation (act of implementation of the branch «SEI»);

- the program and technique of technical diagnostics of dump cars (self-dumping cars), strength calculations, analysis of malfunctions of wagons of special rolling stock in the educational process of the State University of Infrastructure and Technologies (SUIT) at the department «Wagons and wagon management» in the lecture course of the educational component «Reliability and technical diagnostics of freight cars» for the preparation of students of the 2nd educational degree Master's degree in specialty 273 «Railway transport» (act of implementation of SUIT);

- at the Department of Wagon Management of joint stock company «Ukrainian railways» during the design of new dump cars (dump wagons), strength calculations of the lower frame of the wagon, the method of increasing the structural strength of load-bearing structures, engineering solutions when writing normative documents for the implementation of planned types of repairs (act of implementation of DW).

According to the topic of the dissertation, the following were published: 4 scientific articles in Ukrainian publications, which are included in the list of scientific specialized publications approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine, 1 scientific articles in publications indexed in the scientific-metric databases Scopus, 8 articles and abstracts of reports, which additionally reflect the results of the work, 1 patents of Ukraine for the utility model and 1 copyrights for the work.

The INTRODUCTION substantiates the relevance of the topic of the dissertation, the connection with scientific programs, presents the research hypothesis, formulates the goal and task of the research, defines the object and subject of the research, indicates the research methods, defines the scientific novelty of the dissertation, the practical significance, and provides data on the implementation of the results .

In SECTION 1, on the topic of the dissertation, a review of publications aimed at forecasting the residual resource and extending the service life of freight cars was carried out. The question related to the determination of the residual resource and the extension of the period of operation of special rolling stock (dump cars and hopper-

dispensers), as well as the restoration of the capacity of their load-bearing structures, remains relevant at the moment.

The hypothesis of the research is put forward: the cause of fatigue cracks discovered as a result of the examination of the elements of the load-bearing structures of dump cars (self-dumping cars) and hopper-dispensers are primary defects (residual deformations, microcracks, etc.) that occur during episodic loads with exceeding permissible stresses in emergency or non-standard situations, for example, during unloading operations when one of the unloading devices (pneumatic unloader cylinders) is jammed.

SECTION 2 analyzes the technical condition of the special rolling stock in operation (dump cars and hopper-dispensers). It was established that the percentage of special rolling stock cars in the total fleet of cars is approximately 2.3% of the total number. Special rolling stock wagons in which the service life has exceeded the standard service life are 100.0% for dump cars with a service life of 22 years and 98.0% for hopper-dispensers with a service life of 25 years. In order to compare the technical qualities of special rolling stock wagons with different periods of service, an analysis of the fleet of wagon data was carried out. For this purpose, 3 age groups have been introduced:

- the service life is set by the manufacturing plant;
- after the end of the service life designated by the manufacturing plant up to one and a half years of service;
- more than one and a half years of service.

Due to the fact that the service life of the special rolling stock has been exhausted, special attention was paid to the analysis of the technical condition. For this purpose, a study of malfunctions of units of the wagon fleet of special rolling stock of JSC «Ukrzaliznytsia» that are in operation was carried out.

Among the 9 groups of malfunctions, the 5th group - the malfunction of the wagon body and the 6th group - the malfunction of the wagon frame were considered to a greater extent.

According to the results of the fault analysis, the same type of defects in the

form of cracks were established:

- in dump cars - in the backbone beam of the lower frame between the pivot beam and the cylinder bracket;
- in hopper-dispensers - in the backbone beam in the area of the stiffening rib of the unloading mechanism.

The procedure for extending the term of operation of freight wagons in force at JSC «Ukrzaliznytsia» does not determine the criteria for decommissioning and excluding freight wagons from the wagon fleet. With the participation of the author, amendments to the enterprise standard were developed, in which this procedure was improved and signs and defects were proposed, in the presence of which this procedure is carried out.

IN SECTION 3, a complex of tests on special rolling stock of railway transport was carried out.

The purpose of the tests was to determine the residual resource and justify the possibility of extending the service life of special rolling stock (dump cars and hopper-dispensers).

During the preparation and testing, an extended scheme for installing strain gauges was proposed.

The principle of determining stress parameter control points during experimental studies based on taking into account data on fatigue defects of load-bearing elements of rolling stock during operation has been improved.

The formula for predicting the ultimate service life of wagons, based on taking into account experimental stress measurement data and stresses obtained during 3D modeling, has been clarified. The refinement consists in the introduction of correction coefficients at each measurement point based on the data obtained by the calculation method in the zones in close proximity to the strain gauge placement points.

Based on the complex of works carried out on the load-bearing structures of the special rolling stock of railway transport from the analysis of malfunctions, strength calculations and technical diagnostics, it can be concluded that dump cars and hopper-dispensers have a residual resource. The possibility of extending the

service life of dump cars up to 55 years inclusive and hopper-dispensers up to 65 years is substantiated.

The proposed periodicity of carrying out works to control the technical condition (diagnosis) of wagons in order to extend the term of further operation is once every six years.

IN SECTION 4, a study of the stress-strain state was carried out based on the model 31-638 dump cars.

The SolidWorks automated design product was used to calculate the strength of the lower frame. Based on the developed 3D model, a finite element model was built.

The developed finite element model consists of 576075 nodes and 2266538 elements. The size of the elements is 6 mm and 30 mm.

The loading scheme of the lower frame of Dump car 31-638 was developed according to DSTU 7598:2014 «Freight wagons. General requirements to calculation and designing of the new and modernized 1520 mm gauge wagons (non-self-propelled)» and DSTU 7776:2015 «Self-dumping cars (Dump cars). General requirements for calculations and design of new and modernized dump cars for railway track gauge 1520 mm». Calculations were performed for the most unfavorable possible combinations of simultaneously acting normative forces in accordance with the established calculation regimes I, II and III.

Based on the calculation schemes, the static strength calculation of the lower frame was carried out. It was established that the forces acting on the lower frame of the dump cars in the II mode (overturning) create significant twisting moments for the spinal beam.

When the spinal beam is twisted, the main stress vectors are directed at an angle of 45° relative to the longitudinal axis of the lower frame. It is due to these stresses that fatigue cracks appear, which propagate perpendicular to the direction of these stresses.

An additional calculated mode of loading of the elements of load-bearing structures of dump cars is proposed, which simulates the load of the structure in case

of failure (jamming) of one of the pneumatic unloading devices (pneumatic cylinders).

In order to eliminate the occurrence of fatigue cracks and increase the structural strength of the backbone beam of the lower frame of the dump cars, a scientific approach to the methods of increasing the structural strength of the elements of the load-bearing structures of dump cars (self-dumping cars) and hopper-dispensers related to the strengthening of dangerous intersections has been improved, based on the analysis of the danger of occurrence additional stress concentrators.

The 3 repair projects of areas where cracks appeared have been developed. According to the results of strength calculations, the most effective option for eliminating the defect was established by welding the crack and strengthening the side wall of the backbone beam of the lower frame of the dump wagon with a 5 mm overlay between the pivot beam and the cylinder bracket.

Keywords: special rolling stock, railway transport, hopper-dispenser, dump cars (self-dumping cars), operation, forecasting, residual resource, technical diagnosis, diagnostic method, extension of service life, service life, operational characteristics, load-bearing structures, malfunctions, system analysis, finite element model, 3D modeling, mathematical model, parameters, calculated loads, intension, strength, resistance to fatigue.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації та відповідають п.8 Постанови КМУ від 12 січня 2022 р. №44:

1. Koshel O., Saproнова S., Kara S. Revealing patterns in the stressed-strained state of load-bearing structures in special rolling stock to further improve them. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. № 4 (7 (124)). 30-42. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285894> (стаття у виданні *квартилію Q3* проіндексована в базі даних *Scopus*).

2. Кошель О.О., Сапронова С.Ю., Буліч Д.І., Ткаченко В.П. Визначення залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів) на основі результатів технічного діагностування та типових випробувань. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2020. №35. С. 14-23. URL: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-2> (наукове фахове видання України).

3. Буліч Д.І., Сапронова С.Ю., Ткаченко В.П., Кошель О.О. Дослідження корозійного зносу несучих металевих конструкцій вантажних вагонів під час проведення заходів щодо продовження терміну служби. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2020. №36. С. 43-53. URL: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-36-5> (наукове фахове видання України).

4. Сапронова С.Ю., Кошель О.О., Ткаченко В.П., Буліч Д.І., Радкевич М.М. Аналіз методів продовження терміну служби вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2019. №1(33). С. 118-129. URL: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2019-33-1-11> (наукове фахове видання України).

5. Кошель О.О., Сапронова С.Ю. Дослідження несправностей вагонів спеціального рухомого складу в експлуатації. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. № 4(268). Сєверодонецьк. 2021. С. 72-75. URL: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-72-75> (наукове фахове видання України).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Сапронова С.Ю., Кошель О.О., Стретович В.П., Скакун В.С. Оцінка залишкового ресурсу вантажних вагонів в процесі експлуатації з метою продовження призначеного терміну служби. *Збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» 16-17 листопада 2018 року*. Київ. 2018. С. 192-194.

7. Кошель О.О., Кара С.В., Гриндей О.О. (2022) Міцнісний аналіз нижньої рами думпкара (вагона-самоскида) з метою визначення можливості продовження терміну експлуатації. *Scientific Collection «InterConf»*, (111): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Scientific Community: Interdisciplinary Research» (June 6-8, 2022). Boston, USA; pp. 439-444. URL: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/637>.

8. Кошель О.О. Варіанти відновлення нижньої рами думпкара (вагона-самоскида) з метою подальшої можливості продовження терміну експлуатації. *Scientific Collection «InterConf»*, (113): with the Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference «Theory and Practice of Science: Key Aspects» (June 19-20, 2022) at Rome, Italy; pp. 431-436. URL: <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.06.2022.044>.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

9. Кошель О.О., Титорчук Р.І., Ліщинський О.В. Вдосконалення системи контролю технічного стану несучих конструкцій рухомого складу шляхом

застосування неруйнівних методів контролю. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2018. №1. С. 47-53.

10. Сапронова С.Ю., Буліч Д.І., Радкевич М.М., Кошель О.О. Оцінка працездатності несучих конструкцій вантажних вагонів з вичерпаним нормативним терміном служби. *Збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» 16-17 листопада 2018 року*. Київ. 2018. С. 188-192.

11. Буліч Д.І., Сапронова С.Ю., Кошель О.О., Ткаченко В.П. Оцінка показників надійності несучих конструкцій вантажних вагонів із залишковим ресурсом. *Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» 14-16 листопада 2019 року*. Лиман. 2019. С. 17-19.

12. Sapronova S., Koshel O., Bulich D., Tkachenko V. (2020). Determination of the residual operation time of the load-bearing metal structures of the hopper doser and dumping wagons (dumpers) on the basis of the technical diagnostics and type testing results. *Theses of international scientific and practical conference: Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects (5-10 May 2020, Batumi (Georgia))*. Severodonetsk: "Polygraph-Service". P. 101-105.

13. Кошель О.О. Методи визначення ринкової вартості майна підприємств Укрзалізниці в умовах реформування галузі. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту серія «Економіка і управління»*. Київ. 2012. №21-22 (1). С. 192-199. URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Znpdetut_eiu_2012_21-22\(1\)_26](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Znpdetut_eiu_2012_21-22(1)_26) (наукове фахове видання *України*).

14. Патент України на корисну модель №151144 (51) МПК (2006) B61D 9/08, B61D 17/00 B61D 17/04 (2006.01). Спосіб підвищення конструкційної міцності рами думпкара (вагона-самоскида) після виникнення тріщини. Кошель О. О., Петренко В. О., Кара С. В., (Україна); власник: Кошель О. О., Петренко В. О., Кара С. В.; заявка № и 2021 07626 від 28.12.2021; публ. 08.06.2022, Бюл. № 23. URL:<https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=281809>.

15. Науковий твір. Програма та методика випробувань вагонів, що використовуються в колійному господарстві (думпкар, хопер-дозатор, платформа) з метою визначення залишкового ресурсу. Малишко І.В., Кара С.В., Петренко В.О., Повисший В.М., Прокопенко П.М., Кошель О.О., Коломієць О.П., Бідун О.М. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір від 10 січня 2022 №110890.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	24
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ТА ПРОДОВЖЕННЯ СТРОКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ	32
1.1. Терміни та визначення пов'язані з темою дисертаційної роботи	32
1.2. Огляд та аналіз досліджень з прогнозування залишкового ресурсу та продовження строку експлуатації вагонів спеціального рухомого складу	33
1.3. Висновки до розділу 1	39
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СПЕЦІАЛЬНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	40
2.1. Аналіз парку вагонів спеціального рухомого складу в Україні.....	40
2.2. Дослідження несправностей вагонів спеціального рухомого складу в експлуатації.....	47
2.3. Аналіз існуючого порядку продовження строку експлуатації вантажних вагонів.....	57
2.4. Висновки до розділу 2	64
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ВАГОНІВ СПЕЦІАЛЬНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ.....	66
3.1. Об'єкти та методи випробувань	66
3.2. Проведення контрольних випробувань по скиданню з клинів	74
3.3. Проведення випробувань на співударяння.....	77
3.3.1. Методика випробування на співударяння.....	77
3.3.2. Результати випробування на співударяння при дії обмеженої серії ударних навантажень.....	79
3.4. Визначення граничного строку експлуатації спеціального рухомого складу на основі експериментальних даних	80
3.4.1. Методика визначення граничного строку експлуатації вагонів.....	80
3.4.2. Оцінка показників міцності спеціального рухомого складу	85
3.4.2.1. Оцінка показників міцності думпкара.....	85
3.4.2.2. Оцінка показників міцності хопер-дозатора.....	87
3.4.3. Оцінка показників опору втомі спеціального рухомого складу	88

3.4.3.1. Оцінка опору втомі думпкара.....	88
3.4.3.2. Оцінка опору втомі хопер-дозатора.....	90
3.4.4. Коригування даних випробувань на прикладі думпкарів.....	92
3.4.5. Граничний строк експлуатації спеціального рухомого складу.....	95
3.5. Контрольні ресурсні випробування спеціального рухомого складу	96
3.5.1. Методика випробувань.....	96
3.5.2. Результати випробувань.....	98
3.5.3. Визначення термінів експлуатації спеціального рухомого складу до наступного технічного діагностування.....	99
3.6. Висновки до розділу 3	101
РОЗДІЛ 4. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕСІВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВАГОНІВ СПЕЦІАЛЬНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ	103
4.1. Завдання проведення дослідження з напружено-деформованого стану думпкара (вагона-самоскида).....	103
4.1.1. Дослідний думпкар моделі 31-638	103
4.1.2. 3D-модель нижньої рами думпкара моделі 31-638	104
4.2. Проведення статичних міцнісних розрахунків нижньої рами думпкара у програмному комплексі SolidWorks.....	107
4.2.1. Аналіз класичних теорій міцності.....	107
4.2.2. Скінченно-елементна модель нижньої рами думпкара	113
4.2.3. Механічні характеристики металу нижньої рами думпкара	114
4.2.4. Розрахункові схеми навантаження нижньої рами думпкара.....	114
4.2.5. Статичний розрахунок на міцність	122
4.2.6. Розрахунки втомної міцності.....	128
4.2.7. Розрахункова схема аварійного навантаження.....	129
4.2.8. Статичний розрахунок на міцність за IV режимом.....	130
4.3. Варіанти відновлення та посилення хребтової балки нижньої рами думпкара.....	131
4.3.1. Заварювання тріщини на хребтовій балці нижньої рами думпкара ..	132
4.3.2. Приварювання накладки товщиною 5 мм в зоні виникнення тріщин.....	133

4.3.3. Приварювання ребер жорсткості в зоні виникнення тріщин	135
4.4. Варіант відновлення та посилення хребтової балки хопер-дозатора	136
4.5. Економічний ефект від практичного впровадження результатів роботи на залізницях України.....	137
4.6. Висновки за розділом 4.....	139
ВИСНОВКИ.....	141
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	144
ДОДАТОК А. Акти впровадження результатів дослідження	157
ДОДАТОК Б. Програма випробування вагонів, що використовуються в колійному господарстві (думпкар, хопер-дозатор, платформа) з метою визначення залишкового ресурсу	162
ДОДАТОК В. Програма та методика технічного діагностування (контроль технічного стану та контрольні випробування) вагонів хопер-дозаторів, що вичерпали призначений заводом-виробником термін служби.....	179
ДОДАТОК Г. Форма технічного рішення щодо продовження строку експлуатації вагонів хопер-дозаторів.....	213
ДОДАТОК Д. Форма карти контролю технічного стану НМК вагона хопер-дозатора	215
ДОДАТОК Е. Програма та методика технічного діагностування (контроль технічного стану та контрольні випробування) вагонів-самоскидів (думпкарів), що вичерпали призначений заводом-виробником термін служби.....	216
ДОДАТОК Ж. Форма технічного рішення щодо продовження строку експлуатації вагонів-думпкарів	244
ДОДАТОК К. Форма карти контролю технічного стану НМК думпкара моделі – 31-638	246
ДОДАТОК Л. Форма карти контролю технічного стану НМК думпкара моделі – 31-656	247
ДОДАТОК М. Форма карти контролю технічного стану НМК думпкара моделі – 31-661	248
ДОДАТОК Н. Форма карти контролю технічного стану НМК думпкара (загальна).....	249
ДОДАТОК П. Список опублікованих наукових праць за темою дисертації....	250

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- КТС – Контроль технічного стану
- ТД – Технічне діагностування
- СЕМ – Скінченно-елементна модель
- НДР – Науково-дослідна робота
- ЦВ – Департамент вагонного господарства
- НДКТІ – Філія «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» акціонерного товариства «Українська залізниця»
- ГЮЦ – Філія «Головний інформаційно-обчислювальний центр»
- ВРП – Вагоноремонтне підприємство
- ТУ – Технічні умови
- КРП – Капітальний ремонт з продовженням строку експлуатації
- СТП – Стандарт підприємства

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження.

Аналіз структури парку спеціального рухомого складу свідчить про те, що строк експлуатації переважної більшості вагонів перевищує термін служби, призначений заводом-виробником [1]. Зокрема, частка думпкарів (вагонів-самоскидів), які вичерпали термін служби складає 99%, а таких, що мають полуторний строк експлуатації – 88%. Для хопер-дозаторів ці частки складають відповідно – 82% і 9%.

На території України та інших країн, які використовують колію 1520 мм, вирішено частково відмовитись від заборони експлуатації після завершення призначеного терміну служби тих одиниць рухомого складу, залишковий ресурс яких дозволяє подальшу безаварійну експлуатацію. В цьому напрямку розроблено та впроваджено на державному рівні використання нормативних документів про продовження строку експлуатації вантажних вагонів понад призначений [2].

Спеціальний рухомий склад після тривалої експлуатації вимагає проведення додаткових заходів з контролю технічного стану несівних конструкцій з метою забезпечення подальшої безпечної експлуатації залізницями України [3, 4, 5]. Зважаючи на те, що несівні конструкції вагонів сприймають циклічні навантаження в процесі експлуатації, слід приділяти особливу увагу механізмам виникнення та розвинення втомних дефектів.

Дана дисертаційна робота присвячена прогнозуванню залишкового ресурсу несівних конструкцій та продовженню строку експлуатації спеціального рухомого складу залізничного транспорту і є актуальною для залізничної галузі, зокрема забезпеченню безпечної експлуатації даного типу рухомого складу.

Одним з напрямків діяльності філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця» («НДКТІ») є проведення науково-дослідних робіт (НДР)

щодо визначення залишкового ресурсу несівних конструкцій та продовження строку експлуатації вагонів спеціального рухомого складу. Автор дисертації є співвиконавцем НДР «НДКТІ», що проводяться за цим напрямом.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана відповідно до статті 4 Закону України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», а також відповідно до діючих Державних програм і концепцій: наказ Міністерства інфраструктури України від 30.11.2021 №647 «Порядок проведення комплексу діагностичних, ремонтних та реєстраційних операцій, спрямованих на продовження строку експлуатації вантажних вагонів (крім вантажних вагонів підприємств технологічного залізничного транспорту, що призначені для переміщення вантажів у виробничих цілях в межах території таких підприємств), устанавленого виробником, строків продовження експлуатації таких вагонів»; Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року, яку схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 року № 430-р.; Стратегія акціонерного товариства «Українська залізниця» на 2019-2023 роки, яку погоджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 12 червня 2019 року № 591-р.; Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки, яка затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2008 року № 1259; програма підвищення безпеки руху на залізницях України, яку затверджено наказом Укрзалізниці № 547-Ц від 15.10.2001 р.

Результати та висновки дисертаційної роботи отримані при виконанні досліджень відповідно до Планів науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт АТ «Укрзалізниця» на 2019–2022 рр., в яких автор був керівником або відповідальним виконавцем:

- 1) «Випробування вагонів, що використовуються в колійному господарстві (думпкар, хопер-дозатор, платформа) з метою визначення залишкового ресурсу»;

2) «Дослідження залишкового ресурсу несівних конструкцій вагонів типу ППК-2Б та розробка рекомендацій щодо відновлення хребтових балок вагонів-самоскидів (думпкарів)».

Гіпотеза дослідження.

У дисертації висунуто наступну гіпотезу: причиною втомних тріщин, виявлених в результаті обстеження елементів несівних конструкцій думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів є первинні дефекти (залишкові деформації, мікротріщини тощо), які могли виникнути при епізодичних аварійних навантаженнях з перевищенням допустимих напружень в аварійних чи нестандартних ситуаціях, наприклад, при розвантажувальних операціях (заклинювання одного з приладів розвантаження). Такий механізм виникнення первинних дефектів елементів конструкцій характерний лише для цього типу рухомого складу.

Мета та завдання дослідження.

Метою дисертаційної роботи є вирішення науково-технічної задачі удосконалення методів прогнозування залишкового ресурсу та продовження строку подальшої безпечної експлуатації спеціального рухомого складу залізничного транспорту.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- аналіз наукових досліджень, присвячених визначенню залишкового ресурсу несівних конструкцій та продовження строку експлуатації спеціального рухомого складу;
- аналіз несправностей думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів в процесі експлуатації;
- аналіз порядку продовження строку експлуатації вантажних вагонів в АТ «Укрзалізниця»;
- проведення випробувань та технічного діагностування думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів, аналіз розподілу напружень в елементах несівних конструкцій;

- побудова 3D-моделі несівних конструкцій думпкарів (вагонів-самоскидів) в середовищі SolidWorks в умовах розрахункових режимів навантаження;

- проведення теоретичних досліджень напружено-деформованого стану на 3D-моделі несівних конструкцій думпкарів (вагонів-самоскидів);

- розробка пропозицій щодо удосконалення методів прогнозування залишкового ресурсу думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів на основі розвитку теорії втомної міцності;

- розробка шляхів усунення основних несправностей несівних конструкцій думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів спрямованих на продовження строку їх експлуатації;

- оцінка економічної ефективності від впровадження запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження.

Часові зміни міцнісного стану в несівних конструкціях думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів після тривалої експлуатації.

Предмет дослідження.

Параметри напруженого стану та аналіз дефектів несівних конструкцій думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів після тривалої експлуатації, методи їх технічного діагностування.

Методи дослідження.

З метою вирішення поставлених задач дисертаційної роботи використано методи математичної статистики для опрацювання експериментальних даних з метою підвищення обґрунтованості висновків, методи та засоби експериментального та теоретичного дослідження показників напруженого стану та міцності несівних конструкцій думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів, метод скінченних елементів, методи математичного моделювання, метод формалізації тощо.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше запропоновано в якості додаткового розрахункового режиму

навантаження елементів несівних конструкцій думпкарів (вагонів-самоскидів) в процесі дослідження їх міцності режим, який імітує випадок навантаження конструкції при відмові (заклинюванні) одного з пневматичних приладів розвантажування, враховуючи, що при однократному навантаженні в цьому режимі може мати місце зародження первинних тріщин в найбільш напружених точках.

Удосконалено:

- принцип визначення точок контролю параметрів напруження при експериментальних дослідженнях міцності думпкарів на основі врахування даних про втомні дефекти несівних елементів протягом експлуатації;

- науковий підхід до методів підвищення конструкційної міцності елементів несівних конструкцій думпкарів та хопер-дозаторів – на основі аналізу додаткових концентраторів напружень, що виникають після посиленням небезпечних перетинів.

- формулу для прогнозування граничного терміну експлуатації вагонів, на основі врахування експериментальних даних вимірювання напружень та напружень отриманих при 3D-моделюванні;

- ефективний коефіцієнт концентрації напружень, що враховує зниження опору втомі шляхом введення коригуючих коефіцієнтів у кожній точці вимірювання в порівнянні із даними отриманими розрахунковим методом у зоні безпосередньої близькості до точки наклеювання тензодатчика.

Дістала подальшого розвитку теорія втомної міцності на основі врахування механізму утворення первинних дефектів елементів несівних конструкцій, які стали причиною зародження втомних тріщин, заснованою на статистичному аналізі наднормативних навантажень конструкції протягом експлуатації.

Практичне значення отриманих результатів:

- запропонований додатковий (аварійний) розрахунковий режим навантаження елементів несівних конструкцій думпкарів в процесі дослідження їх міцності, що імітує випадок навантаження конструкції при відмові

(заклинюванні) одного з пневматичних циліндрів розвантажування, при якому можуть зароджуватися первинні тріщини в найбільш напружених точках;

- нове конструкторсько-технічне рішення з удосконалення конструкції думпкарів (вагонів-самоскидів), яке захищене державним патентом України на корисну модель №151144 та може бути використане при проектуванні вагонів нового покоління або модернізації існуючих;

- уточнена формула для прогнозування граничного терміну експлуатації вагонів, заснована на порівнянні експериментальних даних вимірювання напружень та напружень отриманих при 3D-моделюванні;

- на основі результатів проведених розрахунків на міцність запропоновано зміни до Внутрішнього нормативного документу ЦВ-0033 «Керівництво на капітальний ремонт вагонів-самоскидів (думпкарів) моделей 5BC-60, 6BC-60», а саме – п. 10.2 в частині технології усунення дефектів на нижній рамі.

Основні результати дисертаційної роботи впроваджено:

- у філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» акціонерного товариства «Українська залізниця» при проведенні міцнісних розрахунків та аналізу несправностей вагонів спеціального рухомого складу, написанні програми та методики технічного діагностування думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів з метою продовження строку експлуатації (акт впровадження філії «НДКТИ»);

- програма та методика технічного діагностування вагонів-самоскидів (думпкарів), міцнісні розрахунки, аналіз несправностей вагонів спеціального рухомого складу в навчальному процесі Державного університету інфраструктури та технологій (ДУІТ) на кафедрі «Вагони та вагонне господарство» в лекційному курсі навчального освітнього компоненту «Надійність та технічне діагностування вантажних вагонів» для підготовки студентів 2-го освітнього ступеня Магістр за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт» (акт впровадження ДУІТ);

- у Департаменті вагонного господарства акціонерного товариства «Українська залізниця» при проектуванні нових думпкарів (вагонів-самоскидів), міцнісні розрахунки нижньої рами вагона, спосіб підвищення конструкційної міцності несівних конструкцій, інженерні рішення при написанні нормативних документів на виконання планових видів ремонту (акт впровадження ЦВ).

Особистий внесок здобувача.

Результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримано особисто автором або за його безпосередньої участі.

У публікаціях, які відображають основні результати дисертації та написані в співавторстві, здобувачеві належить:

[1] – розраховано запас міцності несівних конструкцій думпкарів при проведенні контрольних випробувань, розроблено розрахункові скінченно-елементні моделі несівних конструкцій думпкарів, визначено можливі причини виникнення основних несправностей думпкарів, запропоновано шляхи усунення основних несправностей несівних конструкцій думпкарів та додатковий IV розрахунковий режим;

[2] – розроблено методику проведення випробувань вагонів думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів;

[3] – проведено оцінку корозійного зносу несівних конструкцій вагонів, що знаходяться в довготривалій експлуатації;

[4] – виконано аналіз основних методів продовження терміну служби вантажних вагонів та виявлено однотипні дефекти під час експлуатації в хопер-дозаторах;

[5] – систематизовано несправності думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів, які виникають під час експлуатації.

Апробація результатів дисертації.

Матеріали дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали схвалення на науково-технічних конференціях та семінарах:

- Науково-практична конференція здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» (16-17 листопада, Київ, 2018);

- Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» (14-16 листопада, Лиман, 2019);

- International scientific and practical conference «Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects» (5-10 May, Batumi, 2020);

- The 1st International Scientific and Practical Conference «Scientific Community: Interdisciplinary Research» (6-8 June, Boston, 2022);

- The 6th International Scientific and Practical Conference «Theory and Practice of Science: Key Aspects» (19-20 June, Rome, 2022).

У повному обсязі дисертація доповідалась та була схвалена (з рекомендаціями та зауваженнями) на засіданні Науково-технічної ради філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» акціонерного товариства «Українська залізниця» та розширеному засіданні кафедри «Вагони та вагонне господарство» Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій за участю рецензентів.

Публікації.

Відповідно до теми дисертаційної роботи опубліковано: 4 наукові статті в українських виданнях, які входять до затвердженого МОН України переліку наукових фахових видань, 1 наукова стаття у виданні, що індексується в наукометричній базі даних Scopus, 8 статей та тез доповідей, які додатково відображають результати роботи, 1 патент України на корисну модель та 1 авторське право на твір.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ТА ПРОДОВЖЕННЯ СТРОКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ

1.1. Терміни та визначення пов'язані з темою дисертаційної роботи

В процесі експлуатації вагонів на їх деталі та вузли діє велика кількість різних факторів, які визначають процес старіння та впливають на зниження працездатності вагона [6]. Особливо важливо визначити залишковий ресурс деталей та вузлів вагона до їх переходу в граничний стан під час проведення комплексу робіт з технічного діагностування.

На теперішній час в галузі рейкового рухомого складу виконуються безліч робіт з визначення залишкового ресурсу деталей та пропонуються різні методи вирішення питання щодо продовження призначеного терміну служби.

В роботі розглядаються наступні експлуатаційні характеристики спеціального рухомого складу, визначені в нормативних документах [2, 7, 8]:

- залишковий ресурс – сумарний наробіток об'єкта від моменту контролю його технічного стану до переходу у граничний стан;
- термін служби – календарна тривалість експлуатації об'єкта від початку чи її поновлення після ремонту до переходу в граничний стан;
- призначений термін служби – календарна тривалість експлуатації, при досягненні якої експлуатацію об'єкта належить припинити незалежно від його технічного стану;
- граничний стан – стан об'єкта, за яким його подальша експлуатація неприпустима чи недоцільна, або відновлення його працездатного стану неможливе чи недоцільне;
- несправність (відмова) – стан об'єкта, за яким він нездатний виконувати хоча б одну із заданих функцій;
- аналіз несправностей – логічне та систематичне дослідження об'єкта для ідентифікації та аналізу імовірностей виникнення, причин та наслідків

потенційних несправностей;

- прогнозування – процес передбачення майбутнього стану предмета чи явища на основі аналізу його минулого і сучасного стану;

- строк експлуатації – період часу експлуатації (строк служби) вантажного вагона, який установлений виробником та зазначений у технічних умовах на виготовлення вантажного вагона;

- продовження строку експлуатації – здійснення комплексу діагностичних, ремонтних та реєстраційних операцій з вантажним вагоном, строк експлуатації якого, установлений виробником, закінчився або закінчується протягом останнього міжремонтного періоду;

- спеціалізована організація – це організація, якій надано право на виконання робіт із технічного діагностування для продовження строку експлуатації вантажних вагонів;

- метод скінчених елементів – числова техніка знаходження розв'язків інтегральних та диференціальних рівнянь у частині похідних;

- еквівалентні напруження – це умовна напруга одновісного розтягу, яка рівнонебезпечна заданому випадку поєднання основних деформацій.

1.2. Огляд та аналіз досліджень з прогнозування залишкового ресурсу та продовження строку експлуатації вагонів спеціального рухомого складу

Значний вклад в розвиток визначення залишкового ресурсу та продовження терміну служби залізничного рухомого складу внесли вітчизняні вчені: В.Г. Анофрієв, В.В. Багреєв, Й.Г. Барбас, М.С. Бачурин, Г.І. Богомаз, В.Л. Горобець, А.А. Драгоненко, А.В. Донченко, Р.Ю. Дьомін, Ю.В. Дьомін, В.В. Ільчишин, М.Б. Кельріх, С.А. Костриця, В.А. Леонець, І.Е. Мартинов, Л.О. Мурадян, С.В. Мямлін, Л.М. Нікольський, М.П. Островець, В.І. Панасенко, В.С. Плоткін, А.Л. Пуларія, А.О. Сулим, О.В. Султан, В.В. Татарчук, О.В. Фомін, П.О. Хозя, В.М. Цюренко, Г.Ю. Черняк, В.Ю. Шапошник та інші.

В науковій праці [9] розглядають питання зі створення інноваційних вантажних вагонів, які відповідають сучасним вимогам. Основні напрямки створення інноваційних вагонів полягають у підвищенні осьових навантажень та швидкості руху. У цих умовах актуальними стають питання міцності та надійності конструкції вагонів. Найбільш ушкоджуючими є ударні навантаження, що виникають під час розпуску вагонів з сортувальних гірок, проведення маневрових робіт, при гальмуванні, осадженні поїзда тощо. Динамічні ударні випробування вантажних вагонів, при яких поздовжні ударні сили прикладаються до рами вагона через автозчеп, проводять з метою визначення динамічних напружень і їх розподілу в елементах рами і кузова вагона, граничної допустимої величини поздовжньої сили, при якій може відбутися руйнування рами або кузова вагона.

Ударні випробування можуть проводитися з одиночним вагоном, який ударяється в групу загальмованих навантажених вагонів, що стоять на прямій горизонтальній ділянці залізничної колії, або в який ударяється навантажений вагон-бойок, при різній швидкості зіткнення.

Разом з тим, встановлення міцності рами при поздовжніх навантаженнях за максимальними напруженнями, для сучасних вимог, є недостатньою. Тому, основним завданням ударних випробувань є визначення несучої здатності вагона за весь термін експлуатації. У зв'язку з цим, метою ударних випробувань є визначення еквівалентної приведенної амплітуди напружень від дії поздовжніх сил, що виникають в експлуатації за весь термін служби вагона, що дозволяє оцінити коефіцієнт запасу міцності.

Важливим етапом досліджень є автоматизація проведення випробувань, яка дозволяє звести до мінімуму кількість помилок, викликаних людським фактором, підвищити точність обчислень і скоротити час на проведення випробувань.

В науковій праці [10] розглядають питання експериментальних та теоретичних досліджень міцності нових та модернізованих вагонів-самоскидів (думпкарів). Вагони-самоскиди великої вантажопідйомності використовуються

на гірничо-видобувних комбінатах. Аналіз виникнення пошкоджень таких вагонів показує, що основна частина пошкоджень виникає в процесі навантаження, в тому випадку коли кузов вагона піддається ударом глиби великої маси з висоти. Цей режим є найбільш важким в роботі думпкара. Досвід експлуатації думпкарів свідчить про те, що верхня рама вагона являється вузлом де виникає найбільше пошкоджень. Зниження рівня навантажень за рахунок посилення конструкції є нераціональним. При збільшенні жорсткості конструкції зростають динамічні сили в зоні удару.

Зниження рівня напружень, що виникають при ударі можливе при досипанні на підлогу вагона захисного шару сипкого вантажу. Але ця умова не завжди виконується. В зв'язку з цим на передпроектній стадії робіт по створенню нової конструкції думпкара та модернізації існуючих моделей необхідно проводити дослідження напруженого стану при ударному навантаженні.

В науковій праці [11] було проаналізовано основні задачі досліджень вагона-самоскида, наведено результати науково-експериментальних досліджень та наведені основні технічні характеристики вагона-самоскида (думпкара) моделі 33-7141 виробництва ПАТ «КВБЗ» шляхом аналізу технічної та конструкторської документації на вагон. А також виконано порівняльний аналіз технічних характеристик вагонів-думпкарів вітчизняних виробників. Вітчизняні вагони-самоскиди призначені для важких умов завантаження. Завантаження вагонів-самоскидів найбільш важкий процес їх експлуатації, який визначає в більшості ступінь їх міцності та експлуатаційну надійність вагонів-самоскидів.

Кузов думпкару цільнометалевий, зварної конструкції. Нижня рама думпкара зварної конструкції складається з хребтової балки коробчастого перерізу, двох шкворневих балок, двох кінцевих балок, системи проміжних балок. Пневмообладнання системи розвантаження включає в себе шість циліндрів розвантаження, по три з кожної сторони думпкара, системи трубопроводів і кранів. Управління розвантаження роздільне для кожної

сторони думпкара. Механізм розвантаження розташовується в торцевих стінах кузова з обох сторін.

Загальний вид вагона-самоскида (думпкара) моделі 33-7141 наведено на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Загальний вид вагона-самоскида (думпкара) моделі 33-7141

Аналіз результатів досліджень в [11] вагона-самоскида моделі 33-7141 (статичних випробувань на міцність від дії вертикальних, квазістатичних навантажень та навантажень, що виникають при ремонті й обслуговуванні вагона, випробувань падаючим вантажем та випробувань на розвантаження-завантаження, ходових динамічних, ходових міцнісних та випробувань на співудар) дозволив встановити переваги створеного вагона-самоскида (думпкара) моделі 33-7141 на візках моделі 18-7142 в частині зменшеної маси тари, питомих показників об'єму та матеріалоемності.

В дисертації О.В. Султана [12] розглядається математична модель динамічного розрахунку на міцність думпкарів при поперечному ударі масивними тілами, розроблену на базі теорії удару Сірса-Тімошенко. Як падаючий вантаж, розглядається пружне масивне тіло зі сферичною нижньою поверхнею. Диференціальні рівняння руху досліджуваної конструкції при ударі формуються за процедурою. Інтегрування диференціальних рівнянь руху проводилося за методом Н'юмарка. Амортизуючий прошарок і вільне

обпирання верхньої рами на нижню (однобічні в'язі) представлялися нелінійними в'язями. Рівняння зв'язку для визначення ударної сили складалося на підставі теорії удару Герца з урахуванням місцевих пластичних деформацій. При формуванні рівнянь зв'язку для обчислювання сил взаємодії використовувалися діаграми стискання амортизуючих матеріалів (пристроїв). У результаті вирішення динамічної задачі про удар падаючим зосередженим вантажем обчислювалися значення параметрів ударного процесу, поля переміщень досліджуваної конструкції і напруження в елементах конструкції вагона-самоскида. Дана робота стосується тільки думпкарів моделей 33-677 та 34-9019. Для підвищення несучої здатності настилу підлоги вагона-самоскида запропоновано замінити матеріал настилу підлоги верхньої рами, сталь 09Г2С, сталь RAEX 400, що володіє межею міцності 1000 МПа і підвищеною в'язкістю.

В дисертації [13] Татарчук В.В. довів, що для забезпечення високої експлуатаційної надійності думпкарів необхідно на стадії проектування проводити детальний аналіз навантаженості основних елементів вагона. Методи розрахунку, які раніше використовувались на вагонобудівних заводах недостатньо відображали особливості конструкції вагона та умови його експлуатації. Дослідження, які були проведені в дисертації дозволяють оцінити міцність елементів конструкції вагонів-самоскидів при різних експлуатаційних навантаженнях та на етапі проектування визначити оптимальні параметри кузова та верхньої рами думпкара. В роботі було розроблено методіку розрахунку на міцність конструкції вагона-самоскида при дії різноманітних експлуатаційних навантажень.

В науковій праці [14] наведено сучасні моделі вагонів-думпкарів вітчизняного та іноземного виробництва для магістрального залізничного транспорту колії 1520 мм, які були створені та поставлені у серійне виробництво протягом останніх років. За результатами порівняльного аналізу технічних характеристик вагонів-думпкарів минулого покоління до сучасних моделей вагонів-думпкарів встановлено, що одними з головних переваг останніх є зниження маси тари, підвищення вантажопідйомності і об'єму

кузова, підсилення міцності і надійності окремих вузлів та систем. Визначено проблемні вузли та системи існуючих моделей вагонів-думпкарів магістрального призначення за результатами їх експлуатації, які потребують подальшого підсилення. Визначено основні напрямки вдосконалення конструкції сучасних моделей вагонів-думпкарів для магістрального залізничного транспорту колії 1520 мм. Запропоновано технічні вимоги до вагонів-думпкарів наступного покоління, які планується створити та впровадити до серійного виробництва у найближчі роки для експлуатації на коліях магістрального залізничного транспорту. Сформовано технічні вимоги з урахуванням результатів досліджень конструкцій сучасних вагонів-думпкарів магістрального призначення, огляду технічної та конструкторської документації на ці вагони, а також аналізування вимог та побажань замовників. Обґрунтовано необхідність проведення відповідних науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з розроблення вагонів-думпкарів нового покоління для магістрального залізничного транспорту.

Проведений аналіз літературних джерел свідчить про те, що в сфері визначення залишкового ресурсу та продовження строку експлуатації залізничного рухомого складу виконано досить значний об'єм робіт. Серед невизначеного, залишається питання пов'язане з визначенням залишкового ресурсу та продовження строку експлуатації хопер-дозаторів та думпкарів, а також відновлення несучої спроможності їх несівних конструкцій. Це надає підстави для подальшого поглибленого дослідження з даного питання та пошуку оптимального рішення щодо відновлення несучої здатності.

Слід зазначити, що результати більшості досліджень не використовуються в практичних цілях. Це пов'язано зі складністю використання запропонованих методів. Більша частина методик з оцінки залишкового ресурсу вузлів і деталей не відображаються в державних стандартах. Крім того, більшість досліджень пов'язаних з визначенням залишкового ресурсу та продовження строку експлуатації вантажних вагонів проводились за межами України.

1.3. Висновки до розділу 1

1. Проведений аналіз наукових досліджень за темою дисертаційної роботи показав недостатню обґрунтованість методів прогнозування залишкового ресурсу та продовження строку експлуатації спеціального рухомого складу, зокрема думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопперів-дозаторів.

2. З'ясовано, що більшість методів прогнозування ресурсу рухомого складу засновано на врахуванні часових змін статичних характеристик перетинів елементів несучих конструкцій, зокрема внаслідок корозії, і не розглядає втомні явища в процесі експлуатації.

3. Відомі спроби використання скінченно-елементних моделей несучих конструкцій вагонів для прогнозування їх залишкового ресурсу не враховують механізм утворення первинних дефектів та їх роль у втомній міцності конструкції.

4. У дисертації висунуто наступну гіпотезу дослідження: причиною втомних тріщин, виявлених в результаті обстеження елементів несівних конструкцій думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів є первинні дефекти (залишкові деформації, мікротріщини тощо), які виникають при епізодичних навантаженнях з перевищенням допустимих напружень в аварійних чи нестандартних ситуаціях, наприклад, при розвантажувальних операціях при заклинюванні одного з приладів розвантаження (пневматичних циліндрів-розвантажувачів).

5. Несівними елементами конструкцій, що визначають загальну міцність спеціальних вантажних вагонів є: для думпкара (вагона-самоскида) – нижня рама; для хопера-дозатора – хребтова балка.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СПЕЦІАЛЬНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Загальний парк вантажних вагонів України представлений різними типами вагонів, в залежності від виду вантажу, що перевозиться. Відсоток вагонів спеціального рухомого складу у загальному парку вагонів станом на 01.01.2021р. становить приблизно 2,3% від загальної кількості. Вагони спеціального рухомого складу, у яких термін експлуатації перевищив призначений термін служби складають 100,0% для думпкарів (вагонів-самоскидів) та 98,0% для хопер-дозаторів. Для забезпечення безпеки руху, а також безперебійного вантажообігу потрібно, щоб вагони відповідали основним вимогам щодо їх безпечної експлуатації та надійності [3, 15, 16, 17]. Для порівняння технічних якостей вагонів спеціального рухомого складу з різними строками служби, проведено системний аналіз парку даних вагонів.

2.1. Аналіз парку вагонів спеціального рухомого складу в Україні

Загальний парк вагонів спеціального рухомого складу України станом на 01.01.2021р. становить 2396 вагонів. У дану кількість враховуються вагони, які внесені до автоматизованого парку вантажних вагонів, картотеки інвентарного парку та картотеки власного парку [1]. Призначений термін служби для думпкарів становить 22 роки, а для хопер-дозаторів – 25 років.

До загального парку входять вагони спеціального рухомого складу у яких:

- термін служби вичерпаний та не продовжений;
- термін служби вичерпаний та продовжений;
- термін служби не вичерпаний.

Загальний парк вагонів спеціального рухомого складу поділимо на експлуатаційний та не експлуатаційний. До експлуатаційного парку належать вагони спеціального рухомого складу, у яких строк експлуатації вичерпаний та

продовжений та вагони спеціального рухомого складу, у яких строк експлуатації не вичерпаний. Відповідно, до не експлуатаційного парку належать вагони у яких строк експлуатації вичерпаний та не продовжений. Станом на 01.01.2021р. відсоток експлуатаційного парку у загальному парку вагонів спеціального рухомого складу складає 88,6% та становить 2123 вагона.

Загальний експлуатаційний парк представлений вагонами спеціального рухомого складу різних років побудови, в межах від 1971р. і до 2000р. для думпкарів, і від 1960р. до 2000р. для хопер-дозаторів. Відповідно, строк експлуатації думпкарів знаходиться в межах від 50 до 21 року, а для хопер-дозаторів від 61 до 21 року. Умовно поділимо, віковий інтервал парку вагонів спеціального рухомого складу на 3 великі вікові групи:

- для думпкарів (вагонів-самоскидів):
 - термін служби призначений заводом виготовлення до 22 років;
 - після завершення терміну служби призначеного заводом виготовлення до полуторного терміну служби від 22 років до 33 років;
 - понад полуторний термін служби понад 33 роки.
- для хопер-дозаторів:
 - термін служби призначений заводом виготовлення до 25 років;
 - після завершення терміну служби призначеного заводом виготовлення до полуторного терміну служби від 25 років до 37,5 років;
 - понад полуторний термін служби понад 37,5 років.

Кількість думпкарів, які складають кожну із груп наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Розподілення кількості думпкарів за віковою ознакою

№ вікової групи	Термін служби вікової групи	Кількість думпкарів, од.	Відсоток думпкарів по кожній групі, %
1	до 22 років	0	0,0
2	від 22 до 33 років	111	11,8
3	понад 33 роки	831	88,2
Всього парк думпкарів (вагонів-самоскидів)		942	100,0

Як видно, у 1-й віковій групі немає жодного думпкара. До 2-ї групи належать 111 думпкарів або 11,8% від загальної кількості. Відповідно, до 3-ї групи належать 831 думпкар або 88,2% від загальної кількості.

Для наочності дані табл. 2.1 зображені у вигляді гістограм на рис. 2.1 а, б.

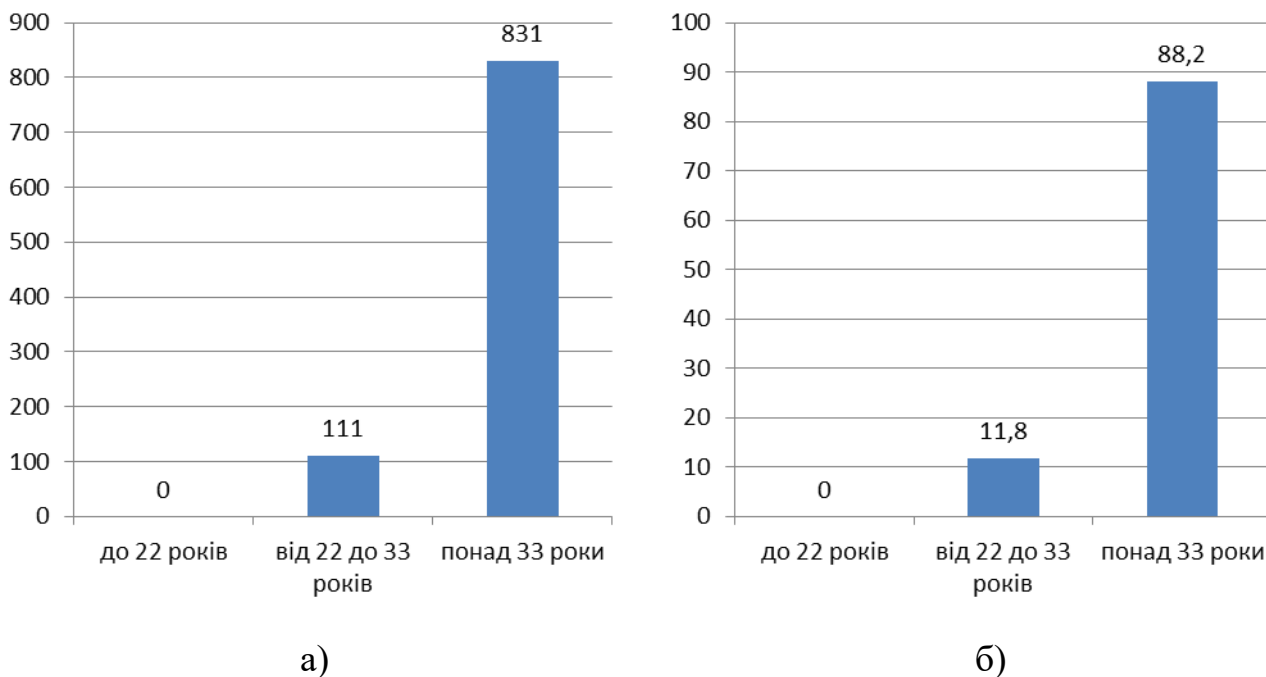


Рисунок 2.1 – Розподіл за віковою ознакою кількості (а) та відсотків (б) вагонів-думпкарів, що експлуатуються на залізницях України

Кількість хопер-дозаторів, які складають кожену із трьох груп наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Розподілення кількості хопер-дозаторів за віковою ознакою

№ вікової групи	Термін служби вікової групи	Кількість хопер-дозаторів, од.	Відсоток хопер-дозаторів по кожній групі, %
1	до 25 років	256	17,6
2	від 25 до 37,5 років	133	9,1
3	понад 37,5 років	1065	73,3
Всього парк хопер-дозаторів		1454	100,0

Як видно, до 1-ї вікової групи належить 256 хопер-дозаторів або 17,6% від загальної кількості. До 2-ї групи належать 133 хопер-дозатора або 9,1% від загальної кількості. Відповідно, до 3-ї групи належать 1065 хопер-дозаторів або 73,3% від загальної кількості.

Для наочності дані табл. 2.2 зображені у вигляді гістограм на рис. 2.2.

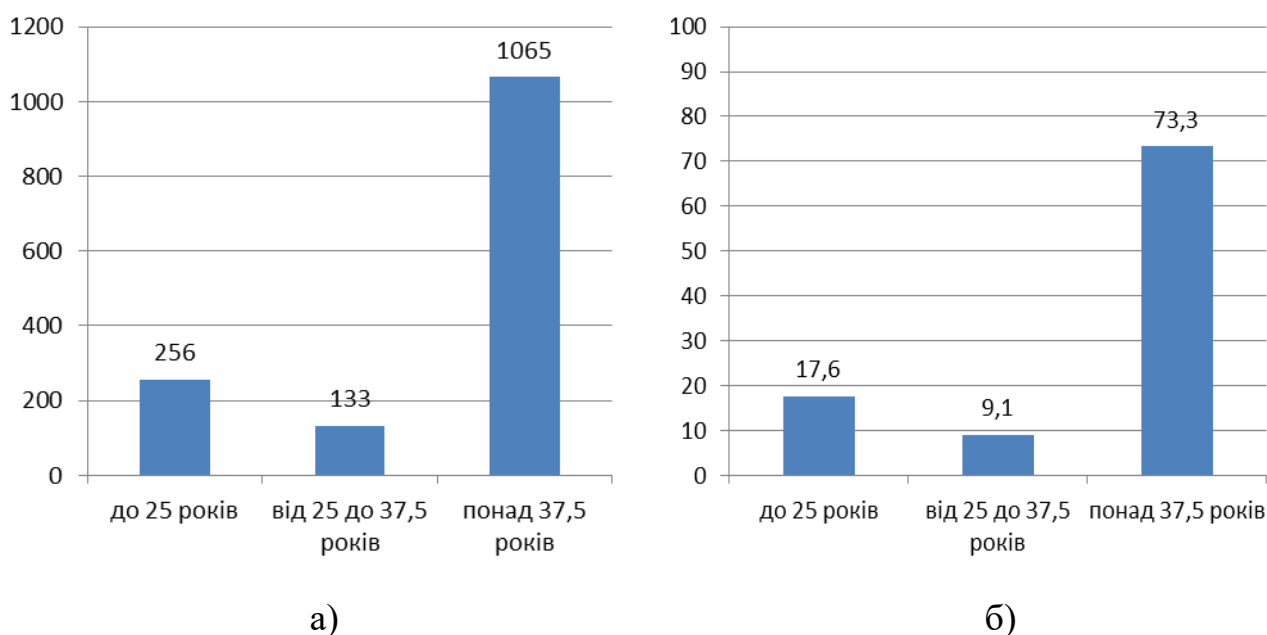


Рисунок 2.2 – Розподіл за віковою ознакою кількості (а) та відсотків (б) хопер-дозаторів, що експлуатуються на залізницях України

Для кожної із трьох вікових груп визначимо частку вагонів спеціального рухомого складу кожного року побудови у загальному парку.

Частка вагонів спеціального рухомого складу одного року побудови у загальному парку розраховується за формулою [9]:

$$\omega_i = \frac{N_i}{N_{\text{заг}}} , \quad (2.1)$$

де ω_i – частка вагонів спеціального рухомого складу i -го року побудови у загальному парку;

N_i – кількість вагонів спеціального рухомого складу i -го року побудови;

$N_{заг}$ – загальний парк вагонів спеціального рухомого складу.

Частка вагонів спеціального рухомого складу одного року побудови зведені у табл. 2.3 та 2.4.

Таблиця 2.3 – Аналіз парку думпкарів за роками побудови

№ з/п	Рік побудови	Кількість вагонів одного року	Термін служби	Частка вагонів одного року побудови
1 група - термін служби до 22 років				
1	-	-	-	-
Всього по 1 групі		0	0	0
2 група - термін служби від 22 до 33 років				
2	2000	1	22	0,001
3	1992	2	29	0,002
4	1991	9	30	0,010
5	1990	99	31	0,105
Всього по 2 групі		111	28	0,118
3 група - термін служби понад 33 роки				
6	1989	196	33	0,208
7	1988	85	34	0,090
8	1987	271	35	0,288
9	1986	13	36	0,014
10	1985	82	37	0,087
11	1984	11	38	0,011
12	1983	27	39	0,029
13	1982	30	40	0,032
14	1981	20	41	0,022
15	1980	3	42	0,003
16	1979	20	43	0,022
17	1978	4	44	0,004
18	1977	11	45	0,011
19	1976	19	46	0,020
20	1975	1	47	0,001
21	1974	14	48	0,015
22	1973	10	49	0,010
23	1972	13	50	0,014
24	1971	1	51	0,001
Всього по 3 групі		831	42	0,882
Всього по групам		942	39,5	1,000

Із системного аналізу табл. 2.3 видно, що у розподілі кількості думпкарів загального парку, найбільша кількість приходить на 1971 - 1989 роки побудови (831 вагон). Оскільки розрахована частка пропорційна кількості думпкарів, її значення збільшуються та зменшуються відповідно до кількості думпкарів одного року побудови у загальному парку. Середній термін служби по кожній групі становить:

- 2 група (термін служби від 22 до 33 років) – 28 років;
- 3 група (термін служби понад 33 роки) – 39,5 років.

Таблиця 2.4 – Аналіз парку хопер-дозаторів за роками побудови

№ з/п	Рік побудови	Кількість вагонів одного року	Термін служби	Частка вагонів одного року побудови
1 група - термін служби до 25 років				
1	2000	38	21	0,026
2	1999	196	22	0,135
3	1998	22	23	0,015
Всього по 1 групі		256	22	0,176
2 група - термін служби від 25 до 37,5 років				
4	1993	1	28	0,001
5	1991	65	30	0,044
6	1990	1	31	0,001
7	1988	1	33	0,001
8	1987	32	34	0,022
9	1986	25	35	0,017
10	1985	8	36	0,005
Всього по 2 групі		133	32,4	0,091
3 група - термін служби понад 37,5 років				
11	1984	18	37	0,012
12	1983	50	38	0,034
13	1982	42	39	0,029
14	1981	39	40	0,027
15	1980	41	41	0,028
16	1979	2	42	0,001
17	1978	42	43	0,029
18	1977	46	44	0,032
19	1976	30	45	0,021
20	1975	8	46	0,006
21	1974	42	47	0,029

№ з/п	Рік побудови	Кількість вагонів одного року	Термін служби	Частка вагонів одного року побудови
22	1973	37	48	0,025
23	1972	36	49	0,025
24	1971	7	50	0,005
25	1970	41	51	0,028
26	1969	59	52	0,041
27	1968	52	53	0,036
28	1967	64	54	0,044
29	1966	65	55	0,045
30	1965	108	56	0,074
31	1964	63	57	0,043
32	1963	68	58	0,047
33	1962	46	59	0,032
34	1961	44	60	0,030
35	1960	15	61	0,010
Всього по 3 групі		1065	49	0,733
Всього по групам		1454	43,4	1,000

Для наочності, результати, представлені у табл. 2.3 та 2.4, зображені у вигляді гістограм на рис. 2.3 та 2.4.

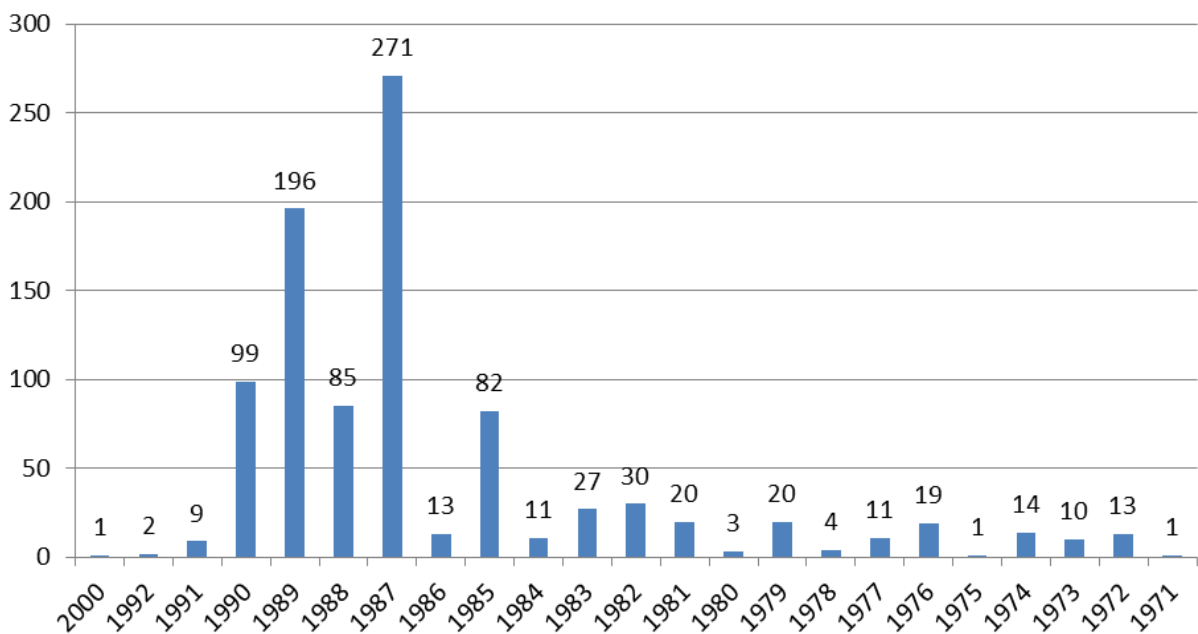


Рисунок 2.3 – Розподіл кількості думпкарів за роками побудови

Аналізуючи табл. 2.4, можна побачити, що у розподілі кількості хопер-дозаторів загального парку, найбільша кількість приходить на 1960 - 1984 роки побудови (1065 вагонів). Оскільки розрахована частка пропорційна кількості хопер-дозаторів, її значення збільшуються та зменшуються відповідно до кількості хопер-дозаторів одного року побудови у загальному парку. Середній термін служби по кожній групі становить:

- 1 група (термін служби до 25 років) – 22 роки;
- 2 група (термін служби від 25 до 37,5 років) – 32,4 роки;
- 3 група (термін служби понад 37,5 років) – 49 років.

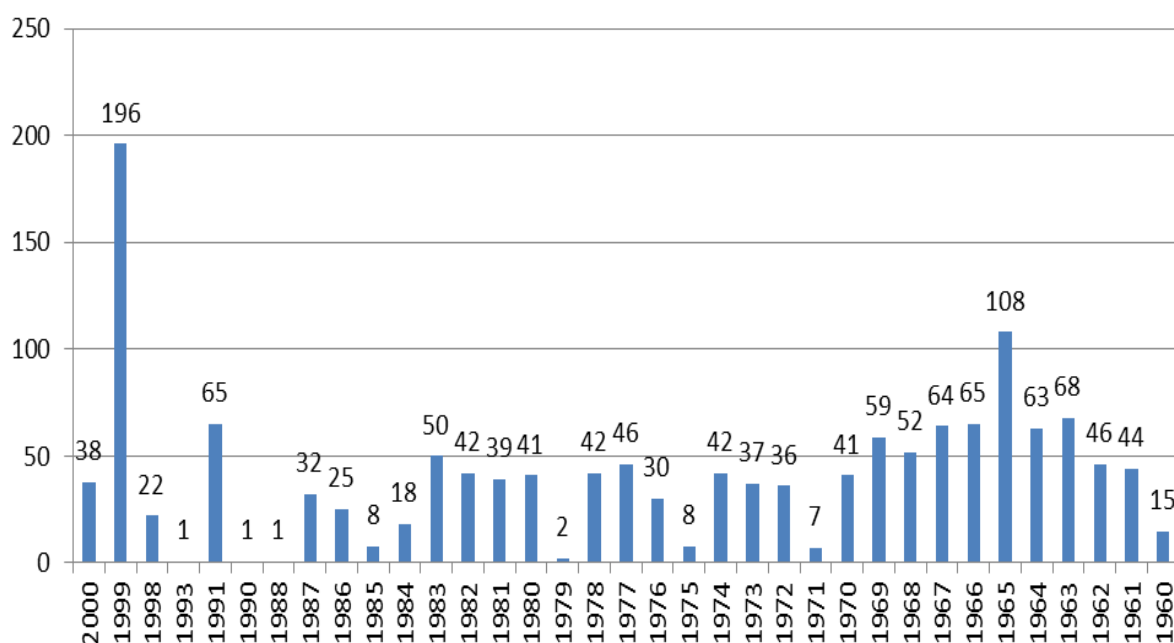


Рисунок 2.4 – Розподіл кількості хопер-дозаторів за роками побудови

2.2. Дослідження несправностей вагонів спеціального рухомого складу в експлуатації

Впродовж всього експлуатаційного періоду на вагонах спеціального рухомого складу виконуються різні види ремонтів. Обсяги та терміни проведення ремонтів регламентуються нормативними документами АТ «Укрзалізниця» [15, 16, 17]. Періодичність їх виконання, а відповідно і

частота виконання, залежать від багатьох чинників: технічного стану, інтенсивності використання, якості виконаного ремонту (обслуговування), дій експлуатуючих осіб, тощо. Вплив того чи іншого чинника (або їх сума чинників) спричиняє збільшення частоти виконання ремонтів. Оскільки парк складається з вагонів спеціального рухомого складу побудованих у різні роки, і як було визначено у попередньому розділі, відсоток вагонів спеціального рухомого складу у яких термін служби вичерпаний становить 100% від загального парку для думпкарів та 98% від загального парку для хопер-дозаторів, в зв'язку з цим, системний аналіз технічного стану вагонів спеціального рухомого складу потребує особливої уваги.

Несправності вантажних вагонів відповідно [4] розподіляються на наступні групи:

- 1 – несправність колісної пари;
- 2 – несправність візка;
- 3 – несправність автозчепного обладнання;
- 4 – несправність автогальмівного обладнання;
- 5 – несправність кузова вагона;
- 6 – несправність рами вагона;
- 8 – несправність кузова вагона, що веде до виключення вагона з інвентарного парку;
- 9 – службові коди, не пов'язані з технічним станом вагона.

Несправності вагонів в більшості випадків усуваються в ТО, ТОВ-1,2 [5].

ТО – комплекс операцій з підтримання працездатності або справності вагона в сформованих або транзитних поїздах, а також порожнього вагону під час підготування до перевезень без його відчеплення від складу поїзда або групи вагонів.

ТОВ-1, ТОВ-2 – технічне обслуговування вагона з відчепленням його від складу поїзда або групи вагонів, переведенням його в неробочий парк. Ремонт виконують для забезпечення або відновлення працездатності вагона із заміною або відновленням окремих складових частин. Під час ТОВ-1 виконують

технічне обслуговування та ремонт порожнього вагона, з його відчепленням від складу або групи вагонів, для проведення комплексу операцій з підготовки вагона до перевезень. Під час ТОВ-2 виконують технічне обслуговування та ремонт вагона з відчепленням від транзитних і прибулих до розформування поїздів або сформованих складів поїздів, для відновлення працездатності навантаженого або порожнього вагона.

Вибірку несправностей парку спеціального рухомого складу власності АТ «Укрзалізниця» було сформовано відповідно інформаційної довідки ГІОЦ УЗ [18] за період з 01.05.2020 по 30.04.2022. Сформовані дані несправностей згідно довідки наведено в табл. 2.5. та рис. 2.5.

Таблиця 2.5 – Несправності спеціального рухомого складу за даними технічного обслуговування за період з 01.05.2020 по 30.04.2022 року

Код групи	Загальна кількість, одиниць
1xx – колісна пара	78
2xx – візок	42
3xx – автозчепне обладнання	63
4xx – автогальмівне обладнання	25
5xx – кузов	784
6xx – рама	221
8xx – несправність, що веде до виключення	17
9xx – службові коди	0

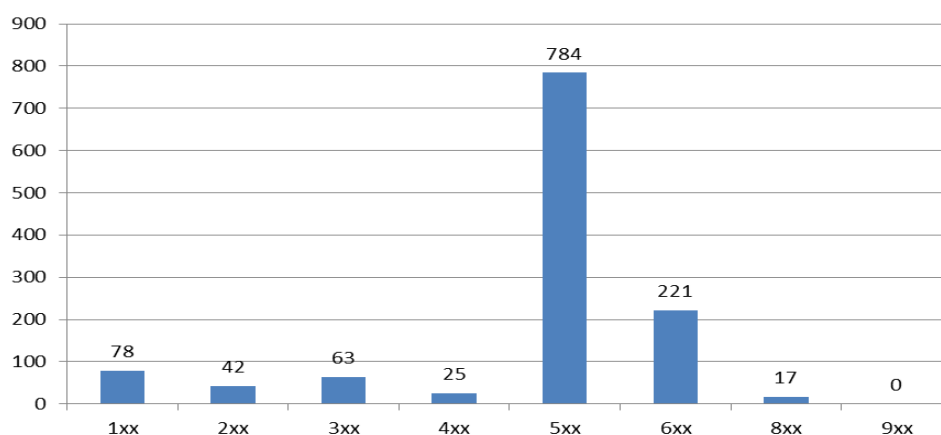


Рисунок 2.5 – Розподіл несправностей спеціального рухомого складу за кодами груп

З точки зору надійності, вагони спеціального рухомого складу, як об'єкт дослідження, являють собою складну конструкцію, яка складається з багатьох елементів (вузлів), які взаємодіють один з одним та впливають одне на одного [19, 20]. Також, впродовж експлуатації під час виконання ремонтів, певні елементи (вузли), які встановлені на вагонах підлягають заміні, що передбачено ремонтною документацією [15, 16]. Тому, для об'єктивного аналізу технічного стану вагонів спеціального рухомого складу, було обрано елементи конструкції, які залишалися не змінними впродовж усієї експлуатації вагонів та проаналізовано більш детально.

З цих причин, в якості критерію для оцінки технічного стану, як елементи надійності, було обрано кузов та раму вагонів спеціального рухомого складу [21, 22]. Кузов та рама думпкара та хопер-дозатора являється складною конструкцією. Кожен з елементів кузова та рами, впродовж експлуатації вагонів спеціального рухомого складу, піддаються циклічним знакозмінним навантаженням, які зумовлюють виникнення несправностей. Для аналізу парку вагонів спеціального рухомого складу по несправностям кузова та рами [23, 24] використовуємо дані отримані по виконаним поточним ремонтам в обсягах ТОВ-1, ТОВ-2. Розрахунковий період для аналізу з 01.05.2020р по 30.04.2022р.

З класифікатора [4] обираємо несправності, які безпосередньо стосуються елементів кузова вагонів. Такі несправності як: закінчився календарний строк ремонту, досягнув норматив по пробігу, дострокова постановка у ремонт та закінчився строк експлуатації, тощо у аналізі не враховуються. Кодування несправностей кузова, які використовуються у аналізі, аналогічні зазначеним в класифікаторі. Розшифрування кодів несправностей кузова, які використовуються у аналізі, відповідно представлені у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Коди несправностей кузова

Код несправності	Найменування несправності за класифікатором	Загальна кількість, одиниць	%
503	Обрив зварного з'єднання стійки*	39	5%
504	Обрив зварного з'єднання розкосу	29	4%

Код несправності	Найменування несправності за класифікатором	Загальна кількість, одиниць	%
505	Пошкодження стійки*	55	7%
506	Пошкодження обв'язувальних брусів	14	2%
530	Пошкодження даху*	22	3%
531	Пошкодження обшивки кузова*	47	6%
532	Пошкодження підлоги	36	5%
540	Несправність запору люка*	64	8%
549	Несправність вантажно / розвантажувальних механізмів	269	34%
550	Пошкодження повітряних магістралей навантаження / розвантаження	162	21%
553	Пошкодження (обрив) сходів/поручнів/підніжок	47	6%
	Разом	784	100%

* - для хопер-дозатора.

Із системного аналізу табл. 2.6 видно, що переважну кількість складають несправності за кодами 549 – несправність вантажо-розвантажувальних механізмів та 550 – пошкодження повітряних магістралей навантаження-розвантаження. Можливими причинами виникнення несправностей по коду 549, 550 можуть бути як неправильні дії експлуатуючого персоналу, не якісно виконаний попередній ремонт, неправильна експлуатація балансоутримувачами (вивантаження – навантаження) так і погіршення технічного стану (фізичних властивостей) елементів кузова за віком (терміном служби).

Як і у розділі 2.1, загальний парк вагонів спеціального рухомого складу ділимо на 3 вікові групи. Кожну вікову групу аналізуємо по поточним ремонтам, які були виконані по несправностям кузова. Зведені результати по отриманим даним представлено у табл. 2.7.

Для наочності дані табл. 2.7 зображені у вигляді кругової діаграми на рис. 2.6. Як видно із табл. 2.7 найбільша кількість несправностей кузова зафіксована на думпкарах, які відносяться до 3-ї вікової групи понад 33 роки – 288 вагонів (87%) від загальної кількості зафіксованих несправностей кузова та

для хопер-дозатора, які також відносяться до 3-ї вікової групи понад 37,5 років – 355 вагонів (78,4%).

Таблиця 2.7 – Розподілення кількості вагонів спеціального рухомого складу по несправностям кузова за віковою ознакою

№ вікової групи	Термін служби вікової групи	Кількість по несправностям кузова	Відсоток по кожній групі, %
Думпкари			
1	до 22 років	0	0
2	від 22 до 33 років	43	13,0
3	понад 33 роки	288	87,0
Всього по парку думпкарів (самоскидів)		331	100,0
Хопер-дозатори			
1	до 25 років	61	13,4
2	від 25 до 37,5 років	37	8,2
3	понад 37,5 років	355	78,4
Всього по парку хопер-дозаторів		453	100,0

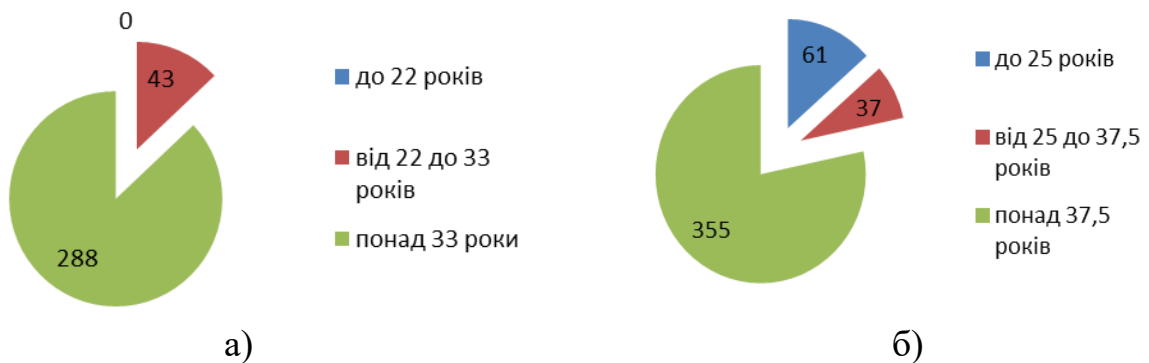


Рисунок 2.6 – Розподілення кількості несправностей кузова думпкара (а) та хопер-дозаторів (б) по віковим групам

Отже, як видно з аналізу, як у думпкарів, так і у хопер-дозаторів найбільше несправностей відносяться до 3 вікової групи.

Для кожної із трьох вікових груп, визначимо часток несправностей кузова вагонів спеціального рухомого складу у загальному парку за формулою 2.1. Розрахунки часток несправностей кузова вагонів спеціального рухомого складу наведено у табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Розподілення часток несправностей вагонів спеціального рухомого складу за віковими групами

№ вікової групи	Термін служби вікової групи	Кількість по несправностям кузова	Частка несправностей
Думпкари			
1	до 22 років	0	0
2	від 22 до 33 років	43	0,13
3	понад 33 роки	288	0,87
Всього по парку думпкарів (самоскидів)		331	1,0
Хопер-дозатори			
1	до 25 років	61	0,14
2	від 25 до 37,5 років	37	0,08
3	понад 37,5 років	355	0,78
Всього по парку хопер-дозаторів		453	1,0

Розподілення часток несправностей кузова вагонів спеціального рухомого складу по кожній віковій групі представлені на рис. 2.7.

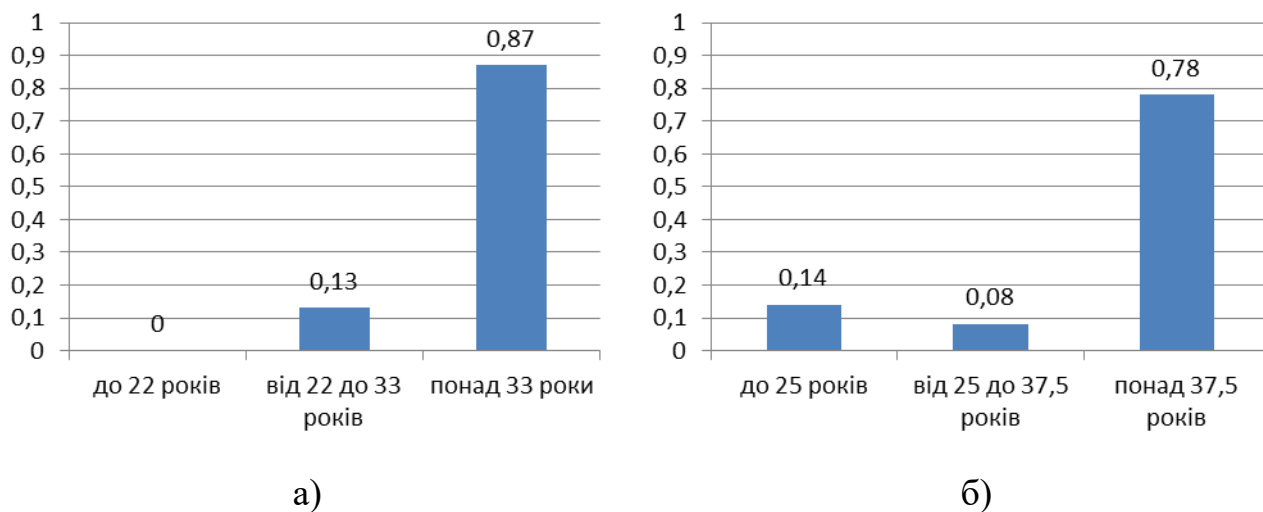


Рисунок 2.7 – Розподілення часток несправностей кузова думпкара (а) та хопер-дозатора (б) за віковими групами

Провівши системний аналіз несправностей кузова вагонів спеціального рухомого складу розглянемо несправності рами. З класифікатора обираємо несправності, які безпосередньо стосуються елементів рами вагонів. Такі несправності як: злам кріплення фітингового упора, тощо у аналізі не

враховуються. Кодування несправностей рами, аналогічні зазначеним в класифікаторі. Розшифрування кодів несправностей рами, представлені у табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Коди несправностей рами

Код несправності	Найменування несправності за класифікатором	Загальна кількість, одиниць
601	Обрив зварних з'єднань	58
603	Тріщина в місці з'єднання хребтової та шворневої балок	45
610	Поздовжня тріщина в балках рами понад 300 мм	12
612	Вертикальна / поздовжня тріщина, яка проходить більше ніж через один отвір кріплення болтів	7
614	Обрив по зварюванню, розрив накладок	15
616	Злам / тріщина проміжних балок	16
618	Злам / тріщина / обрив розкосів	11
621	Тріщина кінцевих балок	49
622	Злам кінцевих балок	8

Аналізуючи табл. 2.9 видно, що переважну кількість складають несправності за кодами 601 – обрив зварних з'єднань, 603 – тріщина в місці з'єднання хребтової та шворневої балок та 621 – тріщина кінцевих балок. Одними з можливих причин виникнення несправностей по коду 601, 603, 621 так як і в кузові вагонів можуть бути як неправильні дії експлуатуючого персоналу, неправильна експлуатація балансоутримувачами (вивантаження – навантаження) так і погіршення технічного стану (фізичних властивостей) елементів рами за віком (терміном служби).

Загальний парк вагонів спеціального рухомого складу ділимо на 3 вікові групи. Кожну вікову групу аналізуємо по поточним ремонтам, які були виконані по несправностям рами. Зведені результати по отриманим даним представлено у табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Розподілення кількості вагонів спеціального рухомого складу по несправностям рами за віковою ознакою

№ вікової групи	Термін служби вікової групи	Кількість по несправностям рами	Відсоток по кожній групі, %
Думпкари			
1	до 22 років	0	0
2	від 22 до 33 років	16	21,6
3	понад 33 роки	58	78,4
Всього по парку думпкарів (самоскидів)		74	100,0
Хопер-дозатори			
1	до 25 років	9	6,1
2	від 25 до 37,5 років	26	17,7
3	понад 37,5 років	112	76,2
Всього по парку хопер-дозаторів		147	100,0

Для наочності дані табл. 2.10 зображені у вигляді кругової діаграми на рис. 2.8.

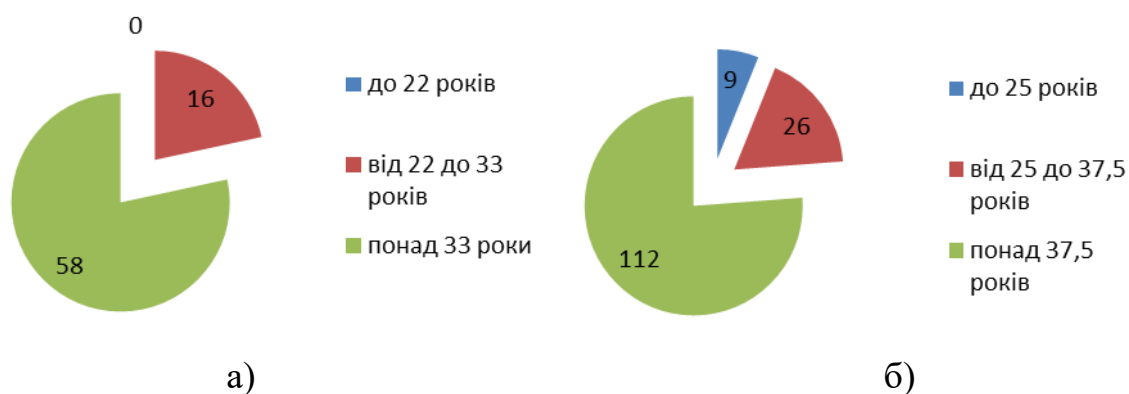


Рисунок 2.8 – Розподілення кількості несправностей рами думпкара (а) та хопер-дозаторів (б) по віковим групам

Як видно із табл. 2.10 найбільша кількість несправностей рами зафіксована на думпкарах, які відносяться до 3-ї вікової групи понад 33 роки – 58 вагонів (78,4%) від загальної кількості зафіксованих несправностей рами та для хопер-дозатора, які відносяться до 3-ї вікової групи понад 37,5 років – 112 вагонів (76,2%).

Для кожної із трьох вікових груп, визначимо часток несправностей рами вагонів спеціального рухомого складу у загальному парку за формулою 2.1. Розрахунки наведено у табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Розподілення часток несправностей рами вагонів спеціального рухомого складу за віковими групами

№ вікової групи	Термін служби вікової групи	Кількість по несправностям рами	Частка несправностей
Думпкари			
1	до 22 років	0	0
2	від 22 до 33 років	16	0,22
3	понад 33 роки	58	0,78
Всього по парку думпкарів		74	1,0
Хопер-дозатори			
1	до 25 років	9	0,06
2	від 25 до 37,5 років	26	0,18
3	понад 37,5 років	112	0,76
Всього по парку хопер-дозаторів		147	1,0

Розподілення часток несправностей рами вагонів спеціального рухомого складу по кожній віковій групі представлені на рис. 2.9.

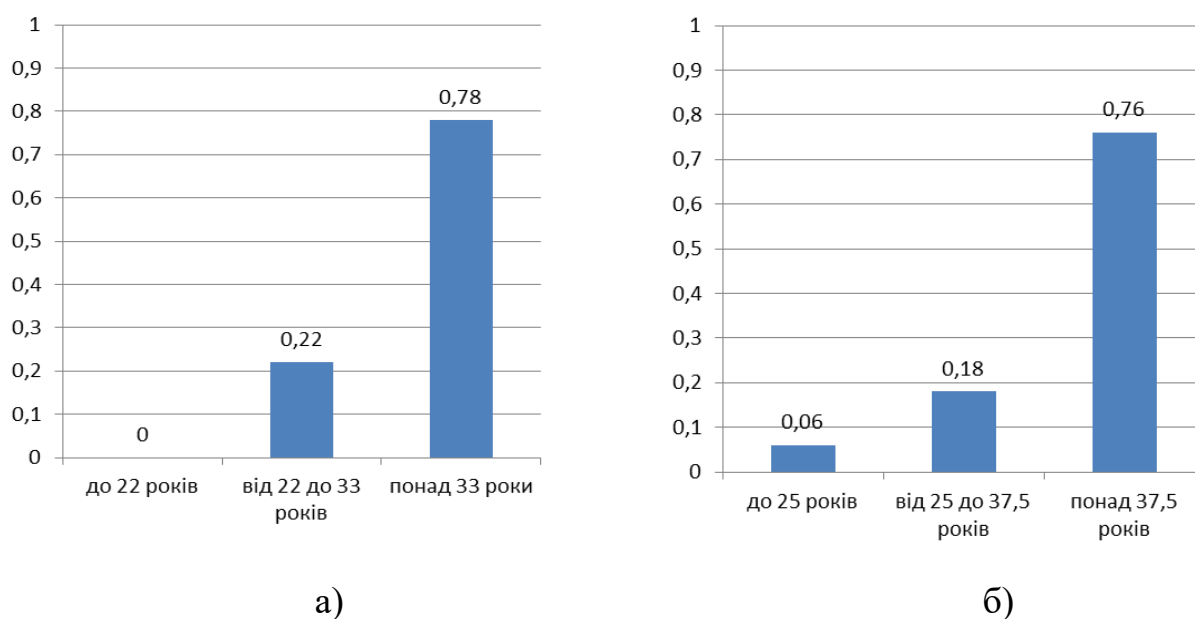


Рисунок 2.9 – Розподілення часток несправностей рами думпкара (а) та хопер-дозатора (б) за віковими групами

2.3. Аналіз існуючого порядку продовження строку експлуатації вантажних вагонів

На сьогодні порядок продовження строку експлуатації вантажних вагонів регламентується Наказом МІУ від 30.11.2021 №647 «Порядок проведення комплексу діагностичних, ремонтних та реєстраційних операцій, спрямованих на продовження строку експлуатації вантажних вагонів (крім вантажних вагонів підприємств технологічного залізничного транспорту, що призначені для переміщення вантажів у виробничих цілях в межах території таких підприємств), установленого виробником» [2]. В розширення функціональності Наказу розроблено проект стандарту підприємства «Вагони вантажні. Правила технічного діагностування, списання, виключення та переробки в металобрухт». Автор приймав безпосередню участь у розробці даного СТП, який пройшов всі стадії узгодження та науково-технічну раду АТ «Укрзалізниця» і знаходиться в даний момент на стадії затвердження Правлінням АТ «Укрзалізниця».

Метою створення даного СТП є розширення функціональних можливостей та деталізація процедур продовження строку експлуатації вантажних вагонів:

- можливості подальшої експлуатації вагонів після закінчення ними нормативного (призначеного) строку служби або продовженого строку експлуатації;
- встановлення терміну закінчення строку експлуатації вагона;
- призначення виду ремонту, після проведення якого має забезпечуватись експлуатація вагона протягом подовженого строку;
- встановлення залишкового ресурсу.

Можливості подальшої експлуатації вагонів після закінчення ними нормативного (призначеного) строку служби або продовженого строку експлуатації досягається за допомогою проведення технічного діагностування вантажних вагонів однією із спеціалізованих організацій, шляхом контролю

технічного стану вагона за погодженими Товариством програмами та методиками, які мають бути розроблені відповідно до типу або моделі вагона, що обстежується та, які враховують результати контрольних випробувань таких вагонів шляхом експериментальної перевірки відповідності показників міцності конструкції вагона стосовно заданих умов експлуатації, стійкості елементів конструкції кузова з реально існуючими на період діагностування товщинами, для визначення їх залишкового ресурсу.

У тому разі, якщо технічний стан вагона не дозволяє забезпечити можливість його подальшого ремонту та експлуатування через наявність критичних дефектів в основних вузлах та деталях, такий вагон технічним рішенням має бути запропоновано під списання [25].

Під час проведення контролю технічного стану вантажних вагонів основним завданням спеціалізованої організації є:

- виявлення пошкоджень деталей та вузлів, що отримано в результаті експлуатації;
- наявність в основних вузлах вагона механічного або корозійного зносу, показники яких перевищують допустимі чинною НД значення;
- наявність залишкових деформацій, тріщин;
- проведення контролю залишкової товщини елементів несучих конструкцій.

Під час контролю технічного стану визначають відповідності моделей, років виготовлення вагонів та завод-виробник:

а) для проведення контролю технічного стану вантажний вагон із закінченим строком експлуатації переводиться в неробочий парк, з оформленням засобами інформаційних систем «Повідомлення на ремонт або технічне обслуговування вагона» форми ВУ-23М, під технічне обстеження спеціалізованою експертною організацією;

б) контролю технічного стану спеціалізованою експертною організацією має починатись з визначення відповідності вагона моделі, року його

виготовлення та підприємства-виробника, що наведено на кузові (котлі) вагона із зазначеним на бирці, що закріплена на її рамі.

У разі виявлення спеціалізованою організацією відсутності бирки з роком та заводом побудови або ознак її несанкціонованої заміни потрібно визначити (перевірити) фактичний рік побудови вагону таким порядком:

- дані року побудови вагону визначаються по литим клеймам переднього упору. Якщо роки виготовлення на передніх упорах різні – роком побудови вагону приймати старший рік;

- у тому разі, якщо роки на передніх упорах не співпадають з діапазоном років побудови фактичної моделі (раніше або пізніше періоду виготовлення моделі) – роком побудови вагону приймається рік, найближчий до року початку або кінця періоду випуску фактичної моделі;

- при відсутності бирки заводу побудови та невиразності клейм на передніх упорах з роком побудови - роком побудови вагону приймається рік початку періоду випуску фактичної моделі згідно довідника [41]. При цьому, якщо рік побудови вагону, який зазначено в АБД ПВ, знаходиться в межах періоду побудови фактичної моделі, то роком побудови вагону приймається рік із даних АБД ПВ;

в) ВРП дислокації вагона:

- проводить комісійний огляд вантажних вагонів працівниками ВЧД спільно з працівниками спеціалізованої експертної організації до або під час проведення контролю технічного стану вантажних вагонів на предмет продовження терміну експлуатації;

- у разі виявлення невідповідностей моделі, року побудови чи заводу-виробника має скласти, підписати та направити власнику/балансоутримувачу акт комісійного огляду вагона в трьох примірниках, виправлений паспорт форми ВУ-4М в трьох примірниках, акт технічного стану вантажних вагонів в трьох примірниках, але не пізніше трьох діб після виявлення невідповідностей під час обстеження вагону, з усіма вищезазначеними документами (акти мають бути повністю оформлені) згідно наведеного в Порядку внесення (зміни) даних

по власних вантажних вагонах до автоматизованого банку даних парку вантажних вагонів;

г) зміну технічних характеристик вантажних вагонів (моделей, років побудови чи заводу-виробника), яким виконано планові види ремонту після 01.02.2019, потрібно проводити тільки після проведення розслідування причин невідповідностей;

ж) стосовно спеціалізованої організації, яка видавала технічні рішення щодо продовження строку експлуатації вантажних вагонів з невідповідністю технічних характеристик моделей та років побудови, після повторного встановлення фактів видачі технічних рішень з невідповідностями технічних характеристик вагона, то у цьому разі Товариство здійснює заходи щодо відміни свідоцтва такій організації на право проведення технічного діагностування вантажних вагонів.

Порядок взаємодії між Товариством, спеціалізованою експертною організацією та балансоутримувачем вантажних вагонів по контролю технічного стану вантажних вагонів за результатами якого встановлюється термін закінчення строку експлуатації вагона або призначається вид ремонту:

- попереднє погодження проведення робіт по продовженню строку експлуатації вантажних вагонів:

а) для визначення можливості продовження строку експлуатації вантажних вагонів, яким буде виконуватися технічне діагностування, власники вантажних вагонів мають надати через ЦВ до Товариства Заявку. Заявка може надаватись в електронному вигляді з офіційної e-mail адреси власника вагонів на адресу причетного фахівця ЦВ, про яку буде проінформовано через ЦВ власників вантажних вагонів. Про офіційні e-mail адреси власник / балансоутримувач вантажних вагонів має інформувати ЦВ офіційним листом;

б) ЦВ має опрацювати Заявку та після цього надає до ГІОЦ відповідну інформацію та повідомляє власника вантажних вагонів про можливість або неможливість проведення робіт з контролю технічного стану, з зазначенням підстави стосовно продовження строку експлуатації вантажних вагонів та

приведенням номерів вагонів, яким не може бути продовжено строк експлуатації.

- проведення контролю технічного стану вантажних вагонів спеціалізованою організацією:

а) контроль технічного стану має проводитись фахівцями спеціалізованої організації на залізничних коліях Товариства, які призначені для технічного обслуговування або ремонту вантажних вагонів, які зазначено в ТРА станції або на тракційних (під'їзних) коліях ВРП, при цьому в ТРА станції має бути чітко прописано місця та порядок проведення робіт з контролю технічного стану вагонів, включаючи порядок відчеплення вагонів від складів поїздів, проведення маневрових робіт, порядок огороження вагонів, що діагностуються тощо.

Не допускається проведення контролю технічного стану, якщо вагон знаходиться у складі поїзду або на коліях сортувальних парків станцій, які призначені для накопичення вагонів після розпуску з гірки.

б) спеціалізована організація, перед виїздом на проведення контролю технічного стану вантажних вагонів, має звернутись на адресу власника/балансоутримувача або ВЧД, на залишку неробочого парку якого знаходяться вантажні вагони, із зазначенням дати огляду таких вантажних вагонів працівниками спеціалізованої організації та станцій або ВРП, на яких буде проводитись контроль технічного стану вагонів.

Власник/балансоутримувач або ВЧД, мають забезпечити організацію проведення контролю технічного стану вагонів та забезпечити дотримання вимог охорони праці фахівців спеціалізованої організації;

в) контроль технічного стану має проводитись по розробленим спеціалізованими організаціями програмам та методикам діагностування вантажних вагонів для конкретних їх типів або моделей, що відповідають вимогам «Єдиних методических указаний по техническому диагностированию грузовых и рефрижераторных вагонов государств-участников Соглашения о

совместном использовании грузовых и рефрижераторных вагонов в международном сообщении».

- оформлення технічних рішень:

а) за результатами контролю технічного стану спеціалізована організація має підготувати технічне рішення щодо продовження строку експлуатації вантажного вагона або про його виключення з АБД ПВ за формою, що визначено [2].

Технічне рішення потрібно готувати у чотирьох примірниках із зазначенням необхідного планового виду ремонту для вантажних вагонів, яким продовжено строк експлуатації на залізничному транспорті загального користування або необхідності виключення вагона з АБД ПВ за технічним станом, які надаються для перевірки та погодження до Товариства через ЦВ.

б) спеціалізована організація перед направленням оригіналів технічного рішення до Товариства має виконати їх перевірку шляхом направлення текстового файлу встановленого зразку до ГІОЦ відповідно до вимог [26].

Результат проведеної перевірки ГІОЦ має направити до спеціалізованої організації відповідним протоколом після отримання текстового файлу;

в) контроль технічного стану вантажного вагона не може відбуватись до моменту виконання ремонту вагона в період дії технічного рішення протягом шести місяців від дати його видачі (якщо технічне рішення не було реалізоване).

Протягом 6 місяців з дати видачі технічного рішення повторний контроль технічного стану може відбуватись лише у разі відміни даного технічного рішення спеціалізованою організацією, яка проводила або буде проводити контроль технічного стану відповідно до договірних відносин з власником вантажних вагонів. Відміна технічного рішення має відбуватись шляхом направлення спеціалізованою організацією повідомлення на адресу Товариства із зазначенням номерів вантажних вагонів та номерів технічних рішень, відповідно до зазначеного в [26].

- погодження технічних рішень:

а) розгляд технічних рішень, що підготовлене спеціалізованою організацією, має відбуватись в ЦВ після їх перевірки у ГІОЦ, за наявності в ЦВ копій наступних документів:

- Атестат про акредитацію на компетентність спеціалізованої організації, виданий Національним агентством з акредитації України;

- програми та методики технічного діагностування вантажних вагонів відповідних типів або моделей, що погоджені АТ «Укрзалізниця»;

- технічні умови (ТУ) на проведення капітального ремонту з продовженням строку експлуатації (КРП) вантажних вагонів із зазначенням моделей вагонів (на які вони розповсюджуються), що погоджені Товариством або Комісією вагонного господарства Ради із залізничного транспорту держав – учасниць Співдружності, при наданні на погодження технічного рішення із зазначенням таких ТУ.

б) оригінали технічних рішень в затвердженому стані мають бути розглянуто після їх надходження до ЦВ, та в разі відсутності невідповідностей нормативним документам, що регламентують продовження строку експлуатації вантажних вагонів або виключення вагонів з інвентарю, погоджуються ЦВ, про що передається інформація до ГІОЦ;

в) погодження технічного рішення має відбуватись у разі зазначення в технічному рішенні документів, відповідно яких має виконуватись ремонт з продовженням строку експлуатації вантажних вагонів, або його виключення в металобрухт;

г) результати розгляду технічного рішення (погодження чи відхилення) ЦВ вводять до інформаційних систем. У разі погодження ЦВ технічного рішення спеціалізованої організації, один його примірник зберігається в ЦВ, а три примірники передаються спеціалізованій організації;

д) у разі необхідності виключення вагона з АБД ПВ ВРП підготовлює пакет документів згідно з вимогами діючих нормативних документів та направляє його балансоутримувачу/власнику вагона.

Враховуючи те, що в Наказі [2] не було визначено критерії списання та виключення із вагонного парку вантажних вагонів, у СТП запропоновано наступні ознаки та дефекти за наявності яких здійснюється ця процедура:

а) після закінчення (за датою побудови) призначеного строку експлуатації або нормативного строку служби, або продовженого строку експлуатації, або продовженого строку служби, але не раніше двох років після виконання останнього планового ремонту (за цим показником виключаються вагони при відсутності потреби або недоцільності продовжувати строк їх експлуатації);

б) до закінчення призначеного (нормативного) або продовженого строку експлуатації вантажних вагонів, технічний стан яких не гарантує безпечну експлуатацію та їх відновлення недоцільне.

в) за несправностями рами (усі вагони, що входять до переліку вагонів, які ремонтуються з продовженням строку служби, крім рефрижераторних) у вигляді:

- злам або тріщина довжиною більше $2/3$ поперечного перерізу у двох і більше елементів хребтової балки або в одному вузлу з'єднання хребтової та шворневої балок;

- зменшення площі поперечного перерізу хребтових балок внаслідок корозійного пошкодження на 30% та більше, або окремих елементів (горизонтальних полиць, вертикальних стінок) більше, ніж 50% від конструктивних розмірів на ділянці довжиною більше 500 мм;

- відхилення від площинності (пропелерність) рами вагона більше 70 мм на 1 м ширини або понад 200 мм на всю ширину рами;

- необхідність заміни одного з профілів (зета, швелера) хребтової балки.

2.4. Висновки до розділу 2

1. На основі аналізу структури вагонного парку спеціального рухомого складу за строками експлуатації та видами несправностей з'ясовано, що частка думпкарів (вагонів-самоскидів), які вичерпали терміни експлуатації,

встановлені заводами-виробниками складає 99%, а таких, що мають полуторний строк експлуатації – 88%. Для хопер-дозаторів ці частки складають відповідно – 82% і 9%. Встановлено, що суттєва частина несправностей думпкарів та хопер-дозаторів (біля 34%) пов'язана із вантажо-розвантажувальними операціями, а саме порушенням технології розвантаження у зв'язку із несправностями розвантажувальних пристроїв та людським фактором.

2. Уточнено класифікацію вагонів за віковою ознакою на основі врахування терміну служби та факту продовження строку експлуатації, а саме:

- термін служби вичерпаний та не продовжений;
- термін служби вичерпаний та продовжений;
- термін служби не вичерпаний.

3. Діючий в АТ «Укрзалізниця» порядок продовження строку експлуатації вантажних вагонів, не визначає критеріїв списання та виключення вантажних вагонів із вагонного парку. За участю автора розроблено зміни до стандарту підприємства, в якому поліпшено цей порядок та запропоновано ознаки та дефекти, за наявності яких здійснюється ця процедура.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РУСУРСУ ВАГОНІВ СПЕЦІАЛЬНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

3.1. Об'єкти та методи випробувань

Метою експериментальних досліджень було отримання напружень в несівних конструкціях спеціального рухомого складу для подальшого системного аналізу та визначення залишкового ресурсу вагонів.

Проводилися три типи випробувань:

- випробування по скиданню вагона з клинів;
- випробування на співударянні при дії обмеженої серії ударних навантажень;
- контрольні випробування при співударянні на ресурс.

Експериментальні дослідження пов'язані із визначенням залишкового ресурсу та продовженням строку експлуатації вагонів думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів проводяться у формі випробувань. Основною задачею проведення випробувань є з'ясування напруженого стану несівних металевих конструкцій (НМК) при характерних режимах навантаження. Автор дисертації є співавтором програми проведення випробувань [27]. Зміст програми випробувань та отримані результати і висновки випробувань опубліковано в наукових публікаціях автора [28, 29, 30, 31].

Об'єкти експериментального дослідження – думпкар моделі 31-638 № 34004465 (рис. 3.1а) 1987 року побудови та хопер-дозатор моделі 20-Х15 №30695241 (рис. 3.1б) 1961 року побудови та досліджено показники міцності та залишкового ресурсу НМК вагонів. Основні технічні характеристики дослідних вагонів згідно [19, 20] наведені в табл. 3.1.

З метою забезпечення виконання підприємствами АТ «Укрзалізниця» робіт актуальною задачею є продовження строку експлуатації вантажних вагонів [32, 33, 34, 35]. Виходячи з цього, впливає необхідність проведення досліджень, спрямованих на оцінку фактичного ресурсу їх несівних

конструкцій, що дасть можливість забезпечення їх подальшої безпечної експлуатації [36, 37, 38, 39].



Рисунок 3.1 – Вагони: а) думпкар б) хопер-дозатор

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики дослідних вагонів

Тип вагона	Од-ця	Хопер-дозатор моделі 20-Х15	Думпкар моделі 31-638
Кількість осей	-	4	4
Тара вагона (мінімальна)	т	22,2	25,7
Тара вагона (максимальна)	т	23,6	27,3
Вантажопідйомність	т	60	60
Об'єм кузова	м ³	33,4	26,2
База вагона	мм	7837	7500
Ширина	мм	3250	3210
Габарит	-	1-Т	1-Т
Довжина по осях автозчеплення	мм	10870	11830
Довжина по рамі	мм	10700	10610
Максимальне розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейку	кН	210	212,7
Рік постановки на серійне виробництво	-	1961	1971

Метою проведення випробувань є визначення залишкового ресурсу та обґрунтування можливості продовження строку експлуатації вантажних

вагонів: думпкар та вагон хопер-дозатор, які використовуються підрозділами колійного господарства АТ «Укрзалізниця», після довготривалої експлуатації протягом строку, який перевищує полуторний або подвійний від призначеного [27]. Передбачено проведення їх технічного діагностування: контроль технічного стану несівних конструкцій кузовів і рам вагонів, проведення випробувань з експериментальним визначенням напруженого стану несівних конструкцій рам і кузовів вагонів при характерних режимах навантаження.

Програма випробувань [27] містить наступні етапи:

- обстеження вагонів, їх відбір та ідентифікація;
- проведення випробувань по скиданню з клинів;
- проведення випробувань на співудар.

Вимірювальний комплекс для діагностики й випробувань рухомого складу складається із програмно-апаратного автоматичного реєстратора, комплекту комунікаційних кабелів, комп'ютера і програмного забезпечення.

На рис. 3.2–3.3 зображено вагони під час проведення випробувань з встановленим вимірювальним обладнанням.



а)



б)

Рисунок 3.2 – Дослідні вагони: а) хопер-дозатор,
б) думпкар з встановленим вимірювальним обладнанням



а)



б)

Рисунок 3.3 – Засоби реєстрації: а) контролер для запису даних,
б) пристрій для вимірювання швидкості

Для проведення випробувань використовувались наступні засоби вимірювальної техніки:

- тензометр (тензодатчик);
- автоматичний реєстратор до складу якого входить канал вимірювання швидкості GPS, приймач GPS супутникових навігаційних систем та аналого-цифровий перетворювач 4-х каналний;
- автозчеп-динамометр.

Тензометр (тензодатчик) – прилад для вимірювання деформацій, що викликаються механічним навантаженням в твердих тілах [48]. Застосовується при дослідженні розподілу деформацій в деталях, конструкціях та спорудах, а також при механічних випробування матеріалів.

Тензодатчик являє собою підкладку, на яку наклеєно декілька витків тонкого проводу (спеціальний сплав), або металевої фольги [49]. Датчик наклеюється на чутливий елемент, що сприймає навантаження F , з орієнтацією довгої осі датчика по лінії дії сили, що контролюється. Цим елементом може бути будь-яка конструкція, що перебуває під впливом сили F і працює в межах пружної деформації. Цієї ж деформації зазнає і тензодатчик, при цьому провідник датчика довшає або скорочується по довгій осі його установки. Останнє приводить до зміни його опору.

Тензодатчики з'єднані в напівмостову схему Уїтстона, з одним активним

та компенсаційним тензодатчиком. Така схема складає вимірювальний канал, який доповнюється тензометричним модулем, який здійснює масштабування миттєвих значень вхідної напруги й аналого-цифрове перетворення в цифровий код. Цифрові сигнали по внутрішній шині передаються з модулів у контролер, з виходу якого по інтерфейсній шині Ethernet надходять у комп'ютер, де проводиться обробка, відображення й зберігання вимірювальної інформації.

Програмне забезпечення виконує функції управління процесом запису, початкового налаштування режиму реєстрації сигналів від вимірювальних каналів, режимами роботи автоматичного реєстратора, математичні функції обробки, представлення і зберігання вимірювальної інформації. Складається з наступних блоків:

- програмне забезпечення для прошивання програмованої логічної інтегральної мікросхеми (ПЛІС), розташованої в шасі;
- прикладного програмного забезпечення контролера;
- клієнтської частини прикладного програмного забезпечення реєстратора хост-комп'ютера.

Програмне забезпечення програмно-апаратного реєстратора розроблено в програмній оболонці Lab View FPGA [50]. Прикладне програмне забезпечення призначене для того, щоб на апаратному рівні із заданою частотою дискретизації зчитувати з обраних користувачем каналів вимірювальні дані, вибирати тип підключення виходів первинних вимірювальних перетворювачів, і встановлювати межі виміру напруги. Прикладне програмне забезпечення контролера складається із двох частин. Перша частина здійснює зчитування даних з тензометричних модулів АЦП, проводить обробку даних і робить запис в енергонезалежну пам'ять контролера. Друга частина здійснює передачу даних по протоколу керування передачею ТСР на зовнішній комп'ютер. Програмне забезпечення комп'ютера за допомогою інтерфейсу користувача, виконує загальні керуючі функції та відображає поточні виміри на екрані монітора.

На території ВЧД Коростень та КМС-122 Коростень регіональної філії «Південно-Західна залізниця» розміщувалися вагони думпкари та хопер-

дозатори підготовлені для обладнання вимірювальними засобами і проведення випробувань.

Несівні конструкції вагонів було досліджено методами неруйнівного контролю [51, 52, 53, 54, 55] на предмет деформацій, зламів, зносів, вигинів, прогинів, корозії, обривів, ослаблення кріплення вузлів і деталей, тріщини.

Відповідно до програми випробувань [27] було проведено монтаж тензодатчиків на несівних конструкціях вантажних вагонів (рис. 3.4–3.10).



Рисунок 3.4 – Тензодатчики 1, 3 на кузові та 7, 8 на шворневій балці хопер-дозатора



Рисунок 3.5 – Тензодатчики 4, 5, 6 на хребтовій балці хопер-дозатора



Рисунок 3.6 – Тензодатчики 9, 10, 11 на кузові хопер-дозатора



Рисунок 3.7 – Тензодатчики 1, 2, 3, 4 на кузові думпкара



Рисунок 3.8 – Тензодатчики 5, 6 на хребтовій балці та 7, 8 на шворневій балці думпкара



Рисунок 3.9 – Тензодатчики 9, 10, 11 на проміжній та хребтовій балці думпкара



Рисунок 3.10 – Тензодатчики 12, 13 на лобовому брусі та на стойці торцевої стіни думпкара

Схема встановлення тензодатчиків (рис. 3.11–3.12) виконано відповідно до розробленої програми контрольних випробувань [27].

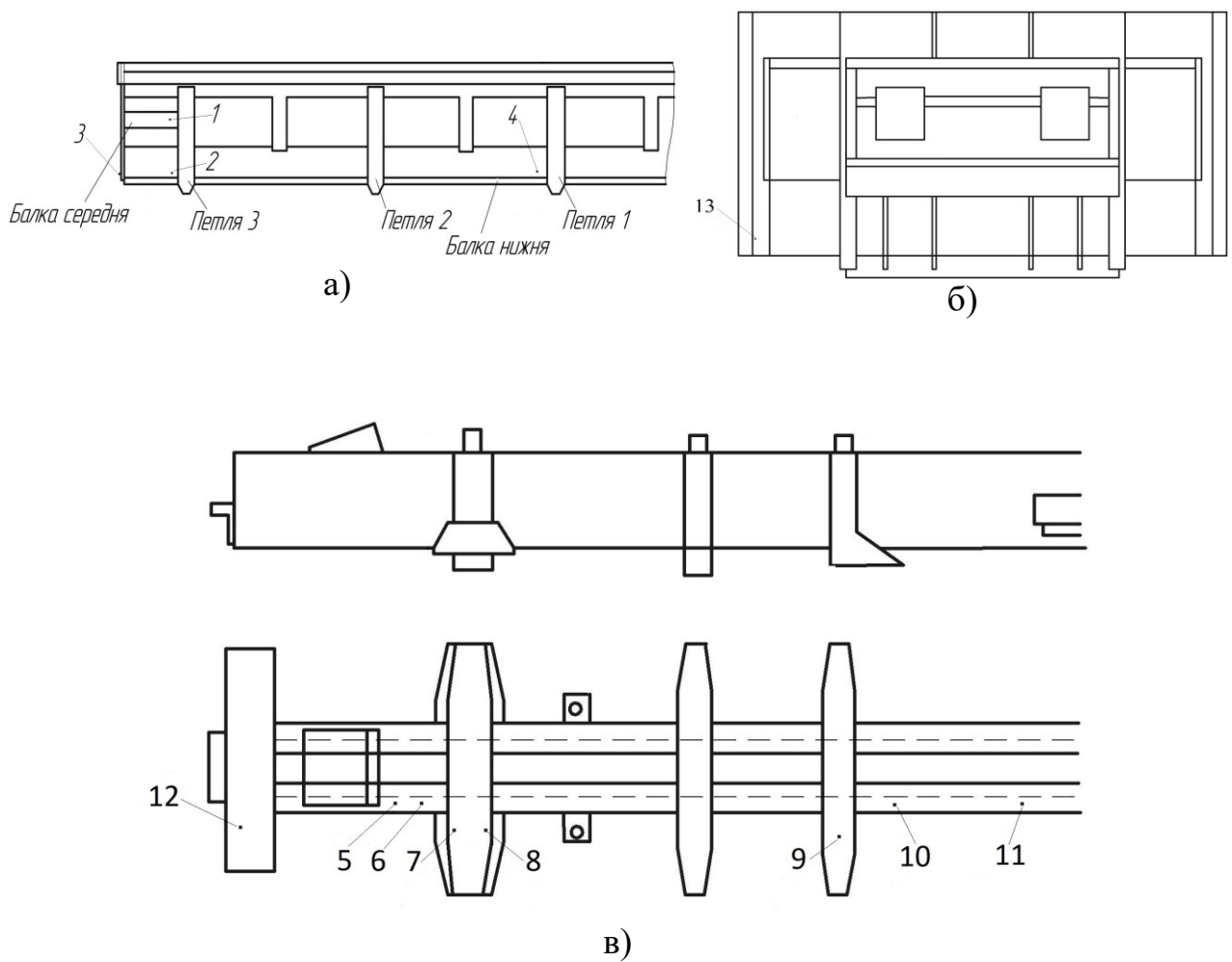


Рисунок 3.11 – Схема встановлення тензодатчиків на несівних конструкціях думпкара а) верхня рама та бокова стіна вагона, б) торцева стінка кузова вагона та в) нижня рама вагона

У результаті зважування дослідних вагонів та вагона бійка маємо такі маси вагонів:

- думпкар – 79,3 т;
- хопер-дозатор – 74,2 т;
- вагон бойок – 89,5 т.

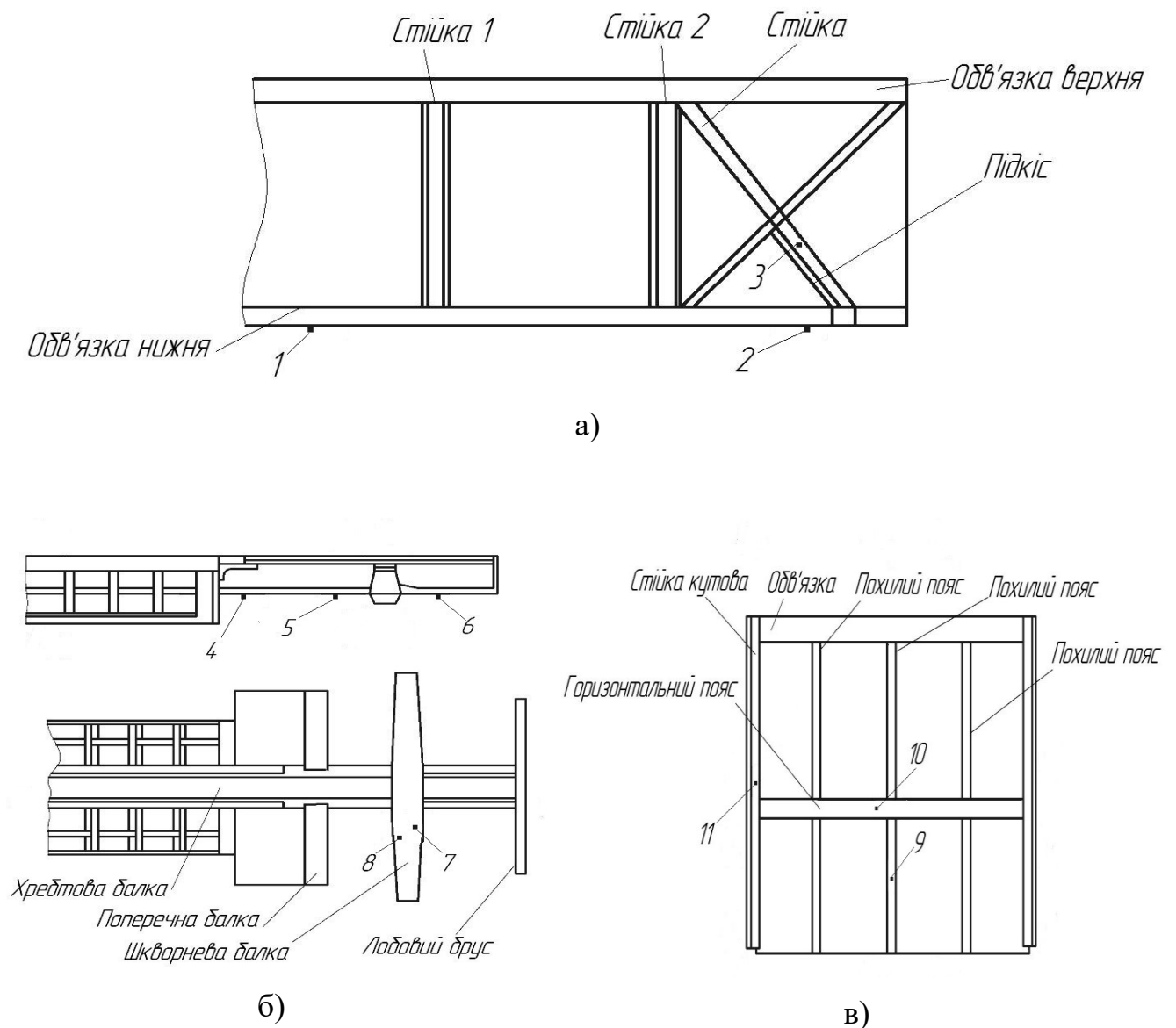


Рисунок 3.12 – Схема встановлення тензодатчиків на несівних конструкціях хопер-дозатора а) кузов, б) рама та в) торцева стіна кузова

3.2. Проведення контрольних випробувань по скиданню з клинів

Перед проведенням ходових випробувань вагонів проводять випробування по скиданню з клинів [56] вагонів для отримання попередніх показників деформування та власних частот коливань.

Досліджуваний вагон накочується за допомогою локомотива на клини (рис. 3.13). Висота клинів – 28 мм, довжина – 350 мм, ширина – 50 мм.

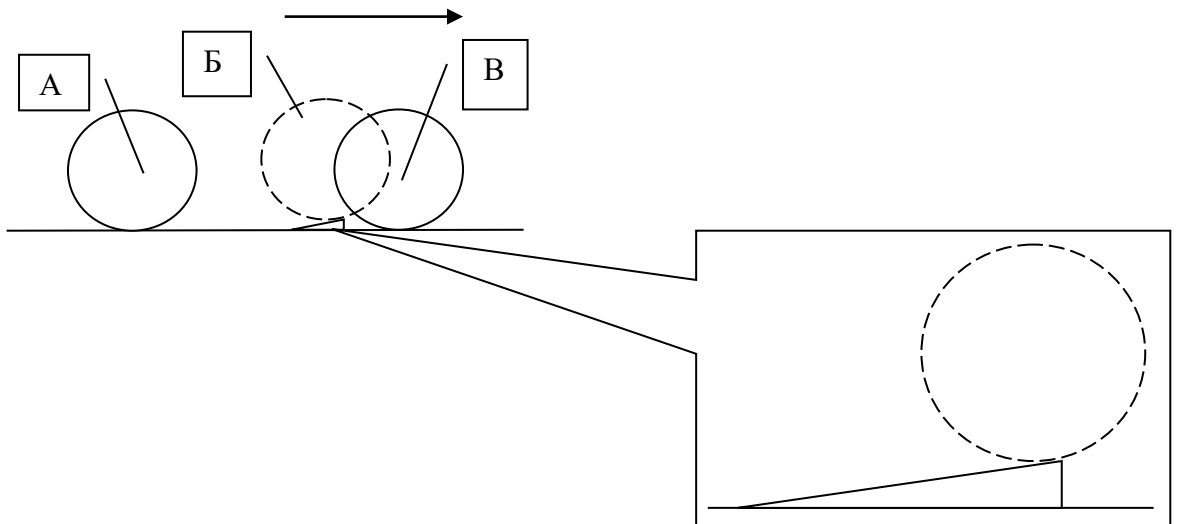


Рисунок 3.13 – Накочування досліджуваного вагона на клин А – наковчання колеса вагона на клин, Б – колесо вагона знаходиться у верхній точці клина, В – колесо вагона скидається з клина

Клини встановлюються по черзі (табл. 3.2):

- 1) режим підскакування – під всі колеса вагона;
- 2) під колеса одного боку одного візка й іншого боку другого візка (імітація скручування);
- 3) під всі колеса одного візка (імітація галопування);
- 4) під колеса одного боку вагона (імітація бічної хитавиці).

Таблиця 3.2 – Схема установки клинів під колеса дослідних вагонів*

№	Режим коливань	Сторона вагона	Номер колісної пари							
			1		2		3		4	
1	Підскакування	Л	•		•		•		•	
		П	•		•		•		•	
2	Скручування кузова	Л	•		•					
		П					•		•	
3	Галопування	Л	•		•					
		П	•		•					
4	Бокова хитавиця	Л	•		•		•		•	
		П								

* – кількість скидань з клинів за кожною схемою їх встановлення – 3 рази.

Методика обробки і оцінки результатів випробувань виконується у відповідності з вимогами розроблених програм та методик та [57, 58, 59].

Допустиме напруження несівних конструкцій вагонів зі сталі 09Г2С складає: $0,9\sigma_T = 238\text{МПа}$ [57, 60].

Результати визначення максимальних напружень під час випробувань скидання з клинів думпкарів та хопер-дозаторів наведені в табл. 3.3 та 3.4.

Таблиця 3.3 – Результати визначення максимальних напружень під час випробування скидання з клинів думпкара моделі 31-638 №34004465

Канал	Підскакування, МПа	Скручування кузова, МПа	Галопування, МПа	Бокова хитавиця, МПа
1	5,4	2,7	3,9	2,2
2	2,9	1,4	2,8	1,8
3	2,2	2,8	1,9	1,8
4	10,1	3,8	6,3	6,3
5	13,5	12,6	10,0	9,3
6	26,5	16,4	17,5	26,3
7	10,6	7,9	17,4	5,4
8	7,8	8,6	2,8	14,8
9	1,0	1,2	1,0	1,5
10	19,8	8,5	13,1	5,9
11	24,1	8,0	13,6	6,2
12	2,6	3,2	1,9	5,0
13	2,0	1,1	2,7	1,1

Таблиця 3.4 – Результати визначення максимальних напружень під час випробування скидання з клинів хопер-дозатора моделі 20-X15 №30695241

Канал	Підскакування, МПа	Скручування кузова, МПа	Галопування, МПа	Бокова хитавиця, МПа
1	6,5	5,1	5,3	5,3
2	22,7	25,0	9,8	14,2
3	18,8	11,0	20,1	11,2
4	33,4	22,4	17,4	23,6
5	30,9	11,1	23,7	17,6
6	29,1	12,8	11,2	16,9
7	17,9	14,2	24,7	24,9

Канал	Підскакування, МПа	Скручування кузова, МПа	Галопування, МПа	Бокова хитавиця, МПа
8	36,7	20,1	16,0	22,3
9	4,6	5,9	5,4	6,4
10	9,4	5,6	5,9	5,9
11	2,2	4,6	3,5	3,3

3.3. Проведення випробувань на співударяння

3.3.1. Методика випробування на співударяння

При випробуванні на співудар на нерухомий дослідний вагон наочується вагон-бойок. Випробування проводяться на прямій горизонтальній ділянці залізничної колії. З метою здійснення співудару вагон-бойок розганяється локомотивом, який відчіпляється безпосередньо перед співударянням. В якості вагона-бойка використовується завантажений вагон загальною масою не менше маси завантаженого дослідного вагона. Дослідний вагон підпирається трьома-чотирьома загальмованими вантажними вагонами загальною масою не менше 300 т, переміщення яких обмежено рейковими башмаками або підпором з масивного стаціонарного залізобетонного блоку-упору.

Випробування на співудар проводились у такій послідовності:

- вагон обладнується автозчепом-динамометром;
- установка вагона на ділянку залізничної колії для випробувань, пристрою для визначення швидкості наочування вагона-бойка;
- випробування на співудар;
- вимірювання деформацій, швидкості наочування та сили удару вагона-бойка за допомогою засобів вимірювальної техніки;
- огляд конструкції при контрольних випробуваннях проводиться після кожних 3-5 ударів.

Випробування на співудар вагонів на міцність при дії обмеженої серії ударних навантажень в межах передбачених «Нормами ...» [61] та РД.24.050.37.95 [56].

Для визначення поздовжніх зусиль, що діють на випробовуваний вагон в

момент удару, застосовується автозчеп-динамометр, обладнаний тензодатчиками і попередньо проградуєований статичним навантаженням на стенді і забезпечує достовірну реєстрацію сил в діапазоні не менше ніж 2,5...3 МН.

З метою стабілізації та форсування процесу ресурсних випробувань допускається виключення поглинальних апаратів автозчепу та використання схеми випробувань з повторними співударями випробуваного вагона в кожному циклі за один хід вагона-бійка (двох, трьох та більше ударні цикли).

При одноударній схемі [56, 62] співударянь необхідно передбачити зміну ударного кінця або поворот вагона, що підлягає випробуванням не рідше, ніж через кожних 500 співударянь. З метою зниження надлишкової дії насипних вантажів на торцеві стінки кузова розворот завантажених таких вантажем вагонів необхідно проводити частіше, ніж через 500 ударів, або застосувати двохударну схему співударянь. Схема розташування рухомого складу під час проведення одноударних випробувань зображено на рис. 3.14.



Рисунок 3.14 – Схема розташування рухомого складу під час проведення одноударних випробувань

1 – локомотив; 2 – вагон-бойок; 3 – дослідний вагон; 4,5,6 – вагони підпори

При двохударній схемі [56] перше співударяння виконується при накочуванні вагона-бойка, на вагон, що випробовується, а друге – при накочуванні вагона, що випробовується одного чи в зчепі з вагоном-бойком на нерухомий підпір. При цій схемі реєструються сили удару на двох автозчепках вагона, що випробовується. Допускається застосування схеми трьома співударяннями. Схема розташування рухомого складу під час проведення двоударних випробувань зображено на рис. 3.15.



Рисунок 3.15 – Схема розташування рухомого складу під час проведення двоударних випробувань

1 – локомотив; 2 – вагон-бойок; 3 – дослідний вагон; 4,5,6 – вагони підпори

Прискоренню випробувань сприяють також зменшення швидкостей співударяння при збереженні сил удару за рахунок застосування поглинальних апаратів з малою енергоємністю.

3.3.2. Результати випробування на співударяння при дії обмеженої серії ударних навантажень

Співудари вантажних вагонів при ударних випробуваннях проводять за швидкостями, які вказані в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Кількість співударів в кожному інтервалі швидкості

Діапазон швидкості зіткнення, км/год.	Кількість співударів	
	Підпертий стан	Вільний стан
3...6	7	7
6,01...10	7	7
10,01...12	3	3

Результати визначення максимальних напружень під час випробувань на співударяння при дії обмеженої серії ударних навантажень наведені в табл. 3.6 та 3.7.

Таблиця 3.6 – Результати визначення напружень під час випробування на співударяння при дії обмеженої серії ударних навантажень думпкара моделі 31-638 №34004465

Швидкість вагона-бійка	3-6 км/год	6-10 км/год	10-12 км/год
Канали	Максимальні напруження МПа		
1	5,9	20,2	30,0

Швидкість вагона-бійка	3-6 км/год	6-10 км/год	10-12 км/год
Канали	Максимальні напруження МПа		
2	5,7	32,8	37,5
3	4,1	8,7	19,5
4	7,3	14,7	26,1
5	32,0	56,5	62,8
6	31,5	74,4	134,5
7	15,1	38,5	44,5
8	7,9	16,4	16,8
9	3,8	1,2	19,8
10	30,4	49,4	59,5
11	29,1	64,0	68,3
12	4,8	21,1	38,1
13*	5,4	72,0	145,4

* – напруження в зоні розміщення 13 тензодатчика не враховувати під час розрахунку [n] у зв'язку з підвищеними напруженнями від вантажу який змістився.

Таблиця 3.7 – Результати визначення напружень під час випробування на співударяння при дії обмеженої серії ударних навантажень хопер-дозатора моделі 20-X15 №30695241

Швидкість вагона-бійка	3-6 км/год	6-10 км/год	10-12 км/год
Канали	Максимальні напруження МПа		
1	4,2	10,8	11,3
2	19,5	49,2	51,0
3	22,3	48,1	58,6
4	53,1	175,6	200,5
5	30,6	76,6	97,9
6	22,3	70,2	60,5
7	44,8	179,0	182,2
8	32,1	110,9	127,8
9	21,7	68,4	77,9
10	6,5	22,4	31,9
11	4,8	11,2	14,5

3.4. Визначення граничного строку експлуатації спеціального рухомого складу на основі експериментальних даних

3.4.1. Методика визначення граничного строку експлуатації вагонів

Деталі вагонів, які працюють в умовах тривалої інтенсивної дії

динамічних навантажень, потрібно розраховувати на опір втомі у разі багатоциклового навантаження. Під час розрахування враховують ймовірне розсіювання характеристик опору втомі деталі та випадковий характер її динамічного навантаження.

Розраховують опір втомі з урахуванням коефіцієнта запасу n за формулою згідно ДСТУ 7598:2014 [57]:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,e}} \geq [n], \quad (3.1)$$

де $\sigma_{a,N}$ – границя витривалості (за амплітудою) натурної деталі в разі симетричного циклу та сталого режиму навантаження на базі випробування $N_0 = 10^7$ циклів, МПа;

$\sigma_{a,e}$ – розрахункова значення амплітуди динамічного напруження умовного симетричного циклу, приведена до бази N_0 , еквіваленте за пошкоджуваною дією реальному режиму експлуатаційних випадкових напружень протягом проектного терміну служби, МПа;

$[n]$ – допустимий коефіцієнт запасу опору втомі.

Для оцінки показників опору втомі були враховані напруження несівних конструкцій вагонів під час випробувань:

- сил, що виникають під час скидання з клинів вагону з імітацією коливань підскакування, скручування кузова, галопування та бокової хитавиці;
- сили взаємодії між вагонами, вагону з локомотивом, гальмування, співударів.

Границю витривалості деталі можна теоретично визначити за допомогою теорії подібності втомного руйнування, основу якої становить відповідність між характеристиками опору втомі зразків матеріалу і деталей складної геометричної форми, з урахуванням технологічних чинників.

Розрахункове значення границі витривалості, в мегапаскалях, визначають

за формулою:

$$\sigma_{a,N} = \bar{\sigma}_{a,N} \cdot (1 - Z_p \cdot J_{\sigma_{a,N}}), \quad (3.2)$$

де $\bar{\sigma}_{a,N}$ – середнє (медіанне) значення границі витривалості дослідного зразка;

Z_p – квантиль розподілу, що відповідає односторонній ймовірності P , якщо вважати, що $\sigma_{a,N}$ - випадкова величина, яка має нормальний закон розподілу, то

для основних деталей вагонів рекомендовано такі значення $P = 0,95$ і

$$Z_p = 1,645;$$

$J_{\sigma_{a,N}} = 0,05$ – коефіцієнт варіації границі витривалості.

$$\bar{\sigma}_{a,N} = \frac{\bar{\sigma}_{-1}}{(\bar{K}_{\sigma})_k} \quad (3.3)$$

де $\bar{\sigma}_{-1}$ – середнє (медіанне) значення границя витривалості гладкого стандартного зразка. Числові значення визначають за довідковими даними;

$(\bar{K}_{\sigma})_k$ – середнє значення загального коефіцієнту зниження границі витривалості даної натурної деталі відносно границі витривалості гладкого стандартного зразка.

Значення $(\bar{K}_{\sigma})_k$ можна приблизно визначити за формулою:

$$(\bar{K}_{\sigma})_k = \bar{K}_{\sigma} \cdot \frac{K_H \cdot K_{ЗМ}}{K_M \cdot K_{ПОВ}} \quad (3.4)$$

де \bar{K}_{σ} – ефективний коефіцієнт концентрації напружень, що враховує зниження опору втомі, зумовлене місцевими змінами форми й розмірів деталі, визначають за довідковими й експериментальними даними, для деяких конструктивних елементів типових для вагонів;

K_H – коефіцієнт неоднорідності матеріалу;

K_{3M} – коефіцієнт впливу поверхневої зміцнювальної обробки деталей;

K_M – коефіцієнт впливу розмірів деталей (масштабного чинника).

Еквівалентну зведену амплітуду динамічних напружень для розрахунку на втому, в МПа, обчислюють у загальному випадку за формулою:

$$\sigma_{a,e} = \sqrt[m]{\frac{N_c}{N_0} \cdot \sum_{i=1}^k \sigma_{ai}^m P_i} \quad (3.5)$$

де N_0 – базова кількість циклів, рекомендоване значення для сталевих конструкцій (крім колісних пар) становить $N_0 = 10^7$;

m – показник степеню в рівнянні кривої втоми у амплітуда;

N_c – сумарна кількість циклів динамічних напружень за розрахунковий термін служби;

σ_{ai} – значення рівня напружень з урахуванням її масової долі під час експлуатації;

P_i – ймовірність появи амплітуди з рівнем σ_{ai} .

$$m = \frac{A}{(\overline{K_\sigma})_k}, \quad (3.6)$$

де A – коефіцієнт згідно [57].

Для деталей, у яких динамічні напруження виникають від коливань та вібрацій під час руху вагона, N_c в циклах, рекомендовано визначати за формулою:

$$N_c = J_e \cdot T_p \quad (3.7)$$

де T_p – сумарний час дії динамічних напружень під час руху за розрахунковий

термін служби деталі (вузла), с

$$T_p = B \cdot T_k \quad (3.8)$$

де B – коефіцієнт переводу календарного розрахункового терміну служби у роках в час непереривного руху в секундах;

T_k – проектний (розрахунковий) календарний термін служби деталі, рік. Як T_k беруть нормативний (визначений чинними нормативними документами) термін служби деталі до планової заміни або повний термін служби до списання вагона.

$$J_e = \frac{a}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{f_{ст}}}, \quad (3.9)$$

де a – коефіцієнт для кузова вагона;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

$f_{ст}$ – статичний прогин підвішування.

$$B = 365 \frac{10^3 \bar{L}_c}{\bar{V}}, \quad (3.10)$$

де \bar{L}_c – середньодобовий пробіг вагону;

\bar{V} – середня швидкість.

За результатами випробувань вагонів та оцінки їх технічного стану приймається рішення про можливість подальшої експлуатації і встановлюється величина нового граничного строку експлуатації.

Результати випробувань оформляються технічним звітом (актом, протоколом), в якому наводяться дані, отримані при обстеженні технічного стану і випробуваннях, результати аналізу отриманої інформації, вказується новий строк експлуатації.

3.4.2. Оцінка показників міцності спеціального рухомого складу

3.4.2.1. Оцінка показників міцності думпкара

Для визначення показників міцності вагону було оцінено напруження в основних місцях несівних конструкцій, які виникають внаслідок:

- власних сил тяжіння конструкції (тари), маси вантажу тощо;
- сил, що виникають під час скидання вагона з клинів та емітують коливання підскакування, скручування кузова, галопування та бокової хитавиці;
- сили взаємодії між вагонами, вагону з локомотивом, гальмування, співударів, у тому числі аварійних зіткнень.

Розрахункові значення напружень у дослідних місцях (критичних точках) думпкара в рамках І режиму навантаження згідно ДСТУ 7598:2014 [57] приведено у табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Розрахункові значення напружень у дослідних місцях (критичних точках) думпкара

Номер каналу	Максимальні напруження, під час випробування скидання з клинів МПа	Сила стиску при 300 т	Розрахункова сила стиску з врахуванням частоти появи сили в експлуатації при 220 т	Розрахункова сила стиску з врахуванням частоти появи сили в експлуатації при 180 т	Розрахункова сила стиску з врахуванням частоти появи сили в експлуатації при 140 т	Розрахункова сила стиску з врахуванням частоти появи сили в експлуатації при 100 т	Розрахункова сила стиску з врахуванням частоти появи сили в експлуатації при 60 т	Розрахункова сила стиску з врахуванням частоти появи сили в експлуатації при 30 т
1	5,4	30,0	26,4	21,6	16,8	12,0	7,2	3,6
2	2,9	37,5	33,0	27,0	21,0	15,0	9,0	4,5
3	2,2	19,5	17,1	14,0	10,9	7,8	4,7	2,3
4	10,1	26,1	23,0	18,8	14,6	10,4	6,5	3,1
5	13,5	62,8	55,2	45,2	35,1	25,1	15,1	7,5
6	26,5	134,5	118,4	96,8	75,3	53,8	32,3	16,1
7	10,6	44,5	39,1	32,0	24,9	17,8	10,7	5,3
8	7,8	16,8	14,8	12,1	9,4	6,7	4,0	2,0
9	1,0	19,8	17,4	14,3	11,1	7,9	4,7	2,4
10	19,8	59,5	52,4	42,9	33,3	23,8	14,3	7,1
11	24,1	68,3	60,1	49,1	38,2	27,3	16,4	8,2
12	2,6	38,1	33,6	27,5	21,4	15,3	9,2	4,6

Сумарні значення напружень у дослідних місцях (критичних точках) думпкара в рамках І режиму навантаження згідно ДСТУ 7598:2014 [57] приведено у табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Сумарні значення напружень у дослідних місцях (критичних точках) думпкара

Номер каналу	Напруження від сил, що виникають під час скидання вагона з клинів та емітують коливання, МПа	Напруження сили взаємодії між вагонами, вагона з локомотивом, гальмування, співударів, у тому числі аварійних зіткнень (300 т), МПа	Сумарні значення напружень, МПа
1	5,4	30,0	35,5
2	2,9	37,5	40,4
3	2,2	19,5	21,6
4	10,1	26,1	36,2
5	13,5	62,8	76,3
6	26,5	134,5	161,0
7	10,6	44,5	55,1
8	7,8	16,8	24,6
9	1,0	19,8	20,8
10	19,8	59,5	79,3
11	24,1	68,3	92,4
12	2,6	38,1	40,7

Допустиме напруження матеріалу несівних конструкцій складає: $0,9\sigma_T = 238\text{МПа}$ згідно [57, 60]. Канал 6 дослідного вагона має сумарний рівень напружень 161,0 МПа та не перевищує значення допустимих напружень для нових та модернізованих вагонів.

Враховуючи те, що одночасне поєднання максимальних повздовжніх (300 т на автозчепному пристрою) та вертикальних навантажень є рідким поєднанням несприятливих факторів (частість сил складає 0,011), подальша безпечна експлуатація думпкара моделі 31-638 з точки зору показників міцності можлива за межами призначеного терміну служби при періодичному контролі технічного стану несівних конструкцій.

3.4.2.2. Оцінка показників міцності хопер-дозатора

Розрахункові значення напружень у дослідних місцях (критичних точках) хопер-дозатора в рамках І режиму навантаження згідно ДСТУ 7598:2104 [57] приведено у табл. 3.10.

Таблиця 3.10 – Розрахункові значення напружень у дослідних місцях (критичних точках) хопер-дозатора

Номер каналу	Максимальні напруження, під час випробування скидання з клинів МПа	Сила стиску при 300 т	Розрахункова сила стиску з врахуванням частоти появи сили в експлуатації при 220 т	Розрахункова сила стиску з врахуванням частоти появи сили в експлуатації при 180 т	Розрахункова сила стиску з врахуванням частоти появи сили в експлуатації при 140 т	Розрахункова сила стиску з врахуванням частоти появи сили в експлуатації при 100 т	Розрахункова сила стиску з врахуванням частоти появи сили в експлуатації при 60 т	Розрахункова сила стиску з врахуванням частоти появи сили в експлуатації при 30 т
1	6,5	11,3	9,9	8,1	6,3	4,5	2,7	1,3
2	22,7	51,0	44,9	36,7	28,6	20,4	12,2	6,1
3	18,8	58,6	51,56	42,2	32,8	23,4	14,1	7,0
4	33,4	200,5	176,5	144,4	112,3	80,2	48,1	24,1
5	30,9	97,9	86,1	70,5	54,8	39,1	23,5	11,7
6	29,1	60,5	53,2	43,6	33,9	24,2	14,5	7,3
7	17,9	182,2	160,4	131,2	102,0	72,9	43,7	21,9
8	36,7	127,8	112,4	92,0	71,5	51,1	30,7	15,3
9	4,6	77,9	68,6	56,1	43,6	31,2	18,7	9,3
10	9,4	31,9	28,1	23,0	17,9	12,8	7,7	3,8
11	2,2	14,5	12,7	10,4	8,1	5,8	3,5	1,7

Сумарні значення напружень у дослідних місцях (критичних точках) хопер-дозатора в рамках І режиму навантаження згідно ДСТУ 7598:2104 [57] приведено у табл. 3.11.

Канал 4 дослідного вагона має сумарний рівень напружень 233,9 МПа та не перевищує значення допустимих напружень для нових та модернізованих вагонів.

Таблиця 3.11 – Сумарні значення напружень у дослідних місцях (критичних точках) хопер-дозатора

Номер каналу	Напруження від сил, що виникають під час скидання вагона з клинів та емітують коливання, МПа	Напруження сили взаємодії між вагонами, вагона з локомотивом, гальмування, співударів, у тому числі аварійних зіткнень (300 т), МПа	Сумарні значення напружень, МПа
1	6,5	11,3	17,7
2	22,7	51,0	73,8
3	18,8	58,6	77,3
4	33,4	200,5	233,9
5	30,9	97,9	128,8
6	29,1	60,5	89,6
7	17,9	182,2	200,1
8	36,7	127,8	164,5
9	4,6	77,9	82,5
10	9,4	31,9	41,3
11	2,2	14,5	16,7

Враховуючи те, що одночасне поєднання максимальних повздовжніх (300 т на автозчепному пристрою) та вертикальних навантажень є рідким поєднанням несприятливих факторів (частість сил складає 0,011), подальша експлуатація вагонів хопер-дозаторів моделі 20-Х15, що використовуються підрозділами колійного господарства з точки зору показників міцності можлива за межами призначеного терміну служби при періодичному контролі технічного стану несівних конструкцій.

3.4.3. Оцінка показників опору втомі спеціального рухомого складу

3.4.3.1. Оцінка опору втомі думпкара

Опір втомі думпкара оцінюється коефіцієнтом запасу опору втомі.

Визначення коефіцієнту запасу опору засновано на експериментальних даних отриманих в процесі двох видів випробувань:

- скидання з клинів – імітація руху з коливаннями підскакування, скручування кузова, галопування та бокової хитавиці: визначаються

напруження, що виникають в критичних точках згідно програми контрольних випробувань;

- випробування на співударяння при дії обмеженої серії ударних навантажень – співударяння вагонів з використанням вагона-бойка: напруження поздовжньої деформації від удару.

Коефіцієнт запасу опору втомі визначається згідно формули 3.1 [57].

Розрахункове значення границі витривалості визначалось згідно формул (3.2 – 3.6) із прийнятими значеннями показників:

- $\sigma_{-1} = 225$ МПа – границя витривалості;
- $(K_{\sigma})_K$ – значення загального коефіцієнту зниження границі витривалості натурної деталі згідно [57] складає 1,43;
- N_C – сумарна кількість циклів динамічних напружень за розрахунковий термін служби;
- $\bar{L}_C = 41,1$ км – середньодобовий пробіг вантажного вагону;
- $\bar{V} = 17$ м/с – середня швидкість.

Розрахункові значення n – коефіцієнт запасу опору втомі у дослідних місцях (критичних точках) думпкара згідно ДСТУ 7598:2014 [57] приведено у табл. 3.12.

Таблиця 3.12 – Розрахункові значення коефіцієнту запасу опору втомі (n) у дослідних місцях (критичних точках) думпкара

Номер каналу	Напруження від сил, що виникають під час скидання вагона з клинів та емітують коливання, МПа	Напруження сили взаємодії між вагонами, вагона з локомотивом, гальмування, співударів, з урахуванням її масової долі під час експлуатації, МПа	Коеф. запасу опору втомі, n
1	5,4	Таблиця 3.9	7,50
2	2,9		8,57
3	2,2		14,47
4	10,1		5,41
5	13,5		3,26
6	26,5		1,60

Номер каналу	Напруження від сил, що виникають під час скидання вагона з клинів та емітують коливання, МПа	Напруження сили взаємодії між вагонами, вагона з локомотивом, гальмування, співударів, з урахуванням її масової долі під час експлуатації, МПа	Коеф. запасу опору втомі, n
7	10,6		4,34
8	7,8		7,38
9	1,0		18,09
10	19,8		2,63
11	24,1		2,21
12	2,6		8,74

Згідно ДСТУ 7598:2014 [57] допустиме значення коефіцієнту запасу опору втомі [n] для кузова вантажного вагона дорівнює 1,5 у разі використання статистично надійних експериментальних даних щодо $\sigma_{a,N}$ для $P=0,95$ та наближених даних $\sigma_{a,e}$, визначених розрахунковим методом за встановленими нормативами динамічних сил, або в разі використання середньо імовірних даних щодо $\sigma_{a,N}$ для $P=0,5$ та надійних експериментальних даних щодо $\sigma_{a,e}$.

За результатами проведених досліджень отримано, що найменше значення коефіцієнту запасу опору втомі думпкара відповідає каналу 6 (на хребтовій балці в зоні шворневої балки – рис. 3.11) і дорівнює 1,6. Коефіцієнти запасу опору втомі інших каналів значно вищі і знаходяться в межах – від 2,21 (канал 11) до 18,09 (канал 9) (табл. 3.12).

3.4.3.2. Оцінка опору втомі хопер-дозатора

Для оцінки показників опору втомі хопер-дозатора були враховані напруження несівних конструкцій вагона під час випробувань за методикою описаною в пп. 3.4.3.1.

Оцінку n – запасу опору втомі проведено згідно формули (3.1).

Розрахункове значення границі витривалості розраховувалось згідно формул (3.2 – 3.6) із введеними значеннями:

- $\sigma_{-1} = 225$ МПа – границя витривалості;

- $(K_{\sigma})_k$ = значення загального коефіцієнту зниження границі витривалості натурної деталі згідно [57] у зоні 4 складає 1,28 в усіх інших 1,43;

- N_c – сумарна кількість циклів динамічних напружень за розрахунковий термін служби. Прийнято з урахуванням фактичного терміну служби – 65 років;

- $\bar{L}_c = 41,1$ км – середньодобовий пробіг вагону;

- $\bar{V} = 17$ м/с, середня швидкість.

Розрахункові значення n – коефіцієнт запасу опори втомі у дослідних місцях (критичних точках) хопер-дозатора згідно ДСТУ 7598:2014 [57] приведено у табл. 3.13.

Таблиця 3.13 – Розрахункові значення коефіцієнту запасу опору втомі (n) у дослідних місцях (критичних точках) хопер-дозатора

Номер каналу	Напруження від сил, що виникають під час руху вагона під час коливань підскакування, скручування кузова, галопування та бокової хитавиці, МПа	Напруження сили взаємодії між вагонами, вагона з локомотивом, гальмування, співударів, з урахуванням її масової долі під час експлуатації, МПа	Запас опору втомі n
1	6,5	Таблиця 3.13	8,99
2	22,7		2,40
3	18,8		2,63
4	33,4		1,36
5	30,9		1,59
6	29,1		1,91
7	17,9		1,56
8	36,7		1,57
9	4,6		4,27
10	9,4		5,10
11	2,2		16,29

Згідно [57] допустиме значення $[n]$ для кузова вантажного вагона дорівнює 1,3 у разі використання статистично надійних експериментальних даних щодо границь витривалості $\sigma_{a,N}$ за довірчої імовірності $P=0,95$ та надійних експериментальних даних щодо експлуатаційної навантаженості деталі $\sigma_{a,e}$.

Найменше значення коефіцієнту запасу опору втомі відповідає каналу 4 (на хребтовій балці в зоні початку кузова) і дорівнює 1,36, також ще 3 канали мають наближене значення коефіцієнту запасу опору втомі і складають:

- канал 5 (на хребтовій балці в районі шворневої балки) – 1,59;
- канал 7 (на нижньому листі шворневої балки зі сторони між шворневою та кінцевою балками) – 1,56;
- канал 8 (на нижньому листі шворневої балки зі сторони між шворневими балками) – 1,57.

Всі інші значення коефіцієнт запасу опору втомі складають 1,91 (канал 6) та вище.

3.4.4. Коригування даних випробувань на прикладі думпкарів

Дані про напруження отримані під час випробувань не враховують можливі концентратори напружень в місцях де відсутня можливість наклеїти тензодатчики.

Коефіцієнт зниження границі витривалості у зв'язку із наявністю концентраторів напружень за ДСТУ 7598:2014 [57] (формула 3.4) може враховувати зниження втомної міцності лише в тому випадку, коли б тензодатчик був наклеєний в самій точці концентрації напружень.

В зв'язку з цим, виникла необхідність введення до формули 3.4 додаткових коригуючих коефіцієнтів, які враховують невідповідність точки вимірювання напружень (точка наклеювання тензодатчика) з розрахунковою точкою концентрації напружень. З цією метою в формулу 3.4 було введено коригуючий коефіцієнт \bar{K}_{σ} окремо для кожної з критичних точок на основі еквівалентних напружень, отриманих розрахунком на 3D-моделі методом скінченних елементів.

$$\left(\bar{K}_{\sigma}\right)_k = \bar{K}_{\sigma} \cdot K_{\sigma p} \cdot \frac{K_H \cdot K_{3M}}{K_M \cdot K_{\text{ПОВ}}} \quad (3.11)$$

де $K_{\sigma P}$ – коефіцієнт, який корегує \bar{K}_{σ} за допомогою отриманих розрахунком на 3D-моделі методом скінченних елементів.

$$K_{\sigma P} = \frac{\sigma_{\text{екв1}}}{\sigma_{\text{екв2}}} \quad (3.12)$$

де $\sigma_{\text{екв1}}$ – еквівалентні напруження в місці їх концентрації, які визначаються за допомогою отриманих розрахунком на 3D-моделі методом скінченних елементів;

$\sigma_{\text{екв2}}$ – еквівалентні напруження, які фактично отримано в місці запланованого наклеювання тензодатчиків згідно програми та методики проведення випробувань.

Наприклад (рис. 3.16), за результатами проведеного системного аналізу точок наклеювання тензодатчиків №7, 8, 12 та епюри еквівалентних напружень отриманих за допомогою побудованої розрахункової моделі (підрозділ 4.2 дисертації) встановлено, що в зазначених зонах відсутні концентратори напружень. Тому, в даних точках наклеювання тензодатчиків коригуючий коефіцієнт $K_{\sigma P}$ дорівнює 1.

За результатами системного аналізу геометричних параметрів досліджуваної конструкції встановлено, що в зоні наклеювання тензодатчика №6 має місце концентрація напружень. В зв'язку з цим, за результатами побудованої розрахункової моделі з епюри еквівалентних напружень коригуючий коефіцієнт $K_{\sigma P}$ за формулою 3.12 дорівнює 1,3. Даний коефіцієнт необхідно буде застосувати при розрахунку середнього значення загального коефіцієнту зниження границі витривалості за результатами проведених експериментальних досліджень (формула 3.11).

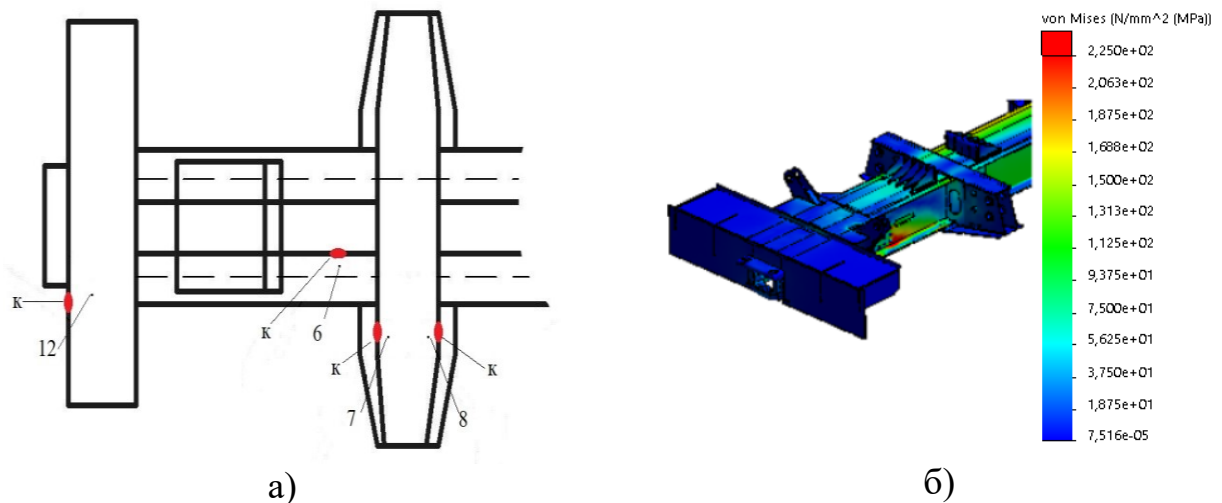


Рисунок 3.16 – Результати аналізу геометричних параметрів досліджуваної конструкції: а) точки наклеювання тензодатчиків, б) еюра еквівалентних напружень

6, 7, 8, 12 – точки наклеювання тензодатчиків, К – точки концентраторів напружень

З метою визначення коригуючого коефіцієнта середнього значення загального коефіцієнту зниження границі витривалості даної натурної деталі проведено аналіз побудованої розрахункової моделі еюри еквівалентних напружень (підрозділ 4.2 дисертації) з 5 по 12 точки наклеювання тензодатчиків (табл. 3.14). Точки наклеювання тензодатчиків з 1 по 4 та 13 не розглядались в зв'язку з тим, що вони знаходились на верхній рамі думпкара.

Таблиця 3.14 – Коригуючий коефіцієнт за допомогою розрахункової моделі еюри еквівалентних напружень

Номер каналу	Еквівалентні напруження в зоні концентрації напружень, $\sigma_{\text{екв1}}$ МПа	Еквівалентні напруження в місці наклеювання тензодатчика, $\sigma_{\text{екв2}}$ МПа	Коригуючий коефіцієнт, $K_{\text{ор}}$
5	88	83	1*
6	225	169	1,3
7	48	50	1
8	30	29	1
9	75	70	1
10	87	81	1
11	87	88	1
12	37	43	1

* - до уваги приймаємо коригуючий коефіцієнт $K_{\text{ор}}$ який має значення більше за «1,1».

3.4.5. Граничний строк експлуатації спеціального рухомого складу

Враховуючи коригуючі коефіцієнти з формули 3.1 та 3.5 σ_{ae} можна представити, як сумарні напруження окремо від вертикальних (на основі випробувань скидання з клинів) та поздовжніх сил (на основі ударних випробувань)

$$\sigma_{ae} = \sigma_{aeV} + \sigma_{aeH}, \quad (3.13)$$

В свою чергу:

$$\sigma_{aeV} = \sqrt[m]{\frac{N_c}{N_0} \cdot \sum_{i=1}^v \sigma_V^m \cdot P_V} = \sqrt[m]{\frac{T_\Gamma \cdot B \cdot J_e}{N_0} \cdot \sum_{i=1}^v \sigma_V^m \cdot P_V} = T_\Gamma^{\frac{1}{m}} \cdot \sqrt[m]{\frac{B \cdot J_e}{N_0} \cdot \sum_{i=1}^v \sigma_V^m \cdot P_V}, \quad (3.14)$$

$$\sigma_{aeH} = \sqrt[m]{\frac{N_{c2}}{N_0} \cdot \sum_{i=1}^h \sigma_H^m \cdot P_H} = \sqrt[m]{\frac{T_\Gamma \cdot N_T}{N_0} \cdot \sum_{i=1}^h \sigma_H^m \cdot P_H} = T_\Gamma^{\frac{1}{m}} \cdot \sqrt[m]{\frac{N_T}{N_0} \cdot \sum_{i=1}^h \sigma_H^m \cdot P_H}, \quad (3.15)$$

де m – показник ступеня в рівнянні кривої втоми в амплітудах;

N_c – сумарна кількість циклів динамічних напружень за розрахунковий термін служби;

N_0 – базова кількість циклів, рекомендоване значення для сталевих конструкцій (крім колісних пар) становить $N_0 = 10^7$;

T_Γ – сумарний час дії динамічних напружень у роках;

B – коефіцієнт переводу календарного розрахункового строку служби у роках в час неперервного руху в секундах;

J_e – частота;

$\sum_{i=1}^v \sigma_V^m$ – сумарне значення рівня напружень від дії вертикальних сил;

N_{c2} – сумарна кількість циклів динамічних напружень від дії поздовжніх сил за розрахунковий термін служби;

N_T – кількість циклів динамічних напружень від дії поздовжніх сил за рік;

$\sum_{i=1}^h \sigma_H^m$ – сумарне значення рівня напружень від дії поздовжніх сил;

P_V, P_H – ймовірність появи амплітуди.

Приймаючи для зручності:

$$AA = \frac{B \cdot J_e}{N_0} \cdot \sum_{i=1}^v \sigma_V^m \cdot P_V \quad (3.16)$$

$$BB = \frac{N_T}{N_0} \cdot \sum_{i=1}^h \sigma_H^m \cdot P_H \quad (3.17)$$

Тепер T_Γ можна виразити наступним чином:

$$T_\Gamma = \frac{\sigma_{aN}^4}{[n]^4 \cdot \left(AA + 4 \cdot AA^{\frac{3}{4}} \cdot BB^{\frac{1}{4}} + 6 \cdot AA^{\frac{1}{2}} \cdot BB^{\frac{1}{2}} + 4 \cdot AA^{\frac{1}{4}} \cdot BB^{\frac{3}{4}} + BB \right)}, \quad (3.18)$$

Враховуючи отримані дані, за результатами експериментальних досліджень, згідно формули (3.18) та з забезпеченням вимоги формули (3.1), отримано граничні терміни служби спеціального рухомого складу, які задовольняють отримані значення коефіцієнту запасу опору втомі при періодичному технічному діагностуванні несівних конструкцій:

- для думпкара – $T_\Gamma = 55,9$ (років);
- для хопер-дозатора – $T_\Gamma = 65,9$ (років).

3.5. Контрольні ресурсні випробування спеціального рухомого складу

3.5.1. Методика випробувань

Граничний строк експлуатації спеціального рухомого складу визначений

в результаті проведеного комплексу експериментально-розрахункових досліджень не може бути застосований без проведення періодичного технічного діагностування несівних конструкцій. Для прогнозування міцнісного стану вагонів в процесі їх подальшої експлуатації були проведені ресурсні випробування на циклічну довговічність несівних елементів конструкції вагона та функціональну довговічність гальмівного, автозчепного та іншого навісного обладнання та його кріплення при багатоциклічному впливу ударних навантажень еквівалентного спектра.

Метою ресурсних випробувань було визначення накопичених пошкоджень в несівних конструкціях вагонів для подальшого системного аналізу та визначення міжремонтних періодів експлуатації.

Накопичені пошкодження – це ослаблення матеріалу під дією знакозмінних напружень через зміну його властивостей та утворення й розвиток дефектів, що обумовлює його руйнування через певний період часу.

Значення накопичених пошкоджень було визначено експериментальним та розрахунковим методом, відповідно до міжнародного стандарту, прийнятого Євразійською радою по стандартизації, метрології та сертифікації [63]. Методика визначення накопичених пошкоджень заснована на лінійній гіпотезі підсумовування пошкоджень.

Сумарне значення накопичених пошкоджень отримано експериментально за результатами ресурсних випробувань на співудар D_e за формулою [63]:

$$D_e = \sum_{i=1}^n (F_{1,i}^m + F_{2,i}^m), \quad (3.19)$$

де i – порядковий номер зіткнення;

n – число зіткнень;

$F_{1,i}^m$ – максимальна сила, яка виникає в автозчепі між вагоном бойком i дослідним вагоном, Н;

$F_{2,i}^m$ – максимальна сила, яка виникає в автозчепі між вагоном бойком і підпором, Н;

m – показник степені, приймають $m = 4$.

3.5.2. Результати випробувань

Під час проведення випробування думпкара було зроблено 782 співударі, з яких:

- 513 співударів виконано по одноударній схемі;
- 269 співударів виконано по двоударній схемі.

Результати випробувань думпкара зазначено в табл. 3.15.

Таблиця 3.15 – Результати випробувань думпкара при одноударній та двоударній схемах

Сила (N), МН	Середнє значення сили (N), МН	Кількість ударів, одноударна схема, $F_{1,i}^m$	Кількість ударів, двоударна схема, $F_{2,i}^m$	Накопичені пошкодження, МН ⁴
< 1	1	4	-	4
1,0-1,5	1,25	7	-	17
1,5-2,0	1,75	13	-	121
2,0-2,5	2,25	12	-	307
2,5-3,0	2,75	117	-	6691
3,0-3,5	3,25	168	-	18743
> 3,5	3,5	192	-	28812
3+2,6		-	51	6461
3,5+3		-	167	38587
3,8+3,2		-	51	15981
Разом			782	115728

Під час проведення випробування хопер-дозатора було зроблено 748 співударів, з яких:

- 480 співударів виконано по одноударній схемі;
- 268 співударів виконано по двоударній схемі.

Результати випробувань хопер-дозатора зазначено в табл. 3.16.

Таблиця 3.16 – Результати випробувань хопер-дозатора при одноударній та двоударній схемах

Сила (N), МН	Середнє значення сили (N), МН	Кількість ударів, одноударна схема, $F_{1,i}^m$	Кількість ударів, двоударна схема, $F_{2,i}^m$	Накопичені пошкодження, МН ⁴
Менше 1	1	3	-	3
1,0-1,5	1,25	4	-	9
1,5-2,0	1,75	11	-	103
2,0-2,5	2,25	14	-	358
2,5-3,0	2,75	107	-	6119
3,0-3,5	3,25	157	-	17515
> 3,5	3,5	184	-	27611
3+2,6		-	48	6081
3,5+3		-	172	39742
3,8+3,2		-	48	15041
Разом		748		112589

3.5.3. Визначення термінів експлуатації спеціального рухомого складу до наступного технічного діагностування

Термін експлуатації випробуваного вагона до наступного технічного діагностування визначається за формулою:

$$T = \frac{\sum D_e}{D_p}, \quad (3.20)$$

де D_e – сумарне значення накопичених пошкоджень отримано експериментально за результатами ресурсних випробувань на співудар;

D_p – накопичені пошкодження отримані розрахунковим методом.

Значення накопичених пошкоджень отриманих розрахунковим методом D_p визначається на основі міжнародного стандарту [63] за формулою:

$$D_p = N_{\text{розр}} \sum_k p_k F_k^m, \quad (3.21)$$

де F_k – середнє значення сили H , відповідно до [63];

p_k – частість сили, відповідно до [63];

m – показник степені, приймають $m = 4$;

$N_{\text{розрах}} – розрахункове число дії сил співудару.$

Загальна розрахункова кількість циклів протягом розрахункового періоду експлуатації вагона для загальної мережі пробігу визначається за формулою:

$$N_{\text{розрах}} = N_{\text{уд}} \cdot \dots \cdot \dots \cdot \dots \quad (3.22)$$

де $N_{\text{уд}}$ – загальна кількість циклів дії ударних поздовжніх сил за 1 рік середньої мережі експлуатації на конструкцію вагона даного типу, для розподілів (без урахування квазістатичних сил) становить:

$T_{\text{розрах}}$ – розрахунковий період експлуатації вагона, (1 рік.);

$K_{\text{уд}}$ – коефіцієнт, що враховує несиметричність навантаження конструкції вагона по його довжині при зіткненнях і рівномірності додатки ударних сил до автозчеплення з обох кінців вагона (при оцінці циклічної довговічності елементів консольної частини вагона рекомендується приймати рівним 0,6);

$K_{\text{реж}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив порожнього пробігу вагона, при оцінці циклічної довговічності несівних елементів $K_{\text{реж}}$,

$$K_{\text{реж}} = 1 - K_{\text{пор}}, \quad (3.23)$$

Вибір режиму навантаження здійснюється з урахуванням співвідношення середньодобового пробігу до загальномережевого.

Накопичені пошкодження за цикл проведення ресурсних випробувань порівнювалося з розрахунковим. Розрахункові пошкодження визначаються, як сума накопичених пошкоджень за рік служби вагона, які визначаються за формулою 3.21.

Розрахункова сума накопичених пошкоджень за рік експлуатації складає:

- для думпкарів – 18743 МН⁴;
- для хопер-дозаторів – 17515 МН⁴.

Як видно з табл. 3.15, накопичені пошкодження за період ударних ресурсних випробувань думпкара складають 115728 МН⁴ та при розрахунковій сумі накопичених пошкоджень за рік експлуатації 18743 МН⁴ розраховується за формулою 3.20 та відповідає 6,17 років.

Як видно з табл. 3.16, накопичені пошкодження за період ударних ресурсних випробувань хопер-дозатора складають 112589 МН⁴ та при розрахунковій сумі накопичених пошкоджень за рік експлуатації 17515 МН⁴ розраховується за формулою 3.20 та відповідає 6,42 роки.

3.6. Висновки до розділу 3

1. За результатами проведених контрольних випробувань дослідних вагонів встановлено зони з найменшим коефіцієнтом запасу опору втомі, що співпадають з місцями виявлених несправності, а саме:

- для думпкара – найменше значення коефіцієнту запасу опору втомі відповідає каналу 6 (точка на хребтовій балці в зоні з'єднання з шворневою балкою) і дорівнює 1,6;

- для хопер-дозатора – найменше значення коефіцієнт запасу опору втомі відповідає каналу 4 (точка на хребтовій балці в зоні початку кузова) і дорівнює 1,36. Виявлено групу точок, які мають наближені дані до найменшого значення коефіцієнту, а саме канали 5 (точка на хребтовій балці між шворневою балкою тапоперечною балкою), 7 (точка на шворневій балці) та 8 (точка на шворневій балці).

2. Отримані результати дають можливість стверджувати, що після закінчення встановленого заводом-виробником терміну служби, експлуатація вагонів може бути продовжена за умови періодичного проведення робіт з контролю технічного стану:

- для думпкара – до 55 років загального строку експлуатації, тобто на 33 роки понад встановлений заводом-виробником термін експлуатації (22 роки);

- для хопер-дозатора – до 65 років загального строку експлуатації, тобто на 40 років понад встановлений заводом-виробником термін експлуатації (25 років).

3. Запропонована періодичність проведення робіт з контролю технічного стану (діагностування) вагонів з метою продовження терміну подальшої експлуатації – один раз на шість років.

4. Уточнено формулу для прогнозування граничного терміну експлуатації вагонів, засновану на врахуванні експериментальних даних вимірювання напружень та напружень отриманих при 3D-моделюванні. Уточнення полягає у введенні коригуючих коефіцієнтів у кожній точці вимірювання на основі даних, отриманих розрахунковим методом у зонах безпосередньої близькості до точок розміщення тензодатчиків.

РОЗДІЛ 4. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕСІВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВАГОНІВ СПЕЦІАЛЬНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

4.1. Завдання проведення дослідження з напружено-деформованого стану думпкара (вагона-самоскида)

4.1.1. Дослідний думпкар моделі 31-638

Завданням даного розділу є побудова 3D-моделі напружено-деформованого стану нижньої рами думпкара (вагона-самоскида), як найбільш напруженого елемента несівних конструкцій вагона [68, 69].

Модель побудовано відповідно до характеристик думпкара моделі 31-638 та режимів навантаження, які мали місце в підрозділі 3.2.

Метою побудови 3D-моделі було отримання розрахункових навантажень в перетинах елементів нижньої рами вагона [70], в тому числі у точках для яких відсутні результати експериментальних даних напружень та прогнозування виникнення можливих пошкоджень.

За результатами отриманих розрахункових навантажень побудованої 3D-моделі необхідно розробити можливі варіанти відновлення нижньої рами вагона в місцях де виникають тріщини [71], визначені в розділі 2. З запропонованих варіантів відновлення вибрати оптимальний, який буде мати допустимі навантаження та можливість практичної реалізації [72, 73].

Для розрахунку напружено-деформованого стану у перетинах нижньої рами думпкарів було використано метод скінченних елементів [74, 75, 76, 77] у програмному комплексі SolidWorks [78, 79, 80, 81].

Думпкар моделі 31-638 представлено на рис. 4.1, призначений для навантаження, транспортування та вивантаження скельних, розкривних порід та руд. Конструкція несівних елементів кузова розрахована на завантаження в нього глиб масою 2-2,5 т з висоти до 2 м на кузов, попередньо вкритий дрібним

вантажом. Розвантаження можливе на будь-який бік залізничної колії при нахилі кузова за допомогою пневматичних циліндрів.



Рисунок 4.1 – Думпкар (вагон-самоскид) моделі 31-638

Стійкість думпкара при розвантаженні досягається внаслідок більш прискореного відкривання поздовжнього борту проти його нахилом. Так, при нахилі кузова на кут 27° поздовжній борт стає продовженням підлоги кузова, а при нахилі на кут 31° борт відкривається на 9° більше, і при повному повороті кузова кут відкриття борту становить 54° . Прискорене відкривання поздовжнього борту забезпечує хорошу стійкість під час розвантаження. Повернення кузова в позицію готову до їзди з одночасним закриванням борту після висипання вантажу здійснюється під впливом сили тяжкості кузова.

4.1.2. 3D-модель нижньої рами думпкара моделі 31-638

Нижня рама (рис. 4.2) складається з хребтової балки 1, двох буферних стінок 2, двох шворневих 3 і чотирьох циліндрових балок з кронштейнами 4.

На рис. 4.3 – 4.6 наведено 3D-моделі елементів нижньої рами думпкара побудовані у програмному комплексі SolidWorks [82, 83, 84].

Хребтова балка (рис. 4.3) 1 має коробчастий переріз і виконана з двох двотаврів (№ 45), перекритих зверху та знизу листами товщиною 12 мм та шириною 450 мм. Усередині балки, між двотаврами, встановлено 12 діафрагм із листа товщиною 8 мм.

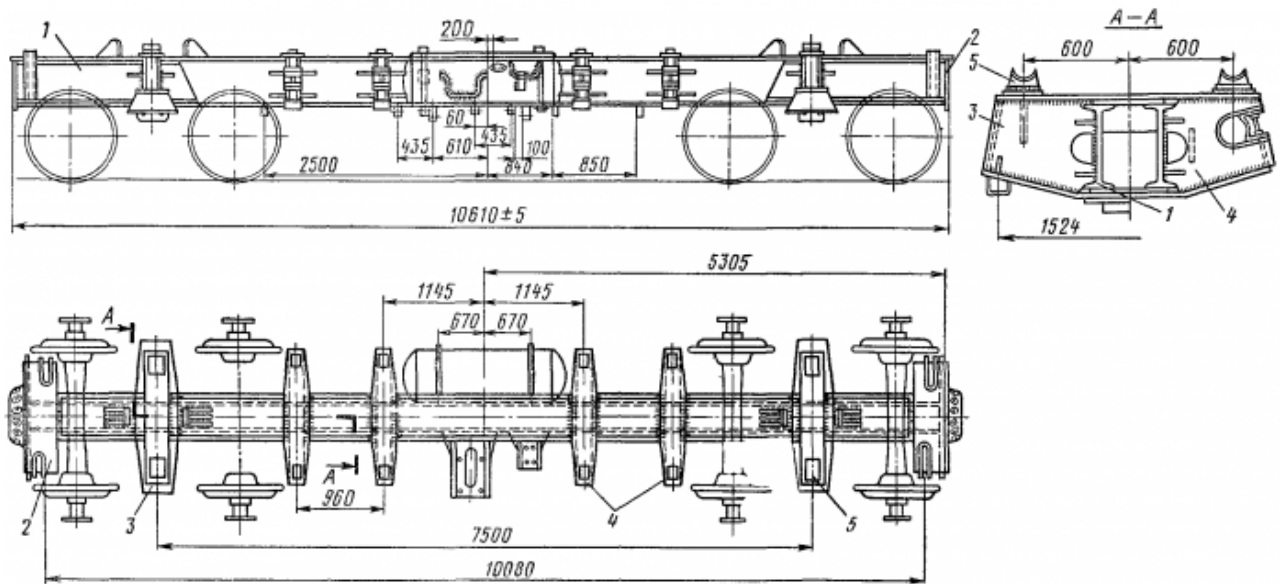


Рисунок 4.2 – Нижня рама думпкара (вагона-самоскида) моделі 31-638

По кінцях хребтової балки із зовнішнього боку приварені підсилювальні накладки завтовшки 6 мм.

На верхньому листі хребтової балки встановлені упори, що обмежують переміщення кузова щодо нижньої рами.

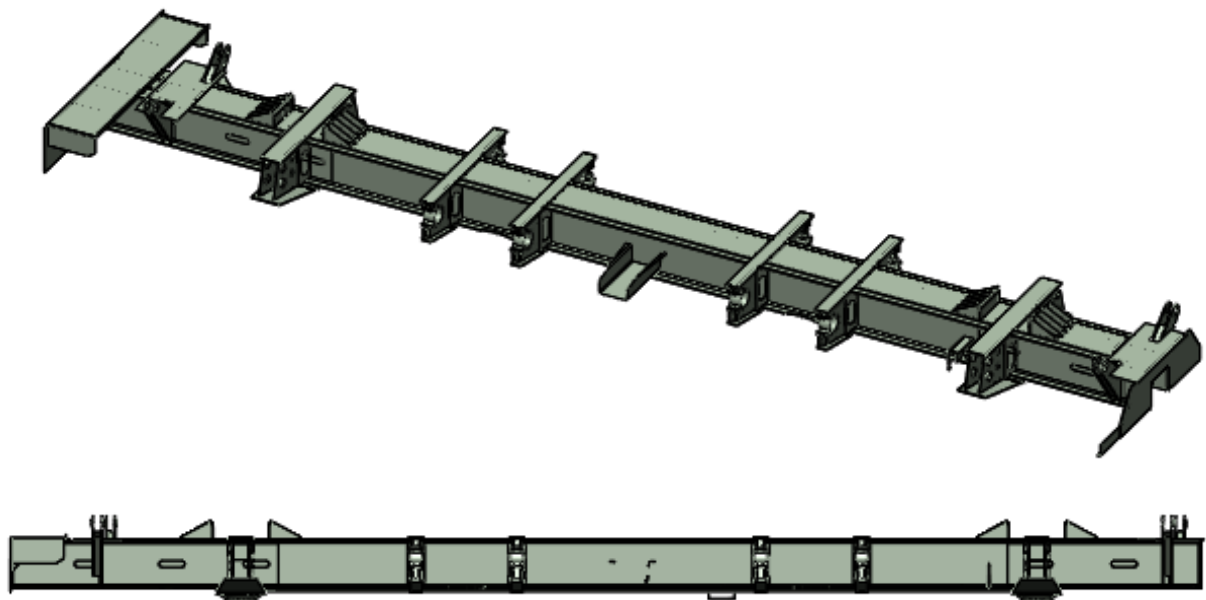


Рисунок 4.3 – 3D-модель хребтової балки нижньої рами думпкара моделі 31-638

Шворневі кронштейни, зображені на рис. 4.4, зварні і складаються з вертикальних штампованих ребер товщиною 10 мм. Ці ребра перекриті зверху та знизу листами товщиною відповідно 14 та 10 мм. Коробчастий переріз шворневих кронштейнів забезпечує їх необхідну міцність. Вертикальні ребра з торця приварені до двотаврів хребтової балки. На відстані 600 мм від поздовжньої осі вагона на верхньому листі шворневого кронштейна укріплені литі опори для повороту 5 кузова.

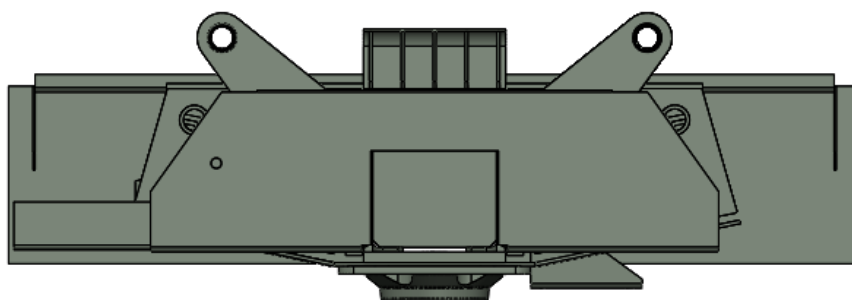


Рисунок 4.4 – 3D-модель шворневих кронштейнів хребтової балки нижньої рами думпкара моделі 31-638

Циліндрові кронштейни зварні представлено на рис.4.5 (виділені червоними прямокутниками), коробчастого перерізу, складаються зі штампованих вертикальних ребер завтовшки 10 мм, перекритих зверху та знизу листами завтовшки по 14 мм. На верхньому листі встановлені литі опори кузова вагона.

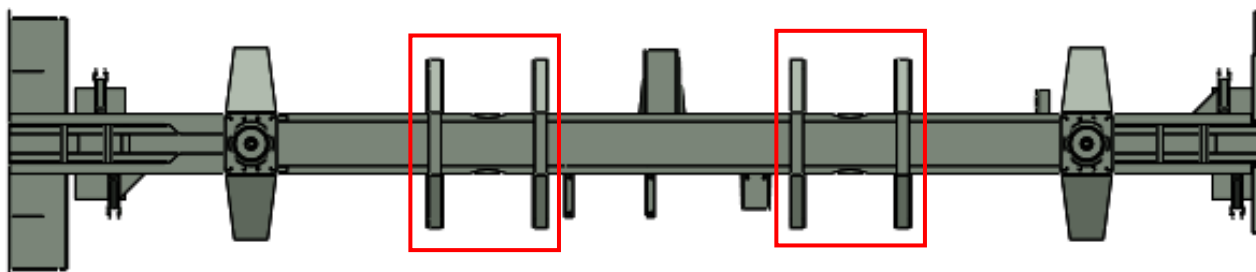


Рисунок 4.5 – Зображення на 3D-моделі циліндрових кронштейнів хребтової балки нижньої рами думпкара моделі 31-638

Відповідно до комплекту креслеників на думпкар моделі 31-638 були розставлені зварні шви на рис. 4.6.

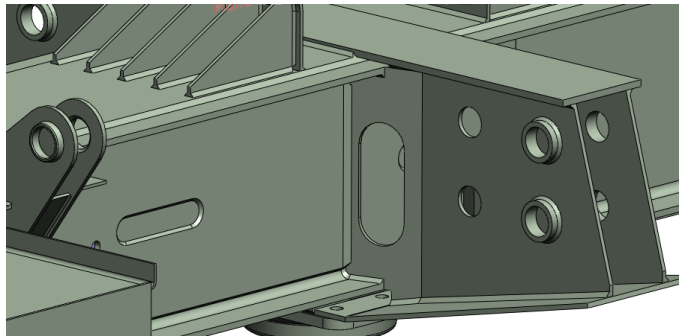


Рисунок 4.6 – Зварні шви нижньої рами думпкара моделі 31-638

4.2. Проведення статичних міцнісних розрахунків нижньої рами думпкара у програмному комплексі SolidWorks

4.2.1. Аналіз класичних теорій міцності

Оцінка міцності деталей машин та елементів конструкцій за відомим напруженим станом є однією з найважливіших інженерних задач. В умовах простого (лінійного) напруженого стану задача розв'язується легко через порівняння максимального за абсолютною величиною напруження з допустимим.

За складного напруженого стану (плоского або об'ємного) немає однозначної відповіді на питання, яке напруження необхідно обрати за граничне для перевірки умови міцності. Експерименти свідчать, що досягнення граничного стану (виникнення пластичних деформацій, поява тріщин, повне руйнування і т.ін.) в одному і тому самому матеріалі може відбуватися за різних значень головних напружень в залежності від співвідношення між ними. Крім того, встановлено, що напружений стан впливає на механічні характеристики матеріалу [85, 86].

Проблема раціонального вибору критерію міцності зводиться до визначення деякої функції компонент тензора напружень виду

$$K=f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, m_i),$$

де m_i – константи матеріалу, які визначаються з найпростіших випробувань [57, 58].

Дана функція в координатах $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$ може бути представлена поверхнею, яка обмежує область безпечних напружень. Цю поверхню називають граничною.

За цих умов найбільш точним методом визначення граничного стану є проведення натурного експерименту, але у більшості випадках, цей підхід є неприйнятним через високу вартість, та складність реалізації тому інженери використовують в своїй роботі розрахунків.

Існує велика кількість критеріїв міцності. Найбільш розповсюдженими є чотири критерії міцності, які прийнято називати класичними, і які базуються на відповідних класичних теоріях міцності. Класичні критерії справедливі лише для ізотропних матеріалів, з однаковими границями міцності на розтягання та стискання.

Перша теорія міцності – критерій найбільшого нормального напруження [85, 86].

Дана теорія міцності була запропонована у 1636 році видатним італійським вченим Галілео Галілеєм. Пізніше її використовували Лейбніц, Ляме, Клебш та Ренкін. Під іменем останнього теорія відома в англо-американській літературі, у вітчизняній її називають першою класичною теорією міцності.

Згідно з цією теорією, руйнування матеріалу в умовах складного напруженого стану відбувається тоді, коли найбільше за абсолютною величиною головне напруження досягає граничного значення

$$\sigma_{екв}^I = \max \{ |\sigma_1|, |\sigma_3| \} \leq [\sigma_P].$$

Перевагою даної теорії є її простота, але на цьому все і завершується. Недоліком теорії є те, що вона не враховує вплив двох інших головних напружень. Так, ізотропний матеріал навіть за дуже великого рівномірного всебічного стискання не руйнується, в той час як за даним критерієм руйнування у тілі повинно настати з досягненням головними напруженнями величини границі міцності на одновісне розтягання

$$(\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = -\sigma_M^P).$$

Друга теорія міцності – критерій найбільшої лінійної деформації [85, 86].

Недоліки першої теорії міцності спонукали до появи другої теорії міцності, запропонованої Едмом Маріоттом (1662 р.) і розвиненою Сен-Венаном.

Згідно з цією теорією руйнування матеріалу в умовах складного напруженого стану відбувається тоді, коли максимальна головна лінійна деформація ε_{\max} досягає або перевищує допустиме значення $[\varepsilon]$, що відповідає максимальній лінійній деформації у моменту досягнення граничного стану за одновісного розтягання, тобто

$$|\varepsilon|_{\max} \leq [\varepsilon].$$

У просторі напружень друга теорія міцності інтерпретується шістьма площинами, що пересікаються і утворюють поверхню у вигляді косокутного паралелепіпеда, який має вісь симетрії, рівнонахилена до координатних осей σ_1 , σ_2 та σ_3 . В умовах плоского напруженого стану крива руйнування набуває вигляду ромба, вісі симетрії якого нахилені під кутом 45° до осей координат.

Третя теорія міцності – критерій найбільшого дотичного напруження [85, 86].

Вперше критерій найбільшого дотичного напруження було запропоновано Шарлем Кулоном в 1773 році. Пізніше, у 1864 р., Анрі Треска запропонував використовувати його, як критерій пластичності. Він встановив, що при складному напруженому стані пластичні деформації виникають тоді, коли найбільше дотичне напруження досягає половини границі текучості при одноосьовому розтягуванні.

Згідно з цією теорією руйнування (або текучість) матеріалу в умовах складного напруженого стану відбувається тоді, коли найбільше дотичне напруження τ_{\max} досягає або перевищує допустиме значення $[\tau]$, тобто

$$\tau_{\max} \leq [\tau].$$

Як засвідчила дослідна перевірка, цей критерій з достатньою точністю для інженерних потреб передбачає поведінку пластичних матеріалів в умовах складного напруженого стану, за крихкого стану матеріалу дана теорія міцності здебільшого не застосовується.

Недоліком теорії є те, що вона не враховує вплив на міцність другого головного напруження.

Четверта теорія міцності – енергетичний критерій Губера [85, 86].

У 1904 році видатний польський науковець, професор Львівської політехніки Максиміліан Титус Губер сформулював гіпотезу, за якою досягнення граничного стану пов'язується з питомою потенціальною енергією зміни форми, накопиченою zdeформованим тілом. Цей підхід був пізніше розвинений в працях Річарда фон Мізеса (1913) і Гайнріха Генкі (1924) через що критерій часто зветься критерієм Губера-Мізеса-Генкі.

Згідно з цією теорією руйнування (або текучість) матеріалу в умовах складного напруженого стану відбувається тоді, коли питома потенціальна енергія зміни форми u_{ϕ} досягає граничного значення $u_{\phi} \leq [u_{\phi}]$.

$$\sigma_{екв}^{IV} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \leq [\sigma_p].$$

На противагу попереднім теоріям, четверта теорія міцності використовує в якості чинника, що відповідає за руйнування матеріалу, величину, відмінну від напружень і деформацій. Безумовною перевагою цієї теорії є те, що вона враховує вплив на граничний стан всіх трьох головних напружень.

Експериментальні дослідження підтвердили, що критерій задовільно прогнозує початок пластичних деформацій для різноманітних металів та сплавів (сталей, латуней, алюмінієвих та титанових сплавів, нікелю і т.ін.).

Критерій руйнування за четвертою теорією міцності представляє собою рівняння поверхні другого порядку і зображується у просторі головних нормальних напружень рівнонахиленим до осей координат циліндром. В умовах плоского напруженого стану крива руйнування зображується еліпсом, осі симетрії якого проходять через початок координат і нахилені під кутом 45° до осей координат.

П'ята теорія міцності – критерій Мора [85, 86].

Розглянуті класичні критерії міцності формулюються за однією схемою: еквівалентні напруження порівнюються з граничним напруженням, яке визначається з випробувань на одновісне розтягання. Тобто, граничне напруження вважається однаковим для всіх видів напруженого стану. Не дивлячись на достатню ефективність такого припущення, на певному етапі вдосконалення критеріїв міцності воно було переглянуте.

Отто Мор у 1900 році запропонував критерій міцності, у якому ввів допустимі напруження, що змінюються в залежності від напруженого σ_3 стану. Теорія Мора ґрунтується на припущенні, що міцність матеріалів у загальному випадку напруженого стану залежить в основному від значення і знаку найбільшого σ_1 та найменшого σ_3 головних напружень.

Відповідно до цього припущення будь-який напружений стан можна графічно представити у вигляді «кола Мора», що будується на головних

напруженнях σ_1 та σ_3 . Якщо при заданих напруженнях σ_1 та σ_3 порушується міцність матеріалу, то коло, що побудовано на цих напруженнях, зветься граничним. Змінюючи співвідношення між σ_1 та σ_3 , отримуємо для даного матеріалу сімейство граничних кіл, для яких можна побудувати огинаючу, яка зветься граничною огинаючою.

Досліди свідчать, що з переходом від області розтягання до області стискання опір руйнуванню збільшується, чому відповідає збільшення діаметрів граничних кіл. Точка перетину огинаючої з віссю абсцис відповідає всебічному розтягання. За умов всебічного стискання матеріал здатен витримувати значні навантаження не руйнуючись, тому ліва частина огинаючої залишається незамкненою.

Згідно з теорією Мора руйнування в у мовах складного напруженого стану відбувається тоді, коли коло Мора, що відповідає напруженому стану у заданій характерній точці, дотикається або виходить за граничну огинаючу кіл Мора.

Достатньо точна апроксимація граничної огинаючої кіл Мора вимагає виконання великої кількості механічних випробувань з різними видами напруженого стану, що потребує спеціального обладнання і становить складну наукову задачу.

Теорія міцності Мора дозволяє оцінити опір руйнуванню матеріалів, які мають різні механічні характеристики за розтягування та стискання.

Критерій Мора підходить як для перевірки міцності крихких матеріалів (чавун, бетон, цегла), так і для перевірки на міцність пластичних матеріалів (низьковуглецева сталь).

Серед недоліків критерію слід відзначити, по-перше, що він не враховує вплив другого головного напруження σ_2 , по-друге, апроксимація граничної огинаючої кіл Мора з достатньою точністю потребує виконання багатьох дослідів в умовах складного напруженого стану, її заміна лінійною апроксимацією є зручною але грубою оцінкою дійсного граничного стану [85, 86].

4.2.2. Скінченно-елементна модель нижньої рами думпкара

Для розрахунків на міцність нижньої рами думпкара було використано четверту теорію міцності з врахуванням коефіцієнту запасу опору втомі.

Розрахунки на міцність нижньої рами думпкара моделі 31-638 виконувались із використанням продукту автоматизованого проектування у програмному комплексі SolidWorks. Було побудовано скінченно-елементну модель [70] на основі розробленої 3-D моделі. Скінченно-елементна модель нижньої рами представлена на рис. 4.7.

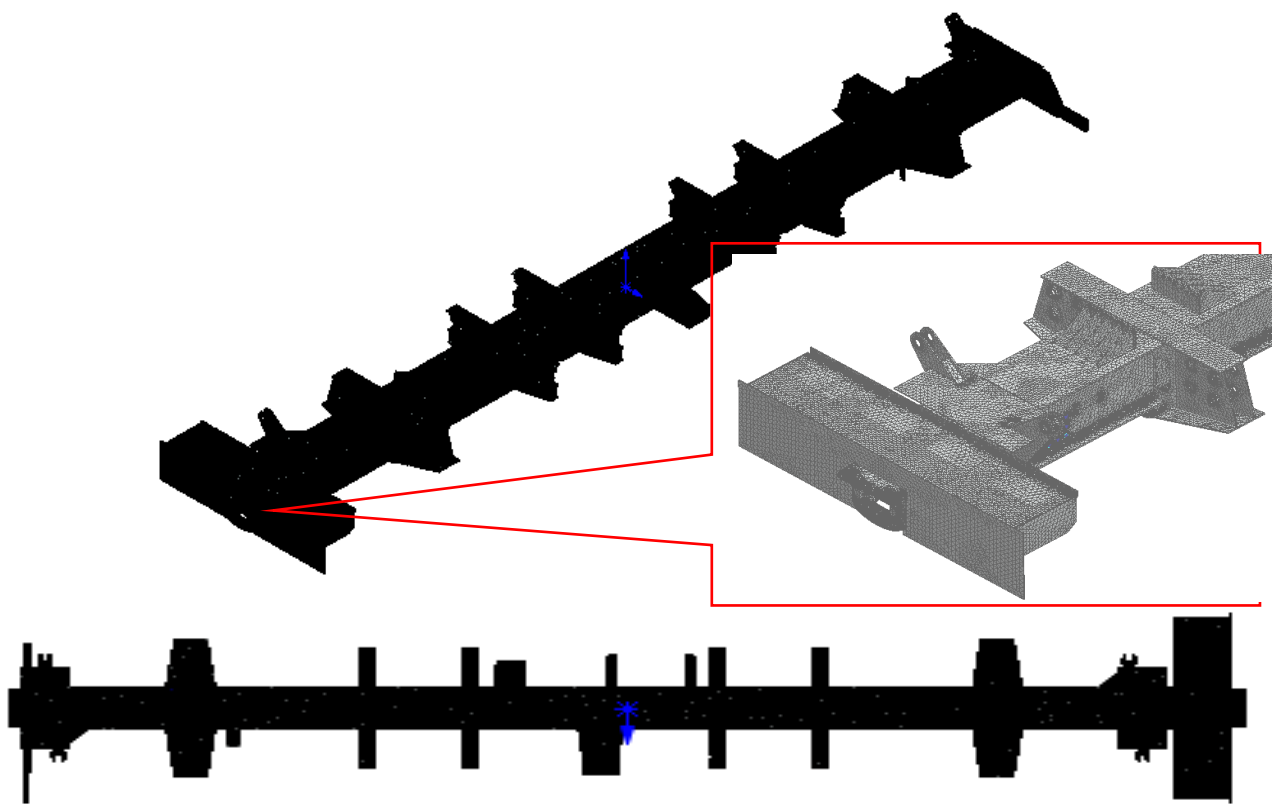


Рисунок 4.7 – Скінченно-елементна модель нижньої рами думпкара моделі 31-638

Процес розв'язання побудованих або на повному усуненні диференціального рівняння для стаціонарних задач, або на розкладі диференціальних рівнянь у частині похідних в апроксимуючу систему звичайних диференціальних рівнянь, які потім розв'язуються використанням якої-небудь стандартної техніки.

Параметри скінченно-елементної моделі нижньої рами думпкара моделі 31-638 наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри скінченно-елементної моделі рами кузова

№ з/п	Параметр	Значення
1	Розмір елемента	6 та 30 мм
2	Кількість елементів	2 266 538
3	Кількість вузлів	576 075

Для проведення розрахунків на міцність розроблено комбіновану СЕМ модель нижньої рами думпкара з різними розмірами кінцевих елементів та різними типами елементів – 6 мм та 30 мм. Такий вибір розмірів елементів виконувався з розрахунку геометричних особливостей конструкції [81, 85].

4.2.3. Механічні характеристики металу нижньої рами думпкара

При визначенні властивостей матеріалу, які потрібні для проведення розрахунків на міцність, застосовуємо припущення де матеріал, з якого виготовлена деталь вважається однорідною. Крім того, дійсні характеристики реального матеріалу, з якого виготовлена будь-яка конструкція, мають певні відхилення від характеристик, що наведені у довідниках.

Більшість деталей нижньої рами думпкарів виготовлені зі сталі 09Г2С згідно [60]. В табл. 4.2 наведені механічні властивості матеріалу.

Таблиця 4.2 – Механічні характеристики матеріалу нижньої рами думпкара

Марка сталі	Товщина, мм	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_s , %
09Г2С	до 10	480	345	21

4.2.4. Розрахункові схеми навантаження нижньої рами думпкара

Схему навантаження нижньої рами думпкара моделі 31-638 розроблено відповідно до ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових та модернізованих вагонів колії 1520 мм

(несамохідних)» [57] та ДСТУ7776:2015 «Вагони-самоскиди (думпкари). Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих думпкарів залізниць колії 1520 мм» [58].

Встановлено два основних (І режим, ІІІ режим) і один додатковий (ІІ режим) розрахункові режими.

І режим – умовний режим безпеки. У разі цього режиму розглядають відносно рідке поєднання екстремальних навантажень. Основна вимога до розрахунків на міцність за цим режимом – не допустити появи залишкових деформацій і руйнування кузова та інших вузлів і деталей думпкара, втрати стійкості форми елементів тощо. Напруження, допустимі за І режимом, вибирають близькими до границі текучості (умовної границі текучості) або іншого критичного напруження з урахуванням характеру дії навантаження (квазістатичне, ударне тощо) та властивостей матеріалу. Умови експлуатування за І розрахунковим режимом відповідають осаджуванню, рушанню з місця, екстремому гальмуванню завантаженого поїзда з малою швидкістю.

ІІІ режим – експлуатаційний. У разі ІІІ розрахункового режиму розглядають відносно часте поєднання помірних за величиною навантажень, характерне для роботи думпкара в поїзді, що рухається. Основна вимога до розрахунків за цим режимом – не допустити втомного руйнування вузлів або деталей, надмірного зношування, втрати стійкості елементів. Допустимі за цим режимом напруження вибирають, враховуючи границі витривалості елемента, потрібні записи стійкості форми, зносостійкості у разі тривалої спільної дії квазістатичних, вібраційних і ударних навантажень, концентрації напружень, впливу корозії тощо. Умови експлуатування за ІІІ розрахунковим режимом відповідають руху повністю навантаженого думпкара по прямих і кривих ділянках колії та стрілочних переводів з допустимою швидкістю, аж до конструкційної, під час періодичних регульованих гальмувань, штатної роботи механізмів і вузлів вагона.

Розтяг (стиск) – вид деформування твердого тіла, при якому його розміри вздовж однієї осі збільшуються (зменшуються) під дією сил, рівнодійна яких є

перпендикулярною до поперечного перерізу тіла і проходить через центр його ваги.

Процеси які відбуваються при розтягу або стиску здебільшого є ідентичними, як і механічні характеристики дуже великої кількості конструкційних матеріалів. Тому, ці протилежні за напрямком види деформування – розтяг і стиск – описують одними й тими ж математичними залежностями. При цьому відомо, все що стосується розтягу (сили, напруження, деформації тощо) позначається знаком «+», а те, що стосується стиску – знаком «-».

Розрахунки для I режиму (I стиснення ($I_{ст}$) та I розтяг ($I_{розт}$)) та III режиму (III стиснення ($III_{ст}$) та III розтяг ($III_{розт}$)) проводились тільки для найбільш невідповідного можливого поєднання одночасно діючих нормативних сил.

II режим – додатковий спеціальний. Цей режим встановлено для окремих типів вагонів як об'єднання навантажень, характерних для цих вагонів (навантажувальні чи розвантажувальні роботи, ремонт тощо). Необхідність розрахунку за II режимом погоджують із замовником.

Розрахунки за II режимом проводились:

- режим $II_{розв}$ – режим роботи думпкара, який передбачає його розвантаження;
- режим $II_{рем1}$ – ремонтний режим, який передбачає підймання порожнього кузова під кінці шворневих балок, розташованих по діагоналі;
- режим $II_{рем2}$ – ремонтний режим, який передбачає підймання навантаженого кузова домкратами, встановленими в передбачених точках;
- режим $II_{рем3}$ – ремонтний режим, який передбачає підймання навантаженого кузова під один кінець шворневої балки для зміни елементів ресорного комплексу.

Статичні та кінематичні граничні умови розрахункових навантажень згідно з ДСТУ7776:2015 «Вагони-самоскиди (думпкари). Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих думпкарів залізниць колії 1520 мм» [58] приведені у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Статичні та кінематичні граничні умови розрахункових навантажень 3D-моделі

Розрахункові сили	Режими		
	I режим	III режим	II режим
Сили тяжіння бруто	85,7 т	85,7 т	85,7 т
Повздовжня сила (п.5.4.1)	-3,0/+2,0 МН	±1,0 МН	–
Різниця висот осей автозчепів (п.5.4.1)	0,1 м	0,05 м	–
Бічна сила Н – горизонтальна сила діюча на п'ятники (стиснення) (п.5.3.5)	196,5 кН	–	–
Бічна сила P_F – поперечна сила взаємодії між вагонами (стиснення) (п.5.3.5)	160 кН	–	–
Бічна сила P_F – поперечна сила взаємодії між вагонами (розтягнення) (п.5.3.5)	49,8 кН	–	–
Вертикальна динамічна сила (п.5.2.3)	–	675 кН	–
Бічна сила представлена прискоренням (п.5.3.3)	–	0,7 м/с ²	–
Сила розвантаження, яка діє від циліндрів розвантаження при розвантаженні	–	–	221 кН
Сумарна жорсткість обпирання кузова на візок	8850 кН/м 9000 кН/м		

3D-моделі SolidWorks та розрахункові схеми навантаження нижньої рами думпкара у відповідності зі встановленими режимами I, II та III представлені на рис. 4.8–4.15 відповідно. Нижня рама думпкарів виготовляється переважно зі сталі 09Г2С. Прийняті відповідно до [57] допустимі напруження при розрахунку на міцність несівних елементів приведені у табл. 4.4.

Враховано рекомендовані розрахункові схеми прикладання поздовжніх сил відповідно до [57], що розтягують або стискають, у разі нецентральної взаємодії двох сусідніх вагонів із різницею висот осей автозчепів 0,1 м за I режимом та 0,05 м – за III режимом.

Таблиця 4.4 – Допустимі напруження при розрахунку на міцність несівних елементів

Матеріал	Режим I та II			Режим III		
	$[\sigma]$, МПа	$[\tau_{зр}]$, МПа	$[\sigma_{зм}]$, МПа	$[\sigma]$, МПа	$[\tau_{зр}]$, МПа	$[\sigma_{зм}]$, МПа
Хребтова та шворнева балки рами кузова						
09Г2С	$0.9 \sigma_t$	$0.55 \sigma_t$	$1.2 \sigma_t$	210	130	310
	310	190	414			

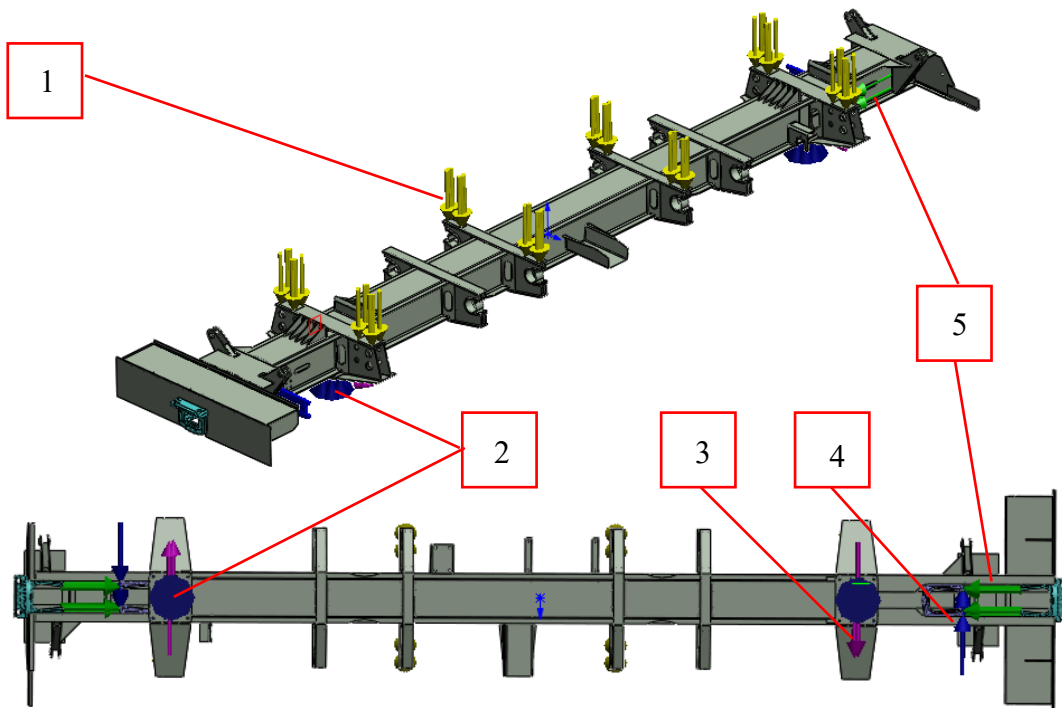


Рисунок 4.8 – 3D-модель SolidWorks та розрахункова схема навантаження нижньої рами думпкара моделі 31-638 (режим $I_{ст}$): 1 – маса вантажу та рівномірно розподілена маса елементів кузова; 2 – спирання кузова на візок; 3 – бічна сила H ; 4 – бічна сила P_F ; 5 – сили стиснення від автозчепу

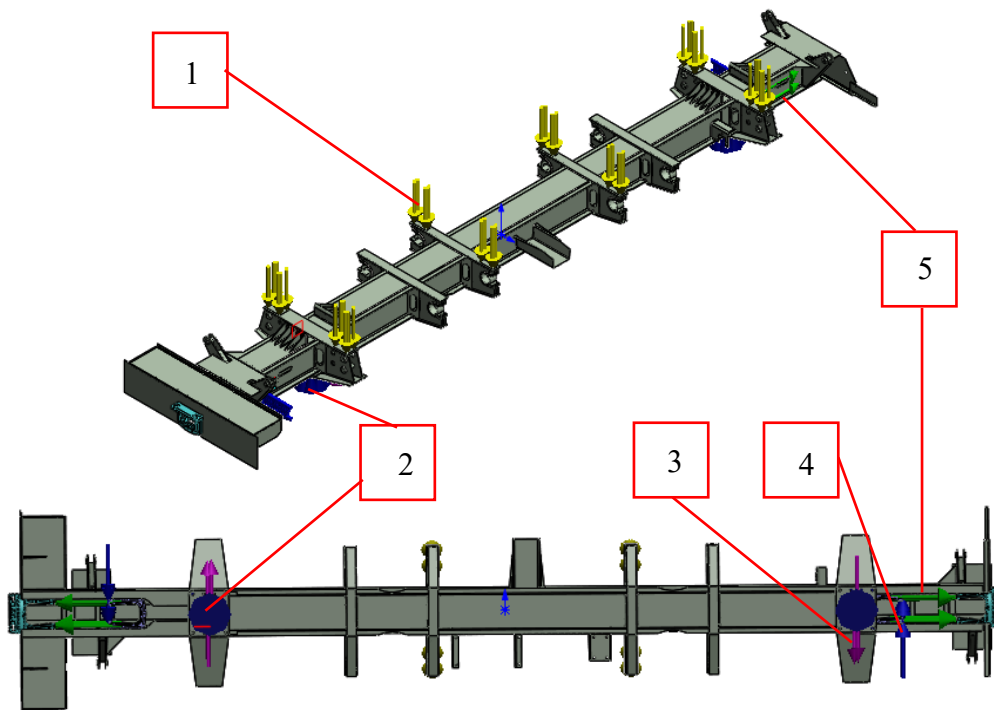


Рисунок 4.9 – 3D-модель SolidWorks та розрахункова схема нижньої рами думпкара моделі 31-638 (режим $I_{розт}$): 1 – маса вантажу та рівномірно розподілена маса елементів кузова; 2 – обпирання кузова на візок; 3 – бічна сила H ; 4 – бічна сила P_F ; 5 – сили розтягнення від автозчепу

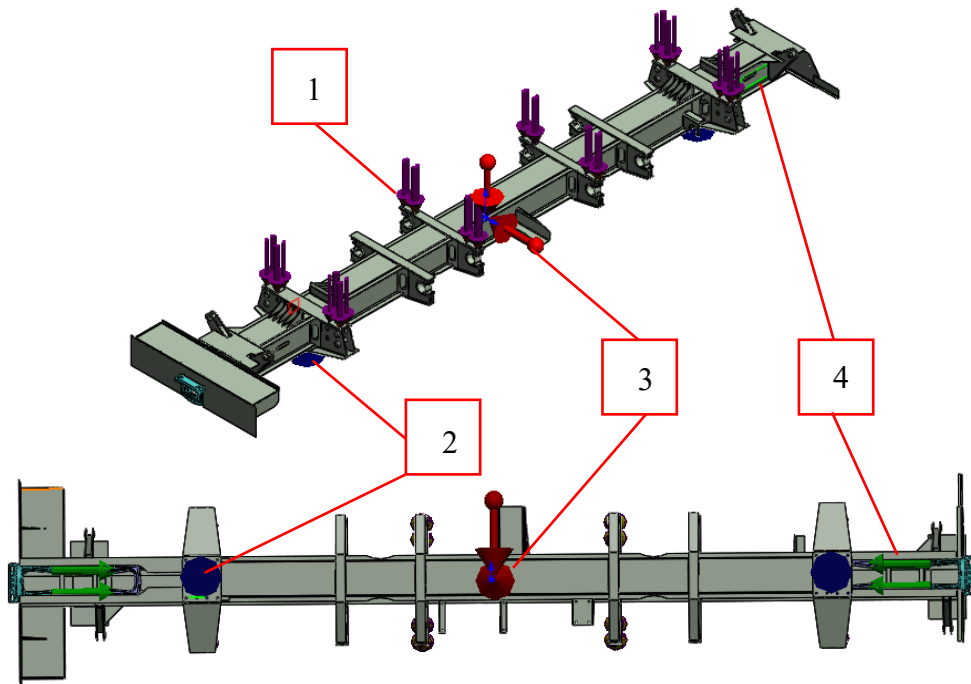


Рисунок 4.10 – 3D-модель SolidWorks та розрахункова схема нижньої рами думпкара моделі 31-638 (режим III_{ст}): 1 – маса вантажу та рівномірно розподілена маса елементів кузова та вертикальна динамічна сила; 2 – обпирання кузова на візок; 3 – сила тяжіння та бічна сила; 4 – сили стиснення від автозчепу

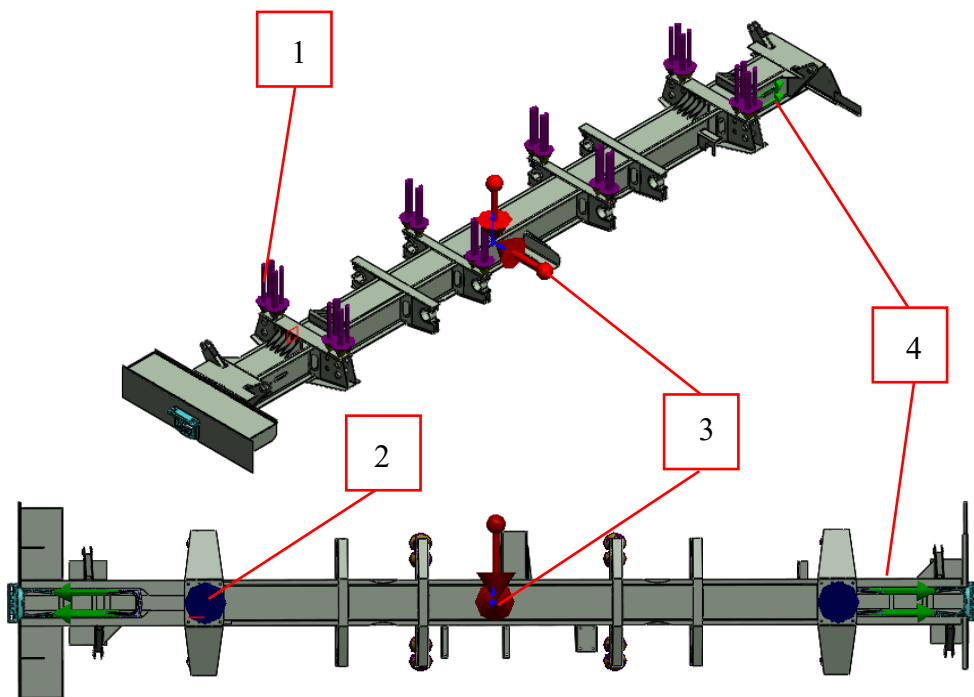


Рисунок 4.11 – 3D-модель SolidWorks та розрахункова схема нижньої рами думпкара моделі 31-638 (режим III_{розт}): 1 – маса вантажу та рівномірно розподілена маса елементів кузова та вертикальна динамічна сила; 2 – обпирання кузова на візок; 3 – сила тяжіння та бічна сила; 4 – сили стиснення від автозчепу

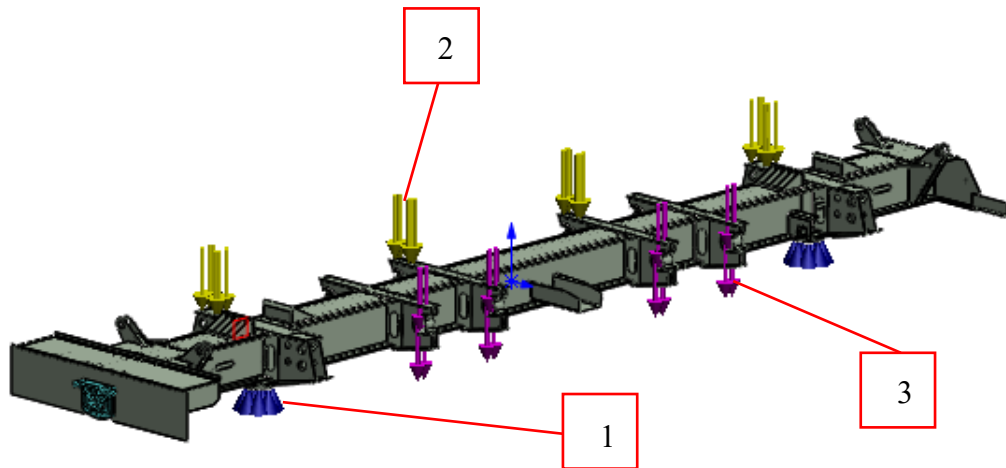


Рисунок 4.12 – 3D-модель SolidWorks та розрахункова схема нижньої рами думпкара моделі 31-638 (режим $\Pi_{розв}$): 1 – обпирання кузова на візок; 2 – маса вантажу та рівномірно розподілена маса елементів кузова при розвантаженні в початковий момент; 3 – реакції від сили розвантаження, які діють на елементи нижньої рами

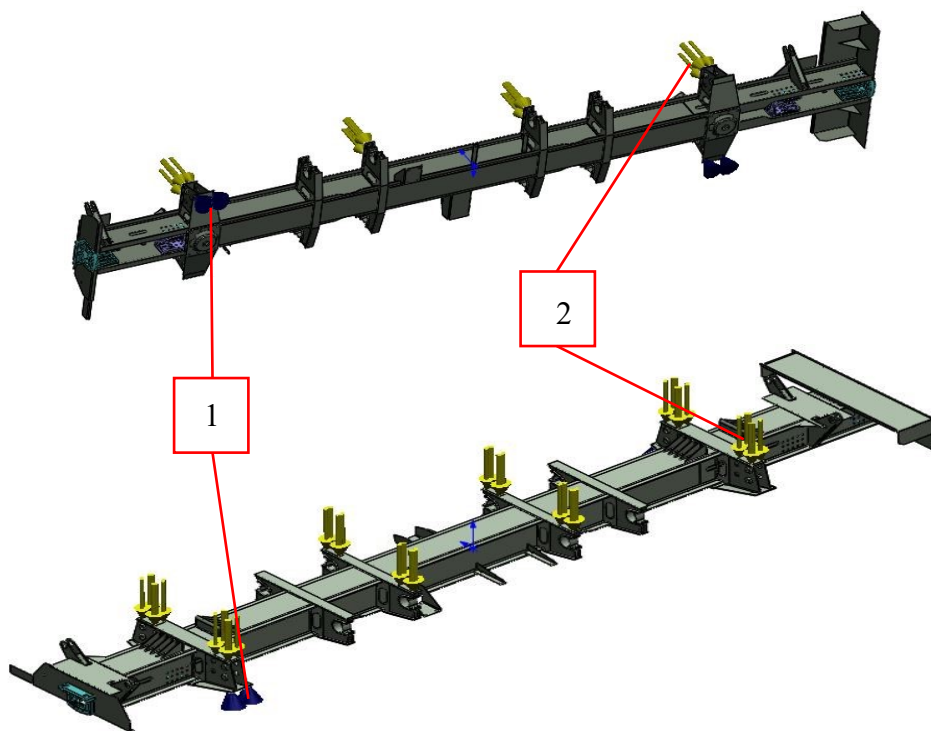


Рисунок 4.13 – 3D-модель SolidWorks та розрахункова схема нижньої рами думпкара моделі 31-638 (режим $\Pi_{рем1}$): 1 – обпирання кузова на домкрати; 2 – рівномірно розподілена маса елементів кузова при обпиранні на домкрат

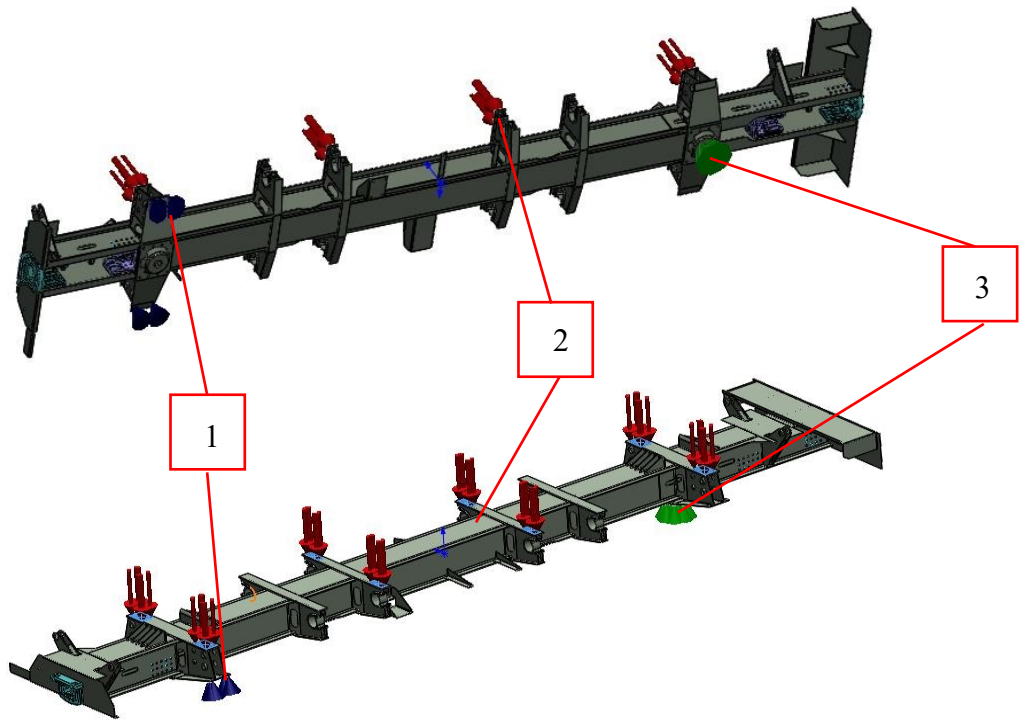


Рисунок 4.14 – 3D-модель SolidWorks та розрахункова схема нижньої рами думпкара моделі 31-638 (режим $\Pi_{\text{рем}2}$): 1 – обпирання кузова на домкрати; 2 – рівномірно розподілена маса елементів кузова при обпиранні на домкрат; 3 – обпирання кузова на візок

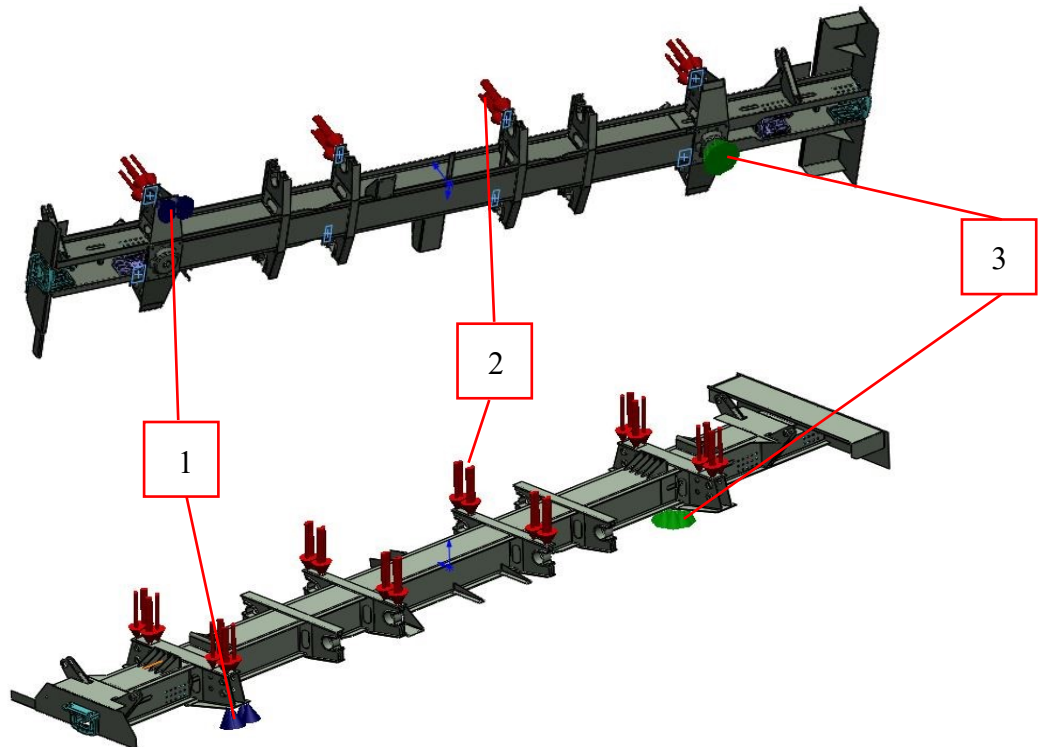


Рисунок 4.15 – 3D-модель SolidWorks та розрахункова схема нижньої рами думпкара моделі 31-638 (режим $\Pi_{\text{рем}3}$): 1 – обпирання кузова на домкрати; 2 – рівномірно розподілена маса елементів кузова при обпиранні на домкрат; 3 – обпирання кузова на візок

4.2.5. Статичний розрахунок на міцність

На основі розрахункових схем проведено статичний розрахунок на міцність нижньої рами думпкара. Отримано епюри розподілу еквівалентних напружень.

На рис. 4.16–4.23 наведено епюру еквівалентних напружень, що виникають в нижній рамі думпкара моделі 31-638 від дії нормативного навантаження за режимом I, III (стиснення, розтягнення) та II режимом розвантаження та ремонт відповідно.

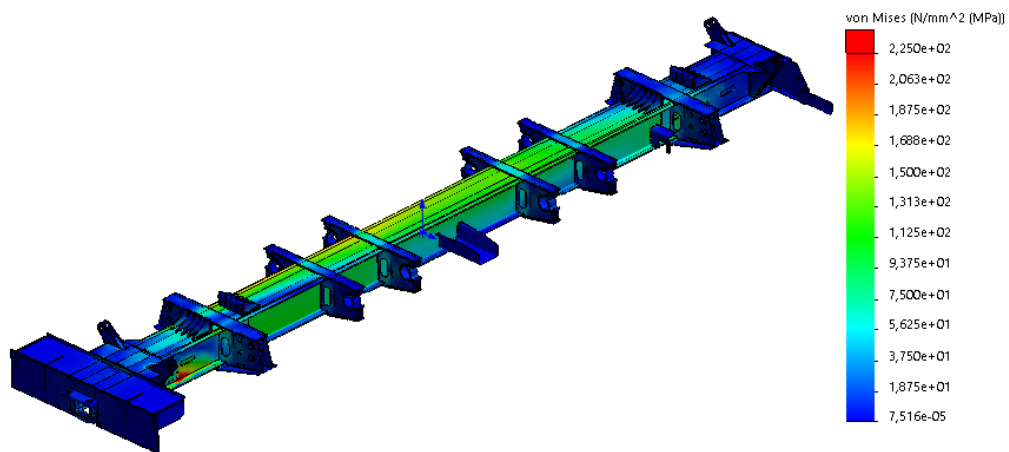


Рисунок 4.16 – Епюра еквівалентних напружень нижньої рами думпкара моделі 31-638 за режимом $I_{ст}$

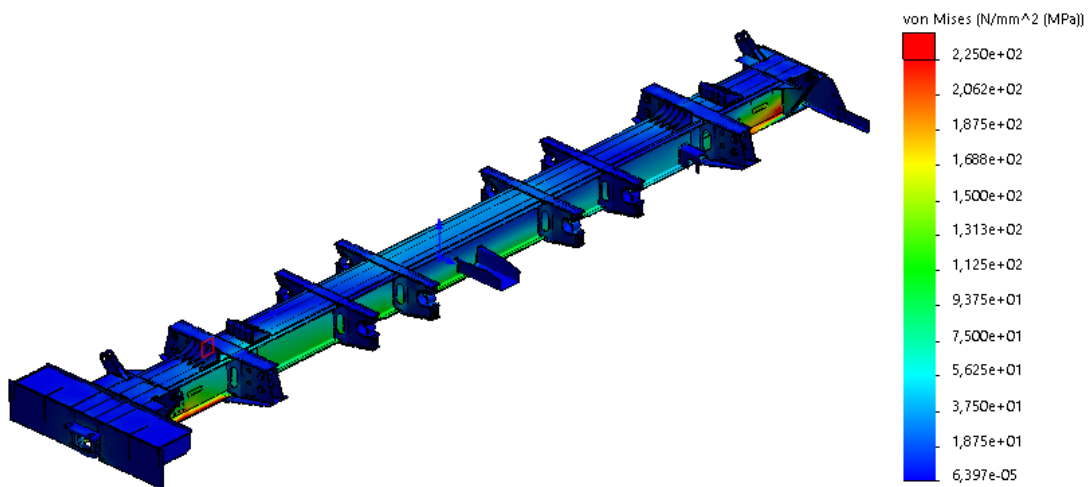


Рисунок 4.17 – Епюра еквівалентних напружень нижньої рами думпкара моделі 31-638 за режимом $I_{розт}$

Максимальні розрахункові напруження в I режимі стиснення та розтягнення складають 175-200МПа. Допустимі значення напружень для I режиму – 310,5 МПа. Таким чином, максимальні розрахункові напруження не перевищують допустимі та вимоги за [57] виконуються.

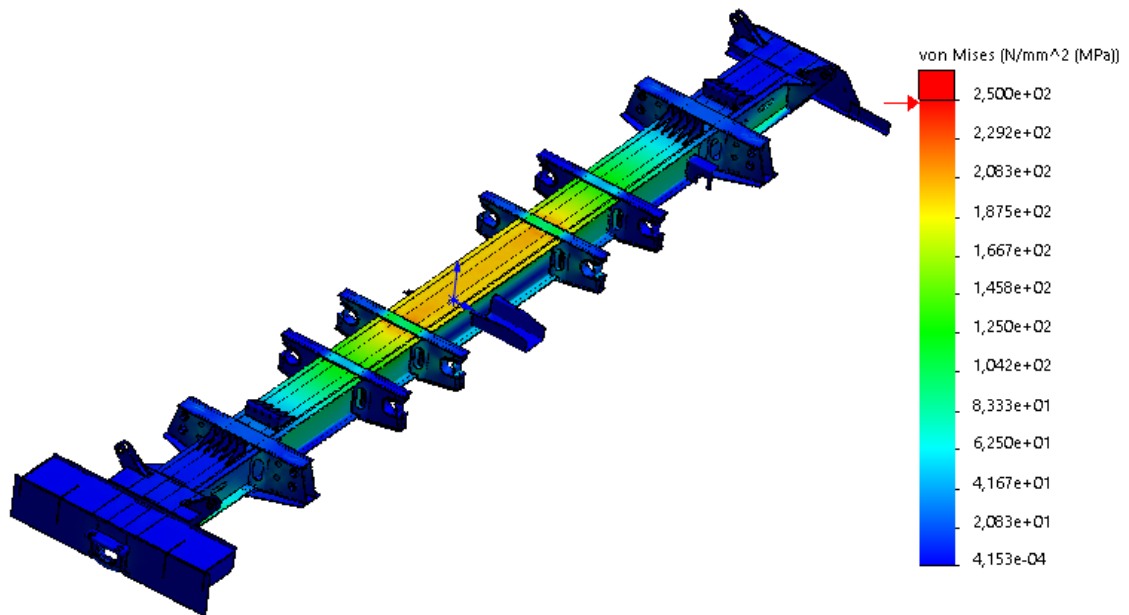


Рисунок 4.18 – Епюра еквівалентних напружень нижньої рами думпкара моделі 31-638 за режимом III_{ст}

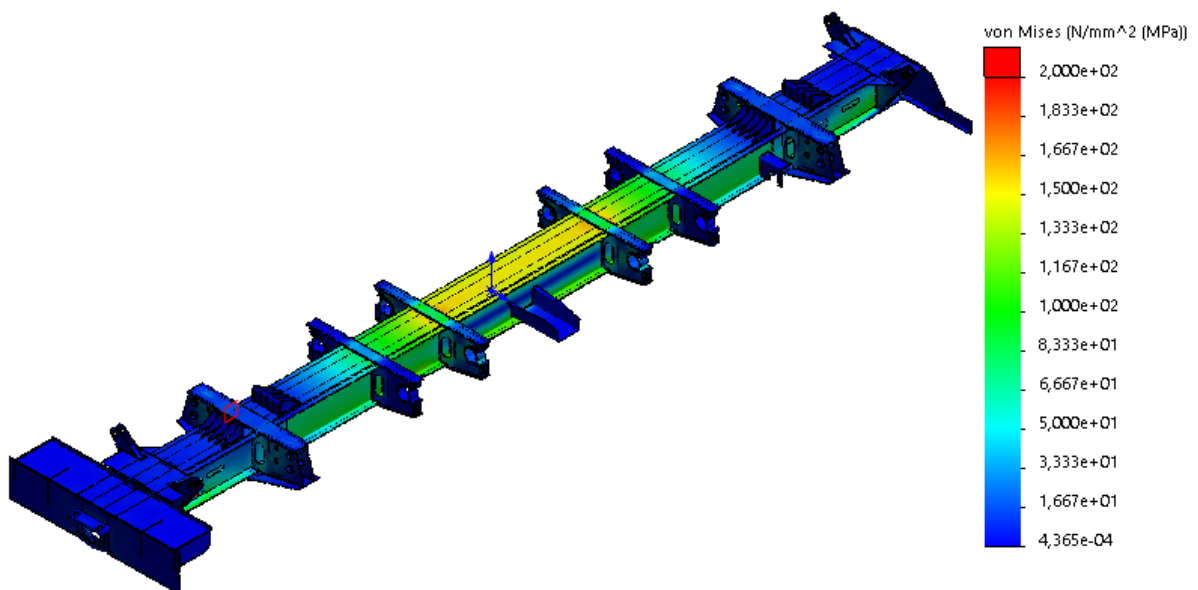


Рисунок 4.19 – Епюра еквівалентних напружень нижньої рами думпкара моделі 31-638 за режимом III_{розт}

Максимальні розрахункові напруження в III режимі стиснення та розтягнення складають 208 МПа. Допустимі значення напружень для III режиму – 210 МПа. Таким чином, максимальні розрахункові напруження не перевищують допустимі та вимоги за [57] виконуються.

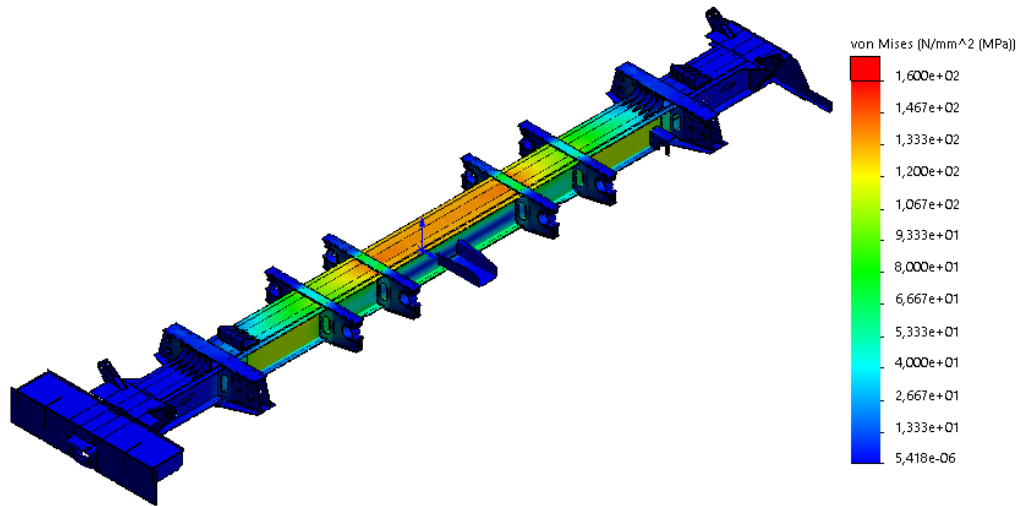


Рисунок 4.20 – Епюра еквівалентних напружень нижньої рами думпкара моделі 31-638 за режимом $\Pi_{розв}$

Сили, які діють на нижню раму думпкара, при режимі розвантаження, створюють значні моменти скручування для хребтової балки.

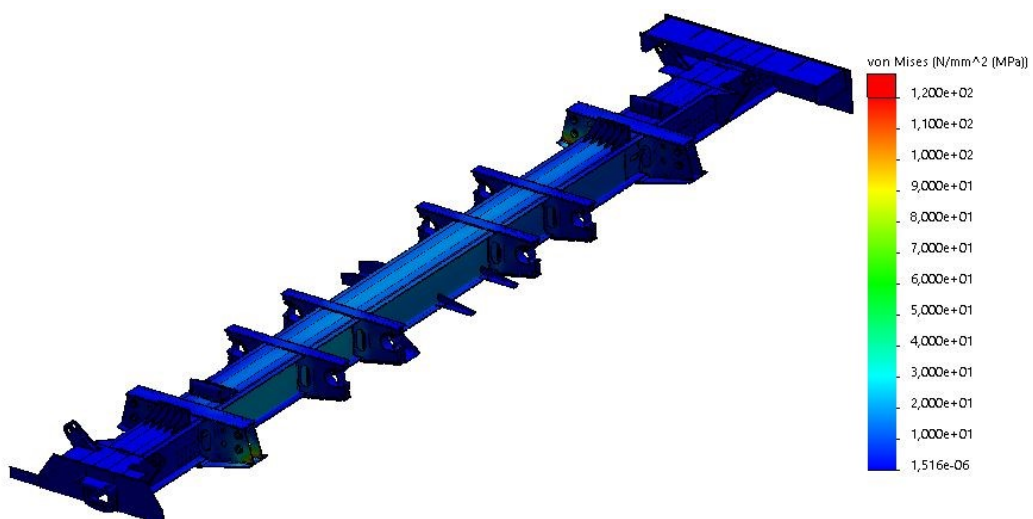


Рисунок 4.21 – Епюра еквівалентних напружень нижньої рами думпкара моделі 31-638 за режимом $\Pi_{рем1}$

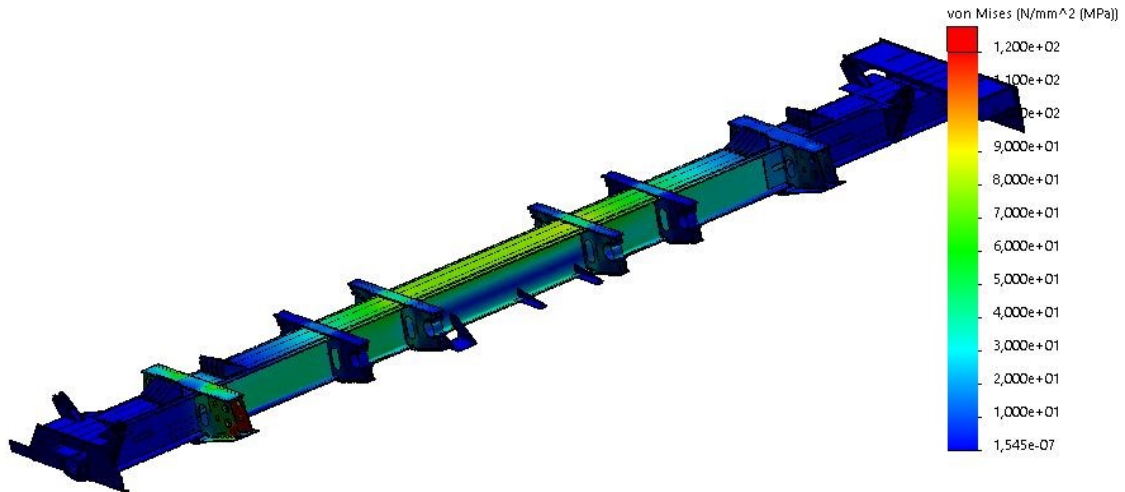


Рисунок 4.22 – Епюра еквівалентних напружень нижньої рами думпкара моделі 31-638 за режимом $\Pi_{\text{рем}2}$

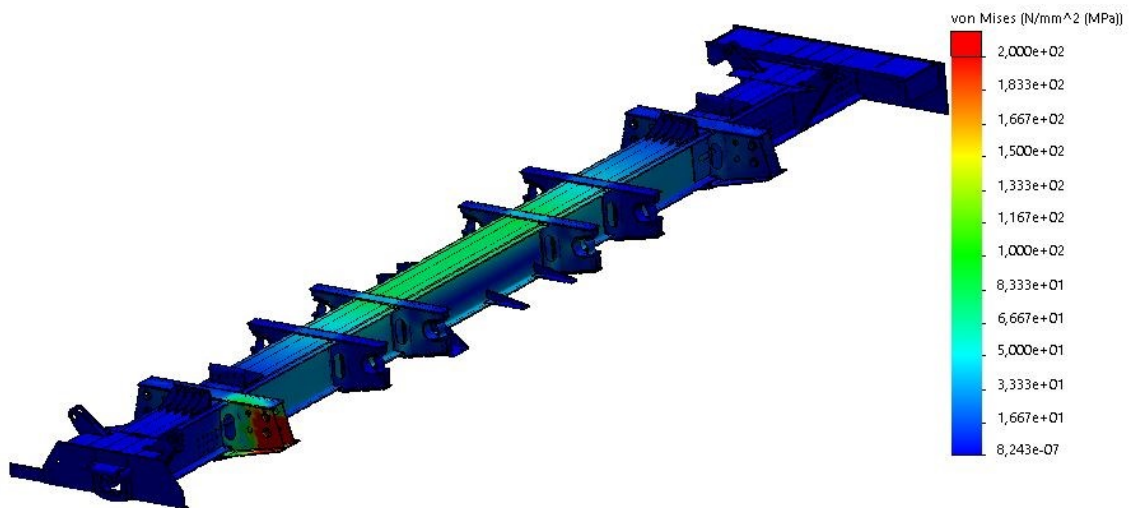


Рисунок 4.23 – Епюра еквівалентних напружень нижньої рами думпкара моделі 31-638 за режимом $\Pi_{\text{рем}3}$

Максимальні розрахункові напруження в Π режимі складають 205 МПа. Допустимі значення напружень для Π режиму – 310,5 МПа. Таким чином, максимальні розрахункові напруження не перевищують допустимі та вимоги за [57] виконуються.

Головні напрямки напруження в нижній рамі думпкара в зоні хребтової балки, де утворюються характерні тріщини представлені на рис. 4.24.

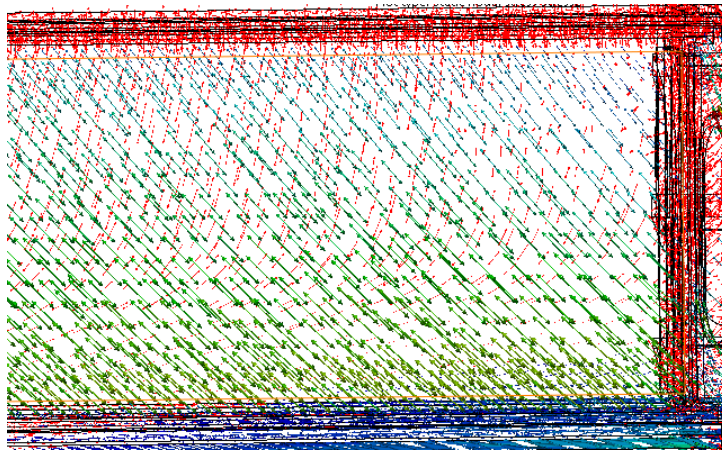


Рисунок 4.24 – Головні напрямки напруження в нижній рамі думпкара в зоні хребтової балки

Епюра максимальних дотичних напружень нижньої рами думпкара за режимом II розвантаження зображено на рис. 4.25.

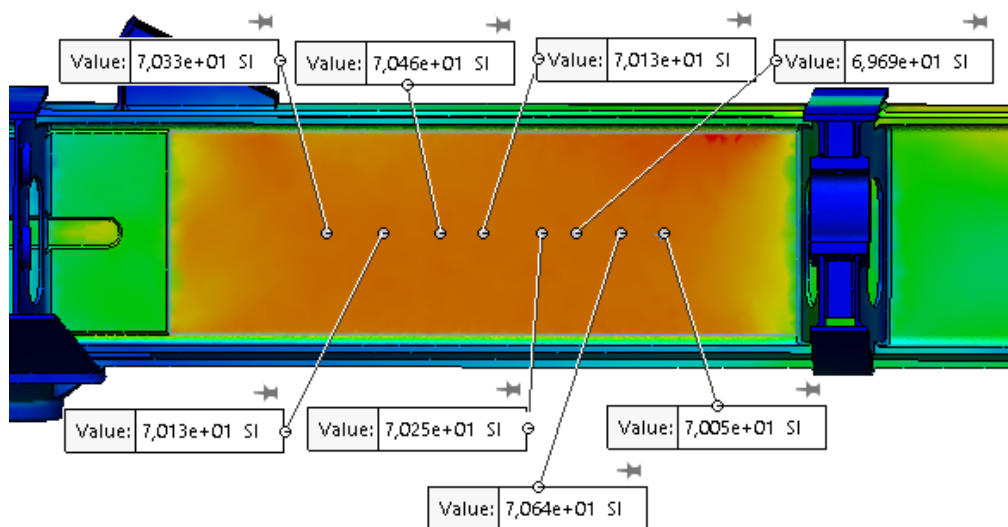


Рисунок 4.25 – Епюра максимальних дотичних напружень нижньої рами думпкара моделі 31-638 за режимом II_{розв}

Аналіз епюри розрахункових дотичних напружень дозволяє отримати їх максимальні значення – 71 МПа.

Допустимі дотичні напруження для нижньої рами думпкара становлять 190 МПа (табл. 4.4).

Запас статичної міцності визначаємо, як співвідношення допустимих дотичних напружень до розрахункових:

$$n = \frac{0,55 \cdot \sigma_{\tau}}{\sigma_{\text{тmax}}} \quad (4.1)$$

З формули 4.1 запас статичної міцності складає 2,67. Таким чином, максимальні розрахункові напруження не перевищують допустимі та вимоги за [57] виконуються.

При скручуванні хребтової балки, вектори головних напружень направлені під кутом 45° (вектори зеленого кольору) відносно повздовжньої осі нижньої рами. Саме через ці напруження можуть з'являються втомні тріщини, які поширюються перпендикулярно до напрямку цих напружень.

Максимальні розрахункові напруження відповідно до [57] та [57] представлено в зведеній табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Максимальні розрахункові напруження

Режим розрахунку	Розрахункові сили	Розрахунок відповідно до	Допустиме значення, МПа	Максимальні розрахункові напруження, МПа
$I_{\text{ст}}$	Стиснення	ДСТУ 7776:2015	310,5	175
		ДСТУ 7598:2014		175
$I_{\text{розт}}$	Розтягання	ДСТУ 7776:2015		200
		ДСТУ 7598:2014		250
$III_{\text{ст}}$	Стиснення	ДСТУ 7776:2015	210	208
		ДСТУ 7598:2014		208
$III_{\text{розт}}$	Розтягання	ДСТУ 7776:2015		150
		ДСТУ 7598:2014		150
$II_{\text{розв}}$	Перекидання / розвантаження	ДСТУ 7776:2015	190	133
		ДСТУ 7598:2014		133
$II_{\text{рем1}}, II_{\text{рем2}}, II_{\text{рем3}}$	Ремонт	ДСТУ 7776:2015	310,5	205
		ДСТУ 7598:2014		205

Таблиця 4.6 – Порівняння міцнісних розрахунків з метою їх валідації

Точка порівняння	Розрахункові напруження отримані за допомогою програмного комплексу SolidWorks, МПа				Напруження, отримані при проведенні випробувань, МПа	Розбіжність отриманих напружень, %			
	I _{ст}	I _{розт}	III _{ст}	III _{розт}		I _{ст}	I _{розт}	III _{ст}	III _{розт}
Хребтова балка між кінцевою та шворневою балками	150	170	145	152	161	7	5	10	6
Хребтова балка в районі циліндрової балки	75	90	72	84	79	5	12	9	6
Шворнева балка	48	63	50	63	55	13	13	9	10
Хребтова балка між шворневими балками	87	103	83	98	93	6	10	11	5
Кінцева балка	37	47	40	45	41	10	13	3	9

4.2.6. Розрахунки втомної міцності

Враховуючи те, що об'єктом моделювання є вагони, які мають наднормативний строк експлуатації, постає необхідність проведення розрахунків на втомну міцність.

Значення допустимих напружень втомного руйнування сталі 09Г2С за [57] для різних режимів навантаження: I – статичного; II – від нульового асиметричного (пульсуючого); III – симетричного наведено в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Довідкові допустимі значення втомних напружень для матеріалу 09Г2С [57]

Часовий опір σ_b	Межа плинності σ_t	Межа витривалості			Допустимі напруження, МПа													
		при розтягуванні σ_{-1p}	при вигині σ_{-1}	при скручуванні τ_{-1}	при розтягуванні $[\sigma_p]$			при вигині $[\sigma_b]$			при скручуванні $[\sigma_{ск}]$			при зрізі $[\sigma_{зр}]$			при зминанні $[\sigma_{зм}]$	
МПа					I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II
500	350	190	240	140	170	120	95	200	150	120	125	90	70	100	70	55	250	180

Межа витривалості для дотичних напружень для симетричного навантаження 70 МПа. Запас міцності за межею витривалості $70:71 = 0,98$.

Допустимі коефіцієнти запасу опору втомі представлені у табл. 4.8 відповідно до ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових та модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)» [57].

Таблиця 4.8 – Допустимі коефіцієнти запасу опору втомі

Умови розрахунку	[n]
У разі використання надійних експериментальних даних щодо режимів експлуатаційного навантаження і міцнісних характеристик деталей з урахуванням ймовірного розсіювання	1,2 – 1,4
У разі використання наближених даних щодо міцності деталей або режимів їх навантаження	1,5 – 1,8
У разі використання наближених даних щодо міцності деталей і режимів їх навантаження	1,8 – 2,2
Примітка. Більші значення коефіцієнтів запасу стосуються відповідальних деталей (шворневі й хребтові балки, рами візків, надресорні балки тощо).	

Запас міцності за границею витривалості дорівнює 0,98, що менше одиниці. Допустиме знакозмінне (симетричне) навантаження при скручуванні не повинно перевищувати 70 МПа. Нормативне значення має бути не менше 1,2.

Типові втомні тріщини в думпкарі виникають від значних моментів скручування у режимі II розвантаження. Необхідно посилити бічні стінки хребтової балки у зонах зазначених на рис. 4.26.



Рисунок 4.26 – Зони виникнення тріщин в хребтовій балці

4.2.7. Розрахункова схема аварійного навантаження

Відповідно до ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових та модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)» [57] та ДСТУ7776:2015 «Вагони-самоскиди (думпкари).

Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих думпкарів залізниць колії 1520 мм» [58] встановлено три розрахункових режими навантаження вагонів.

Вивчивши досвід експлуатації думпкарів та хопер-дозаторів, провівши аналіз несправностей, які виникають в експлуатації та виявлених дефектів прийшли до висновку, що в дисертаційній роботі необхідно ввести додатковий IV режим.

IV режим – аварійний – розрахунковий режим пропонується для вагонів, які мають розвантажувальні прилади (пневно-циліндри), для яких є можливим виникнення нестандартні ситуації. Прикладом такої ситуації є заклинювання одного з двох розвантажувальних циліндрів під час розвантаження думпкара. В такій ситуації виникають додаткові моменти скручування нижньої рами через те що один з циліндрів працює на розвантаження, а другий йому перешкоджає.

Розрахункову схему за IV режимом при заклинюванні одного з циліндрів при розвантаженні думпкара наведено на рис. 4.27.

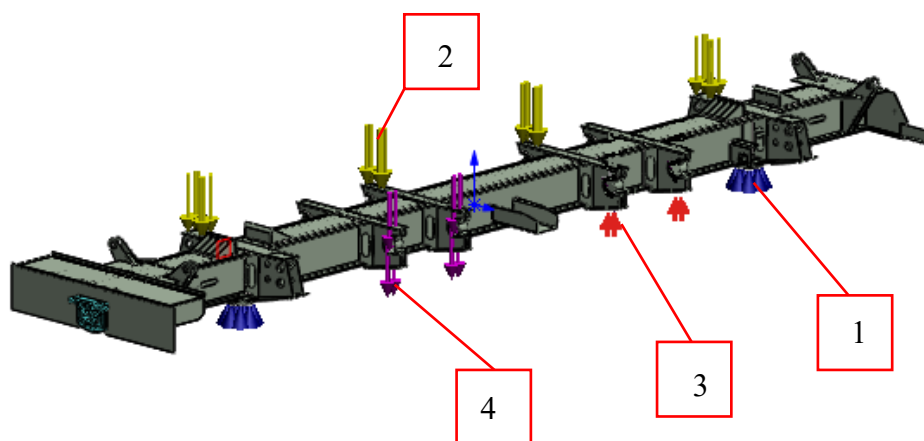


Рисунок 4.27 – Розрахункова схема нижньої рами думпкара (вагона-самоскида) моделі 31-638 (режим IV): 1 – обпирання кузова на візок; 2 – маса вантажу та рівномірно розподілена маса елементів кузова на початку розвантаження; 3 – сили розвантаження, які діють на елементи нижньої рами від справного циліндра; 4 – реакції, які діють на елементи нижньої рами від циліндра, що заклинив

4.2.8. Статичний розрахунок на міцність за IV режимом

На основі розрахункової схеми проведено статичний розрахунок на

міцність нижньої рами. На рис. 4.28 наведено епюру еквівалентних напружень, що виникають в нижній рамі думпкара моделі 31-638 від дії нормативного навантаження за режимом IV.

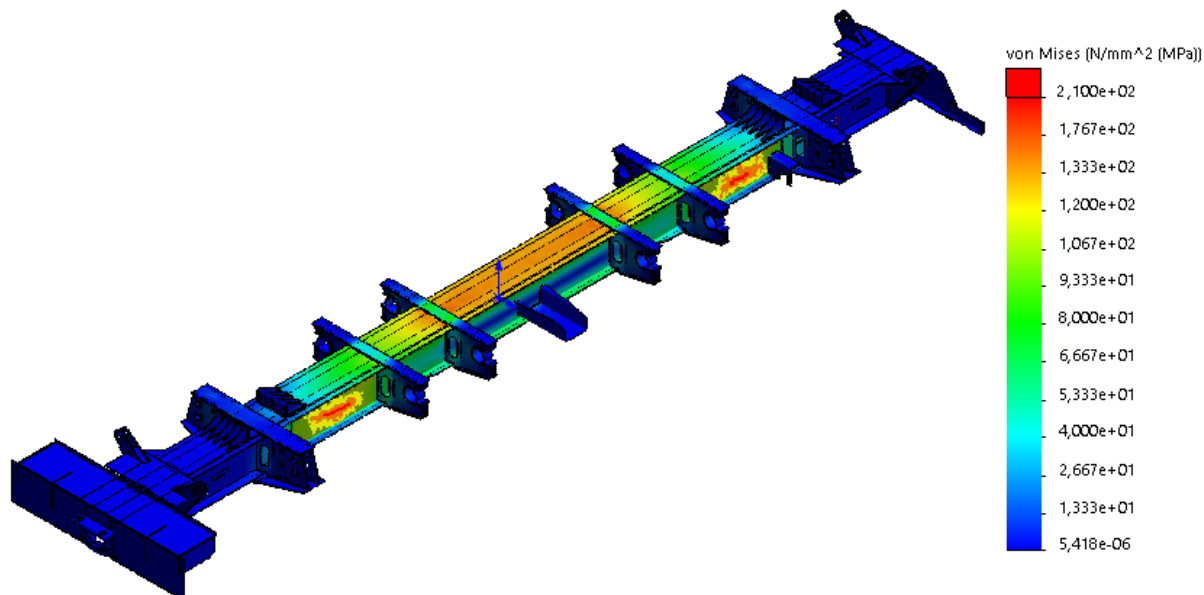


Рисунок 4.28 – Епюра еквівалентних напружень нижньої рами думпкара моделі 31-638 за режимом IV

Приймаємо максимальні розрахункові напруження за IV режимом на рівні значень II режиму. В такому випадку допустимі значення напружень для IV режиму складатимуть 190 МПа. Максимальні розрахункові напруження для IV режиму складають 205 МПа. Таким чином, максимальні розрахункові напруження перевищуватимуть прийняті допустимі значення.

Це свідчить про накопичення залишкових деформацій, що з часом може призвести до втомного руйнування нижньої рами думпкара.

4.3. Варіанти відновлення та посилення хребтової балки нижньої рами думпкара

В думпкарі від значних моментів скручування при розвантаженні вантажу виникають втомні тріщини, які представлені на рис. 4.29.

Було запропоновано декілька варіантів можливих ремонтів зон на хребтовій балці нижньої рами думпкара [11, 16, 17]. Метою роботи є аналіз запропонованих варіантів ремонту у місцях утворення однотипних тріщин на вагоні думпкарі з врахуванням досвіду конструювання та підвищення експлуатаційних характеристик вагонів [87, 88].



Рисунок 4.29 – Однотипні тріщини на хребтовій балці нижньої рами думпкара

4.3.1. Заварювання тріщини на хребтовій балці нижньої рами думпкара

Перший варіант ремонту полягає у заварюванні утворених тріщин. Процес ремонту полягає у наступному:

- 1) розробити тріщину та усунути її зварюванням;
- 2) зачистити зварний шов усунутої тріщини в рівень з хребтовою балкою.

Після розрахунку було отримано максимальні дотичні напруження, які представлені на рис. 4.30.

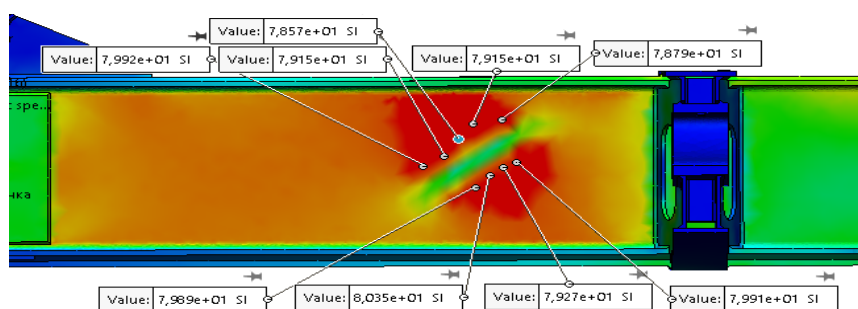


Рисунок 4.30 – Максимальні дотичні напруження при заварюванні тріщин

На 3D-моделі було змодельована розділка та заварювання тріщини шляхом підбору температури [89, 90], щоб залишкове напруження складало 20% від границі текучості.

Максимальні дотичні напруження при заварюванні тріщини становлять 78-80 МПа. Границя витривалості для дотичних напружень для симетричного навантаження становить 70 МПа.

Запас міцності за границею витривалості дорівнює $70:80=0,87$, що менше одиниці.

Після заварювання тріщини слід очікувати збільшення максимального дотичного напруження на 13% з 71 МПа до 80 МПа. В результаті чого можуть утворитися тріщини з двох сторін від завареної.

4.3.2. Приварювання накладки товщиною 5 мм в зоні виникнення тріщин

Другий варіант запропонованого ремонту полягає у заварюванні тріщини та посиленні бічної стінки хребтової балки нижньої рами думпкара шляхом встановлення накладки товщиною 5 мм.

Процес ремонту полягає у наступному:

- 1) розробити тріщину та усунути її зварюванням;
- 2) зачистити зварний шов усунутої тріщини в рівень з хребтовою балкою;
- 3) виготовити 2 накладки;
- 4) встановити виготовлені накладки на хребтову балку та приварити їх по контуру до хребтової балки.

Для визначення, якими розмірами повинна бути накладка, щоб забезпечити необхідне посилення зони утворення тріщин, розглянемо епюру моментів зображену на рис. 4.31.

Момент скручування на ділянках T1 та T5 є постійним.

Тому, необхідно посилити всю бічну грань хребтової балки на ділянках T1 та T5.

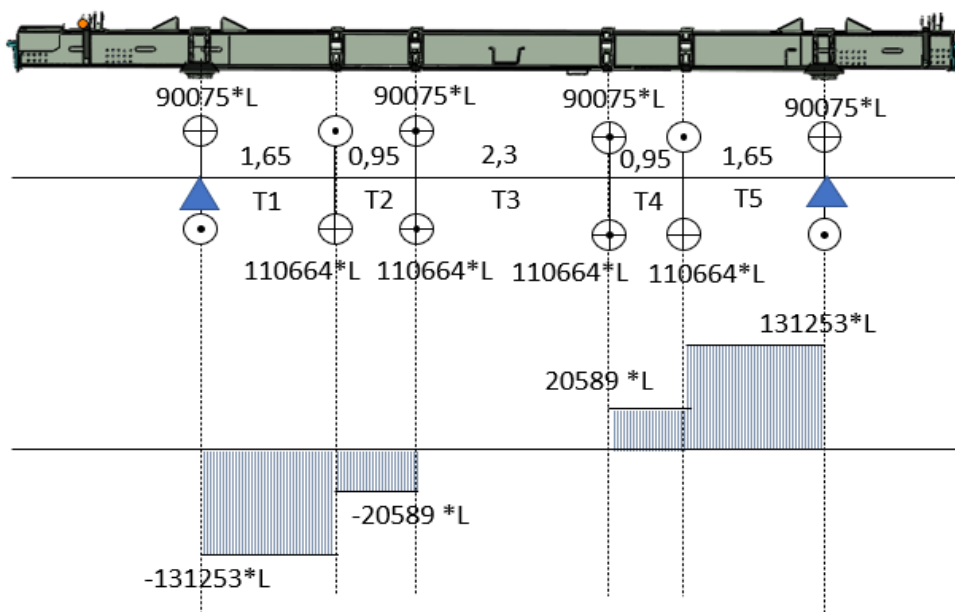


Рисунок 4.31 – Епюра моментів

Максимальні дотичні напруження при встановленні накладки становлять 47-49 МПа та представлені на рис. 4.32.

Границя витривалості для дотичних напружень для симетричного навантаження становить 70 МПа.

Запас міцності за границею витривалості дорівнює $70:49=1,42$, що більше одиниці.

Очікується зниження максимальної дотичної напруги на 31% з 71 МПа до 49 МПа. Прогнозується відсутність тріщин у цій зоні.

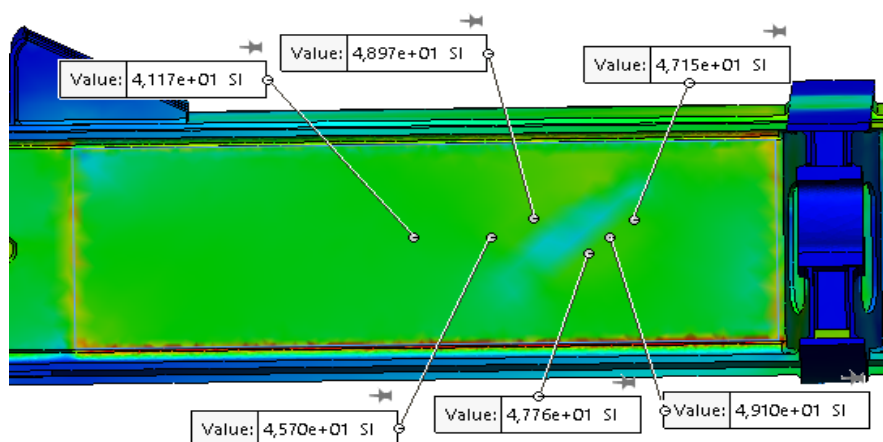


Рисунок 4.32 – Максимальні дотичні напруження з привареною накладкою товщиною 5 мм на хребтовій балці нижньої рами думпкара

Запас міцності за границею витривалості дорівнює $70:49=1,42$, що більше одиниці.

Очікується зниження максимальної дотичної напруги на 31% з 71 МПа до 49 МПа. Прогнозується відсутність тріщин у цій зоні.

4.3.3. Приварювання ребер жорсткості в зоні виникнення тріщин

На деяких типах вагонів, які мають розвантажувальні механізми для запобігання утворення тріщин та посилення хребтової балки, на бічній стороні приварюють ребра жорсткості на рис. 4.33.



Рисунок 4.33 – Приклад вагона з ребрами жорсткості на хребтовій балці

В даному випадку запропоновано також розглянути варіант посилення нижньої рами думпкара шляхом встановлення ребер жорсткості. Змодельовані ребра жорсткості та їх приварювання на хребтовій балці нижньої рами думпкара представлені на рис. 4.34.

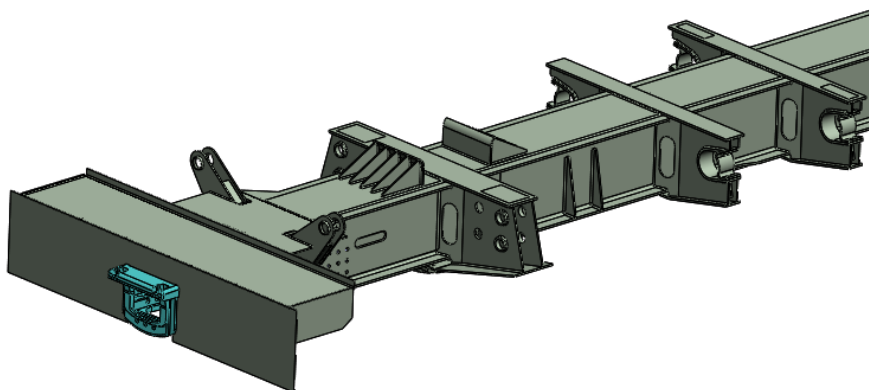


Рисунок 4.34 – Ребра жорсткості на хребтовій балці нижньої рами думпкара

Максимальні дотичні напруження при приварюванні ребр жорсткості становлять 77-89МПа та представлені на рис. 4.35. Границя витривалості для дотичних напружень для симетричного навантаження становить 70 МПа.

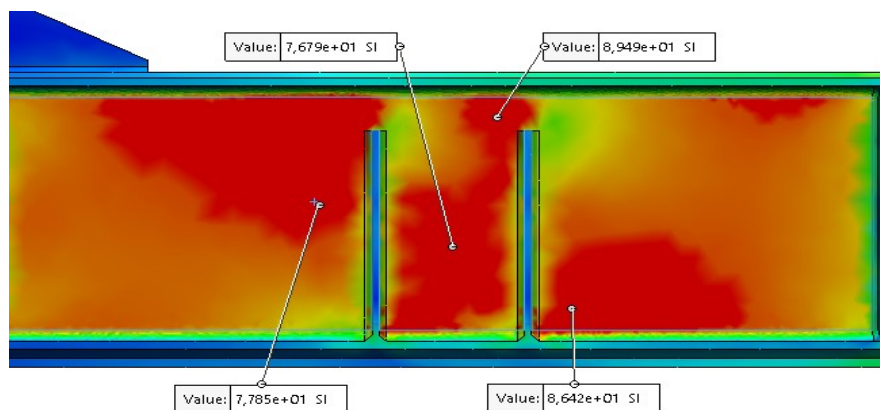


Рисунок 4.35 – Максимальні дотичні напруження з привареними ребрами жорсткості на хребтовій балці нижньої рами думпкара

Запас міцності за границею витривалості дорівнює $70:89=0,78$, що менше одиниці. Це дає можливість очікувати збільшення максимального дотичного напруження на 25% з 71 МПа до 89 МПа. Прогнозується можливе утворення тріщин у цій зоні.

4.4. Варіант відновлення та посилення хребтової балки хопер-дозатора

У вагонах хопер-дозаторах однотипні дефекти виникають в основному металі хребтової балки над ребром жорсткості в районі розвантажувального механізму між шворневою балкою та поперечною балкою на рис. 4.36.

При розвантаженні на хребтову балку хопер-дозатора діють подібні сили до думпкара, а саме при скручуванні хребтової балки, вектори головних напружень направлені під кутом 45° відносно повздовжньої осі нижньої рами. Саме через ці напруження з'являються втомні тріщини, які поширюються перпендикулярно до напрямку цих напружень.

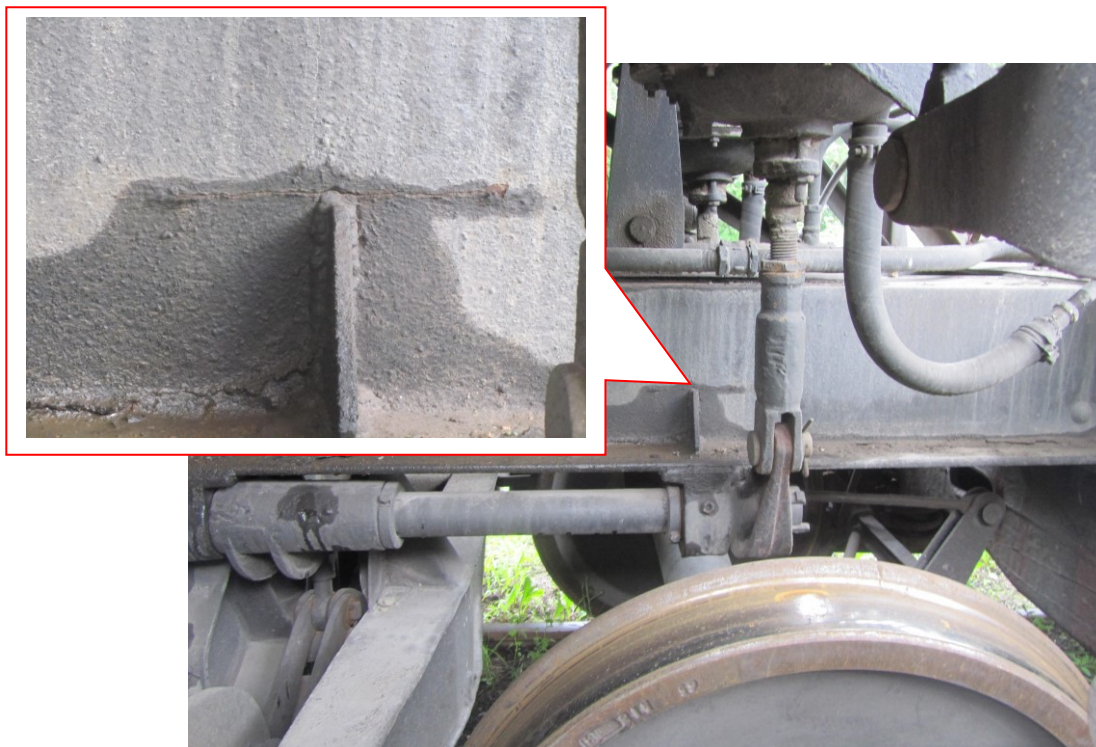


Рисунок 4.36 – Місце виникнення дефекту в хребтовій балці хопер-дозатора

Для думпкара було прораховано варіант відновлення нижньої рами з встановленням ребер жорсткості на неї. Розрахунки показали, що такий варіант відновлення знижує запас міцності нижньої рами думпкара.

Враховуючи, що на хребтовій балці хопер-дозатора однотипні дефекти виникають в місцях встановлення ребер жорсткості, це також свідчить про те, що виникають дефекти.

Враховуючи проведені міцнісні розрахунки з відновлення нижньої рами думпкара найбільш ефективним варіантом відновлення хребтової балки хопер-дозатора буде зрізання існуючого ребра жорсткості та встановлення посилюючої накладки.

4.5. Економічний ефект від практичного впровадження результатів роботи на залізницях України

Проведено розрахунок економічного ефекту [91, 92] від проведення ремонтів з установленням накладки товщиною 5 мм в місцях виникнення

однотипних дефектів.

Вартість закупівлі нових думпкарів та хопер-дозаторів на зміну дефектним розраховується:

$$\Sigma_H = B_H \cdot B_P \quad (4.2)$$

- за результатами контролю технічного стану з однотипними дефектами (Σ_D) в середньому виявляється по 20 думпкарів та хопер-дозаторів в рік;

- середня вартість нового думпкара / хопер-дозатора (B_H) становить 50 000 \$ або 1 850 тис. грн, при середньому курсі 1 \$ = 37,00 грн.

$$\Sigma_H = 1850000 \cdot 40 = 74000 \text{ тис. грн / рік};$$

Тоді, вартість ремонтних робіт (Σ_P) на рік становитиме:

$$\Sigma_P = B_P \cdot \Sigma_D \quad (4.3)$$

- орієнтовна вартість проведення ремонтних робіт з виготовленням накладки становитиме 20 000 грн (B_P).

$$\Sigma_P = 20000 \cdot 40 = 800 \text{ тис. грн / рік}.$$

Загальний економічний ефект (Σ_e) від впровадження варіанту ремонту запропонованого автором, який полягає у заварюванні тріщини та посиленні бічної стінки хребтової балки нижньої рами думпкара / хопер-дозатора шляхом встановлення накладки товщиною 5 мм, становитиме

$$\Sigma_e = \Sigma_H - \Sigma_P \quad (4.4)$$

$$\Sigma_e = 74000000 - 800000 = 73200 \text{ тис. грн / рік.}$$

Можливий економічний ефект (Σ_e) від практичного впровадження результатів роботи на всій системі залізниць України буде складати близько 73200 тис. грн / рік.

4.6. Висновки за розділом 4

За результатами теоретичних досліджень на скінченно-елементних 3-D моделях несівних елементів спеціальних вантажних вагонів – думпкара та хопер-дозатора – було отримано наступні результати та зроблено наступні висновки.

1. Запропоновано додатковий розрахунковий режим навантаження елементів несівних конструкцій думпкарів, який імітує навантаження конструкції при відмові (заклинюванні) одного з пневматичних приладів розвантажування (пневматичних циліндрів).

2. Підтверджено гіпотезу про те, що причиною втомних тріщин в елементах несівних конструкцій думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів є первинні дефекти (пластичні деформації, мікротріщини тощо), що виникають в процесі експлуатації внаслідок епізодичних аварійних навантажень з перевищенням допустимих напружень в аварійних, нестандартних ситуаціях, наприклад, при розвантажувальних операціях (заклинювання одного з приладів розвантаження).

3. Найкращим варіантом підвищення міцності нижньої рами думпкара та хребтової балки хопера-дозатора є варіант з двоетапним підсиленням: 1) заварювання виявлених тріщини з шліфуванням швів; 2) додаткового подальшого встановленням підсилювальної накладки. За рахунок такого підсилення є можливим зменшення максимальних дотичних напружень у критичних точках на величину до 30 %, а саме – з 71 МПа на базовій моделі – до 49 МПа для варіанту з підсиленням.

4. При зміні конфігурації даної накладки (округленню гострих кутів) та з виконанням електрозаклепок можна досягти більш технологічно вірного виконання модернізації.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які у сукупності вирішують науково-практичне завдання з визначення залишкового ресурсу та продовження строку експлуатації вагонів-думпкарів та хопер-дозаторів. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень зроблено наступні висновки.

1. Проведений аналіз наукових досліджень за темою дисертації показав недостатню обґрунтованість існуючих методів прогнозування залишкового ресурсу та продовження строку експлуатації спеціального рухомого складу. З'ясовано, що більшість методів засновано на врахуванні часових змін статичних характеристик перетинів елементів несучих конструкцій, зокрема внаслідок корозії, і не розглядає втомні явища в процесі експлуатації. Відомі спроби використання скінченно-елементних моделей несучих конструкцій вагонів для прогнозування їх залишкового ресурсу не враховують механізм утворення первинних дефектів та їх роль у втомній міцності конструкції після тривалої експлуатації.

2. На основі аналізу структури вагонного парку спеціального рухомого складу за строками експлуатації та видами несправностей з'ясовано, що частка думпкарів (вагонів-самоскидів), які вичерпали терміни експлуатації, встановлені заводами-виробниками складає 99%. Для хопер-дозаторів ця частка складає – 82%. Встановлено, що суттєва частина несправностей думпкарів та хопер-дозаторів (біля 34%) пов'язана із вантажо-розвантажувальними операціями, а саме порушенням технології розвантаження у зв'язку із несправностями розвантажувальних пристроїв та людським фактором.

3. Діючий в АТ «Укрзалізниця» порядок продовження строку експлуатації вантажних вагонів, не визначає критеріїв списання та виключення вантажних вагонів із вагонного парку. За участю автора розроблено зміни до стандарту підприємства, в якому поліпшено цей порядок та запропоновано ознаки та дефекти, за наявності яких здійснюється ця процедура.

4. За результатами проведених експериментальних випробувань дослідних вагонів встановлено зони з найменшим коефіцієнтом запасу опору втомі, що співпадають з місцями виявлених при обстеженні тріщин, а саме:

- для думпкара – найменші значення коефіцієнту запасу опору втомі відповідає точці на хребтовій балці в зоні шворневої балки і дорівнює 1,6;

- для хопер-дозатора – найменше значення коефіцієнту запасу опору втомі відповідає точці на хребтовій балці в зоні початку кузова і дорівнює 1,36.

Виявлено також групу точок, які мають значення близькі до найменшого коефіцієнту запасу опору втомі.

5. Несівними елементами конструкцій, що визначають загальну міцність спеціальних вантажних вагонів є: для думпкара (вагона-самоскида) – нижня рама; для хопера-дозатора – хребтова балка.

6. Отримані результати досліджень дають можливість стверджувати, що після закінчення встановленого заводом-виробником терміну служби, експлуатація вагонів може бути продовжена за умови періодичного проведення робіт з контролю технічного стану:

- для думпкара – до 55 років загального строку експлуатації, тобто на 33 роки понад встановлений заводом-виробником термін експлуатації (22 роки);

- для хопер-дозатора – до 65 років загального строку експлуатації, тобто на 40 років понад встановлений заводом-виробником термін експлуатації (25 років).

Запропонована періодичність проведення робіт з контролю технічного стану (діагностування) вагонів з метою продовження терміну подальшої експлуатації – один раз на шість років.

7. Уточнено формулу для прогнозування граничного терміну експлуатації вагонів, засновану на врахуванні експериментальних даних вимірювання напружень та напружень отриманих при 3D-моделюванні. Уточнення полягає у введенні коригуючих коефіцієнтів у кожній точці вимірювання в порівнянні із даними отриманими розрахунковим методом у зоні безпосередньої близькості до точки наклеювання тензодатчика.

8. Запропоновано додатковий розрахунковий режим навантаження елементів несівних конструкцій думпкарів, який імітує навантаження конструкції при відмові (заклинюванні) одного з пневматичних приладів розвантажування (пневматичних циліндрів).

9. Підтверджено гіпотезу про те, що причиною втомних тріщин в елементах несівних конструкцій думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів є первинні дефекти (пластичні деформації, мікротріщини тощо), що виникають в процесі експлуатації внаслідок епізодичних аварійних навантажень з перевищенням допустимих напружень в аварійних, нестандартних ситуаціях, наприклад, при розвантажувальних операціях (заклинювання одного з приладів розвантаження). Такий механізм виникнення первинних дефектів елементів конструкцій характерний лише для цього типу рухомого складу.

10. Найкращим варіантом підвищення міцності нижньої рами думпкара та хребтової балки хопера-дозатора є варіант з двоетапним підсиленням: 1) заварювання виявлених тріщини з шліфуванням швів; 2) додаткового подальшого встановлення підсилювальної накладки. За рахунок такого підсилення є можливим зменшення максимальних дотичних напружень у критичних точках на величину до 30 %, а саме – з 71 МПа на базовій моделі – до 49 МПа для варіанту з підсиленням. При зміні конфігурації даної накладки шляхом округленню гострих кутів з виконанням електрозаклепок можна досягти більш технологічно вірного виконання модернізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Довідка ГІОЦ УЗ 2066 ВУ. Вантажний парк вагонів України з розкладкою за роками побудови та РРС. URL: http://10.1.100.16/pls/uzc1dad/vkp.pkg_2066.go.
2. Наказ Міністерства інфраструктури України від 30.11.2021 №647 «Порядок проведення комплексу діагностичних, ремонтних та реєстраційних операцій, спрямованих на продовження строку експлуатації вантажних вагонів (крім вантажних вагонів підприємств технологічного залізничного транспорту, що призначені для переміщення вантажів у виробничих цілях в межах території таких підприємств), установленого виробником, строків продовження експлуатації таких вагонів». 19 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1677-21>.
3. Правила технічної експлуатації залізниць України. Затв. Мін-вом транспорту України 20.12.1996. Київ, 1996. 212 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0050-97>.
4. СТП 04-010:2018. Стандарт підприємства. Вагони вантажні. Система технічного обслуговування та ремонту за технічним станом. Київ, 2019. 29 с.
5. СТП 04-102:2021. Вагони вантажні. Технічне обслуговування. Правила з підготовки вантажних вагонів до перевезень. Київ, 2021. 58 с.
6. Леонець В.А. Вплив тривалої експлуатації залізничного рухомого складу на працездатність його несучих конструкцій. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2017. № 1. С. 24-31. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=ZTU_2017_1_6.
7. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Київ, 1995. 33 с. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25034.
8. ДСТУ 2865-94. Контроль неруйнівний. Терміни та визначення. Київ, 1995. 52 с. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=74389.

9. Сулим А.О., Хозя П.О., Водянніков Ю.Я., Столетов С.О., Федорак І.І. Алгоритм визначення еквівалентних напружень в рамі вантажного вагона від поздовжніх сил за результатами випробувань на співудар. *Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад»*. 2021. №22. С. 7-17. URL: <https://ukrndiv.com.ua/wp-content/uploads/2021/06/7-17.pdf>.

10. Barbas, I. H., Kostritsa, S. O., Datsenko, V. N., Sultan, A. V., Dzychkovskiy, Y. M., & Krivchykov, A. Y. The study of dynamics and strength of hoppers (review article). *Science and Transport Progress*. 2009. №30. P.27–32.

11. Хозя П.О., Юшко О.О., Орлов О.В., Хвоєнко Є.О., Григорошенко М.В. Науково-експериментальні дослідження технічних характеристик вагона-самоскида моделі 33-7141. *Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад»*. 2022. №25. С. 129-143. URL: <https://ukrndiv.com.ua/wp-content/uploads/2023/01/img01430.pdf>.

12. Султан О.В. Визначення навантаженості вагонів-самоскидів при ударі падаючим вантажем з метою забезпечення міцності: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. Дніпропетровськ, 2001. 24 с.

13. Татарчук В.В. Исследование напряженного состояния вагонов-самосвалов при различных эксплуатационных нагрузках: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. Днепрпетровск, 1983. 22 с.

14. Sulym A., Khozia P., Strynzha A., Rechkalov V., & Fedorov V. Шляхи та перспективи удосконалення вагонів-думпкарів, призначених для експлуатації магістральними коліями 1520 мм. *Транспортні системи і технології*. Київ. 2022. №39. С. 51-65. URL: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-39-6>.

15. СТП 04-016:2018. Вагони вантажні залізничного транспорту колії 1520 (1524) мм. Настанова з капітального ремонту. Київ, 2018. 183 с.

16. СТП 04-032:2020. Вагони вантажні. Настанова з деповського ремонту. Київ, 2020. 159 с.

17. СТП 04-020:2018. Вагони вантажні та контейнери. Правила ремонту при зварюванні та наплавленні. Київ, 2018. 247 с.

18. Довідка ГІОЦ УЗ 2020 ВУ. Виконані ремонти за обраними критеріями. URL: <http://10.1.100.7>.

19. Довідка ГІОЦ УЗ Моделі вантажних вагонів. URL: http://10.1.100.16/pls/kart/kknsi.ID_MODEL.MAIN.

20. АМ.НДКТИ.ВВ-2021 «Альбом моделей вантажних вагонів для визначення фактичних даних». Київ, 2021. 128 с.

21. Шевченко П.В., Горбенко А.П. Вагони промислового залізничного транспорту. К.: Вища школа, 1980. 224 с. URL: <https://libarch.nmu.org.ua/handle/GenofondUA/41815>.

22. Каблуков В.А., Савчук О.М. Подвижной состав промышленного железнодорожного транспорта: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. К.: Вища школа, 1990. 295 с.

23. Кошель О.О., Сапронова С.Ю. Дослідження несправностей вагонів спеціального рухомого складу в експлуатації. *Вісник СХУ ім. В. Даля*. № 4(268). Сєверодонецьк. 2021. С. 72-75. URL: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-72-75>.

24. Oleksii Koshel, Svitlana Sapronova, Viktor Tkachenko, Mariia Buromenska, Mykola Radkevich. Research of Freight Cars Malfunctions in Operation. *Proceedings of 25th International Scientific Conference. Transport Means 2021: Sustainability: Research and Solutions (October 06-08, 2021. Online Conference - Kaunas, Lithuania)*. Part II. 589-592. ISSN 1822-296 X (print), ISSN 2351-7034 (on-line). URL: <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-Means-2021-Part-II.pdf>.

25. ЦВ-0063. Правила виключення вантажних вагонів із інвентарного парку. Київ, 2005. 38 с.

26. Технологія інформаційного взаємобміну при обробці технічних рішень при виконанні ремонтів вантажних вагонів з продовження терміну служби. Київ, 2003. 31 с.

27. НДКТИ/НВЦ УІ 011-19 Випробування вагонів, що використовуються в колійному господарстві (думпкари, хопер-дозатори, платформи) з метою

визначення залишкового ресурсу. Програма контрольних випробувань вагонів. Київ: НДКТІ, 2019. 16 с.

28. Сапронова С.Ю., Кошель О.О., Ткаченко В.П., Буліч Д.І., Радкевич М.М. Аналіз методів продовження терміну служби вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2019. №33. С. 118-129. URL: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2019-33-1-11>.

29. Oleksii Koshel, Svitlana Sapronova, Dmitry Bulich, Viktor Tkachenko. Determination of the Load-Bearing Metal Structures Residual Operation Time of the Ukraine Railway. *Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020: Sustainability: Research and Solutions (September 30 - October 02, 2020. Online Conference - Kaunas, Lithuania)*. Part I. 228-232. ISSN 1822-296 X (print), ISSN 2351-7034 (on-line). URL: <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-means-A4-I-dalis.pdf>.

30. Кошель О.О., Сапронова С.Ю., Буліч Д.І., Ткаченко В.П. Визначення залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів) на основі результатів технічного діагностування та типових випробувань. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2020. №35. С. 14-23. URL: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-2>.

31. Bulich, D., Sapronova, S., Tkachenko, V., & Koshel, A. Дослідження корозійного зносу несучих металевих конструкцій вантажних вагонів під час проведення заходів щодо подовження терміну служби. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2021. №36. 43-53. URL: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-36-5>.

32. Кельрих М.Б., Донченко А.В. Оценка остаточного ресурса грузовых вагонов и продление срока их эксплуатации. *Современные достижения в науке и образовании: IV Международная научная конференция, 11-18 сентября 2010 г.: сборник трудов*. Будва. 2010. С. 131-134.

33. Дворецкий В.И. Нормативно-техническое обеспечение работ по продлению назначенного срока службы подвижного состава. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2005. № 3/2. С. 28-32.

34. Дворецкий В.И., Явдошина Е.Ф. Продление назначенного срока службы транспортных средств с модернизацией конструкций. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2007. № 2/1. С. 83-85.

35. Горобец В.Л., Мямлин С.В., Янгулова О.Л. Перспективи розвитку методів оцінки строку служби рухомого складу залізниць. Вісник сертифікації залізничного транспорту. 2015. № 8. С. 44-47. URL: <http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/4468/1/Gorobec.pdf>.

36. Сапронова С.Ю., Кошель О.О., Стретович В.П., Скакун В.С. Оцінка залишкового ресурсу вантажних вагонів в процесі експлуатації з метою продовження призначеного терміну служби. *Збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» 16-17 листопада 2018 року*. Київ. 2018. С. 192-194.

37. Сапронова С.Ю., Буліч Д.І., Радкевич М.М., Кошель О.О. Оцінка працездатності несучих конструкцій вантажних вагонів з вичерпаним нормативним терміном служби. *Збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» 16-17 листопада 2018 року*. Київ. 2018. С. 188-192.

38. Буліч Д.І., Сапронова С.Ю., Кошель О.О., Ткаченко В.П. Оцінка показників надійності несучих конструкцій вантажних вагонів із залишковим ресурсом. *Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» 14-16 листопада 2019 року*. Лиман. 2019. С. 17-19.

39. Sapronova S., Koshel O., Bulich D., Tkachenko V. (2020). Determination of the residual operation time of the load-bearing metal structures of the hopper doser and dumping wagons (dumpers) on the basis of the technical diagnostics and type

testing results. *Theses of international scientific and practical conference: Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects (5-10 May 2020, Batumi (Georgia))*. Severodonetsk: "Polygraph-Service". P. 101-105.

40. Кошель О.О., Титорчук Р.І., Ліщинський О.В. Вдосконалення системи контролю технічного стану несучих конструкцій рухомого складу шляхом застосування неруйнівних методів контролю. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2018. № 1. С. 47-53. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=ZTU_2018_1_9.

41. Яценко Л.Ф., Наріжна Т.М., Кошель О.О., Титорчук Р.І. Дослідження причин зародження тріщин в кришці циліндра тепловозного дизеля. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2021. № 4. С. 21-28. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=ZTU_2021_4_4.

42. Яценко Л.Ф., Прокопенко П.М., Наріжна Т.М., Кошель О.О., Гаврилюк В.В. Деформаційні, структурні та механічні зміни в матеріалі несівних конструкцій моторвагонного та тягового рухомого складу, який зазнав термічного впливу внаслідок пожежі. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2022. № 2. С. 21-27. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=ZTU_2022_2_6.

43. Kanavalau Y., Putsiata A. Evaluation Techniques for Residual in-Use Utility of the Railway Car Hopper-Batcher Bearing Structure with a Long-term Service. *Procedia Engineering*. 2016. 9th International Scientific Conference

Transbaltica 2015. №134. P. 57-63. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.039>.

44. 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. URL: https://www.metaljournal.com.ua/assets/MMI_2014_6/11-Fomin.pdf.

45. Леонец В.А., Лукашевич А.А. О контроле состояния сварных соединений элементов конструкций транспортных машин. *Техническая механика*. 2016. № 1. С. 103-109. URL: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/116670>.

46. Шевченко К.С. Кравченко С.А. Магнітний контроль рівня накопичених втомних пошкоджень металоконструкцій вантажних вагонів. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. Харків. 2013. №141. С. 75-78. URL: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.141.2013.93295>.

47. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Оцінка залишкового ресурсу вантажних вагонів з терміном служби, який перевищує призначений. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2018. № 4. С. 37-48. URL: http://www.irbis-nbuiv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuiv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=ZTU_2018_4_7.

48. Шмиг Р.А., Боярчук В.М., Добрянський І.М., Барабаш В.М. Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури. Львів. 2010. 222 с. URL: https://shron1.chtyvo.org.ua/Shmyh_Roman/Terminolohichnyi_slovnyk-dovidnyk_z_budivnytstva_ta_arkhitektury.pdf.

49. Папушин Ю.Л., Білецький В.С. Основи автоматизації гірничого виробництва. Донецьк: Східний видавничий дім, 2010. 168 с. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/529fb91e-b772-492a-bbe1-a10d3cfd78b7/content>.

50. Kehtarnavaz N., Mahotra S. Digital Signal Processing Laboratory: LabVIEW-Based FPGA Implementation. BrownWalker Press, 2010. 468 p.

51. ДСТУ EN ISO 9712:2014. Неруйнівний контроль. Кваліфікація та сертифікація персоналу неруйнівного контролю. Київ, 2014. 39 с. URL: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=82733.

52 ДСТУ EN 13018:2017. Неруйнівний контроль. Візуальний контроль. Загальні принципи. Київ, 2017. 8 с. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=72974.

53. ДСТУ EN ISO 9934-1:2018. Неруйнівний контроль. Магнітопорошковий контроль. Частина 1. Загальні вимоги. Київ, 2018. 24 с. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78842.

54. ДСТУ EN ISO 16810:2016. Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Загальні вимоги. Київ, 2016. 20 с. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65279.

55. ДСТУ EN 571-1-2001. Неруйнівний контроль. Капілярний контроль. Частина 1. Загальні вимоги. Київ, 2002. 16 с. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54749.

56. РД.24.050.37.95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. Москва, 1995. 101 с.

57. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових та модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2014. 161 с. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73763.

58. ДСТУ 7776:2015. Вагони-самоскиди (думпкари). Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих думпкарів залізниць колії 1520 мм. Київ, 2015. 112 с. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=80776.

59. ДСТУ 33211:2017. Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей. Київ, 2017. 58 с. URL: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=71004.

60. ДСТУ 2651:2005 (ГОСТ 380-2005). Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки. Київ, 2005. 22 с. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=41616.

61. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). Москва, 1983. 260 с.

62. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Бурлуцький О.В., Фоміна А.М. Контрольні випробування вантажного вагона з метою оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. Київ, 2019. Том 30 (69) №3 Частина 2. С. 177-182. URL: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/31>.

63. ГОСТ 33788-2016. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества. Москва, 2016. 66 с. URL: <http://vsegost.com/Catalog/63/63283.shtml>.

64. Fomin O., Lovska A., Masliyev V., Tsymbaliuk A., & Burlutski O. Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkiv, 2019. №1(7). P. 33-40. URL: <https://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154282>.

65. Myamlin S., Lingaitis L.P., Dailydka S., Vaičiūnas G., Bogdevičius M., & Bureika G. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie. *Journal «Transport»*. Vilnius, 2015. №1 (30). P. 88-92. URL: <https://doi.org/10.3846/16484142.2015.1020565>.

66. Дьомін Р.Ю. Дослідження з забезпечення експлуатації тягового рухомого складу поза межами призначеного строку служби. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ, 2017. №31. С. 44-53. URL: <https://tst.duit.in.ua/index.php/tst/article/view/7>.

67. Мямлін С.В., Недужа Л.О., Швець А.О. Дослідження динаміки та міцності вантажних вагонів: навч. посіб. / під заг. ред.

С.В. Мямліна. Д.: «Свідлер А.Л.», 2018. 257 с. URL: https://www.researchgate.net/profile/Angela-Shvets/publication/344922205_DOSLIDZENNA_DINAMIKI_TA_MICNOSTI_VA_NTAZNIH_VAGONIV/data/5fcdeef6a6fdcc697be88064/NP-2018-2.pdf?origin=publication_list.

68. Мурадян Л.А., Шапошник В.Ю., Мищенко А.А. Методологические основы определения эксплуатационных характеристик несамоходного подвижного состава. *Наука и прогресс транспорта. Вестник ДНУЖТ*. Днепропетровск. 2016. №1 (61). С. 169-179. URL: <https://doi.org/10.15802/stp2016/61044>.

69. Недужа Л.О., Швець А.О. Теоретичні та експериментальні дослідження міцнісних якостей хребтової балки вантажного вагона. *Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ*. Дніпро. 2018. №1 (73). С. 131-147. URL: <https://doi.org/10.15802/stp2018/123457>.

70. Кошель О.О., Кара С.В., Гриндей О.О. (2022) Міцнісний аналіз нижньої рами думпкара (вагона-самоскида) з метою визначення можливості продовження терміну експлуатації. *Scientific Collection «InterConf»*, (111): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Scientific Community: Interdisciplinary Research» (June 6-8, 2022). Boston, USA; pp. 439-444. URL: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/637>.

71. Кошель О.О. Варіанти відновлення нижньої рами думпкара (вагона-самоскида) з метою подальшої можливості продовження терміну експлуатації. *Scientific Collection «InterConf»*, (113): with the Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference «Theory and Practice of Science: Key Aspects» (June 19-20, 2022) at Rome, Italy; pp. 431-436. URL: <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.06.2022.044>.

72. Патент України на корисну модель №151144 (51) МПК (2006) B61D 9/08, B61D 17/00 B61D 17/04 (2006.01). Спосіб підвищення конструкційної міцності рами думпкара (вагона-самоскида) після виникнення тріщини.

Кошель О. О., Петренко В. О., Кара С. В., (Україна); власник: Кошель О. О., Петренко В. О., Кара С. В.; заявка № и 2021 07626 від 28.12.2021; публ. 08.06.2022, Бюл. № 23. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=281809>.

73. Koshel, O., Saproнова, S., Kara, S. (2023). Revealing patterns in the stressed-strained state of load-bearing structures in special rolling stock to further improve them. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (124)), 30–42. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285894>.

74. Сахарова А. С., Альтенбах И. Метод конечных элементов в механике твердых тел. К.: Вища школа, 1982. 480 с.

75. Дубенець В.Г., Хільчевський В.В., Савченко О.В. Основи методу скінченних елементів: Навчальний посібник. Ч.: ЧДТУ, 2007. 288 с. URL: <http://ir.stu.cn.ua/bitstream/handle/123456789/11250/%D0%94%D1%83%D0%B1%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%86%D1%8C%D0%92%D0%93.%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8%20%D0%9C%D0%A1%D0%95.pdf>.

76. Овчаренко В.А., Подлесний С.В., Зінченко С.М. Основи методу кінцевих елементів і його застосування в інженерних розрахунках: Навчальний посібник. К.: ДДМА, 2008. 380 с. URL: http://www.dgma.donetsk.ua/metod/texmex/mke/cae_ing.pdf.

77. Демин Ю.В., Демин Р.Ю., Черняк А.Ю. Математическое моделирование и динамика подвижного состава железных дорог. *Залізничний транспорт України*. 2007. №4. С.3–8. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/15745/1/18.pdf>.

78. Zeid I. *Mastering SolidWorks*. Peachpit Press, 2014. 552 p. URL: <https://www.pdfdrive.com/mastering-solidworks-the-design-approach-e184044162.html>.

79. Дьомін Р.Ю. Розвиток методів і засобів для розрахункової оцінки несівної здатності рамних конструкцій моторвагонного рухомого складу. *Вісник СХУ ім. В. Даля*. 2018. № 1(242). С. 50-54. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSunu_2018_1_11.

80. Weber M., Verma G. SolidWorks Simulation 2017 Black Book. CAD/CAM/CAE Works, 2016. 362 p.

81. Козяр М.М., Фещук Ю.В., Парфенюк О.В. Комп'ютерна графіка SolidWorks: Навчальний посібник. Х.: Олді-плюс, 2018. 252 с. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/22175/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%27%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%20%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0.pdf>.

82. Пустюльга С.І., Самостян В.Р., Клак Ю.В. Інженерна графіка в SolidWorks: Навчальний посібник. Л.: Вежа, 2018. 172 с. URL: <https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2021-02/%D0%86%D0%BD%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%20%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0%20%D0%B2%20SolidWorks.pdf>.

83. Bethun J.D. Engineering Design and Graphics with SolidWorks 2019. Macromedia Press, 2019. 784 p.

84. Lombard M. Mastering SolidWorks. Sybex, 2019. 1219 p.

85. Шукаєв С.М. Методичні вказівки. К.: Електронне видання, 2017. 32 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/18994/1/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%BA%D0%B0_%D0%BA%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D1%97.pdf.

86. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. К.: Наук. Думка, 1976. 461 с. URL: <https://libarch.nmu.org.ua/handle/GenofondUA/35597>.

87. Горбенко А.П., Мартинов І.Е. Конструювання та розрахунки вагонів: Навчальний посібник. Х.: УкрДАЗТ, 2007. 150 с. URL: <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/8378/1/%D0%9D%D0%B0%D0%B2%D1%87%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf>.

88. Горбенко А. П. Підвищення експлуатаційної ефективності вантажного рухомого складу: навчальний посібник. Х.: УкрДАЗТ, 2009. 103 с. URL:

<http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/2233/1/%D0%9D%D0%B0%D0%B2%D1%87%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf>.

89. Шваб'юк В.І. Опір матеріалів: Підручник. К.: Знання, 2016. 400 с. URL:<https://btpm.nmu.org.ua/ua/download/navch-posib/%D0%A8%D0%B2%D0%B0%D0%B1%D1%8E%D0%BA.%D0%9E%D0%9C.%D0%9F%D1%96%D0%B4%D1%80%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf>.

90. Бабенко Д.В., Горбенко О.А., Доценко Н.А. Механіка матеріалів і конструкцій: практикум: навчальний посібник. М.: МНАУ, 2017. 384 с. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/3207/1/Babenko_Mekhanika_materialiv_i_konstruktsiy.pdf.

91. Кошель О.О. Методи визначення ринкової вартості майна підприємств Укрзалізниці в умовах реформування галузі. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту серія «Економіка і управління»*. Київ. 2012. №21-22 (1). С. 192-199. URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Znpdetut_eiu_2012_21-22\(1\)_26](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Znpdetut_eiu_2012_21-22(1)_26).

92. Чернова Н.С. Розвиток методичних підходів до оцінювання вартості залізничного рухомого складу: автореф. дис. ... канд. економічних наук: 08.00.04. Дніпро, 2017. 23 с.

93. НПАОП 63.21-1.24-03. Правила охорони праці під час технічного обладнання и ремонту вантажних вагонів та рефрижераторного рухомого складу. Київ, 2003. 27 с. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=24492.

94. НПАОП 60.1-1.48-00. Правила безпеки для працівників залізничного транспорту на електрифікованих лініях. Київ, 2000. 20 с. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=47401.

ДОДАТОК А.

Акти впровадження результатів дослідження

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор філії «НДКТИ»

АТ «Укрзалізниця»



Іван ОСТАПЧЕНКО

серпень 2022 року

про використання результатів дисертаційної роботи

Кошеля Олексія Олександровича

на тему: «Прогнозування залишкового ресурсу та продовження строку експлуатації несівних конструкцій спеціального рухомого складу залізничного транспорту»

Цим актом підтверджується, що у філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» акціонерного товариства «Українська залізниця» впроваджені результати комплексу науково-дослідних робіт проведених Кошелем О.О., які увійшли до його дисертації «Прогнозування залишкового ресурсу та продовження строку експлуатації несівних конструкцій спеціального рухомого складу залізничного транспорту» представленої на здобуття ступеня доктора філософії.

1. Вид впровадження результатів

Розробка та уточнення програми та методики технічного діагностування (контроль технічного стану та контрольні випробування) вагонів спеціального рухомого складу у Науково-впроваджувальному центрі філії «НДКТИ» АТ «Укрзалізниця», які можуть бути використані при створенні нової нормативної документації АТ «Укрзалізниця».

2. Форма впровадження результатів

1. Програма та методика технічного діагностування (контроль технічного стану та контрольні випробування) вагонів хопер-дозаторів, що вичерпали призначений заводом-виробником термін служби;

2. Програма та методика технічного діагностування (контроль технічного стану та контрольні випробування) вагонів-самоскидів (думпкарів), що вичерпали призначений заводом-виробником термін служби.

3. На основі результатів проведених розрахунків на міцність запропоновано зміни до п. 10.2 нормативного документу ЦВ-0033 «Керівництво на капітальний ремонт вагонів-самоскидів (думпкарів) моделей 5BC-60, 6BC-60» в частині технології усунення дефектів на нижній рамі.

4. На основі результатів оцінки показників міцності та опору втомі запропоновано зміни до п. 6.2 нормативного документу ЦД-0067 «Інструкція складача поїздів і його помічника» (для вагонів зі строком служби понад полуторний від дати виготовлення) який необхідно доповнити п.п. 6.2.14

наступного змісту: «Заборонити розпуск вагонів хопер-дозаторів з сортувальних гірок, а також виконання з ними маневрів поштовхом».

3. Новизна отриманих результатів

Вдосконалено програми та методики технічного діагностування вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (вагонів-самоскидів) шляхом збільшення кількості тензOMETричних датчиків при проведенні контрольних випробувань.

Вперше розроблено варіанти відновлення нижньої рами думпкара, які позитивно впливають на підвищення конструкційної міцності думпкарів (вагонів-самоскидів) в місцях виникнення однотипних дефектів з проведенням підтверджуючих міцнісних розрахунків.

4. Соціальний та науково-технічний ефект

Впровадження матеріалів дисертації в процес технічного діагностування вагонів, які курсують на коліях АТ «Укрзалізниця» дозволяє продовжувати строк експлуатації несівних конструкцій думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів відповідно до 55 років включно від побудови та 65 років від побудови.

Продовження строку експлуатації даних типів вагонів зберігає потенціал перевезення сипучих вантажів (щебінь, пісок, відсів тощо) для потреб інфраструктури АТ «Укрзалізниця» в достатній кількості.

Начальник
Науково-впроваджувального центру
філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця»



Володимир ПОВИСШИЙ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор Державного університету
інфраструктури та технологій



Надія БРАЙКОВСЬКА

_____ 2022 року

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи

Кошеля Олексія Олександровича

на тему: «Прогнозування залишкового ресурсу та продовження строку експлуатації несівних конструкцій спеціального рухомого складу залізничного транспорту»

Цей акт складено про те, що в навчальному процесі Державного університету інфраструктури та технологій кафедрою «Вагони та вагонне господарство» використовуються матеріали дисертації Кошеля О.О. «Прогнозування залишкового ресурсу та продовження строку експлуатації несівних конструкцій спеціального рухомого складу залізничного транспорту» в лекційному курсі.

1. Вид впровадження результатів

Розробка та доповнення розділів лекційних курсів навчального освітнього компоненту «Надійність та технічне діагностування вантажних вагонів» для підготовки студентів 2-го освітнього ступеня Магістр за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт».

2. Форма впровадження результатів

1. Програма та методика технічного діагностування вагонів-самоскидів (думпкарів) та хопер-дозаторів.
2. Міцнісні розрахунки.
3. Аналіз несправностей вагонів спеціального рухомого складу.

3. Новизна отриманих результатів

Для II розрахункового режиму (додатковий спеціальний) згідно ДСТУ 7598:2014 запропоновано в обов'язковому порядку проводити розрахунок на опір втомі.

4. Соціальний та науково-технічний ефект

Впровадження матеріалів дисертації в навчальний процес дозволяє студентам ознайомитись з новою для них термінологією; розглянути несправності вагонів, які виникають в експлуатації; познайомитись з процесом проведення технічного діагностування рухомого складу.

Виконавець роботи

Олексій КОШЕЛЬ

Завідувач кафедри вагонів
та вагонного господарства, к.т.н., доц.

Вадим ІЩЕНКО

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора
Департаменту вагонного
господарства АТ «Укрзалізниця»

Олег МОТІН

«24» травня 2023 року

АКТ

**про використання результатів дисертаційної роботи
Кошеля Олексія Олександровича
на тему: «Прогнозування залишкового ресурсу та продовження строку
експлуатації несівних конструкцій спеціального рухомого складу
залізничного транспорту»**

Цим актом підтверджується, що у Департаменті вагонного господарства акціонерного товариства «Українська залізниця» впроваджені результати дисертаційної роботи Кошеля О.О., «Прогнозування залишкового ресурсу та продовження строку експлуатації несівних конструкцій спеціального рухомого складу залізничного транспорту»:

1. Вид впровадження результатів

При проектуванні нових думпкарів (вагонів-самоскидів) будуть враховані міцнісні розрахунки нижньої рами вагона та спосіб підвищення конструкційної міцності несівних конструкцій.

Запропоновані інженерні рішення з відновлення несучих конструкцій вагонів будуть враховані при написанні нормативних документів на виконання планових видів ремонту.

2. Форма впровадження результатів

Три варіанти відновлення несівної спроможності нижньої рами думпкарів (вагонів-самоскидів) серед яких один з запропонованих варіантів забезпечує необхідні міцнісні характеристики нижньої рами.

3. Новизна отриманих результатів

Отримані міцнісні розрахунки нижньої рами думпкара відображають найбільш навантажені місця (концентратори напружень) та місце де виникають однотипні дефекти.

Проведені розрахунки дали змогу розробити варіант відновлення несівної спроможності нижньої рами думпкарів.

4. Соціальний та науково-технічний ефект

Двоетапне підсилення нижньої рами думпкара та хребтової балки хопера-дозатора є найкращим варіантом підвищення міцності. А саме, заварювання виявлених тріщини та додаткового подальшого встановленням накладки. Посилення представляє собою приварювання накладки товщиною 5–6 мм до бокової стінки хребтової балки нижньої рами на усьому відрізку між шворневою балкою та кронштейном циліндрової балки. За рахунок такого підсилення є можливим зменшення максимальних дотичних напружень у критичних точках на величину до 30%. Це забезпечує більш безпечну експлуатацію думпкарів та хопер-дозаторів.

Менеджер-начальник
інженерно-технічного відділу
Департаменту вагонного господарства
АТ «Укрзалізниця»



Микола ХРИСТАН

ДОДАТОК Б.

Програма випробування вагонів, що використовуються в колійному господарстві (думпкар, хопер-дозатор, платформа) з метою визначення залишкового ресурсу



АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «УКРАЇНЬСКА ЗАЛІЗНИЦЯ» ФІЛІЯ
«НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ТА КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
ІНСТИТУТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»
НАУКОВО-ВПРОВАДЖУВАЛЬНИЙ ЦЕНТР

ПОГОДЖЕНО
Департамент вагонного господарства
АТ «Укрзалізниця»

« 01 » _____ 2019 р.

Департамент колій та споруд
АТ «Укрзалізниця»

« 04 » _____ 2019 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Філія «НДКТ»
АТ «Укрзалізниця»

« 04 » _____ 2019 р.

ВИПРОБУВАННЯ ВАГОНІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В КОЛІЙНОМУ ГОСПОДАРСТВІ (ДУМПКАР, ХОПЕР-ДОЗАТОР, ПЛАТФОРМА) З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ

Програма контрольних випробувань вагонів
НДКТ/НВЦ УІ 011-19

ПОГОДЖЕНО

Начальник НВЦ
філії «НДКТ» АТ «Укрзалізниця»

В.О. Петренко

« 29 » _____ 2019 р.

Начальник управління інжинірингу
філії «НДКТ» АТ «Укрзалізниця»

В.М. Повисший

« 29 » _____ 2019 р.

РОЗРОБЛЕНО

Начальник науково-дослідного відділу
випробувань

філії «НДКТ» АТ «Укрзалізниця»

І.В. Малишко

« 28 » _____ 2019 р.

Начальник відділу контролю технічного
стану вантажних вагонів

філії «НДКТ» АТ «Укрзалізниця»

О.О. Кошель

« 28 » _____ 2019 р.

Провідний інженер науково-дослідного відділу
динаміки та міцності

філії «НДКТ» АТ «Укрзалізниця»

П.М. Прокопенко

« 28 » _____ 2019 р.

Начальник науково-дослідного відділу
динаміки та міцності

філії «НДКТ» АТ «Укрзалізниця»

к.т.н. С.В. Кара

« 28 » _____ 2019 р.

Київ 2019

Зміст

Вступ.....	3
1 Галузь використання.....	4
2 Мета і завдання випробувань.....	4
3 Об'єкти випробувань та їх відбір.....	4
4 Види і послідовність проведення випробувань.....	10
5 Характеристики, що визначають.....	10
6 Умови проведення випробувань.....	11
7 Порядок проведення випробувань.....	12
8 Вимоги до персоналу.....	13
9 Розподіл відповідальності та звітність.....	13
10 Вимоги безпеки	14
Перелік посилань.....	16

ВСТУП

За станом на 2019 р. на балансі підрозділів колійного господарства АТ «Укрзалізниця» знаходиться близько 6000 вантажних вагонів, з яких 3475 експлуатуються за межами призначеного строку служби. Подальше їх використання потребує проведення відповідного технічного діагностування (обстеження технічного стану та контрольні випробування).

Відсутність систематичного поповнення вагонного парку новими більш досконалими вагонами привела до їх суттєвого старіння, збільшення ремонтних та експлуатаційних затрат на відновлення їх працездатності, кількості відчеплень в поточний ремонт, зниження безпеки руху, в тому числі і до сходу вагонів з рейок.

За результатами контролю технічного стану хоперів-дозаторів, універсальних платформ та вагонів-самоскидів (думпкарів), проведеного спеціалістами філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» у 2018-2019 роках, з урахуванням рівня корозійних та механічних пошкоджень, встановлена можливість продовження строку їх експлуатації на 1 рік [1, 2, 3].

Для вирішення питання про можливість подальшої експлуатації хоперів-дозаторів, універсальних платформ та вагонів-самоскидів (думпкарів) відповідно до «Плану науково-дослідних, дослідно-конструкторських робіт та розроблення нормативних документів АТ «Укрзалізниця» на 2019 р.», введеного в дію наказом від 27.05.2019 № 362, передбачається проведення їх контрольних випробувань з експериментальним визначенням напруженого стану та коефіцієнту запасу втомі несучих конструкцій рами і кузовів вагонів при характерних режимах навантаження.

Програма (далі «П») розроблена відповідно до вимог: ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)», «Положение о продлении срока службы грузовых вагонов, курсирующих в международном сообщении». Утверждено Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества от 13-14 мая 2010 года, ГОСТ 33211-2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам» (ДСТУ 33211:2017 «Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей»), ОСТ 32.55-96 «Система испытаний подвижного состава. Требования к составу, содержанию, оформлению и порядку разработки программ и методик испытаний и аттестации методик испытаний», «Единых методических указаний по техническому диагностированию грузовых и рефрижераторных вагонов государств – участников Соглашения о совместном использовании грузовых и рефрижераторных вагонов в международном сообщении. 16 января 2003 г., г.

Москва, ДСТУ 7571:2014 «Рухомий склад залізниць. Норми допустимого впливу на залізничну колію шириною 1520 мм», ГОСТ 15.909:2014 «Железнодорожный подвижной состав. Порядок разработки и постановки на производство», РД 24.050.37-95 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний вагонов на прочность и ходовые качества (Вагоны вантажні та пасажирські. Методи випробувань на міцність та ходові якості)».

1 ГАЛУЗЬ ВИКОРИСТАННЯ

1.1 «П» встановлює послідовність і порядок проведення контрольних випробувань думпкарів (вагонів-самоскидів), хопер-дозаторів і платформ, що використовуються в колійному господарстві.

1.2 Роботи виконуються Науково-впроваджувальним центром філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» (далі – НВЦ), який акредитований Національним агентством з акредитації України, Атестат з акредитації від 15 лютого 2018 року №2Т1454 та має «Свидетельство на право проведения работ по техническому диагностированию с целью продления срока службы грузовых, изотермических вагонов» выдано Дирекцией Совета по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества» от 30.03.2016.

1.3 Філія «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» при виконанні окремих видів робіт може залучати інші організації та фахівців, що мають право на проведення цих робіт.

1.4 Галузь застосування – використання платформ, думпкарів (вагонів-самоскидів) та хопер-дозаторів для перевезення вантажів, ремонту та модернізації залізничних колій та споруд АТ «Укрзалізниця» залізничним транспортом.

2 МЕТА І ЗАВДАННЯ ВИПРОБУВАНЬ

2.1 Метою проведення контрольних випробувань думпкарів (вагонів-самоскидів), хопер-дозаторів і платформ є визначення характеристик міцності несучих конструкцій вагонів, їх залишкового ресурсу та підтвердження можливості подальшої експлуатації кузову вагонів після закінчення призначеного терміну служби, в тому числі понад полуторний, відповідно до діючих нормативних документів [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7].

2.2 Завданням випробування скидання з клинів є оцінка власних частот коливань та динамічних напружень в елементах несучої конструкції вагонів.

2.3 Завданням типових випробувань міцності при зіткненні: визначення і оцінка динамічних напружень і деформацій в несучих конструкціях вагона при прикладанні нормативних ударних сил через автозчепне обладнання.

2.4 Завданням випробувань на ресурс при співударі є визначення появи та розвиток пошкоджень і залишкових деформацій в несучих конструкціях вагона при багаторазовій дії поздовжніх навантажень через автозчепний пристрій, залишкового ресурсу та коефіцієнта запасу опору втоми.

3 ОБ'ЄКТИ ВИПРОБУВАНЬ ТА ЇХ ВІДБІР

3.1 Об'єктами випробувань є хопер-дозатор, універсальна платформа та думпкар (вагон-самоскид). Зразки вагонів відбирається з числа тих, які діагностуються, очищаються власником від бруду та залишку вантажу і надаються на огляд НВЦ з оформленням актів відбору та ідентифікації.

За участю представників департаменту колії та споруд, філії «НДКТІ» проводиться відбір 3-х вагонів (думпкар, хопер-дозатор та платформа), виділяються дві паралельних ділянки колії, вагони підпору, вагон-бойок, локомотив з локомотивною бригадою для проведення випробувань (на основі розпорядження – доручення керівництва АТ «Укрзалізниця»).

Вагони, що підлягають випробуванням, повинні бути цілком відремонтованими, обладнаними та відповідати вимогам, викладеними в [8], [9].

Ймовірний строк продовження служби вагонів складає 3-5 років і підтверджується результатами контрольних випробувань.

Основні технічні характеристики вагонів наведені в таблиці 1 [10].

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики вагонів

Тип вагона	Розмірність	4-вісна вагон-платформа для перевезення колісних і гусеничних машин моделі 13-401	4-вісний хопер-дозатор для перевезення сипучих вантажів моделі 20-X15	Вагон-самоскид (думпкар) для перевезення сипучих вантажів та щебеню моделі 31-638
Кількість осей	-	4	4	4
Тара вагона (мінімальна)	т	20,3	22,2	25,7
Тара вагона (максимальна)	т	20,9	23,6	27,3
Вантажопідйомність	т	70	60	60

Об'єм кузова	м ³	–	33,4	26,2
База вагона	мм	9720	7837	7500
Ширина	мм	3140	3250	3210
Габарит	-	0 – ВМ	1 – Т	1 – Т
Довжина по осях автозчеплення	мм	14620	10870	11830
Довжина по рамі	мм	13400	10700	10610
Максимальне розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейку	кН	228	210	212,7
Рік постановки на серійне виробництво	-	1971	1961	1971
Призначений строк служби	-	32	25	22

3.2 Ідентифікація зразка продукції виконується за нормативною документацією, зовнішнім видом та конструкцією (вагону), комплектністю й маркуванням перед початком випробувань.

3.3 Транспортування та зберігання вагонів здійснюють відповідно до вимог, установлених нормативною та (або) експлуатаційною документацією.

3.4 Вагон з комплектом нормативної, технічної (конструкторської) документації та актом відбору надають НВЦ на випробування.

Відібраний згідно з актом відбору вагон конкретного типу і отриманий НВЦ для випробувань повинен бути ідентифікований за такими ознаками:

- найменування об'єкта;
- позначення об'єкта (модель);
- заводський номер;
- підприємство – виробник;
- власник;
- дата виготовлення;
- тип поглинального апарату.

3.5 Платформа 13-401 призначена для перевезень довгомірних вантажів, металоконструкцій, колісної та гусеничної техніки, пакетованих та деяких сипучих

вантажів, що не потребують захисту від атмосферних опадів. До універсальних платформ відносяться 4-вісні платформи з боковими бортами, шарнірно зв'язаними з рамою і здатними відкидатись вниз до вертикального положення при перевезенні вантажів, ширина яких більше ширини платформи, а також з торцевими бортами, які у відкритому положенні лягають горизонтально на кронштейни кінцевих балок рами платформи. В горизонтальному положенні торцеві борти зчеплених платформ утворюють міст для проїзду самоходом при навантаженні на платформи колісної і гусеничної техніки. Борти крім зусиль від розпору сипучих вантажів у сприйнятті діючих на платформу експлуатаційних навантажень участі не приймають, тому платформа має потужну раму, здатну нести на собі всі види експлуатаційних навантажень.

Рама платформи зварної конструкції. Основні балки – хребтова (два двотавра №60) і дві бічні (двотавр №60) – мають форму, наближену до бруса рівного опору вигину. Ці балки з'єднані двома кінцевими балками коробчастого перерізу (гнутий кутник і лист), двома шворневими балками замкнутого коробчастого перерізу, двома поперечними основними та чотирма поперечними проміжними балками двотаврового перерізу з прокату. Для передачі частини поздовжніх сил на бокові балки рами на ділянці між кінцевими та шворневими балками розташовані розкоси.

Для підтримки дошок підлоги між хребтовою і бічними балками передбачені додаткові поздовжні балки з двотавра, які спираються на поперечні балки рами. Верхні полиці останніх розташовані нижче верхніх полиць хребтової і бічних балок на висоту додаткових поздовжніх елементів, що забезпечує розміщення дошок підлоги.

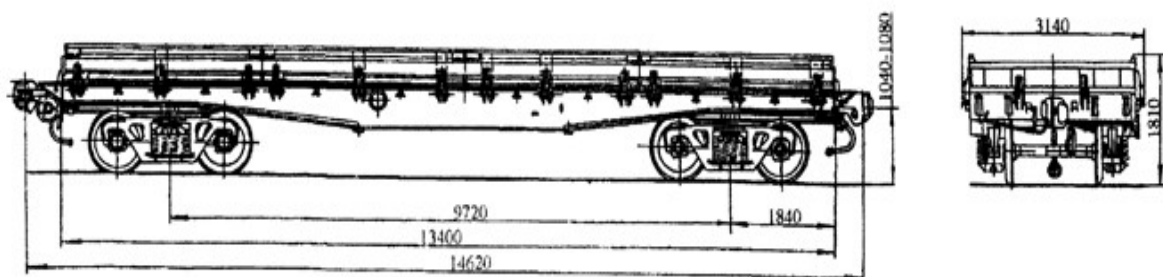


Рисунок 1. Передній та боковий вид універсальної платформи 13-401

На кінцевій балці закріплені кронштейни для торцевого борту, скоби для лісових стійок, поручень для укладача, державки петель торцевого борту і

розетка, відлита разом з передніми упорами автозчепного пристрою. На бічних балках рами встановлені скоби лісових стійок, державки петель бічних бортів. Несучі елементи виконані зі сталі 09Г2. Дерев'яний настил підлоги товщиною 55 мм по периметру армований сталевим кутником, через який болтами прикріплений до бічних і кінцевих балок рами. Зовні від кутника до бічних балок рами приварені гнуті швелери, що захищають настил підлоги від пошкоджень при навантаженні самохідного обладнання на колесах. У середній частині підлоги прикріплені болтами і спеціальними скобами до полиць двотаврів хребтової балки.

Бічні борти висотою 500 мм сталеві, зі спеціального гнутого профілю товщиною 4 мм з широкою поздовжньою гофрою, яка забезпечує необхідну жорсткість. Для полегшення підйому, бічний борт розділений на чотири частини, кожна з яких має три клинових запори, які утримують болт в закритому положенні. Торцеві борти висотою 400 мм утримуються в закритому положенні клиновими запорами аналогічного пристрою.

3.6 Думпкари (вагони-самоскиди) є спеціалізованим рухомим складом і від інших вагонів вантажного парку відрізняються будовою кузова та наявністю спеціалізованого обладнання для його нахилу під час розвантаження.

Думпкар моделі 31-638 призначений для перевезення та механізованого розвантаження сипучих вантажів та щебню із щільністю 1,7...2,0 т/м³ та представляє собою суцільнометалеву зварну конструкцію з кузовом, здатним нахилитись на певні кути, та бортами, що відкриваються вниз, для розвантаження. Конструкція несучих елементів кузова розрахована на навантаження масою 2-2,5 т з висоти до 2 м на кузов, що покритий мілким вантажем. При нахилі кузова за допомогою пневматичних циліндрів розвантаження здійснюється на любую сторону залізничної колії.

Стійкість думпкара при розвантаженні досягається в результаті більш швидшого відкривання поздовжнього борта у порівнянні з його нахилом. Повернення кузова у поїзне положення з одночасним закриттям борта здійснюється під дією сили тяжіння кузова.

В залежності від умов розвантаження думпкари обладнані пневматичною системою для групового або індивідуального розвантаження. Групова пневматична система дозволяє розвантажувати водночас всі думпкари в поїзді на одну сторону, а також розвантажувати по одному вагону на любую сторону залізничної колії. Індивідуальна пневматична система дозволяє розвантажувати вагони у складі локомотива тільки по одному думпкару на любую сторону залізничної колії.

Гальмівне обладнання, автозчепний пристрій, а також ходові частини вагона-самоскида – стандартні, широко застосовуються на вантажних вагонах інших типів.

Кузов вагона утворюють верхня рама з настилом підлоги, дві лобові стінки, жорстко з'єднані з верхньою рамою по її кінцям, і два поздовжніх борта, шарнірно з'єднаних з верхньою рамою литими кронштейнами, що рівномірно розміщеними по всій довжині поздовжнього борта.

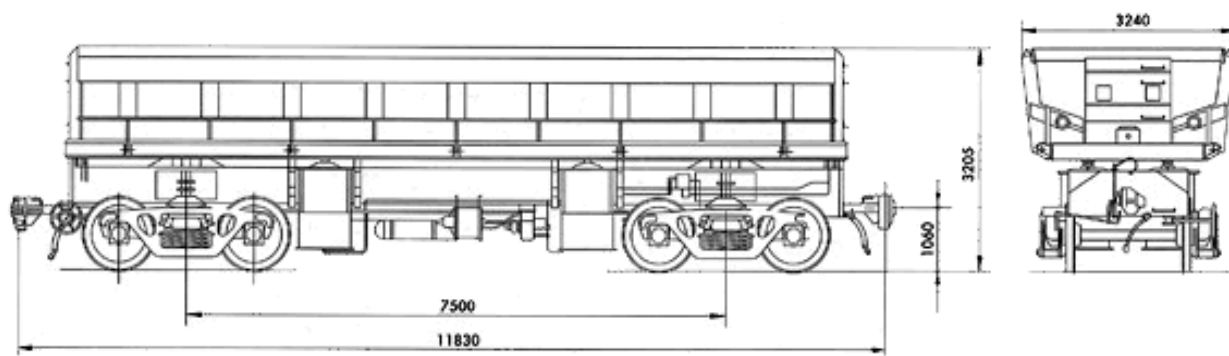


Рисунок 2. Передній та боковий вид думпкара моделі 31-638

Верхня рама зварна і складається з центральних, поздовжніх, бокових, шворневих, циліндрових і проміжних поперечних балок. Шворневі, циліндрові та проміжні поперечні балки укладені на поздовжні центральні балки, а своїми кінцями – на зетподібну полку бокових балок. Шворнева балка складається із двох балок, кожна з яких виконана зі швелерів №14, що зварені в коробку. Поздовжня центральна та поперечні балки виконані із двох зварених в коробку швелерів №14. Бокові балки виконані з зетподібного профілю.

Особливістю рами думпкара моделі 31-638 є розміщення поздовжніх балок біля опор повороту верхньої рами і застосування нерозрізних поперечних балок, що підвищує міцність і покращує технологію виготовлення. Поперечні проміжні балки, рівномірно розміщені по довжині верхньої рами, разом з поздовжніми центральними балками коробчастого типу дозволили створити достатньо надійну в експлуатації конструкцію верхньої рами.

Нижня рама складається з хребтової балки, двох буферних стінок, двох шворневих і чотирьох циліндрових балок з кронштейнами. Хребтова балка має коробчастий переріз і виконана з двох двотаврів №45, перекритих зверху і знизу листами товщиною 12 і шириною 450 мм. У внутрішній частині балки між двотаврами встановлено 12 діафрагм із листа товщиною 8 мм. По кінцях хребтової балки із зовнішньої сторони приварені підсилюючі накладки товщиною 6 мм. На верхньому листі хребтової балки встановлені опори, які обмежують переміщення кузова відносно нижньої рами. Шворневі кронштейни

зварні, складаються з вертикальних штампованих ребер товщиною 10 мм. Ці ребра перекриті зверху і знизу листами з товщинами відповідно 14 і 10 мм. Циліндрові кронштейни зварні, коробчастого перерізу, складаються зі штампованих вертикальних ребер товщиною 10 мм, перекритих зверху і знизу листами товщиною по 14 мм. На верхньому листі встановлені литі опори кузова вагона.

3.7. Хопер-дозатор – транспортний засіб для перевезення, механізованого розвантаження, укладки на колію, дозування і розрівнювання баласту при побудові, ремонті і поточному утриманні залізничної колії. Кузов хопер-дозатора суцільнометалевий бункерного типу, має 4 розвантажувальні пристрої з кришками, а також дозуючий пристрій. Рама дозуючого пристрою при розвантаженні знаходиться над поверхнею колії на висоті, що рівна товщині баластного шару. Управління дозуючим і розвантажувальними пристроями здійснюється пневмосистемою. При русі хопер-дозатора кришки відкриваються пневмоциліндрами, вантаж висипається і розрівнюється рамою дозатора шаром заданої товщини.

Нижня частина кузова, торцеві стінки якого нахилені під кутом 50 градусів до горизонту, являє собою бункер з розвантажувальними люками, що обладнані внутрішніми та зовнішніми кришками. Під бункером розміщується дозатор, представлений в різних положеннях по висоті механізмів підйому.

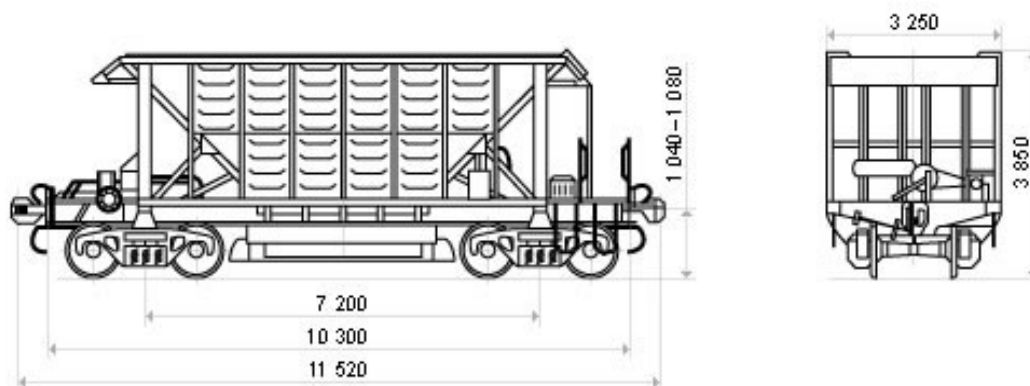


Рисунок 3. Передній та боковий вид хопер-дозатора моделі 20-Х15

Рама складається з хребтової балки, звареної з двотаврових балок, двох бокових балок, кінцевих балок, двох шворневих балок з п'ятниками для опори на візки. Знизу балок приварені ковзуни. Кузов зварений з рамою і має дві бокові стінки і дві лобові, нахилені під кутом 45 градусів, а нижні частини під кутом 50 градусів до горизонту. Підлога кузова являє собою 4 кришки люків бункера, що відкриваються при подачі у пневмосистему вагона повітря.

Бункер – нижня частина кузова, з розвантажувальними люками, обладнаними зовнішніми та внутрішніми кришками, має поздовжні балки, розпірну трубу і поздовжні бокові зв'язки. На кінцях розпірної труби встановлені направляючі ролики для закріплення і вертикального переміщення дозаторної рами. На торцевих стінках бункера укріплені спеціальні упори для відкриття і закриття бокових рам дозатора при його опусканні і підйомі. Комбінуючи положення внутрішніх і зовнішніх кришок бункера можна розвантажувати баластні матеріали на задану висоту, на одну або обидві сторони колії, в середину колії.

Бокові стіни виготовлені з гофрованої металічної обшивки товщиною 3 мм з підкріпленими стійками (двотавр №10), верхньої і нижньої обв'язки. Торцеві стіни кузова нахилені в сторону крайніх розвантажувальних люків під кутом 50 градусів до площини рами і посилені двома стійками-розкосами (швелер №14) з ціллю підвищення міцності і жорсткості кузова.

4 ВИДИ ТА ПОСЛІДОВНІСТЬ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

Випробування проводять у такій послідовності:

- Обстеження вагонів, їх відбір та ідентифікація;
- Скидання з клинів;
- Ударні випробування (типові та ресурсні).

5 ХАРАКТЕРИСТИКИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ

5.1 При обстеженні, відборі та ідентифікації вагони підлягають виявленню несправностей: деформації, злами, зноси, вигини, прогини, корозія, обриви, ослаблення кріплення вузлів і деталей, пробоїни, тріщини.

5.2 При випробуваннях скидання з клинів визначається частота та напруження.

5.3 При проведенні типових і ресурсних випробувань на співудар вимірюються наступні показники [1], [2], [3]:

- швидкість набігання вагона-бойка;
- сила удару в автозчеп;
- кількість циклів до відмови;
- напруження в елементах вагона, що досліджуються.

5.4 Розміщення тензорезисторів на несучих конструкціях дослідних вагонів (рамах та кузовах) приймається з урахуванням відповідних схем [1], [2], [3].

6 УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

6.1 У процесі контролю технічного стану візуально-оптичним методом виявляються деформації, злами, зноси, вигини, прогини, корозія, обриви, ослаблення кріплення вузлів і деталей, пробоїни, тріщини елементів рами та кузова вагона.

6.1.1 У випадку неможливості виявлення за допомогою візуально-оптичного методу наявних дефектів типу тріщин, застосовуються магнітопорошковий та капілярний методи неруйнівного контролю [1], [2], [3].

6.2 Критеріями припинення випробувань є:

- виконання програми випробувань;
- досягнення критичних значень показників, що загрожує безпеці подальшого проведення випробувань;
- пошкодження, руйнування окремих частин вагону, що випробовується.
- отримання повного обсягу експериментальних даних, передбачених «П».

6.3 Оцінка власних частот коливань здійснюється за результатами випробувань «скидання з клинів». Відповідно до розробленої схеми контрольних точок проводиться установка тензорезисторів на рамах та кузовів вагонів. Під колеса вагона в залежності від досліджуваних частот власних коливань встановлюються клини, а потім проводиться скидання вагона шляхом його накату на клин.

6.4 Типові випробування на співудар для визначення міцності елементів конструкції вагона проводяться в світлий час доби на прямій горизонтальній ділянці залізничної колії за допомогою локомотива. Крім локомотива при цьому використовується наступне обладнання:

- вагон-бойок масою не менше маси дослідного вагона;
- підпірне обладнання з трьох-чотирьох загальмованих вантажних вагонів загальною масою не менше 300 т, переміщення яких обмежено рейковими башмаками;
- динамометричний вагон з апаратурою (на сусідній колії).

6.5 Різниця рівнів осей автозчепів дослідного вагона і вагона-бойка не повинна перевищувати 50 мм.

6.6 При співударянні вагонів найбільша поздовжня сила в автозчепі повинна знаходитись в діапазоні нормативного значення сили.

6.7 Умовою початку проведення випробувань є завершення монтажу вимірювальних датчиків і схем, необхідної апаратури, а також готовність технічних засобів до проведення випробувань.

7 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

7.1 Випробування по скидання клинів.

Завантажені вагони накочуються за допомогою локомотива на клини (висота клинів складає не менше 25 мм, довжина – 350 мм, ширина – 50 мм). Клини встановлюються по черзі:

- 1) під всі колеса вагона (імітація підскакування);
- 2) під колеса одного боку одного візка й іншого боку другого візка (імітація скручування);
- 3) під всі колеса візка (імітація галопування);
- 4) під колеса одного боку вагона (імітація бічної хитавиці).

В залежності від кількості використаних клинів і місця їх розташування під відповідними колесами вагонів визначають вили коливання при проході і скиданні вагонів з клинів.

7.2 Порядок проведення типових і ресурсних випробувань на співудар полягає у наступному:

- завантаження вагона до номінальної вантажопідйомності;
- зважування завантаженого вагона;
- вагон обладнується спеціальним автозчепом-динамометром, попередньо проградуйованим статичним навантаженням до 3 – 3,5 МН;
- установка вагона на ділянку залізничної колії для випробувань, а також пікету для визначення швидкості накочування вагона-бойка;
- випробування на співудар;
- вимірювання деформацій, швидкості накочування та сили удару вагона-бойка за допомогою засобів виміральної техніки;
- огляд конструкції при типових ударних випробуваннях проводиться після кожних 3-5 ударів, а при ресурсних – після 10 ударів.

Випробування на зіткнення проводяться шляхом накочування локомотивом вагона-бойка на дослідний вагон, який знаходиться в підпертому або вільному станах. Підпертий стан – дослідний вагон знаходиться у зчепі з вагонами підпорами; вільний стан – дослідний вагон не зчеплено з вагонами підпорами, а знаходиться на відстані до одного метра від підпору.

Для створення підпору застосовується зчеп з 3-4 загальмованих завантажених вантажних вагонів загальною масою не менше 300 т, переміщення яких обмежують додатково спеціальними упорами (рейковими башмаками).

Співудари вантажних вагонів при типових випробуваннях проводять за швидкостями, які вказані в таблиці 2.

Таблиця 2 – Кількість співударів вантажного вагона в кожному інтервалі швидкості при знаходженні вагонів в підпертому та вільному стані при типових випробуваннях.

Діапазон швидкості зіткнення, км/год	Кількість співударів	
	Підпертий	Вільний
Від 3 до 6 вкл.	7	7
Від 6 до 10 вкл.	7	7
Від 10 до 12 вкл.	3	3

Ресурсні випробування проводяться окремим серіями співударів, що за обсягами ушкодження відповідають впливу дій за один рік експлуатації вагона. Після кожної серії співударів проводиться перевірка технічного стану вагона та його устаткування. Процес виникнення і розвитку пошкодження деталей, вузлів і устаткування вагона простежується до закінчення випробувань, при цьому виявляються можливі причини утворення ушкоджень.

8 ВИМОГИ ДО ПЕРСОНАЛУ

До випробувань допускаються робітники, що досягли 18-річного віку, пройшли спеціальне навчання та перевірку знань, в т.ч. з питань охорони праці під час проведення випробувань та уповноважені на проведення відповідних випробувань.

9 РОЗПОДІЛ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ТА ЗВІТНІСТЬ

9.1 Керівник випробувань та відповідальний виконавець призначаються розпорядженням директора філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця».

9.2 Керівник випробувань несе відповідальність за виконання робіт:

- складання програми, календарного плану випробувань;
- забезпечення необхідною документацією на вагон, який випробовують;
- оформлення вказівок на проведення випробувань;
- надання на випробування у встановлений термін вагон;
- проведення випробувань згідно календарного плану;

оформлення результатів та отримання об'єктивної та достовірної інформації про фактичні значення характеристик вагонів для винесення рішення про відповідність їх вимогам нормативних документів;

- складання за результатами випробувань протоколу випробувань;
- забезпечення безпеки руху дослідного вагону.

9.3 Відповідальний виконавець несе відповідальність за виконання робіт:

- підготовку до випробувань та обладнання вимірювальними приладами рухомого складу;
- реєстрацію вимірювань на рухомому складі, їх обробку;
- визначення показників за результатами вимірювань;
- складання розділів протоколу випробувань за показниками, які визначаються за замірами при випробуваннях;
- забезпечення безпеки учасників випробувань, які виконують роботи на дослідному вагоні.

9.4 Протокол випробувань, а також записи, що виконують під час проведення випробувань, є власністю філії «НДКТІ» і замовника, можуть бути передруковані тільки за рішенням керівника філії «НДКТІ» за згодою замовника.

10 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ

10.1 При підготовці, проведенні та після завершення випробувань необхідно дотримуватись загальних вимог з охорони праці, пожежної безпеки, які викладені в:

- Правила охорони праці під час технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів та рефрижераторного рухомого складу, НПАОП 63.21–1.24–03;
- Правила пожежної безпеки на залізничному транспорті, НАПБА 01.001–2004.
- Навчання та інструктаж з питань охорони праці проводити у відповідності з вимогами НПАОП 0.00–4.12–05;

10.2 Навчання та інструктаж з питань охорони праці проводити у відповідності з вимогами НПАОП 0.00–4.12–05.

10.3 Всі учасники випробувань перед початком робіт проходять інструктаж з охорони праці та техніки безпеки з відповідною реєстрацією в журналі випробувань.

10.4 Всі роботи з підготовки та проведення випробувань повинні виконуватись від безпосереднім керівництвом і контролем керівника

випробувань. Випробувальне обладнання та інструмент повинні забезпечувати безпеку їх використання.

10.5 Особи молодше 18 років до проведення випробувань не допускаються;

10.6 Випробування можуть виконуватись тільки у світлий час доби;

10.7 Працівники, які проводять випробування, повинні бути забезпечені спецодягом, засобами індивідуального захисту та зв'язку.

10.8 Перебування під дослідним вагоном допускається тільки з дозволу керівника.

10.9 До монтажу випробувального обладнання, комутації, налаштування і регулювання допускаються особи, які вивчили відповідну технічну документацію і мають уповноваження на виконання таких робіт.

10.10 При монтажі випробувального обладнання на зовнішніх поверхнях вагона необхідно вжити заходів, що виключають можливість руху вагонів під час робіт.

10.11 Роботи під дослідним вагоном і на його кузові на станційних і магістральних коліях категорично забороняються. Такі роботи проводяться тільки на території лінійних підприємств, на огороженому у встановленому порядку вагоні, на коліях без контактної мережі.

10.12 Встановлені прилади та комунікації не повинні порушувати габарит рухомого складу та перешкоджати нормальній взаємодії всіх елементів дослідної одиниці рухомого складу. Вони повинні бути надійно закріплені.

10.13 До роботи з випробувальним обладнанням допускаються тільки фахівці, які мають відповідну кваліфікацію та уповноваження.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Програма та методика технічного діагностування «Вагон-платформи, що вичерпали призначений заводом-виробником термін служби» ПМ.НДКТІ 007-2016.

2 Програма та методика технічного діагностування «Вагони-самоскиди (думпкари), що вичерпали призначений заводом-виробником термін служби» ПМ.НДКТІ 003-2016.

3 Програма та методика технічного діагностування «Вагони хопер-дозатори, що вичерпали призначений заводом-виробником термін служби» ПМ.НДКТІ 006-2016.

4 ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних).

5 ДСТУ ГОСТ 33211:2017 «Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей».

6 ОСТ 32.55-96 «Система испытаний подвижного состава. Требования к составу, содержанию, оформлению и порядку разработки программ и методик испытаний и аттестации методик испытаний».

7 Единые методические указания по техническому диагностированию грузовых и рефрижераторных вагонов государств – участников Соглашений о совместном использовании грузовых и рефрижераторных вагонов в международном сообщении. 16 января 2003 г., г. Москва.

8 ЦВ-0142 Вагони вантажні залізниць України колії 1520 (1524) мм. Настанова з деповського ремонту. Затверджено наказом Укрзалізниці від 26.12.2013 №468-Ц/од.

9 ЦВ-0016 Вантажні вагони залізниць України колії 1520 мм. Правила капітального ремонту, прийнято наказом Укрзалізниці від 20.06.2006 №242-Ц.

10 002-2009 ПКБ ЦВ Альбом-справочник «Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм». ОАО «РЖД», филиал «Проектно-конструкторское бюро вагонного хозяйства» - 741 с.

ДОДАТОК В.

Програма та методика технічного діагностування (контроль технічного стану та контрольні випробування) вагонів хопер-дозаторів, що вичерпали призначений заводом-виробником термін служби

УЗ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ТА КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «УКРАЇНСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ»
ФІЛІЯ «НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ТА КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
ІНСТИТУТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»
НАУКОВО-ВПРОВАДЖУВАЛЬНИЙ ЦЕНТР
УПРАВЛІННЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

ПОГОДЖЕНО:

Перший заст. директора Департаменту
вагонного господарства
АТ «Укрзалізниця»



Михайло МУРАШКО
_____ 2022 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО:

Директор філії «НДКТІ»
АТ «Укрзалізниця»



Іван ОСТАПЧЕНКО
«26» _____ 07 2022 р.

ВАГОНИ ХОПЕР-ДОЗАТОРИ, ЩО ВИЧЕРПАЛИ ПРИЗНАЧЕНИЙ ЗАВОДОМ-ВИРОБНИКОМ ТЕРМІН СЛУЖБИ

Програма та методика технічного діагностування
(контроль технічного стану та контрольні випробування)

ПМ.НДКТІ.УК 006-2022

Погоджено:

Перший заступник директора
філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця»

Вячеслав ПЕТРЕНКО
«19» _____ 07 2022 р.

Начальник Науково-
впроваджувального центру
філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця»

Володимир ПОВИСШИЙ
«19» _____ 07 2022 р.

Розроблено:

Заступник начальника Науково-
впроваджувального центру
філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця»

Олексій КОШЕЛЬ
«19» _____ 07 2022 р.

Начальник Управління
інжинірингу філії «НДКТІ»
АТ «Укрзалізниця», к.т.н.

Сергій КАРА
«19» _____ 07 2022 р.

Начальник Управління контролю
технічного стану філії «НДКТІ»
АТ «Укрзалізниця»

Олег ШПАКОВИЧ
«19» _____ 07 2022 р.

Київ 2022

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ГАЛУЗЬ ВИКОРИСТАННЯ.....	4
2. ОБ'ЄКТИ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ЇХ ВІДБІР.....	4
3. КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НЕСІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВАГОНІВ ХОПЕР-ДОЗАТОРІВ.....	6
3.1 Мета і завдання	6
3.2 Характеристики, що визначаються.....	6
3.3 Методи контролю технічного стану	7
3.4 Умови проведення контролю технічного стану.....	8
3.5 Засоби контролю технічного стану.....	8
3.6 Послідовність виконання.....	8
3.7 Методика проведення контролю технічного стану	9
3.8 Обробка даних та оформлення результатів	12
4. КОНТРОЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ ВАГОНІВ ХОПЕР-ДОЗАТОРІВ.....	13
4.1 Класифікація контрольних випробувань та обсяг.....	13
4.2 Мета і завдання контрольних випробувань.....	14
4.3 Характеристики, що визначаються	14
4.4 Методи контрольних випробувань.....	15
4.5 Умови проведення контрольних випробувань.....	16
4.6 Засоби, що застосовуються при контрольних випробуваннях.....	17
4.7 Послідовність виконання контрольних випробувань.....	18
4.8 Методика проведення контрольних випробувань.....	19
4.9 Обробка даних та оформлення результатів	27
5. ВИМОГИ ДО ПЕРСОНАЛУ.....	28
6. РОЗПОДІЛ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ І ЗВІТНІСТЬ.....	28
7. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ.....	28
Додаток А Форма технічного рішення на продовження служби експлуатації вагонів хопер-дозаторів	31
Додаток Б Форма карти контролю технічного стану НМК вагонів хопер- дозаторів	34
Перелік посилань.....	36

ВСТУП

За останні роки відбулося значне старіння експлуатаційного парку вантажних вагонів, в т. ч. вагонів хопер-дозаторів. Експлуатація вагонів хопер-дозаторів з вичерпаним нормативним строком служби без проведення відповідного технічного діагностування з метою оцінки їх залишкового ресурсу пов'язана зі збільшеним ризиком в частині забезпечення необхідного рівня безпеки перевезення вантажів. Разом з тим, списання вагонів хопер-дозаторів, які відслужили призначений термін служби, призведе до різкого зменшення експлуатаційного парку і внаслідок цього виникнуть значні труднощі щодо забезпечення рухомим складом вантажні перевезення.

Для визначення залишкового ресурсу та обґрунтування можливостей продовження строку експлуатації вагонів хопер-дозаторів після довготривалої експлуатації протягом строку, який перевищує призначений, передбачається проведення їх технічне діагностування: дослідження технічного стану несівних металевих конструкцій (далі – НМК), проведення контрольних випробувань з експериментальним визначенням напруженого стану НМК при характерних режимах навантаження.

Програма та методика (далі – ПМ) розроблена відповідно до вимог: ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових та модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)» [1], Порядок проведення комплексу діагностичних, ремонтних та реєстраційних операцій, спрямованих на продовження строку експлуатації вантажних вагонів (крім вантажних вагонів підприємств технологічного залізничного транспорту, що призначені для переміщення вантажів у виробничих цілях в межах території таких підприємств), установленого виробником, затверджено наказом Міністерства інфраструктури України від 30 листопада 2021 року № 647 [2], ДСТУ 33211:2017 «Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей» [4], «Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» [6].

1 ГАЛУЗЬ ВИКОРИСТАННЯ

1.1 ПМ застосовується при проведенні технічного діагностування (контроль технічного стану і контрольні випробування) вагонів хопер-дозаторів, які відпрацювали призначений заводом-виробником термін служби.

1.2 Роботи виконуються Науково-впроваджувальним центром філії «НДКТІ» (далі – НВЦ).

1.3 Ця ПМ не поширюється на змінні вузли вагонів, в т.ч. на візки, автозчепне і автогальмівне обладнання, які регулярно обслуговуються у встановлені для цих вузлів терміни відповідно до технічної документації на їх експлуатацію, обслуговування та ремонт і при необхідності, у встановленому порядку проводиться їх заміна. Обслуговування та ремонт змінних вузлів в об'єм робіт даної програми та методики не включаються.

1.4 Філія «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» при виконанні окремих видів робіт може залучати інші організації та фахівців, що мають право на проведення цих робіт.

2 ОБ'ЄКТИ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ЇХ ВІДБІР

2.1 Об'єктами технічного діагностування є вагони хопер-дозатори моделей: 20-Х15, 20-Х351, 20-902, 55-76 та їх модифікації відповідно до [4] з вичерпаними призначеним заводом-виробником строком служби.

2.2 Вагони хопер-дозатори відносяться до вантажного типу вагонів, призначених для перевезення і механізованого вивантаження з одночасним дозуванням і розрівнюванням баластних матеріалів при будівництві та ремонті рейкової колії.

2.3 Вагон хопер-дозатора має зварену раму, яка складається з поздовжніх (хребтової та двох бічних) та поперечних (дві кінцеві та дві шворневі) балок. Бункер вагона зварний і складається з двох торцевих стінок, з'єднаних між собою двома поздовжніми балками, розпірною трубою та поздовжніми бічними обв'язками. Поздовжні балки виготовлені із штампованих листів у вигляді захисних двосхилих кожухів, розташованих над рейками. На кінцях розпірної

труби встановлені напрямні ролики для закріплення та вертикального переміщення дозаторної рами.

Основні технічні характеристики вагонів хопер-дозаторів наведені в таблиці 1.

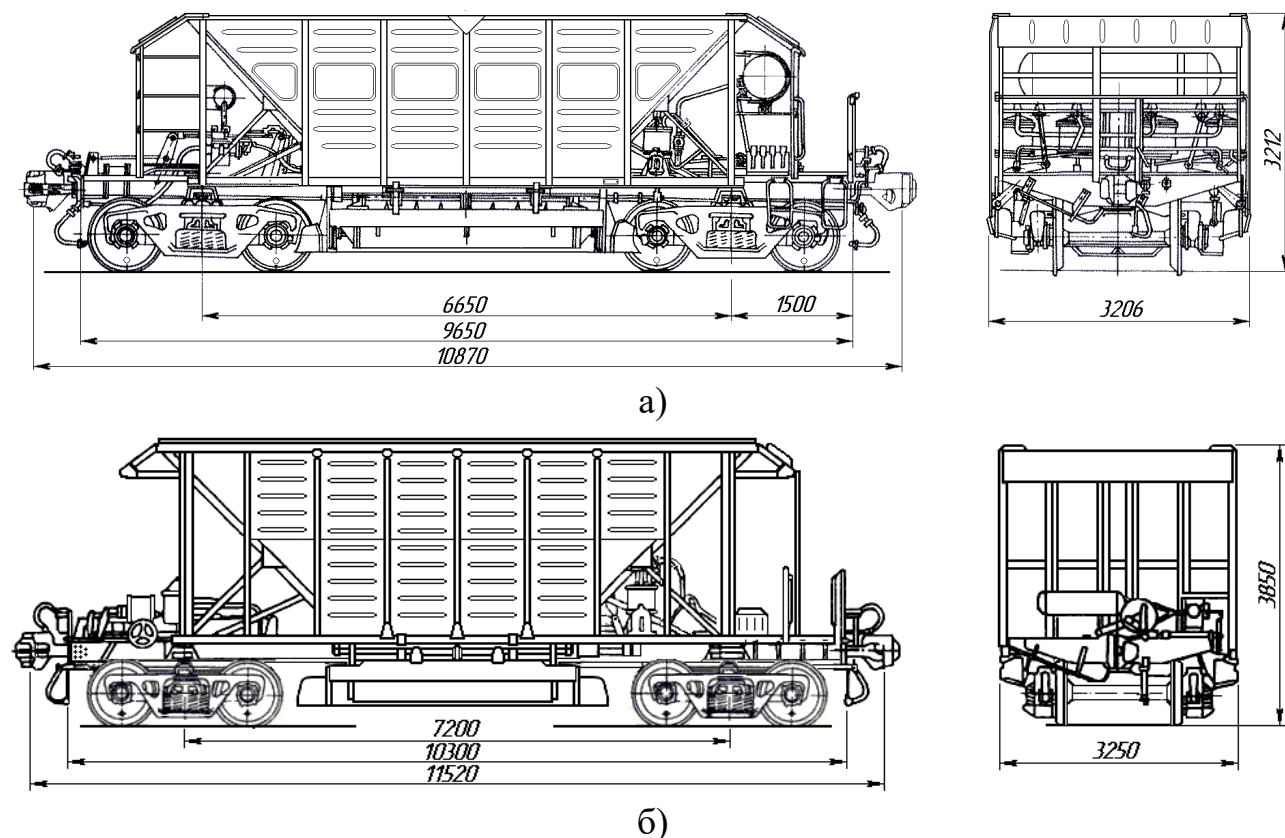


Рисунок – 1. Загальний вигляд вагонів хопер-дозаторів:

а) модель – 20-X351; б) модель – 55-76.

2.4 У процесі технічного діагностування вагонів хопер-дозаторів відбираються зразки для проведення контрольних випробувань, які очищаються власником від бруду та іржі. Відбирається не менше одного зразка кожної з моделей (типів) наявних в експлуатації вагонів. Зразок по можливості повинен мати найбільший наробіток (строк експлуатації, пробіг), максимальні характерні пошкодження, що допускаються, мінімальні товщини основних несівних елементів. Комплектація вагонів хопер-дозаторів, що пред'являються для випробувань, повинна бути достатньою для безпечного проведення випробувань та одержання повних і достовірних результатів.

2.5 За результатами контрольних випробувань і оцінки технічного стану приймається рішення про можливість подальшої експлуатації парку вагонів

хопер-дозаторів, що підлягають технічному діагностуванню з встановленням величини нового строку експлуатації.

Таблиця 1 – Основні характеристики об’єктів технічного діагностування

№ з/п	Номінальні показники	Моделі вагонів			
		20-X15	20-X351	20-902	55-76
1	Вантажопідйомність, т	60	63	60	72
2	Тара вагона (мінімальна/максимальна), т	22,2/23,6	22,2/23,6	22,2/23,6	23,3/24,0
3	Об’єм, м ³	33,4	33,24	32,4	45
4	База вагона, мм	6650	6650	6650	7200
5	Довжина вагона:				
	- по осях автоточків, мм	10870	10870	10870	11520
	- по кінцевим балкам, мм	9650	9650	9650	10300
6	Ширина максимальна, мм	3206	3206	3206	3250
7	Висота від рівня головки рейки, мм	3212	3212	3212	3850
8	Кількість осей, шт.	4	4	4	4
9	Завод-виробник (код)	55	55	6712	55
10	Роки виробництва	1961-1982	1974-...	1960-...	1980-...

3. КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НЕСІВНИХ КОНТРУКЦІЙ

3.1 Мета та завдання

3.1.1 Метою контролю технічного стану (далі – КТС) несівних конструкцій вагонів хопер-дозаторів є визначення можливості подальшої експлуатації після закінчення їх призначеного строку служби, а також встановлення величини продовження строку експлуатації й призначення необхідного виду та обсягу ремонту.

3.1.2 При КТС визначається технічний стан несівних конструкцій кожного вагона який підлягає технічному діагностуванню.

3.1.3 Завданнями КТС вагонів хопер-дозаторів є виявлення пошкоджень несівних конструкцій отриманих у результаті експлуатації, механічного або корозійного зносу, залишкових деформацій, тріщин, а також контроль товщини елементів несівних металевих конструкцій.

3.2 Характеристики, що визначаються

3.2.1 При проведенні обстеження в якості критеріїв відмови або граничного стану приймаються такі показники технічного стану вагонів хопер-дозаторів в експлуатації, при яких забороняється постановка і проходження вагонів в експлуатації, згідно СТП 04-101:2021 «Вагони вантажні. Технічне обслуговування. Правила з підготовки вантажних вагонів до перевезень» [7], ЦВ-0063 «Правил виключення вантажних вагонів із інвентарного парку» [8], подача під навантаження, а також прийняті експертно на основі наявного досвіду і результатів проведених раніше досліджень.

Вагони, що мають несправності, передбачені ЦВ-0063 [8], а також експертно визначені як такі, що не підлягають продовженню, підлягають виключенню. Призначення виду ремонту проводиться відповідно до нормативних документів: СТП 04-032:2020 «Вагони вантажні. Настанова з деповського ремонту» [9], СТП 04-016:2018 «Вагони вантажні залізничного транспорту колії 1520 (1524) мм. Настанова з капітального ремонту» [10], СТП 04-020:2018 «Вагони вантажні та контейнери. Правила ремонту при зварюванні та наплавленні» [11], вимогами діючих наказів та нормативних документів АТ «Укрзалізниця».

3.2.2 При обстеженні технічного стану основних НМК вагонів хопер-дозаторів підлягають виявленню наступні передбачувані несправності: деформації, злами, зношення, вигини, прогини, корозія, наскрізна корозія, обриви, ослаблення кріплення вузлів і деталей, пробіїни, тріщини.

3.2.3 Зовнішнім оглядом НМК вагонів хопер-дозаторів виявляється наявність дефектів в окремих елементах і в зварних швах.

3.2.4 Для виявлення відхилень розмірів і допусків проводяться вимірювання за допомогою засобів вимірювальної техніки. При необхідності перевіряються механічні властивості металу елементів НМК.

3.3 Методи контролю технічного стану

3.3.1 Візуально-оптичним методом неруйнівного контролю виявляються деформації, злами, зношування, вигини, прогини, корозія, обриви, ослаблення кріплення вузлів і деталей, пробоїни, рами та кузова вагонів.

3.3.2 У разі виявлення за допомогою візуально-оптичного методу зон, в яких можлива наявність дефектів в вигляді тріщин, застосовується магнітопорошковий або капілярний метод неруйнівного контролю. При необхідності методом твердометрії перевіряються механічні властивості металу елементів НМК вагона.

3.3.3 Вимірювання товщини НМК проводиться ультразвуковим методом неруйнівного контролю.

3.4 Умови проведення контролю технічного стану

3.4.1 КТС вагонів хопер-дозаторів проводиться на виділеній ділянці залізничної колії, у світлий час доби, при цьому залізнична колія має бути огорожена від руху поїздів та маневрової роботи.

3.4.2 Перед початком проведенням КТС забруднені місця передбачуваних несправностей попередньо зачищають за допомогою шкребків, щіток або іншого інструмента.

3.5 Засоби контролю технічного стану

3.5.1 В процесі КТС вагонів хопер-дозаторів (при необхідності) використовуються:

- ультразвукові товщиноміри з діапазоном вимірювання 0,6 - 50 мм і похибкою вимірювання $\pm 0,1$ мм, стійкі до впливу температури навколишнього повітря від $- 20^{\circ}\text{C}$ до $+ 50^{\circ}\text{C}$ (Наприклад: УТ-98Т «Скат», УТ-31, Булат-2);

- дефектоскопи магнітні (Наприклад: Magnaflux Y-8, Flaw Finder Type A, МД-1ПС);

- набір для візуально-оптичного методу контролю (Наприклад: «Луч», «Експерт»);
- люксметр фотоелектричний (Наприклад: Testo 540);
- термогірометр (Наприклад: Rotronic HL-1D);
- віддалемір лазерний ручний (Наприклад: Leica DISTO X310);
- інше вимірювальне обладнання (при необхідності).

3.5.2 Все обладнання та засоби вимірювальної техніки повинно бути каліброване (повірене) у встановленому порядку. Допускається застосування інших засобів вимірювальної техніки з аналогічними характеристиками.

3.6 Послідовність виконання контролю технічного стану

3.6.1 КТС вагонів хопер-дозаторів проводиться в наступній послідовності:

- одержання заявки від замовника;
- аналіз технічних характеристик вагона;
- встановлення фактичних даних вагон хопер-дозатора (тип, модель, рік побудови, завод-виробник) [5];
- вимірювання товщини НМК вагона, огляд вагона на предмет наявності дефектів, заповнення Карт контролю технічного стану НМК вагонів хопер-дозаторів (далі – Карта контролю) Додаток Б [14];
- фотографування об'єкта обстеження [14];
- порівняльний аналіз результатів фактично вимірюваних товщин з номінальними;
- оформлення Технічного рішення у встановленому порядку (Додаток А).

3.7 Методика проведення контролю технічного стану

3.7.1 Тріщини, злами, обриви, вм'ятини, зноси, деформації, корозійні пошкодження, зміни геометрії рами й кузова визначаються шляхом візуально-оптичного методу неруйнівного контролю. Проводиться обстукування й контрольний демонтаж роз'ємних з'єднань (при необхідності). При забрудненні елементів, які оглядаються, місця передбачуваних несправностей попередньо зачищаються за допомогою шкребка, шабера або інших інструментів. Наявність

несправностей або слідів некомпетентного ремонту кожного з елементів НМК вагона відзначається в Kartі контролю.

3.7.2 Особливу увагу при КТС необхідно звертати на зони можливого скупчення вологи та корозійних продуктів – зони опор, місця зчленування, зони упорів.

3.7.3 Виявлення пошкоджень і дефектів в елементах НМК проводиться візуально, а також за допомогою оптичного обладнання (лінз, дзеркал), які дозволяють точніше визначити наявність і місцезнаходження дефекту.

В зв'язку з конструктивними особливостями кузова вагона хопер-дозатора, при огляді НМК вагона на станційних або під'їзних коліях, контролепридатність хребтової балки забезпечується тільки в її консольних частинах.

1.7.4 При виявленні пошкоджень і дефектів фахівець, який проводить обстеження, повинен звертати увагу на наявність тріщин (у тому числі у зварних швах), зламів, деформацій, слідів ремонту, корозійних ушкоджень, змін геометрії рами. Наявність несправностей або слідів некомпетентного ремонту кожного з елементів вагона зазначається в Kartі контролю. При цьому найнебезпечнішим фактором, який впливає на міцність НМК вагонів хопер-дозаторів, є поява тріщин у місцях з'єднання профілів (тріщин у зварних швах) і в місцях концентрації напружень (зумовлено конструктивними особливостями або порушенням правил експлуатації та технології його ремонту). При цьому, виходячи з накопиченого досвіду КТС вантажних вагонів, необхідно приділити особливу увагу зонам виникнення тріщин, які наведено в таблиці 2.

3.7.5 Вимірювання товщин елементів несівних конструкцій проводяться ультразвуковим методом у зонах, зазначених у Картах контролю. При відсутності корозійних пошкоджень замір товщини кожного елемента здійснюється в одному перерізі.

Виконання ультразвукової товщинометрії включає в себе наступні технологічні операції:

- підготовка поверхні для забезпечення контакту акустичного

перетворювача ультразвукового товщиноміра з елементом конструкції;

- вимірювання фактичних товщин елементів;
- оцінка результатів вимірювань.

Таблиця 2 – Зони найбільш ймовірного виникнення тріщин

№ з/п	Зона виникнення тріщин	Тип тріщини	Примітка
1	Нижня полиця хребтової балки в місці зварного з'єднання з нижнім листом шворневої балки	поперечна	основний метал
2	Вертикальна стінка хребтової балки: - в місця з'єднання з шворневою балкою; - в місці встановлення ребра жорсткості.	поперечна повздовжня	основний метал
3	З'єднання нижньої полиці хребтової балки і нижнього листа шворневої балки	повздовжня	по зварному шву
4	З'єднання нижньої полиці хребтової балки і вертикального листа шворневої балки	повздовжня	по зварному шву
5	З'єднання вертикальної стінки хребтової балки і вертикального листа шворневої балки	повздовжня	по зварному шву

3.7.6 Перед початком вимірювань фактичних товщин елементів НМК вагон хопер-дозатора ультразвуковим методом необхідно підготувати поверхню елемента конструкції. Поверхня конструкції в місці вимірювання, повинна бути очищена від забруднень, старого лако-фарбового покриття, іржі, окалини до металевого блиску. В місці встановлення акустичного перетворювача ультразвукового товщиноміра на поверхню елемента металоконструкції повинен бути нанесений шар контактного мастила.

3.7.7 Для вимірювання товщини елемента НМК вагона, контактна поверхня акустичного перетворювача притискається до поверхні елемента металоконструкції з нанесеним мастилом, після чого відбувається зчитування з індикаторної шкали товщиноміра значення фактичної товщини з точністю до 0,1 мм. У зонах, з товщинами НМК, що становлять 70% і менше від номінальних, проводяться додаткові виміри по індивідуальних схемах.

3.7.8 Фактичну товщину перерізу НМК знаходять як мінімальну товщину на ділянці, що найбільш схильна до корозії й фактично визначає міцність даного елемента. Номінальну товщину елемента визначають по технічній документації або шляхом вимірювань у тих місцях, де корозія відсутня.

3.7.9 Під час проведення обстеження елементів НМК вагонів хопер-дозаторів візуально-оптичним методом часто виникає ситуація, коли внаслідок значного корозійного ушкодження поверхні контролю, або наявності на такій поверхні раковин та інших поверхневих дефектів, подрізів від зварювальних робіт, зробити однозначний висновок про наявність в даній зоні тріщин неможливо. В даному випадку повинні використовуватися інші методи неруйнівного контролю. Найбільш достовірними методами для встановлення на поверхнях контролю тріщин є магнітопорошковий та капілярний.

Магнітопорошковий метод неруйнівного контролю. Виконується для виявлення поверхневих і під поверхневих тріщин різноманітного походження. Проведення магнітопорошкового контролю включає наступні технологічні операції:

- підготовка поверхні до контролю;
- намагнічування деталі;
- нанесення магнітного індикатора;
- огляд поверхні, що контролюється і реєстрація індикаторних рисунків дефектів;
- оцінка результатів контролю;
- розмагнічування (за необхідності).

Магнітопорошковий метод контролю виконується способом прикладеного поля. При цьому контролі операції намагнічування деталі і нанесення суспензії виконують одночасно. Індикаторні рисунки дефектів (тріщин), які виявляються, виникають в процесі намагнічування. По результатам огляду індикаторних рисунків спеціаліст, який проводить контроль, робить висновок про наявність або відсутність тріщин в даній зоні, оцінює їх характер та геометричні параметри. Результати фіксуються в картах контролю.

Капілярний метод неруйнівного контролю. Виконується для виявлення поверхневих тріщин різноманітного походження, які мають вихід на поверхню об'єкта контролю. Проведення капілярного контролю включає такі технологічні операції:

- підготовка поверхні до контролю;
- проведення контролю, і реєстрація індикаторних рисунків дефектів;
- оцінка результатів контролю.

Капілярний метод контролю виконується способом нанесення спеціального пенетранту і проявника на підготовлену поверхню контролю, після чого поверхня оглядається. По результатам огляду поверхні з нанесеним пенетрантом і проявником фахівець, який виконує контроль, робить висновок про наявність чи відсутність тріщин в даній зоні, оцінює їх характер і геометричні параметри. Результати контролю фіксуються в Kartі контролю.

3.8 Обробка даних та оформлення результатів

3.8.1 При обробці даних обстеження технічного стану проводиться систематизація виявлених дефектів, аналіз фактичних товщин, порівняння отриманих результатів з вимогами нормативних документів. Проводиться оцінка результатів обстеження кожного вагона, призначається вид ремонту і термін продовження строку експлуатації, який заснований на результатах контрольних випробувань, розрахунків, досвіду проведення робіт з технічного діагностування, а також умов [3, 15].

3.8.2 При призначенні виду рекомендованого ремонту враховуються умови експлуатації вагона, вид і дата попередніх ремонтів, технічний стан, технічні можливості того чи іншого виду ремонту щодо усунення виявлених пошкоджень.

3.8.3 Вагони хопер-дозатори, що мають несправності, передбачені ЦВ-0063 [8], а також експертно визначені як такі, що не підлягають продовженню строку експлуатації, підлягають виключенню з інвентарного парку.

3.8.4 За результатами КТС розробляється Технічне рішення (Додаток А) щодо можливості подальшої експлуатації вагонів хопер-дозаторів, в якому вказується новий термін продовження строку експлуатації і вид призначеного ремонту. Дані технічного рішення передаються до бази даних ГІОЦ відповідно до вимог «Технології інформаційного взаємообміну при обробці технічних рішень при виконанні ремонтів вантажних вагонів з продовженням терміну служби» [24]. Після того, як новий, призначений за результатами технічного діагностування, строк експлуатації буде вичерпаний, вагон може бути повторно продіагностований з повторним призначенням нового строку експлуатації. При цьому граничний строк експлуатації повинен відповідати вимогам [2].

При експлуатації вагонів хопер-дозаторів в межах України новий строк експлуатації призначається за результатами технічного діагностування відповідно до технічного стану вагона (наявність залишкового ресурсу, можливості відновлення) та відповідно до чинних нормативних документів АТ «Укрзалізниця».

3.8.5 Оформлене Технічне рішення узгоджується з Департаментом вагонного господарства АТ «Укрзалізниця», затверджується керівником організації, яка проводила технічне діагностування і є підставою для продовження строку експлуатації вагона, або його виключення.

4. КОНТРОЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ ВАГОНІВ ХОПЕР-ДОЗАТОРІВ

4.1 Класифікація контрольних випробувань та обсяг

4.1.1 До контрольних випробувань відносяться такі види випробувань:

- скидання з клинів;
- випробування на співудар;
- ресурсні випробування, оцінка опору втомі.

4.1.2 Необхідний обсяг контрольних випробувань визначає спеціалізована організація яка уповноважена на право проведення таких робіт (далі – СО).

4.1.3 За рішенням СО можуть бути проведені інші види випробувань, що дозволяють правильно оцінити залишковий ресурс вагона (ходові міцнісні, матеріалознавчі тощо).

4.2 Мета і завдання контрольних випробувань

4.2.1 Завданням вивчення умов експлуатації й документації є визначення тривалості умов і режимів експлуатації, кліматичного впливу, умов утримання, обслуговування й ремонтів, видів перевезених вантажів та ін.

4.2.2 Загальною метою контрольних випробувань є експериментальна перевірка відповідності показників міцності конструкції вагона хопер-дозатора, які відповідають [1, 3, 6] заданим умовам експлуатації, визначення його залишкового ресурсу. Під час контрольних випробувань визначають показники міцності та опору втомі конструкції кузова.

4.2.3 Завданням випробування скидання з клинів є оцінка власних частот коливань та динамічних напружень в елементах несучої конструкції.

4.2.4 Завданням випробувань на співудар є визначення і оцінка динамічних напружень і деформацій в несівних конструкціях вагона при прикладанні нормативних ударних сил через автозчепне обладнання.

4.2.5 Завданням ресурсних випробувань є визначення циклічної довговічності несівних елементів вагона при багаторазовій дії ударних навантажень прикладених через автозчепний пристрій.

4.3 Характеристики, що визначаються

4.3.1 При випробуваннях скидання з клинів визначається частота і напруження несівних металевих конструкцій.

4.3.2 При проведенні випробувань на співудар і ресурсних випробувань визначаються наступні показники:

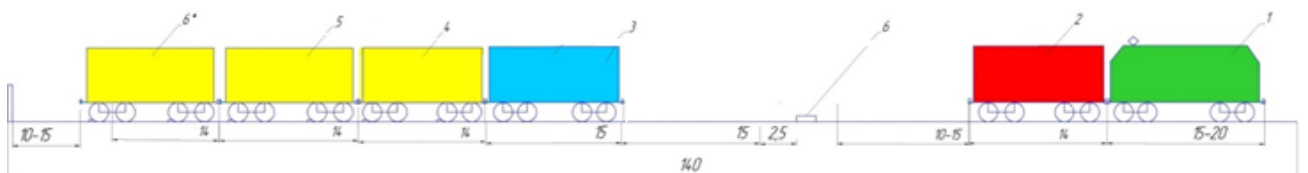
- швидкість набігання вагона-бойка;
- сила удару в автозчеп;
- кількість циклів до відмови;
- напруження в елементах вагона, які досліджуються.

4.3.3 Точність визначених показників повинна відповідати вимогам РД 24.050.37-90 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества» [12], РД 24.050.37-95 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества» [13].

4.4 Методи контрольних випробувань

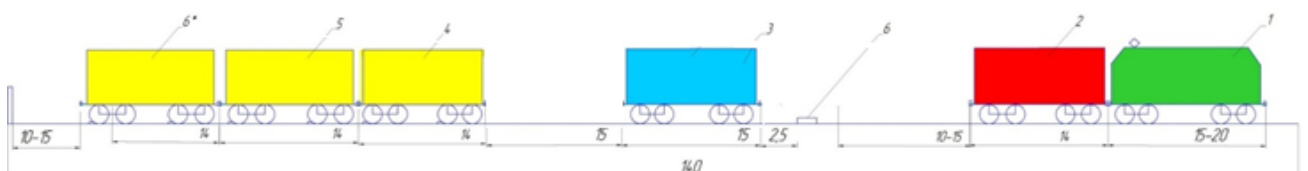
4.4.1 Оцінка власних частот коливань здійснюється за результатами випробувань «скидання з клинів». Відповідно до розробленої схеми контрольних точок проводиться установка тензодатчиків на надресорній балці візка та рамі вагон хопер-дозатора. Під колеса вагона в залежності від досліджуваних частот власних коливань встановлюються відповідні клини, після чого проводиться скидання вагона шляхом його нахату на клин.

4.4.2 Для визначення поздовжніх зусиль, що діють на випробовуваний вагон в момент удару, застосовується автозчеп-динамометр, обладнаний тензодатчиками і попередньо проградуїований статичним навантаженням на стенді і забезпечує достовірну реєстрацію сил в діапазоні не менше ніж до 2,5...3 МН.



а) Одноударна схема випробувань

1 – локомотив; 2 – вагон-бойок; 3 – дослідний вагон; 4,5,6* – вагони підпори;



б) Двохударна схема випробувань

1 – локомотив; 2 – вагон-бойок; 3 – дослідний вагон хопер-дозатор; 4,5,6* – вагони підпори; 6 – пристрій для вимірювання швидкості.

Рис. 4 – Схема розміщення рухомого складу під час проведення контрольних випробуваннях

4.4.3 Випробування на співудар проводяться на прямій горизонтальній ділянці залізничної колії за допомогою локомотива. Крім локомотива при цьому використовується наступне обладнання:

- вагон-бойок масою не менше маси завантаженого дослідного вагона;
- підпірне обладнання з трьох-чотирьох загальмованих вантажних вагонів загальною рекомендованою масою не менше 300 т, переміщення яких обмежено рейковими башмаками або підпором з масивного стаціонарного залізобетонного блоку-упору.

4.4.4 Обладнання, яке застосовується для випробувань, засоби вимірювальної техніки і пристрої повинні перебувати в технічно справному стані, мати діючі свідоцтва калібрування.

4.4.5 Дозволяється використання спеціалізованої гірки та обладнання для забезпечення підйому вагона-бійка для випробувань без локомотива.

4.5 Умови проведення контрольних випробувань

4.5.1 Випробування вагон хопер-дозатора проводяться при фактичних температурах, атмосферному тиску і вологості навколишнього середовища, які відповідають конкретному кліматичному виконанні об'єкта і забезпечують функціонування згідно з технічними умовами та інструкцією по експлуатації на нього.

4.5.2 Умовою початку проведення випробувань вважається завершення монтажу та завершальна підготовка об'єкта до проведення випробувань.

4.5.3 Критерієм завершення випробувань вважається отримання повного обсягу експериментальних даних, передбачених ПМ, або порушення цілісності конструкції вагона, яке загрожує безпеці подальшого проведення випробувань.

4.6 Засоби, що застосовуються при контрольних випробуваннях

4.6.1 Під час проведення випробувань скиданням з клинів використовують клини, висота яких складає не менше 18 мм, рекомендована довжина – 350 мм, ширина – 50 мм.

4.6.2 При проведенні контрольних випробувань застосовуються типові реєструючі прилади, перетворювачі й засоби вимірювальної техніки. У якості первинних засобів вимірювальної техніки для реєстрації деформацій застосовуються:

- тензодатчики;
- вимірювальна система на базі платформи National Instruments Compact RIO-9025 у складі: контролера Compact RIO-9025; комплект шасі NI 9118 із вбудованою програмованою логічною інтегральною схемою (ПЛІС); модулі АЦП 9205 із максимальною частотою дискретизації 250 кГц; модулі тензометрії 9237 із максимальною частотою 50 кГц на канал; модуль-приймач SEA cRIOGxxxMobile; джерело живлення; корпус NI 9917 промисловий; система кріплень промислового корпусу NI 9917 до вагона; накопичувач даних (64GB) із інтерфейсом USB, файловою системою FAT32 та швидкістю запису не менше 20 Мбіт/сек; ноутбук волого- пилозахисного виконання; кабелі 6x0,22 екрановані по 25 м з роз'ємами;
- термогігрометр ИВА-6 (границі вимірів вологості: 0-98%; границі вимірів температури - 40°C ...+60°C);
- пристрій для вимірювання швидкості Секунда-М (діапазон вимірювання часу 0-99,99 хв);
- лінійка вимірювальна металева (межі вимірювання (0-500) мм; ціна поділки - 1 мм; похибка вимірювання $\pm 0,5$ мм).

4.6.3 Для визначення поздовжніх зусиль, що діють на випробовуваний вагон у момент удару, застосовується автозчеп-динамометр, обладнаний тензодатчиками й попередньо проградуйований статичним навантаженням на стенді, що й забезпечує достовірну реєстрацію сил у діапазоні не менш ніж до 2,5...3,0 МН.

4.6.4 Випробувальне обладнання, а також засоби вимірювальної техніки повинно бути каліброване (повірене) у встановленому порядку. Допускається застосування інших засобів вимірювальної техніки з аналогічними характеристиками.

4.7 Послідовність виконання контрольних випробувань

4.7.1 За результатами випробувань скиданням з клинів визначаються динамічні напруження в елементах вагона відповідно до розробленої схеми контрольних точок.

Завантажений вагон хопер-дозатор накочується на клини за допомогою локомотива. Схеми встановлення клинів мають моделювати коливання: підскакування, бокової хитавиці, галопування, скручування вагона.

4.7.2 Проведення контрольних і ресурсних випробувань на співудар полягає у наступному:

- завантаження вагона до номінальної вантажопідйомності;
- зважування завантаженого вагона;
- вагон обладнується автозчепом-динамометром;
- установка вагона на ділянку залізничної колії для випробувань, а також пікету для визначення швидкості накочування вагона-бойка;
- випробування на співудар;
- вимірювання деформацій, швидкості накочування та сили удару вагона-бойка за допомогою засобів вимірювальної техніки;
- огляд конструкції при ударних випробуваннях проводиться 3-10 ударів.

Випробування на зіткнення проводяться шляхом накочування локомотивом вагона-бойка на дослідний вагон, який знаходиться в підпертому або вільному станах. Підпертий стан – дослідний вагон знаходиться у зчепі з вагонами підпорами; вільний стан – дослідний вагон не зчеплено з вагонами підпорами, а знаходиться на відстані до одного метра від підпору.

Співударники вантажних вагонів при контрольних випробуваннях проводять за швидкостями, які вказані в табл. 3.

Таблиця 3 – Кількість співударників вагона хопер-дозатора в кожному інтервалі швидкості при знаходженні вагонів в підпертому та вільному стані при контрольних випробуваннях.

Діапазон швидкості зіткнення, км/год	Кількість співударників	
	Підпертий	Вільний
Від 3 до 6 вкл.	7	7
Від 6 до 10 вкл.	7	7
Від 10 до 12 вкл.	3	3

Ресурсні випробування проводяться окремими серіями співударників, що за обсягами ушкодження відповідають впливу дій за один рік експлуатації вагона. Після кожної серії співударників проводиться перевірка технічного стану вагона та його устаткування. Процес виникнення і розвитку пошкодження деталей, вузлів і устаткування вагона простежується до закінчення випробувань, при цьому виявляються можливі причини утворення ушкоджень.

4.8 Методика проведення контрольних випробувань

4.8.1 Загальний порядок підготовки вагона хопер-дозатора до випробувань і методика їх проведення повинна відповідати вимогам умов [1, 2, 6].

4.8.2 При підготовці дослідного вагона хопер-дозатора до випробувань проводиться:

- підбір тензодатчиків;
- розмітка й зачищення місць встановлення тензодатчиків на дослідному вагоні проводиться на основних несівних конструкціях вагона. Для уточнення схеми встановлення тензодатчиків рекомендується виконувати нормативні розрахунки на міцність, враховувати досвід проведення попередніх випробувань та типові місця руйнувань НМК;
- наклеювання тензодатчиків. Тензодатчики встановлюються на

основних несучих конструкціях вагона, а саме: верхня рама та бокова стінка, нижня рама вагона, торцева стінка, проміжні балки верхньої та нижньої рами, шворнева, кінцева балки (рис. 5). Допускається коректування схем розміщення датчиків у процесі підготовки дослідного зразка, без зниження якості проведення випробувань;

перевірка працездатності засобів вимірювальної техніки.

4.8.3 При проведенні випробувань скиданням з клинів під колеса вагон хопер-дозатора встановлюються клини по черзі в залежності від видів коливань:

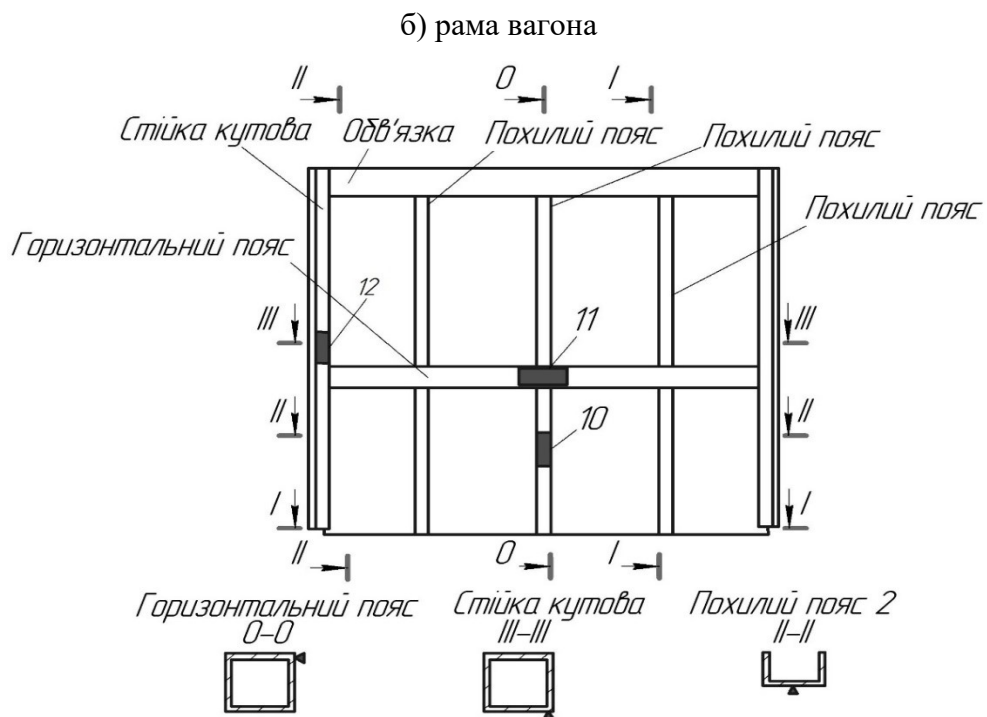
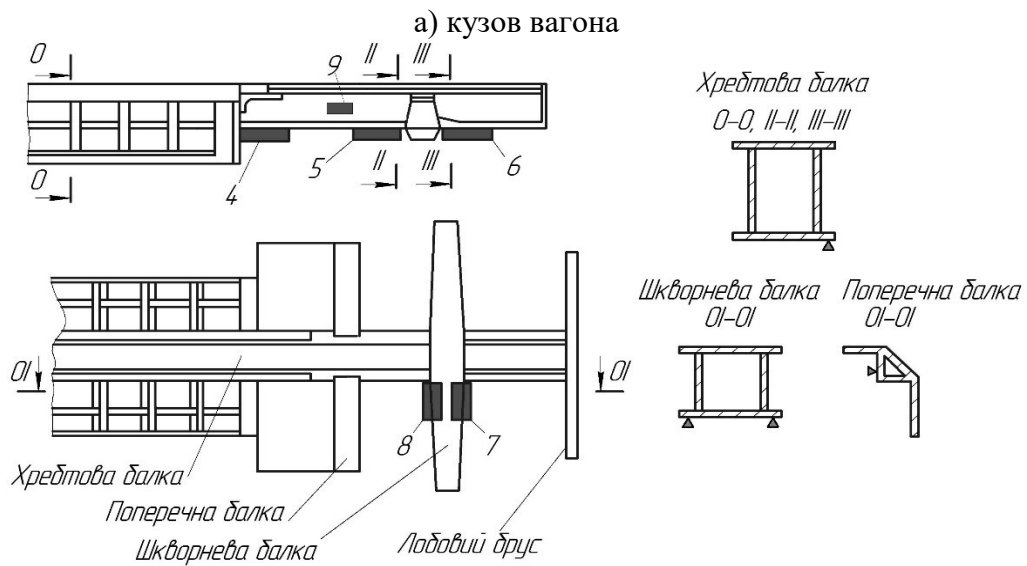
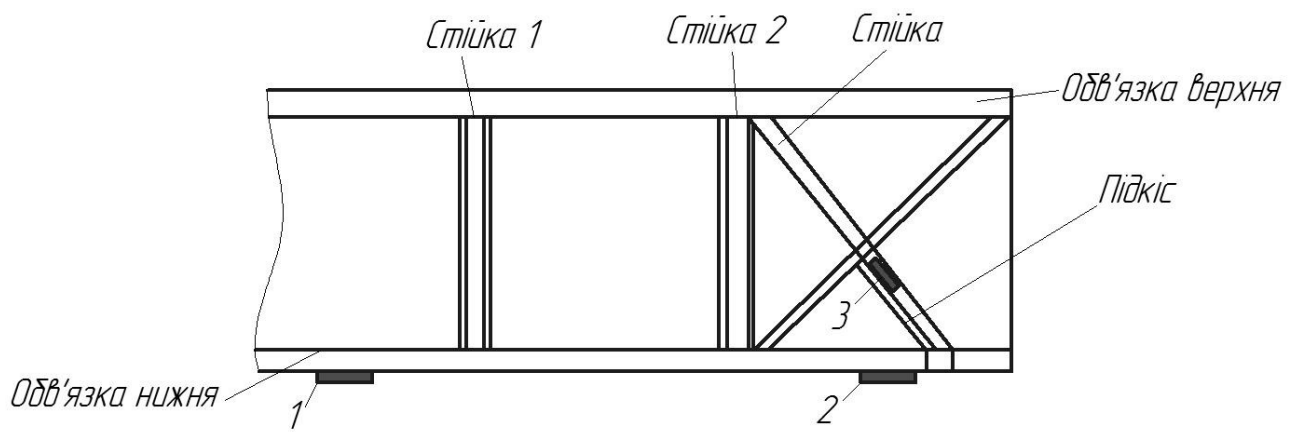
- під всі колеса вагона (імітація підскакування);
- під колеса одного боку одного візка й іншого боку другого візка (імітація скручування);
- під всі колеса візка (імітація галопування);
- під колеса одного боку вагона (імітація бічної хитавиці).

В залежності від кількості використаних клинів і місця їх розташування під відповідними колесами вагонів визначають види коливання при проході і скиданні вагонів з клинів.

4.8.4 Порядок проведення контрольних випробувань полягає в наступному:

- вагон обладнується спеціальним автозчепом-динамометром;
- завантаження вагона до номінальної вантажопідйомності;
- зважування завантаженого вагона;
- встановлення вагона на майданчик для випробувань, а також пристрою для визначення швидкості накочування вагона-бойка;
- випробування на співудар;
- реєстрація деформацій, швидкості накочування вагона-бойка за допомогою засобів вимірювальної техніки;

огляд НМК.



в) торцева стінка кузова

Рис. 5 – Схема встановлення тензодатчиків на несівних конструкціях вагона хопер-дозатора

4.8.5 Вибір режиму випробувань на ресурс, обробка і оцінка результатів випробувань виконується на основі:

- лінійної гіпотези суми пошкоджень;
- кривої втоми у напруженнях: $\sigma_i^{nt} N_{i=const}$, де N_i – кількість циклів коливань з амплітудою σ_i , m – показник степені.

4.8.6 При визначенні залишкового строку служби вагон хопер-дозатора враховується вертикальне та поздовжнє динамічні навантаження, які виникають в процесі експлуатації. Розрахунок здійснюється за формулою:

$$T_p = \frac{\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]}\right)^m \cdot N_0}{N_{cI} \cdot \sum_j (\sigma_{aj}^I)^m \cdot P_j^I + N_{cII} \cdot \sum_k (\sigma_{aj}^{II})^m \cdot P_k^{II}} \quad (1)$$

де T_p - розрахунковий залишковий строк експлуатації вагона, роки;

$\sigma_{a,N}$ - межа витривалості (по амплітуді) для контрольної зони при симетричному циклі та встановленому режимі навантаження при базовому числі циклів, МПа;

m - показник ступеня в рівнянні кривої втоми. Для зварних конструкцій із прокату без зміцнюючої обробки швів згідно [12];

$[n]$ мінімально допустимий коефіцієнт запасу опору втоми для вибраної зони вагона, $[n] = 1,5$;

N_0 - базове число циклів, $N_0 = 10^7$;

N_{cI} N_{cII} – число циклів за 1 рік експлуатації для кожного із експлуатаційного навантаження (вертикального та повздовжнього);

$\sigma_{aj}^I, \sigma_{aj}^{II}$ – амплітуди динамічних напруг, приведених до симетричного циклу для кожного із експлуатаційних навантажень та їх діапазонів, МПа;

P_j - ймовірність появи амплітуди з рівнем σ_{aj} .

$$\sigma_{a,N} = \sigma_{a,N}^- (1 - z_p \nu), \quad (2)$$

де z_p – квантиль розподілення, відповідаючий односторонній ймовірності 95 %, $z_p = 1,645$;

ν – коефіцієнт варіації порогу витривалості деталі:

- для зварних рам і балок з листового і фасонного прокату при автоматичній зварці під слоєм флюса і в середині захисного газу $\nu = 0,05$;

- також при напівавтоматичному і ручній зварці $\nu = 0,07$;

σ_{aN}^- – середнє розрахункове значення порогу витривалості рами:

$$\sigma_{aN}^- = \frac{\sigma_{-1}^-}{(K_{\sigma})_k}, \quad (3)$$

σ_{-1}^- – середнє значення порога витривалості гладкого стандартного зразка із матеріала рами при симетричному циклі згину на базі N_0 .

$(K_{\sigma})_k$ – середнє значення коефіцієнта зниження порога витривалості рами по відношенню до порога витривалості гладкого стандартного зразка, $(K_{\sigma})_k = 4,5$.

N_c – кількість циклів вертикальних коливань завантаженого вагона, які виникають за його строк експлуатації один рік:

$$N_c = 365 \cdot f_{\epsilon} \frac{L_c \cdot 0,5 \cdot 10^3}{\bar{V}_T} \cdot T_k; \quad (4)$$

T_k – розрахунковий строк експлуатації вагона;

L_c – проектний середньодобовий пробіг вагона;

\bar{V}_T – проектна середня технічна швидкість руху вагона;

$K_{пп}$ – коефіцієнт порожнього пробігу;

f_{ϵ} – ефективна частота процесу зміни динамічних навантажень, визначається за результатами скидання з клинів.

K_{di} – визначається з використанням формули:

$$K_{di} = \frac{\bar{K}_{di}}{\omega} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1-P(K_{di})}}, \quad (5)$$

Середнє можливе значення \bar{K}_{di} визначається за формулами:

- При $V \geq 15$ м/с

$$\bar{K}_{di} = a + 3,6 \cdot 10^4 \cdot b \cdot \frac{V-15}{f_{\sigma}}, \quad (6)$$

- При $V \leq 15$ м/с

$$\overline{K_{di}} = a \cdot \frac{v}{15}, \quad (7)$$

де a – коефіцієнт рівний для елементів кузова – 0,05;

b – коефіцієнт який враховує вплив кількість осей n у візку або групі візків під одним кінцем екіпажу,

$$b = \frac{n+2}{2n}; \quad (8)$$

V – розрахункова швидкість руху, м/с;

$f_{ст}$ – статичний прогин ресорного підвішування, м.

Таблиця 4 – Нормативна щільність розподілення швидкості руху вагон хопер-дозатора з конструкційною швидкістю 120 км/год.

Діапазон швидкостей, k	Інтервал швидкості руху, Δ_v м/с	Середня швидкість інтервалу, V_k м/с	Частість швидкостей в діапазоні, $P_k(V)$	K_{di}	$\overline{K_{di}}$	$(K_{di})^4 \cdot P_k(V)$
1	0-12,5	6,25	0,03	0,013	0,0052	0,000000000857
2	12,5-15,0	13,75	0,07	0,041	0,02	0,000000198
3	15,0-17,5	16,25	0,09	0,059	0,024	0,00000109
4	17,5-20,0	18,75	0,12	0,077	0,035	0,00000422
5	20,0-22,5	21,25	0,16	0,095	0,047	0,0000130
6	22,5-25,0	23,75	0,19	0,113	0,056	0,0000309
7	25,0-27,5	26,25	0,16	0,131	0,068	0,0000471
8	27,5-30,0	28,75	0,10	0,149	0,071	0,0000492
9	30,0-32,5	31,25	0,06	0,167	0,083	0,0000467
10	32,5-35,0	33,75	0,02	0,185	0,092	0,0000234
Разом	-	-	1	-	-	-

4.8.7 Загальна розрахункова кількість циклів протягом розрахункового періоду експлуатації вагон хопер-дозатора для загальної мережі пробігу визначається за формулою:

$$N_{\text{заг}}^{\text{розр}} = N_{\text{заг}}^{\text{уд}} \cdot T_{\text{розр}} \cdot K_{\text{реж}} \cdot K_{\text{уд}} \quad (9)$$

де $N_{\text{заг}}^{\text{уд}}$ -загальна кількість циклів дії ударних поздовжніх сил за 1 рік середньої мережі експлуатації на конструкцію вагона даного типу, для розподілів (без урахування квазистатичних сил) становить:

$T_{\text{роза}}$ - розрахунковий період експлуатації вагона, (1 рік.);

$K_{\text{реж}}$ - коефіцієнт, що враховує вплив порожнього пробігу вагона, при оцінці циклічної довговічності несівних елементів $K_{\text{реж}}$,

$$K_{\text{реж}} = 1 - K_{\text{пор}} \quad (10)$$

$K_{\text{уд}}$ - коефіцієнт, що враховує несиметричність навантаження конструкції вагона по його довжині при зіткненнях і рівномірності додатки ударних сил до автозчеплення з обох кінців вагона (при оцінці циклічної довговічності елементів консольної частини вагона рекомендується приймати рівним 0,6).

Вибір режиму навантаження здійснюється з урахуванням співвідношення середньодобового пробігу до загальномережевого.

Для дослідження впливу сил розтягування на міцність несівних конструкцій доцільно після випробувань на стискаючі ударні навантаження в об'ємі 300-400 ударів проводити випробування на розтягування в кількості до 100 циклів з реєстрацією показників сили розтягу та напружень.

$N_{\text{уд}}$ – розрахункове число зіткнень за один рік експлуатації вагона.

4.8.8 При одно ударній схемі співударянь необхідно передбачити зміну ударного кінця або поворот вагона, що підлягає випробуванням не рідше, ніж через кожних 500 співударянь. З метою зниження надлишкової дії насипних вантажів на торцеві стінки кузова розворот завантажених таких вантажем вагонів необхідно проводити частіше, ніж через 500 ударів, або застосувати двох ударну схему співударянь.

4.8.9 При 2-х ударній схемі перше співударяння виконується при накочуванні вагона-бойка, на вагон, що випробовується, а друге – при накочуванні вагона, що випробовується одного чи в зчепі з вагоном-бойком на

нерухомий підпір. При цій схемі реєструються сили удару на двох автозчехах вагона, що випробовується. Допускається застосування схеми трьома співударяннями.

Прискоренню випробувань сприяють також зменшення швидкостей співударяння при збереженні сил удару за рахунок застосування поглинальних апаратів з малою енергоємністю.

4.8.10 Випробування припиняються при порушенні цілісності конструкції вагона, що загрожує безпеці подальшого проведення випробування, або якщо час напрацювання перевищить в 1,1...1,2 рази необхідний ресурс.

4.8.11 Випробування на ресурс при зіткненні. В процесі випробувань після кожного зіткнення визначають сумарне накопичення пошкоджень $D_u(n)$ за формулою:

$$D_u(n) = \sum_{i=1}^n (F_{1,i}^m + F_{2,i}^m), \quad (11)$$

Де i – порядковий номер зіткнення;

n – число зіткнень;

$F_{1,i}^m$ – максимальна сила, яка виникає в автозчепі між вагоном бойком i дослідним вагоном, Н;

$F_{2,i}^m$ – максимальна сила, яка виникає в автозчепі між вагоном бойком i підпором;

m – показник степені, приймають $m=4$.

Сумарне накопичене пошкодження при випробуваннях порівнюють з розрахунковим пошкодженням $D_{розр}$:

$$D_{розр} = N_{розр} \sum_k p_k F_k^m, \quad (12)$$

де F_k – середнє значення сили;

p_k – частість сили.

Тоді строк експлуатації вагон хопер-дозатора:

$$T = \frac{\sum D}{D_p}. \quad (13)$$

4.8.12 Для оцінки показників опору втомі були враховані напруження

несівних конструкцій вагону під час випробувань:

- сил, що виникають під час руху вагону під час коливань підскакування, скручування кузова, галопування та бокової хитавиці;

- сили взаємодії між вагонами, вагону з локомотивом, гальмування, співударів.

Оцінку n – запасу опори втомі проведено згідно [11] наступим чином.

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,e}} \geq [n] \quad (14)$$

де $\sigma_{a,N}$ - границя витривалості (за амплітудою) натурної деталі в разі симетричного циклу та сталого режиму навантаження на базі випробування $N_0=10^7$ циклів, МПа;

$\sigma_{a,e}$ - розрахункова значення амплітуди динамічного напруження умовного симетричного циклу, приведена до бази N_0 , еквіваленте за пошкоджуюною дією реальному режиму експлуатаційних випадкових напружень протягом проектного строку служби, МПа;

$[n]$ - допустимий коефіцієнт запасу опору втомі.

Розрахункове значення границі витривалості:

$$\sigma_{a,N} = \overline{\sigma_{a,N}} \cdot (1 - z_p \cdot \vartheta_{\sigma_{a,N}}) \quad (15)$$

де $\overline{\sigma_{a,N}}$ – середнє (медіанне) значення границі витривалості дослідного зразка;

$z_p = 1.645$ – квантиль розподілу, що відповідає односторонній ймовірності $P=0,95$;

$\vartheta_{\sigma_{a,N}} = 0,05$ – коеф. варіації границі витривалості.

$$\overline{\sigma_{a,N}} = \frac{\sigma_{-1}}{(K_\sigma)_K} \quad (16)$$

де σ_{-1} – границя витривалості;

$(K_\sigma)_K$ – значення загального коефіцієнту зниження границі витривалості натурної деталі.

$$\sigma_{a,e} = \sqrt[m]{\frac{N_c}{N_0} \cdot \sum \sigma^m P} \quad (17)$$

де $N_0 = 10^7$ – базова кількість циклів (база випробувань);

m – показник ступеню в рівнянні кривої втоми у амплітуда;

N_c – сумарна кількість циклів динамічних напружень за розрахунковий термін служби;

$\sigma^m P$ – значення рівня напружень з урахуванням її масової долі під час експлуатації.

$$m = \frac{A}{(K_b)_k}, \quad (18)$$

де A – коефіцієнт згідно [12],

$(K_b)_k$ – середнє значення загального коефіцієнту зниження границі витривалості натурної деталі по відношенню до границі витривалості гладкого стандартного зразка;

$$N_c = \vartheta_e \cdot T_p \quad (19)$$

де T_p – сумарний час дії динамічних напружень,

$$T_p = B \cdot T_k \quad (20)$$

$$\vartheta_e = \frac{a}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{f_{ст}}} \quad (21)$$

B – коефіцієнт переводу календарного розрахункового строку служби у роках в час неперервного руху в секундах;

T_k – сумарний час дії динамічних напружень;

$a = 1,1$ – коеф. для кузова вагона;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

$f_{ст}$ – статичний прогин підвішування.

$$B = 365 \frac{10^3 \bar{L}_c}{\bar{V}} \quad (22)$$

\bar{L}_c – середньодобовий пробіг вагону;

\bar{V} – середня швидкість.

4.8.13 Результати випробувань оформлюють протоколом, в якому повинні бути приведені наступні відомості:

- найменування організації – виконавач випробувань;

- відомості про об'єкт випробувань маркування, завод-виробник, дата виготовлення, дані про технічний стан);
- відомості про умови проведення випробувань (дата, місце проведення, умови проведення);
- результати випробувань (таблиці, графіки, діаграми);
- висновок про результати випробувань.

4.9 Обробка даних та оформлення результатів

4.9.1 Результати випробувань фіксуються в журналі робочих записів.

4.9.2 За результатами контрольних випробувань вагонів та оцінки їх технічного стану приймається рішення про можливість подальшої експлуатації і встановлюється величина нового граничного строку експлуатації.

4.9.3 Результати контрольних випробувань оформляються технічним звітом (актом, протоколом), в якому наводяться дані, отримані при обстеженні технічного стану і контрольних випробуваннях, результати аналізу отриманої інформації, вказується новий термін служби. Звіт є підставою для розробки технічного рішення для кожного окремого вагона.

5 ВИМОГИ ДО ПЕРСОНАЛУ

5.1 До участі в обстеженні вагонів хопер-дозаторів допускаються працівники, які досягли 18 років і пройшли спеціальне навчання і перевірку знань, в т. ч. з питань охорони праці при проведенні технічного діагностування вагонів, згідно з НПАОП 0.00–4.12.05 [16].

5.2 Для проведення неруйнівного контролю залучаються фахівці, сертифіковані на рівень кваліфікації не нижче другого відповідно ДСТУ EN ISO 9712 [17].

5.3 Для проведення контрольних випробувань та обробки результатів допускаються працівники, які мають практичний досвід роботи в даній області, вивчили технічну документацію на засоби вимірювальної техніки, які використовуються під час проведення випробувань та конструкцію рухомого складу, що є об'єктом випробувань.

6 РОЗПОДІЛ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ І ЗВІТНІСТЬ

6.1 Роботи з підготовки і проведення технічного діагностування та випробування повинні проводитись під безпосереднім керівництвом і контролем керівника випробувань або особи, яка виконує його обов'язки.

6.2 За результатами контрольних випробувань і оцінки технічного стану приймається рішення щодо можливості подальшої експлуатації вагонів хопер-дозаторів, яким проводиться технічне діагностуються і встановлюється величина нового строку експлуатації.

6.3 Порядок документообігу при встановленні нового призначеного строку експлуатації вагонів хопер-дозаторів визначається [2].

7 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ

7.1 Всі учасники технічного діагностування вагонів перед початком робіт проходять цільовий інструктаж з охорони праці, з відповідною реєстрацією у встановленій формі облікової документації.

7.2 Під час проведення технічного діагностування вагонів працівники відповідного напрямку повинні знаходитися тільки на тих ділянках, які призначені для проведення робіт.

7.3 Працівники, зайняті на роботах з технічного діагностування вагонів, повинні бути забезпечені відповідним спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту.

7.4 Роботи з технічного діагностування вагонів проводяться на огороженій ділянці колії не менше ніж двома працівниками, один з яких в процесі обстеження знаходиться в зоні, що забезпечує достатній огляд прилеглої території і залізничних колій та дозволяє своєчасно виявити потенційну небезпеку, і попередити інших працівників, що обстежують вагони.

7.5 Допоміжні засоби, інструмент, які будуть використовуватися для робіт з технічного діагностування вагонів хопер-дозаторів, повинні перебувати в технічно справному стані і забезпечувати безпеку їх обслуговування і використання, а також відповідати НПАОП 40.1-1.21 [18].

7.6 При підготовці до проведення випробувань повинні забезпечуватися вимоги безпеки і максимальне забезпечення умов зручності у відповідності з ГОСТ 12.2.003 [19], дотримання загальних вимог техніки безпеки, викладених в ГОСТ 12.1.019 [20], ДСН 3.3.6.037 [21], ДСН 3.3.6.042 [22].

7.7 Для захисту шкіри рук від дефектоскопічних матеріалів (магнітна суспензія, магнітний порошок при магнітопорошковому контролі, пенетрант і проявник при капілярному контролі) повинні застосовуватися гумові рукавиці, Дерматологічні засоби індивідуального захисту згідно ГОСТ 12.4.068 [23].

7.8 Всі етапи технічного діагностування виконуються в світлий час доби, або при освітленні, що забезпечує якісне і безпечне виконання робіт.

7.9 Категорично забороняється для освітлення користуватися відкритим вогнем.

7.10 Перед початком і в ході випробувань проводиться ретельний огляд випробувального обладнання та засобів вимірювань.

7.11 Організація робіт з підготовки вагонів до випробувань повинна забезпечувати необхідну зручність і безпеку проведення всіх робіт, які передбачені програмою випробувань. Доступ сторонніх осіб в зону випробувань повинен бути заборонений.

7.12 Застосовувані при випробуваннях засоби вимірювань, прилади, обладнання, а також випробовуваний зразок не повинні чинити шкідливого впливу на навколишнє середовище.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових та модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)».

2 Порядок проведення комплексу діагностичних, ремонтних та реєстраційних операцій, спрямованих на продовження строку експлуатації вантажних вагонів (крім вантажних вагонів підприємств технологічного залізничного транспорту, що призначені для переміщення вантажів у виробничих цілях в межах території таких підприємств), установленого виробником, затверджено наказом Міністерства інфраструктури України від 30

листопада 2021 року № 647, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 28 грудня 2021 року за № 1677/37299.

3 ДСТУ 33211:2017 «Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей».

4 Альбом-справочник «Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм. 002И-2009 ПКБ ЦВ». ОАО «РЖД», филиал «Проектно-конструкторское бюро вагонного хозяйства».

5 Альбом моделей вантажних вагонів для визначення фактичних даних. АМ.НДКТІ.НВЦ.ВВ-2021, погоджено Департаментом вагонного господарства АТ «Укрзалізниця» від 16.12.2021 року.

6 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). ВНИИВ-ВНИИЖТ. М., 1983.

7 СТП 04-101:2021 «Вагони вантажні. Технічне обслуговування. Правила з підготовки вантажних вагонів до перевезень».

8 ЦВ-0063 «Правила виключення вантажних вагонів із інвентарного парку» затв. Наказом Укрзалізниці від 11.05.2005 № 151 ЦЗ.

9 СТП 04-032:2020 «Вагони вантажні. Настанова з деповського ремонту».

10 СТП 04-016:2018 «Вагони вантажні залізничного транспорту колії 1520 (1524) мм. Настанова з капітального ремонту» затв. Наказом АТ «Укрзалізниця» від 25.04.2019 № 282.

11 СТП 04-020:2018 «Вагони вантажні та контейнери. Правила ремонту при зварюванні та наплавленні» затв. Наказом АТ «Укрзалізниця» від 13.06.2019 № 384.

12 РД 24.050.37-90 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества». Москва, ВНИИВ, 1990.

13 РД.24.050.37.95 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества». Москва, ГосНИИВ, 1995.

14 ТД.НДКТІ.НВЦ.УК-001. Технологічна інструкція з проведення технічного діагностування вантажних вагонів, м. Київ 2021.

15 НДКТІ/НВЦ УІ 011-19 Випробування вагонів, що використовуються в колійному господарстві (думпкар, хопер-дозатор, платформа) з метою визначення залишкового ресурсу.

16 НПАОП 0.00-4.12-05 Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. Затв. Наказом Держнагляд охорони праці України від 26.01.2005 № 15.

17 ДСТУ EN ISO 9712 Неруйнівний контроль. Кваліфікація і сертифікація персоналу в галузі неруйнівного контролю.

18 НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

19 ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

20 ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

21 ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Затв. Постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 37.

22 ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Затв. Постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 42.

23 ГОСТ 12.4.068-79 ССБТ. Средства индивидуальной защиты дерматологические. Классификация и общие требования.

24 Технологія інформаційного взаємообміну при обробці технічних рішень при виконанні ремонтів вантажних вагонів з продовження терміну служби, УЗ, 2004.

ДОДАТОК Г.

Форма технічного рішення щодо продовження строку експлуатації вагонів хопер-дозаторів

ПОГОДЖЕНО

ЗАТВЕРДЖУЮ

Представник АТ «Укрзалізниця»

Керівник спеціалізованої організації

М.П.

М.П.

« ____ » _____ 20__ р.

« ____ » _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ РІШЕННЯ № _____

про продовження строку експлуатації вантажних вагонів,
що належать _____

(повне найменування підприємства-власника вагонів, код ЄДРПОУ)
і приписані до станції _____

(вказати станцію, залізницю, власника інфраструктури)

(повне найменування спеціалізованої організації)
на підставі обстеження _____ технічного стану, технічного діагностування, яке проведено
(дата обстеження)

фахівцем спеціалізованої організації _____
(власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

на коліях _____
(тип колій, власник)

та результатів проведених випробувань _____,
(дата випробувань)

призначає вид і обсяг необхідних ремонтних робіт і після їх виконання продовжує строк експлуатації наступним вантажним вагонам (____ од.):

№ п/п	Номер вагона	Модель вагона	Дата побудови	Вид призначеного ремонту	Номер проєктів, ТУ, керівництва, правил, стандартів, за якими відбувається ремонт	Термін продовження строку експлуатації (день, місяць, рік)	Рід вантажу, що перевозиться	Дата проведення останнього ремонту, його вид
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Строк служби, в тому числі строк експлуатації, змінних вузлів вантажних вагонів (деталей та вузлів автозчепних пристроїв, автогальмового обладнання та ходових частин) продовженню по цьому технічному рішенню не підлягає.

Роботи згідно з цим Технічним рішенням повинні бути виконані протягом 6 місяців.

Технічне рішення в частині продовження строку експлуатації набирає чинності з дати виконання призначеного ремонту, передачі в автоматизований банк даних парку вантажних вагонів повідомлення про приймання вагонів з ремонту та реєстрації продовження строку експлуатації в автоматизованому банку даних парку вантажних вагонів.

Перелік дефектів кузова, деталей та вузлів кузова, в тому числі рами, які необхідно усунути при виконанні робіт з продовженням строку експлуатації вантажних вагонів:

Номер вантажного вагона	Найменування деталі, вузла	Перелік дефектів, що підлягають усуненню

Відповідальний фахівець

Ім'я ПРІЗВИЩЕ

ДОДАТОК Е.

Програма та методика технічного діагностування (контроль технічного стану та контрольні випробування) вагонів-самоскидів (думпкарів), що вичерпали призначений заводом-виробником термін служби



НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ТА КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «УКРАЇНСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ»
ФІЛІЯ «НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ТА КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
ІНСТИТУТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»
НАУКОВО-ВПРОВАДЖУВАЛЬНИЙ ЦЕНТР
УПРАВЛІННЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

ПОГОДЖЕНО:

Перший заступник
Департаменту
вагонного господарства
АТ «Укрзалізниця»

Михайло МУРАШКО
«14» 07 2022 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО:

Директор філії «НДКТИ»
АТ «Укрзалізниця»

Іван ОСТАПЧЕНКО
«15» 07 2022 р.

ВАГОНИ-САМОСКИДИ (ДУМПКАРИ), ЩО ВИЧЕРПАЛИ ПРИЗНАЧЕНИЙ ЗАВОДОМ- ВИРОБНИКОМ ТЕРМІН СЛУЖБИ

Програма та методика технічного діагностування
(контроль технічного стану та контрольні випробування)

ПМ.НДКТИ.УК 005-2022

Погоджено:

Перший заступник директора
філії «НДКТИ» АТ «Укрзалізниця»

Вячеслав ПЕТРЕНКО
«12» 07 2022 р.

Начальник Науково-
впроваджувального центру
філії «НДКТИ» АТ «Укрзалізниця»

Володимир ПОВИСШИЙ
«08» 07 2022 р.

Розроблено:

Заступник начальника Науково-
впроваджувального центру
філії «НДКТИ» АТ «Укрзалізниця»

Олексій КОШЕЛЬ
«08» 07 2022 р.

Начальник Управління
інжинірингу філії «НДКТИ»
АТ «Укрзалізниця», к.т.н.

Сергій КАРА
«08» 07 2022 р.

Начальник Управління контролю
технічного стану філії «НДКТИ»
АТ «Укрзалізниця»

Олег ШПАКОВИЧ
«08» 07 2022 р.

Київ 2022

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ГАЛУЗЬ	
1. ЗАСТОСУВАННЯ.....	5
2. ОБ'ЄКТИ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ЇХ ВІДБІР.....	5
3. КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НЕСІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВАГОНІВ-ДУМПКАРІВ.....	7
3.1 Мета і завдання	7
3.2 Характеристики, що визначаються.....	7
3.3 Методи контролю технічного стану	8
3.4 Умови проведення контролю технічного стану.....	8
3.5 Засоби контролю технічного стану.....	8
3.6 Послідовність виконання.....	9
3.7 Методика проведення контролю технічного стану	9
3.8 Обробка даних та оформлення результатів	13
4. КОНТРОЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ ВАГОНІВ-ДУМПКАРІВ.....	14
4.1 Класифікація контрольних випробувань та обсяг.....	14
4.2 Мета і завдання контрольних випробувань.....	14
4.3 Характеристики, що визначаються	15
4.4 Методи контрольних випробувань.....	15
4.5 Умови проведення контрольних випробувань.....	16
4.6 Засоби, що застосовуються при контрольних випробуваннях.....	17
4.7 Послідовність виконання контрольних випробувань.....	18
4.8 Методика проведення контрольних випробувань.....	19
4.9 Обробка даних та оформлення результатів	27
5. ВИМОГИ ДО ПЕРСОНАЛУ.....	28
6. РОЗПОДІЛ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ І ЗВІТНІСТЬ.....	28
7. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ.....	29
Додаток А Форма технічного рішення на продовження служби експлуатації вагонів-думпкарів.....	31
Додаток Б Форма карти контролю технічного стану НМК вагона-думпкара моделі – 31-38.....	34
Додаток В Форма карти контролю технічного стану НМК вагона- думпкара моделі – 31-656.....	36
Додаток Г Форма карти контролю технічного стану НМК вагона-думпкара моделі – 31-61.....	38
Додаток Д Форма карти контролю технічного стану НМК вагона- думпкара (загальна на інші моделі).....	40
Перелік посилань.....	42

ВСТУП

За останні роки відбулося значне старіння експлуатаційного парку вантажних вагонів, в т. ч. вагонів-самоскидів (думпкарів) (далі – вагонів-думпкарів). Експлуатація вагонів-думпкарів з вичерпаним нормативним строком служби без проведення відповідного технічного діагностування з метою оцінки їх залишкового ресурсу пов'язана зі збільшеним ризиком в частині забезпечення необхідного рівня безпеки перевезення вантажів. Разом з тим, списання вагонів-думпкарів, які відслужили призначений термін служби, призведе до різкого зменшення експлуатаційного парку і внаслідок цього виникнуть значні труднощі щодо забезпечення рухомим складом вантажні перевезення.

Для визначення залишкового ресурсу та обґрунтування можливостей продовження строку експлуатації вагонів-думпкарів після довготривалої експлуатації протягом строку, який перевищує призначений, передбачається проведення їх технічне діагностування: дослідження технічного стану несівних металевих конструкцій (далі – НМК), проведення контрольних випробувань з експериментальним визначенням напруженого стану НМК при характерних режимах навантаження.

Програма та методика (далі – ПМ) розроблена відповідно до вимог: ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових та модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)» [1], Порядок проведення комплексу діагностичних, ремонтних та реєстраційних операцій, спрямованих на продовження строку експлуатації вантажних вагонів (крім вантажних вагонів підприємств технологічного залізничного транспорту, що призначені для переміщення вантажів у виробничих цілях в межах території таких підприємств), установленого виробником, затверджено наказом Міністерства інфраструктури України від 30 листопада 2021 року № 647 [2], ДСТУ 33211:2017 «Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей» [4], «Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» [6].

1 ГАЛУЗЬ ВИКОРИСТАННЯ

1.1 ПМ застосовується при проведенні технічного діагностування (контроль технічного стану і контрольні випробування) вагонів-думпкарів, які відпрацювали призначений заводом-виробником термін служби.

1.2 Роботи виконуються Науково-впроваджувальним центром філії «НДКТІ» (далі – НВЦ).

1.3 Ця ПМ не поширюється на змінні вузли вагонів-думпкарів, в т.ч. на візки, автотягач і автогальмівне обладнання, які регулярно обслуговуються у встановлені для цих вузлів терміни відповідно до технічної документації на їх експлуатацію, обслуговування та ремонт і при необхідності, у встановленому порядку проводиться їх заміна. Обслуговування та ремонт змінних вузлів в об'єм робіт даної програми та методики не включаються.

1.4 Філія «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» при виконанні окремих видів робіт може залучати інші організації та фахівців, що мають право на проведення цих робіт.

2 ОБ'ЄКТИ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ЇХ ВІДБІР

2.1 Об'єктами технічного діагностування є вагони-думпкари моделей: 19-Д001, 31-638, 31-638-01, 31-656, 31-661, 31-673, 31-674 відповідно до [4] з вичерпаними призначеним заводом-виробником строком служби.

2.2 Вагони-думпкари відносяться до вантажного типу вагонів призначених для перевезення навалювальних та насипних вантажів. Характерною відмінністю є наявність у них пневматичного обладнання, за допомогою якого вагон може нахилитися для здійснення розвантаження.

2.3 Незалежно від типу вагон-думпкар складається з наступних основних складальних одиниць:

- кузов;
- рама вагона;
- механізм відкриття бортів;
- візки;
- ударно-тягові пристрої;
- гальмівне обладнання.

Кузов вагона-думпкара – суцільнометалевий, зварної конструкції. Складається з двох поздовжніх бортів, двох торцевих стінок і рами кузова.

Рама вагона-думпкара складається з хребтової, двох кінцевих, двох шворневих, а також поперечних балок (кронштейнів) для кріплення циліндрів розвантаження. Основні технічні характеристики вагонів-думпкарів наведені в таблиці 1.

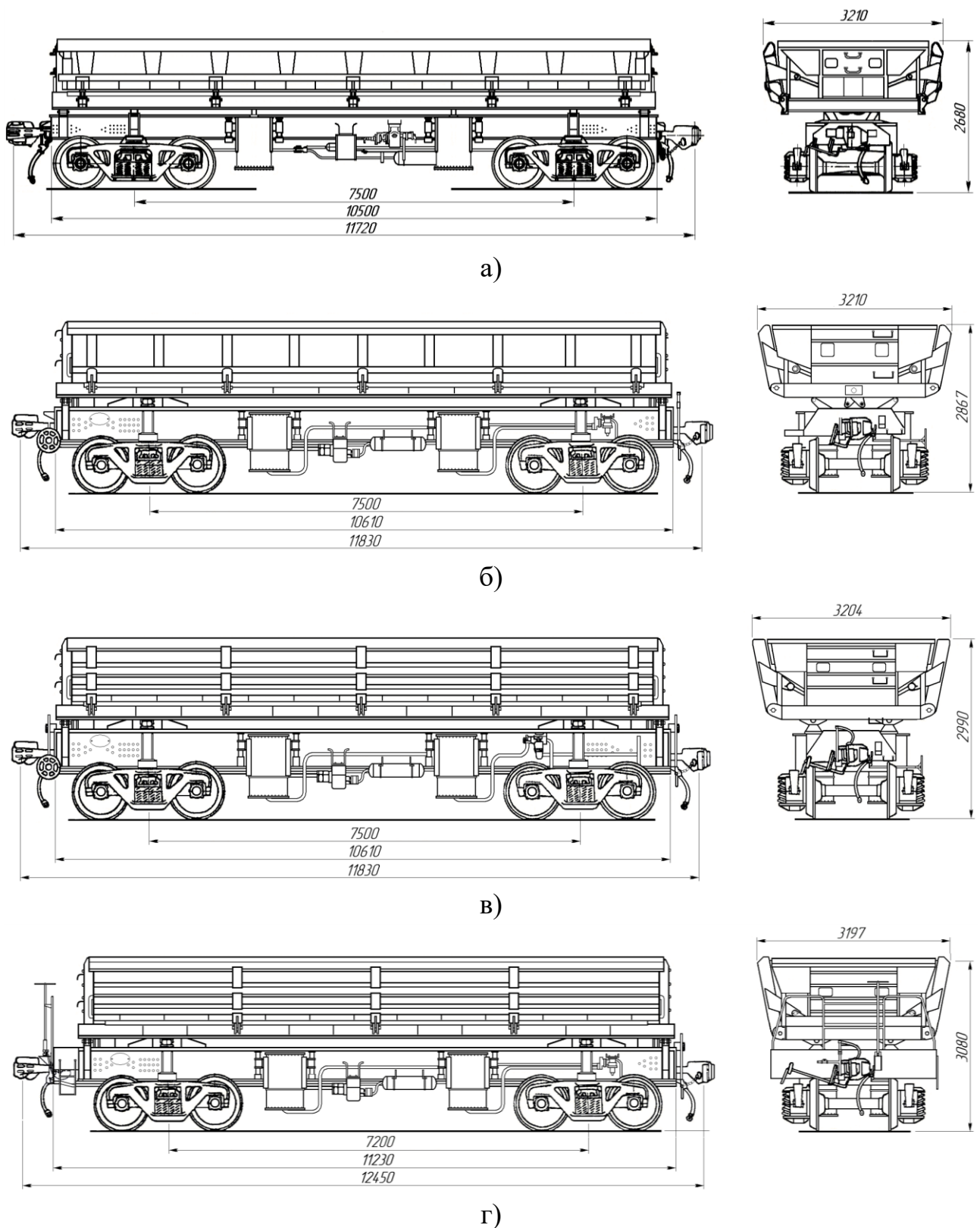


Рисунок – 1. Загальний вигляд вагонів-самоскидів (думпкарів):
 а) модель – 19-Д001; б) модель – 31-638; в) модель – 31-656; г) модель – 31-674.

Таблиця 1 – Основні характеристики об’єктів технічного діагностування

№ з\п	Номінальні показники	Моделі вагонів						
		19-Д001	31-368	31-638-01	31-656	31-661	31-673	31-674
1	Вантажопідйомність, т	60	60	60	60	60	66	66
2	Тара вагона (мінімальна/максимальна), т	28,1/ 29,0	25,7/ 27,3	26,9/ 27,8	25,9/ 27,8	27,0/ 28,0	26,5/ 27,5	26,9/ 27,8
3	Об’єм, м ³	26,3	26,2	26,2	32	32	35	35
4	База вагона, мм	7500	7500	7500	7200	7500	7200	7200
5	Довжина вагона:							
	- по осях автзчепів, мм	11720	11830	12450	11830	12450	11830	12450
	- по кінцевим балкам, мм	10500	10610	10610	10610	11230	10610	11230
6	Ширина максимальна, мм	3210	3210	3210	3204	3204	3197	3197
7	Висота від рівня головки рейки, мм	2680	2867	2867	2990	2990	3080	3080
8	Кількість осей, шт.	4	4	4	4	4	4	4
9	Завод-виробник (код)	134	134/15	134	134/15	134	134/15	134/15
10	Роки виробництва	1962- 1972	1971- ...	1971-1983	1978- 1988	1980- 1987	1988 -1995	1988- 1993

2.4 У процесі технічного діагностування вагонів-думпкарів відбираються зразки для проведення контрольних випробувань, які очищаються власником від бруду та іржі. Відбирається не менше одного зразка кожної з моделей (типів) наявних в експлуатації вагонів. Зразок по можливості повинен мати найбільший наробіток (строк експлуатації, пробіг), максимальні характерні пошкодження, що допускаються, мінімальні товщини основних несівних елементів. Комплектація вагонів-думпкарів, що пред’являються для випробувань, повинна бути достатньою для безпечного проведення випробувань та одержання повних і достовірних результатів.

2.5 За результатами контрольних випробувань і оцінки технічного стану приймається рішення про можливість подальшої експлуатації парку вагонів-думпкарів, що підлягають технічному діагностуванню з встановленням величини нового строку експлуатації.

3. КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НЕСІВНИХ КОНТРУКЦІЙ

3.1 Мета та завдання

3.1.1 Метою контролю технічного стану (далі – КТС) несівних конструкцій вагонів-думпкарів є визначення можливості подальшої експлуатації після закінчення їх призначеного строку служби, а також

встановлення величини продовження строку експлуатації й призначення необхідного виду та обсягу ремонту.

3.1.2 При КТС визначається технічний стан несівних конструкцій кожного вагона який підлягає технічному діагностуванню.

3.1.3 Завданнями КТС вагонів-думпкарів є виявлення пошкоджень несівних конструкцій отриманих у результаті експлуатації, механічного або корозійного зносу, залишкових деформацій, тріщин, а також контроль товщини елементів несівних металевих конструкцій.

3.2 Характеристики, що визначаються

3.2.1 При проведенні обстеження в якості критеріїв відмови або граничного стану приймаються такі показники технічного стану вагонів-думпкарів в експлуатації, при яких забороняється постановка і проходження вагонів в експлуатації, згідно СТП 04-101:2021 «Вагони вантажні. Технічне обслуговування. Правила з підготовки вантажних вагонів до перевезень» [7], ЦВ-0063 «Правил виключення вантажних вагонів із інвентарного парку» [8], подача під навантаження, а також прийняті експертно на основі наявного досвіду і результатів проведених раніше досліджень.

Вагони, що мають несправності, передбачені ЦВ-0063 [8], а також експертно визначені як такі, що не підлягають продовженню, підлягають виключенню. Призначення виду ремонту проводиться відповідно до нормативних документів: СТП 04-032:2020 «Вагони вантажні. Настанова з деповського ремонту» [9], СТП 04-016:2018 «Вагони вантажні залізничного транспорту колії 1520 (1524) мм. Настанова з капітального ремонту» [10], СТП 04-020:2018 «Вагони вантажні та контейнери. Правила ремонту при зварюванні та наплавленні» [11], вимогами діючих наказів та нормативних документів АТ «Укрзалізниця».

3.2.2 При обстеженні технічного стану основних НМК вагонів-думпкарів підлягають виявленню наступні передбачувані несправності: деформації, злами, зношення, вигини, прогини, корозія, наскрізна корозія, обриви, ослаблення кріплення вузлів і деталей, пробоїни, тріщини.

3.2.3 Зовнішнім оглядом НМК вагонів-думпкарів виявляється наявність дефектів в окремих елементах і в зварних швах.

3.2.4 Для виявлення відхилень розмірів і допусків проводяться вимірювання за допомогою засобів вимірювальної техніки. При необхідності перевіряються механічні властивості металу елементів НМК.

3.3 Методи контролю технічного стану

3.3.1 Візуально-оптичним методом неруйнівного контролю виявляються деформації, злами, зношування, вигини, прогини, корозія, обриви, ослаблення кріплення вузлів і деталей, пробоїни, рами та кузова вагонів.

3.3.2 У разі виявлення за допомогою візуально-оптичного методу зон, в яких можлива наявність дефектів в вигляді тріщин, застосовується магнітопорошковий або капілярний метод неруйнівного контролю. При необхідності методом твердометрії перевіряються механічні властивості металу елементів НМК вагона.

3.3.3 Вимірювання товщини НМК проводиться ультразвуковим методом неруйнівного контролю.

3.4 Умови проведення контролю технічного стану

3.4.1 КТС вагонів-думпкарів проводиться на виділеній ділянці залізничної колії, у світлий час доби, при цьому залізнична колія має бути огорожена від руху поїздів та маневрової роботи.

3.4.2 Перед початком проведення КТС забруднені місця передбачуваних несправностей попередньо зачищають за допомогою шкребків, щіток або іншого інструмента.

3.5 Засоби контролю технічного стану

3.5.1 В процесі КТС вагонів-думпкарів (при необхідності) використовуються:

- ультразвукові товщиноміри з діапазоном вимірювання 0,6 – 50 мм і похибкою вимірювання $\pm 0,1$ мм, стійкі до впливу температури навколишнього повітря від -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$ (Наприклад: УТ-98Т «Скат», УТ-31, Булат-2);

- дефектоскопи магнітні (Наприклад: Magnaflux Y-8, Flaw Finder Type A, МД-1ПС);

- набір для візуально-оптичного методу контролю (Наприклад: «Луч», «Експерт»);

- люксметр фотоелектричний (Наприклад: Testo 540);

- термогігрометр (Наприклад: Rotronic HL-1D);

- віддалемір лазерний ручний (Наприклад: Leica DISTO X310);

- інше вимірювальне обладнання (при необхідності).

3.5.2 Все обладнання та засоби вимірювальної техніки повинно бути каліброване (повірене) у встановленому порядку. Допускається застосування інших засобів вимірювальної техніки з аналогічними характеристиками.

3.6 Послідовність виконання

3.6.1 КТС вагонів-думпкарів проводиться в наступній послідовності:

- одержання заявки від замовника;

- аналіз технічних характеристик вагона;

- встановлення фактичних даних вагона-думпкара (тип, модель, рік побудови, завод-виробник) [5];

- вимірювання товщини НМК вагона, огляд вагона на предмет наявності дефектів, заповнення Карт контролю технічного стану НМК вагонів-думпкарів (далі – Карта контролю) Додаток Б, В, Г, Д [14];
- фотографування об'єкта обстеження [14];
- порівняльний аналіз результатів фактично вимірюваних товщин з номінальними;
- оформлення Технічного рішення у встановленому порядку (Додаток А).

3.7 Методика проведення контролю технічного стану

3.7.1 Тріщини, злами, обриви, вм'ятини, зноси, деформації, корозійні пошкодження, зміни геометрії рами й кузова визначаються шляхом візуально-оптичного методу неруйнівного контролю. Проводиться обстукування й контрольний демонтаж роз'ємних з'єднань (при необхідності). При забрудненні елементів, які оглядаються, місця передбачуваних несправностей попередньо зачищаються за допомогою шкребка, шабера або інших інструментів. Наявність несправностей або слідів некомпетентного ремонту кожного з елементів НМК вагона відзначається в Kartі контролю .

3.7.2 Особливу увагу при КТС необхідно звертати на зони можливого скупчення вологи та корозійних продуктів – зони опор, місця зчленування, зони упорів.

3.7.3 Виявлення пошкоджень і дефектів в елементах НМК проводиться візуально, а також за допомогою оптичного обладнання (лінз, дзеркал), які дозволяють точніше визначити наявність і місцезнаходження дефекту.

3.7.4 При виявленні пошкоджень і дефектів фахівець, який проводить обстеження, повинен звертати увагу на наявність тріщин (у тому числі у зварних швах), зламів, деформацій, слідів ремонту, корозійних ушкоджень, змін геометрії рами. Наявність несправностей або слідів некомпетентного ремонту кожного з елементів вагона зазначається в Kartі контролю. При цьому найнебезпечнішим фактором, який впливає на міцність НМК вагонів-самоскидів (думпкарів), є поява тріщин у місцях з'єднання профілів (тріщин у зварних швах) і в місцях концентрації напружень (зумовлено конструктивними особливостями або порушенням правил експлуатації та технології його ремонту). При цьому, виходячи з накопиченого досвіду КТС вантажних вагонів, необхідно приділити особливу увагу зонам виникнення тріщин, які наведено в таблиці 2.

3.7.5 Вимірювання товщин елементів несівних конструкцій проводяться ультразвуковим методом у зонах, зазначених у Картах контролю. При відсутності корозійних пошкоджень замір товщини кожного елемента здійснюється в одному перерізі.

Виконання ультразвукової товщинометрії включає в себе наступні технологічні операції:

- підготовка поверхні для забезпечення контакту акустичного перетворювача ультразвукового товщиноміра з елементом конструкції;
- вимірювання фактичних товщин елементів;
- оцінка результатів вимірювань.

3.7.6 Перед початком вимірювань фактичних товщин елементів НМК вагона-думпкара ультразвуковим методом необхідно підготувати поверхню елемента конструкції. Поверхня конструкції в місці вимірювання, повинна бути очищена від забруднень, старого лакофарбового покриття, іржі, окалини до металевого блиску. В місці встановлення акустичного перетворювача ультразвукового товщиноміра на поверхню елемента металоконструкції повинен бути нанесений шар контактної мастила.

Таблиця 2 – Зони найбільш ймовірного виникнення тріщин

№ з/п	Зона виникнення тріщин	Тип тріщини	Примітка
1	Вертикальна стінка хребтової балки: - в місці зварного з'єднання з кронштейном циліндровим; - в місці зварного з'єднання з кронштейном шворневим.	Поздовжня поперечна	-
2	Вертикальний лист кронштейна шворневого: - в місці зварного з'єднання з вертикальною стінкою хребтової балки; - в зоні технологічних отворів.	Поперечна повздовжня	-
3	З'єднання нижнього листа кронштейна шворневого з нижньою полицею хребтової балки	поздовжня	по зварному шву
4	З'єднання вертикального листа хребтової балки з вертикальним листом кронштейна циліндрового	поперечна	по зварному шву
5	З'єднання поперечної балки з бічною поздовжньою балкою.	Поперечна	по зварному шву

3.7.7 Для вимірювання товщини елемента НМК вагона, контактна поверхня акустичного перетворювача притискається до поверхні елемента

металоконструкції з нанесеним мастилом, після чого відбувається зчитування з індикаторної шкали товщиноміра значення фактичної товщини з точністю до 0,1 мм. У зонах, з товщинами НМК, що становлять 70% і менше від номінальних, проводяться додаткові виміри по індивідуальних схемах.

3.7.8 Фактичну товщину перерізу НМК знаходять як мінімальну товщину на ділянці, що найбільш схильна до корозії й фактично визначає міцність даного елемента. Номінальну товщину елемента визначають по технічній документації або шляхом вимірювань у тих місцях, де корозія відсутня.

3.7.9 Під час проведення обстеження елементів НМК вагонів-думпкарів візуально-оптичним методом часто виникає ситуація, коли внаслідок значного корозійного ушкодження поверхні контролю, або наявності на такій поверхні раковин та інших поверхневих дефектів, подрізів від зварювальних робіт, зробити однозначний висновок про наявність в даній зоні тріщин неможливо. В даному випадку повинні використовуватися інші методи неруйнівного контролю. Найбільш достовірними методами для встановлення на поверхнях контролю тріщин є магнітопорошковий та капілярний.

Магнітопорошковий метод неруйнівного контролю. Виконується для виявлення поверхневих і під поверхневих тріщин різноманітного походження. Проведення магнітопорошкового контролю включає наступні технологічні операції:

- підготовка поверхні до контролю;
- намагнічування деталі;
- нанесення магнітного індикатора;
- огляд поверхні, що контролюється і реєстрація індикаторних рисунків дефектів;
- оцінка результатів контролю;
- розмагнічування (за необхідності).

Магнітопорошковий метод контролю виконується способом прикладеного поля. При цьому контролі операції намагнічування деталі і нанесення суспензії виконують одночасно. Індикаторні рисунки дефектів (тріщин), які виявляються, виникають в процесі намагнічування. По результатам огляду індикаторних рисунків спеціаліст, який проводить контроль, робить висновок про наявність або відсутність тріщин в даній зоні, оцінює їх характер та геометричні параметри. Результати фіксуються в картах контролю.

Капілярний метод неруйнівного контролю. Виконується для виявлення поверхневих тріщин різноманітного походження, які мають вихід на поверхню об'єкта контролю. Проведення капілярного контролю включає такі технологічні операції:

- підготовка поверхні до контролю;
- проведення контролю, і реєстрація індикаторних рисунків дефектів;
- оцінка результатів контролю.

Капілярний метод контролю виконується способом нанесення спеціального пенетранту і проявника на підготовлену поверхню контролю, після чого поверхня оглядається. По результатам огляду поверхні з нанесеним пенетрантом і проявником фахівець, який виконує контроль, робить висновок про наявність чи відсутність тріщин в даній зоні, оцінює їх характер і геометричні параметри. Результати контролю фіксуються в Kartі контролю.

3.8 Обробка даних та оформлення результатів

3.8.1 При обробці даних обстеження технічного стану проводиться систематизація виявлених дефектів, аналіз фактичних товщин, порівняння отриманих результатів з вимогами нормативних документів. Проводиться оцінка результатів обстеження кожного вагона, призначається вид ремонту і термін продовження строку експлуатації, який заснований на результатах контрольних випробувань, розрахунків, досвіду проведення робіт з технічного діагностування, а також умов [3].

3.8.2 При призначенні виду рекомендованого ремонту враховуються умови експлуатації вагона, вид і дата попередніх ремонтів, технічний стан, технічні можливості того чи іншого виду ремонту щодо усунення виявлених пошкоджень.

3.8.3 Вагони-думпкари, що мають несправності, передбачені ЦВ-0063 [8], а також експертно визначені як такі, що не підлягають продовженню строку експлуатації, підлягають виключенню з інвентарного парку.

3.8.4 За результатами КТС розробляється Технічне рішення (Додаток А) щодо можливості подальшої експлуатації вагонів-думпкарів, в якому вказується новий термін продовження строку експлуатації і вид призначеного ремонту. Дані технічного рішення передаються до бази даних ПЮЦ відповідно до вимог «Технології інформаційного взаємообміну при обробці технічних рішень при виконанні ремонтів вантажних вагонів з продовженням терміну служби» [24]. Після того, як новий, призначений за результатами технічного діагностування, строк експлуатації буде вичерпаний, вагон може бути повторно продіагностований з повторним призначенням нового строку експлуатації. При цьому граничний строк експлуатації повинен відповідати вимогам [2].

При експлуатації вагонів-думпкарів в межах України новий строк експлуатації призначається за результатами технічного діагностування відповідно до технічного стану вагона (наявність залишкового ресурсу, можливості відновлення) та відповідно до чинних нормативних документів АТ «Укрзалізниця».

3.8.5 Оформлене Технічне рішення узгоджується з Департаментом вагонного господарства АТ «Укрзалізниця», затверджується керівником організації, яка проводила технічне діагностування і є підставою для продовження строку експлуатації вагона, або його виключення.

4. КОНТРОЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ ВАГОНІВ-ДУМПКАРІВ

4.1 Класифікація контрольних випробувань та обсяг

4.1.1 До контрольних випробувань відносяться такі види випробувань:

- скидання з клинів;
- випробування на співудар;
- ресурсні випробування, оцінка опору втомі.

4.1.2 Необхідний обсяг контрольних випробувань визначає спеціалізована організація яка уповноважена на право проведення таких робіт (далі – СО).

4.1.3 За рішенням СО можуть бути проведені інші види випробувань, що дозволяють правильно оцінити залишковий ресурс вагона (ходові міцнісні, матеріалознавчі тощо).

4.2 Мета і завдання контрольних випробувань

4.2.1 Завданням вивчення умов експлуатації й документації є визначення тривалості умов і режимів експлуатації, кліматичного впливу, умов утримання, обслуговування й ремонтів, видів перевезених вантажів та ін.

4.2.2 Загальною метою контрольних випробувань є експериментальна перевірка відповідності показників міцності конструкції вагона-думпкара, які відповідають [1, 3, 6] заданим умовам експлуатації, визначення його залишкового ресурсу. Під час контрольних випробувань визначають показники міцності та опору втомі конструкції кузова.

4.2.3 Завданням випробування скидання з клинів є оцінка власних частот коливань та динамічних напружень в елементах несучої конструкції.

4.2.4 Завданням випробувань на співудар є визначення і оцінка динамічних напружень і деформацій в несівних конструкціях вагона при прикладанні нормативних ударних сил через автозчепне обладнання.

4.2.5 Завданням ресурсних випробувань є визначення циклічної довговічності несівних елементів вагона при багаторазовій дії ударних навантажень прикладених через автозчепний пристрій.

4.3 Характеристики, що визначаються

4.3.1 При випробуваннях скидання з клинів визначається частота і напруження несівних металевих конструкцій.

4.3.2 При проведенні випробувань на співудар і ресурсних випробувань визначаються наступні показники:

- швидкість набігання вагона-бойка;

- сила удару в автозчеп;
- кількість циклів до відмови;
- напруження в елементах вагона, які досліджуються.

4.3.3 Точність визначених показників повинна відповідати вимогам РД 24.050.37-90 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества» [12], РД 24.050.37-95 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества» [13].

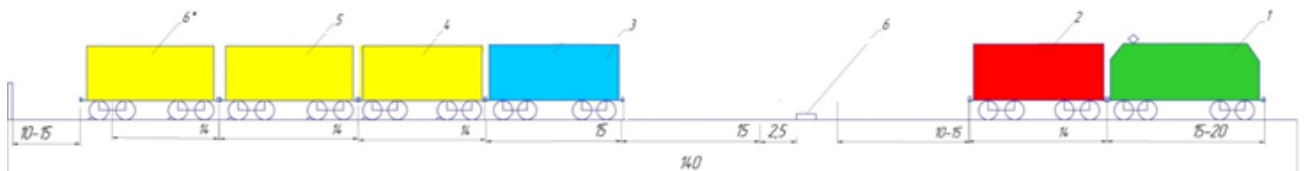
4.4 Методи контрольних випробувань

4.4.1 Оцінка власних частот коливань здійснюється за результатами випробувань «скидання з клинів». Відповідно до розробленої схеми контрольних точок проводиться установка тензодатчиків на надресорній балці візка та рамі вагона-думпкара. Під колеса вагона в залежності від досліджуваних частот власних коливань встановлюються відповідні клини, після чого проводиться скидання вагона шляхом його нахату на клин.

4.4.2 Для визначення поздовжніх зусиль, що діють на випробовуваний вагон в момент удару, застосовується автозчеп-динамометр, обладнаний тензодатчиками і попередньо проградуїований статичним навантаженням на стенді і забезпечує достовірну реєстрацію сил в діапазоні не менше ніж до 2,5...3 МН.

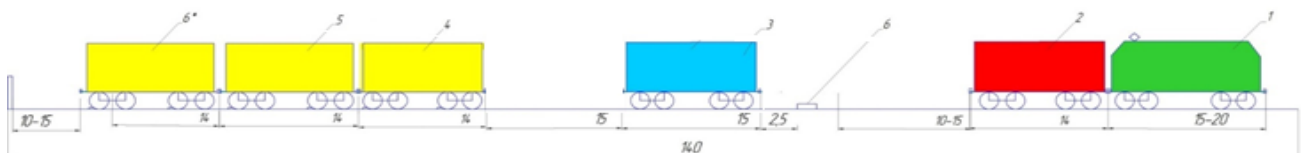
4.4.3 Випробування на співудар проводяться на прямій горизонтальній ділянці залізничної колії за допомогою локомотива. Крім локомотива при цьому використовується наступне обладнання:

- вагон-бойок масою не менше маси завантаженого дослідного вагона;
- підпірне обладнання з трьох-чотирьох загальмованих вантажних вагонів загальною рекомендованою масою не менше 300 т, переміщення яких обмежено рейковими башмаками або підпором з масивного стаціонарного залізобетонного блоку-упору.



а) Одноударна схема випробувань

1 – локомотив; 2 – вагон-бойок; 3 – дослідний думпкар; 4,5,6* – вагони підпори;



б) Двоударна схема випробувань

1 – локомотив; 2 – вагон-бойок; 3 – дослідний думпкар; 4,5,6* – вагони підпори; 6 –

пристрій для вимірювання швидкості.

Рис. 4 – Схема розміщення рухомого складу під час проведення контрольних випробувань

4.4.4 Обладнання, яке застосовується для випробувань, засоби вимірювальної техніки і пристрої повинні перебувати в технічно справному стані, мати діючі свідоцтва калібрування.

4.4.5 Дозволяється використання спеціалізованої гірки та обладнання для забезпечення підйому вагона-бійка для випробувань без локомотива.

4.5 Умови проведення контрольних випробувань

4.5.1 Випробування вагона-думпкара проводяться при фактичних температурах, атмосферному тиску і вологості навколишнього середовища, які відповідають конкретному кліматичному виконанні об'єкта і забезпечують функціонування згідно з технічними умовами та інструкцією по експлуатації на нього.

4.5.2 Умовою початку проведення випробувань вважається завершення монтажу та завершальна підготовка об'єкта до проведення випробувань.

4.5.3 Критерієм завершення випробувань вважається отримання повного обсягу експериментальних даних, передбачених ПМ, або порушення цілісності конструкції вагона, яке загрожує безпеці подальшого проведення випробувань.

4.6 Засоби, що застосовуються при контрольних випробуваннях

4.6.1 Під час проведення випробувань скиданням з клинів використовують клини, висота яких складає не менше 18 мм, рекомендована довжина – 350 мм, ширина – 50 мм.

4.6.2 При проведенні контрольних випробувань застосовуються типові реєструючі прилади, перетворювачі й засоби вимірювальної техніки. У якості первинних засобів вимірювальної техніки для реєстрації деформацій застосовуються:

- тензодатчики;
- вимірювальна система на базі платформи National Instruments Compact RIO-9025 у складі: контролера Compact RIO-9025; комплект шасі NI 9118 із вбудованою програмованою логічною інтегральною схемою (ПЛІС); модулі АЦП 9205 із максимальною частотою дискретизації 250 кГц; модулі тензометрії 9237 із максимальною частотою 50 кГц на канал; модуль-приймач SEA cRIOGxxxMobile; джерело живлення; корпус NI 9917 промисловий; система кріплень промислового корпусу NI 9917 до вагона; накопичувач даних (64GB) із інтерфейсом USB, файловою системою FAT32 та швидкістю запису не менше 20 Мбіт/сек; ноутбук волого- пилозахисного виконання; кабелі 6x0,22 екрановані по 25 м з роз'ємами;

- термогігрометр ИВА-6 (границі вимірів вологості: 0-98%; границі вимірів температури – 40°C ...+60°C);
- пристрій для вимірювання швидкості Секунда-М (діапазон вимірювання часу 0-99,99 хв);
- лінійка вимірювальна металева ДСТУ ГОСТ 427 [12] (межі вимірювання (0-500) мм; ціна поділки – 1 мм; похибка вимірювання $\pm 0,5$ мм).

4.6.3 Для визначення поздовжніх зусиль, що діють на випробовуваний вагон у момент удару, застосовується автозчеп-динамометр, обладнаний тензодатчиками й попередньо проградуєований статичним навантаженням на стенді, що й забезпечує достовірну реєстрацію сил у діапазоні не менш ніж до 2,5...3,0 МН.

4.6.4 Випробувальне обладнання, а також засоби вимірювальної техніки повинно бути каліброване (повірене) у встановленому порядку. Допускається застосування інших засобів вимірювальної техніки з аналогічними характеристиками.

4.7 Послідовність виконання контрольних випробувань

4.7.1 За результатами випробувань скиданням з клинів визначаються динамічні напруження в елементах вагона відповідно до розробленої схеми контрольних точок.

Завантажений вагон-думпкар накочується на клини за допомогою локомотива. Схеми встановлення клинів мають моделювати коливання: підскакування, бокової хитавиці, галопування, скручування вагона.

4.7.2 Проведення контрольних і ресурсних випробувань на співудар полягає у наступному:

- завантаження вагона до номінальної вантажопідйомності;
- зважування завантаженого вагона;
- вагон обладнується автозчепом-динамометром;
- установка вагона на ділянку залізничної колії для випробувань, а також пікету для визначення швидкості накочування вагона-бойка;
- випробування на співудар;
- вимірювання деформацій, швидкості накочування та сили удару вагона-бойка за допомогою засобів вимірювальної техніки;
- огляд конструкції при ударних випробуваннях проводиться 3-10 ударів.

Випробування на зіткнення проводяться шляхом накочування локомотивом вагона-бойка на дослідний вагон, який знаходиться в підпертому або вільному станах. Підпертий стан – дослідний вагон знаходиться у зчепі з вагонами підпорами; вільний стан – дослідний вагон не зчеплено з вагонами підпорами, а знаходиться на відстані до одного метра від підпору.

Співударники вантажних вагонів при контрольних випробуваннях проводять за швидкостями, які вказані в табл. 3.

Таблиця 3 – Кількість співударників вагона-самоскида (думпкара) в кожному інтервалі швидкості при знаходженні вагонів в підпертому та вільному стані при контрольних випробуваннях.

Діапазон швидкості зіткнення, км/год	Кількість співударників	
	Підпертий	Вільний
Від 3 до 6 вкл.	7	7
Від 6 до 10 вкл.	7	7
Від 10 до 12 вкл.	3	3

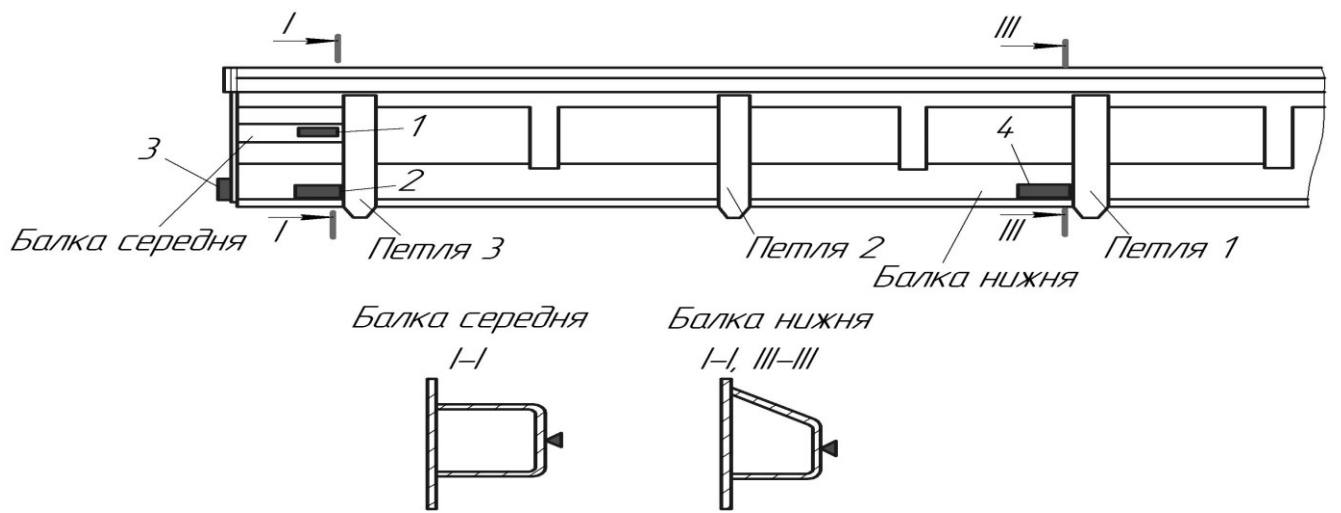
Ресурсні випробування проводяться окремими серіями співударників, що за обсягами ушкодження відповідають впливу дій за один рік експлуатації вагона. Після кожної серії співударників проводиться перевірка технічного стану вагона та його устаткування. Процес виникнення і розвитку пошкодження деталей, вузлів і устаткування вагона простежується до закінчення випробувань, при цьому виявляються можливі причини утворення ушкоджень.

4.8 Методика проведення контрольних випробувань

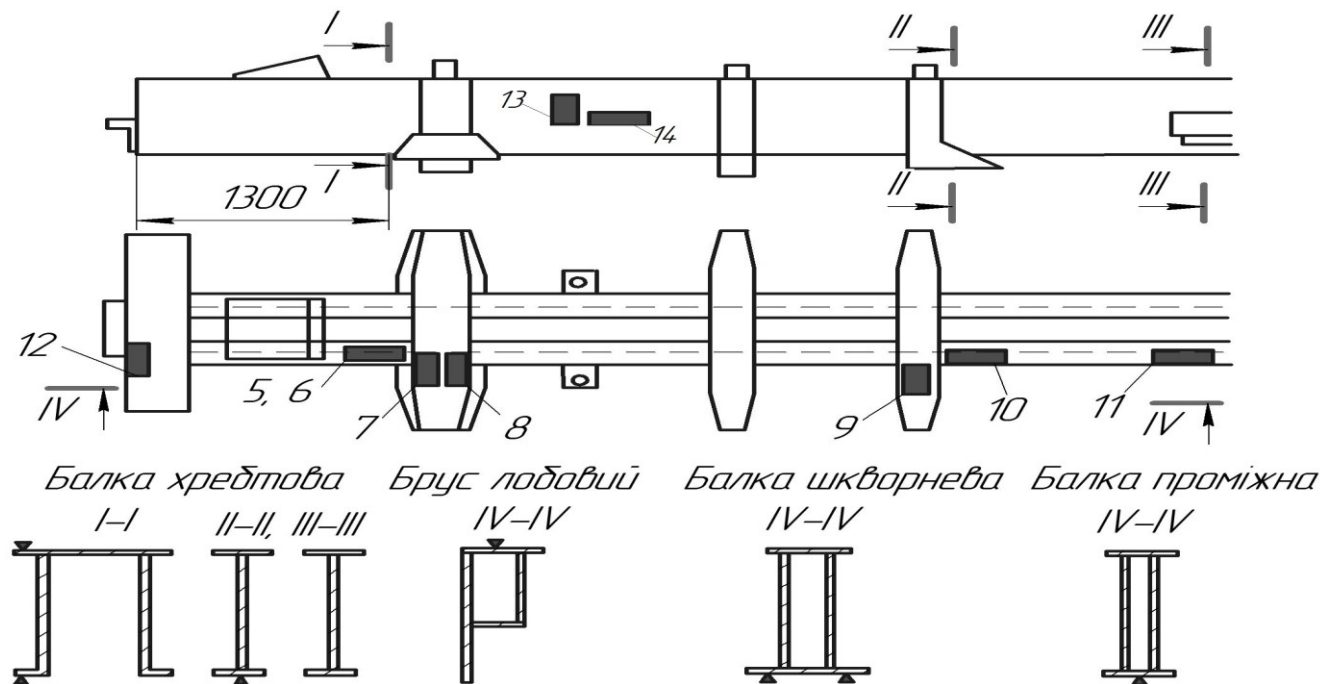
4.8.1 Загальний порядок підготовки вагона-думпкара до випробувань і методика їх проведення повинна відповідати вимогам умов [1, 2, 6].

4.8.2 При підготовці дослідного вагона-думпкара до випробувань проводиться:

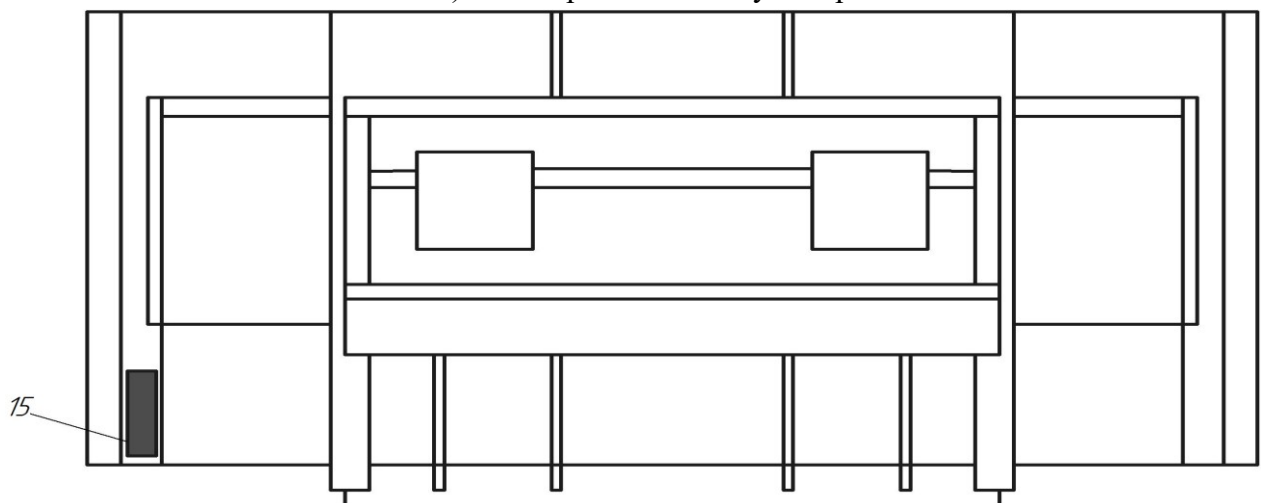
- підбір тензодатчиків;
- розмітка й зачищення місць встановлення тензодатчиків на дослідному вагоні проводиться на основних несівних конструкціях вагона. Для уточнення схеми встановлення тензодатчиків рекомендується виконувати нормативні розрахунки на міцність, враховувати досвід проведення попередніх випробувань та типові місця руйнувань НМК;
- наклеювання тензодатчиків. Тензодатчики встановлюються на основних несучих конструкціях вагона, а саме: верхня рама та бокова стінка, нижня рама вагона, торцева стінка, проміжні балки верхньої та нижньої рами, шворнева, кінцева балки (рис. 5). Допускається коректування схем розміщення датчиків у процесі підготовки дослідного зразка, без зниження якості проведення випробувань;
- перевірка працездатності засобів вимірювальної техніки.



а) верхня рама та бокова стіна вагона думпкара



б) нижня рама вагона думпкара



в) торцева стінка кузова вагона думпкара

Рис. 5 – Схема встановлення тензодатчиків на несівних конструкціях вагона думпкара

4.8.3 При проведенні випробувань скиданням з клинів під колеса вагона-думпкара встановлюються клини по черзі в залежності від видів коливань:

- під всі колеса вагона (імітація підскакування);
- під колеса одного боку одного візка й іншого боку другого візка (імітація скручування);
- під всі колеса візка (імітація галопування);
- під колеса одного боку вагона (імітація бічної хитавиці).

В залежності від кількості використаних клинів і місця їх розташування під відповідними колесами вагонів визначають види коливання при проході і скиданні вагонів з клинів.

4.8.4 Порядок проведення контрольних випробувань полягає в наступному:

- вагон обладнується спеціальним автозчепом-динамометром;
- завантаження вагона до номінальної вантажопідйомності;
- зважування завантаженого вагона;
- встановлення вагона на майданчик для випробувань, а також пристрою для визначення швидкості накочування вагона-бойка;
- випробування на співудар;
- реєстрація деформацій, швидкості накочування вагона-бойка за допомогою засобів вимірювальної техніки;
- огляд НМК.

4.8.5 Вибір режиму випробувань на ресурс, обробка і оцінка результатів випробувань виконується на основі:

- лінійної гіпотези суми пошкоджень;
- кривої втоми у напруженнях: $\sigma_i^{nt} N_{i=const}$, де N_i – кількість циклів коливань з амплітудою σ_i , m – показник степені.

4.8.6 При визначенні залишкового строку служби вагона-думпкара враховується вертикальне та поздовжнє динамічні навантаження, які виникають в процесі експлуатації. Розрахунок здійснюється за формулою:

$$T_p = \frac{\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]}\right)^m \cdot N_0}{N_{cI} \cdot \sum_j (\sigma_{aj}^I)^m \cdot P_j^I + N_{cII} \cdot \sum_k (\sigma_{aj}^{II})^m \cdot P_k^{II}} \quad (1)$$

де T_p - розрахунковий залишковий строк експлуатації вагона, роки;

$\sigma_{a,N}$ - межа витривалості (по амплітуді) для контрольної зони при симетричному циклі та встановленому режимі навантаження при базовому числі циклів, МПа;

m - показник ступеня в рівнянні кривої втоми. Для зварних конструкцій із прокату без зміцнюючої обробки швів згідно [12];

$[n]$ мінімально допустимий коефіцієнт запасу опору втоми для вибраної зони вагона, $[n] = 1,5$;

N_0 - базове число циклів, $N_0 = 10^7$;

N_{cI}, N_{cII} - число циклів за 1 рік експлуатації для кожного із експлуатаційного навантаження (вертикального та повздовжнього);

$\sigma_{aj}^I, \sigma_{aj}^{II}$ - амплітуди динамічних напруг, приведені до симетричного циклу для кожного із експлуатаційних навантажень та їх діапазонів, Мпа;

P_j - ймовірність появи амплітуди з рівнем σ_{aj} .

$$\sigma_{aN} = \sigma_{aN}^- (1 - z_p \nu), \quad (2)$$

де z_p - квантиль розподілення, відповідаючий односторонній ймовірності 95 %, $z_p = 1,645$;

ν - коефіцієнт варіації порогу витривалості деталі:

- для зварних рам і балок з листового і фасонного прокату при автоматичній зварці під слоєм флюса і в середині захисного газу $\nu = 0,05$;

- також при напівавтоматичному і ручній зварці $\nu = 0,07$;

σ_{aN}^- - середнє розрахункове значення порогу витривалості рами:

$$\sigma_{aN}^- = \frac{\sigma_{-1}^-}{(K_{\sigma}^-)_k}, \quad (3)$$

σ_{-1}^- - середнє значення порога витривалості гладкого стандартного зразка із матеріала рами при симетричному циклі згину на базі N_0 .

$(K_{\sigma}^-)_k$ - середнє значення коефіцієнта зниження порога витривалості рами по відношенню до порога витривалості гладкого стандартного зразка,

$(K_{\sigma}^-)_k = 4,5$.

N_c - кількість циклів вертикальних коливань завантаженого вагона, які виникають за його строк експлуатації один рік:

$$N_c = 365 \cdot f_{\epsilon} \frac{L_c \cdot 0,5 \cdot 10^3}{\bar{V}_T} \cdot T_k; \quad (4)$$

T_k - розрахунковий строк експлуатації вагона;

L_c - проектний середньодобовий пробіг вагона;

\bar{V}_T - проектна середня технічна швидкість руху вагона;

$K_{пп}$ - коефіцієнт порожнього пробігу;

f_{ϵ} - ефективна частота процесу зміни динамічних навантажень, визначається за результатами скидання з клинів.

Таблиця 4 – Нормативна щільність розподілення швидкості руху вагона-думпкара з конструкційною швидкістю 120 км/год.

Діапазон швидкостей, k	Інтервал швидкості руху, Δ_v м/с	Середня швидкість інтервалу, V_k м/с	Частість швидкостей в діапазоні, $P_k(V)$	K_{di}	$\overline{K_{di}}$	$(K_{di})^4 \cdot P_k(V)$
1	0-12,5	6,25	0,03	0,013	0,0052	0,000000000857
2	12,5-15,0	13,75	0,07	0,041	0,02	0,000000198
3	15,0-17,5	16,25	0,09	0,059	0,024	0,00000109
4	17,5-20,0	18,75	0,12	0,077	0,035	0,00000422
5	20,0-22,5	21,25	0,16	0,095	0,047	0,0000130
6	22,5-25,0	23,75	0,19	0,113	0,056	0,0000309
7	25,0-27,5	26,25	0,16	0,131	0,068	0,0000471
8	27,5-30,0	28,75	0,10	0,149	0,071	0,0000492
9	30,0-32,5	31,25	0,06	0,167	0,083	0,0000467
10	32,5-35,0	33,75	0,02	0,185	0,092	0,0000234
Разом	-	-	1	-	-	-

K_{di} – визначається з використанням формули:

$$K_{di} = \frac{\overline{K_{di}}}{\omega} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1-P(K_{di})}} \quad (5)$$

Середнє можливе значення $\overline{K_{di}}$ визначається за формулами:

- При $V \geq 15$ м/с

$$\overline{K_{di}} = a + 3,6 \cdot 10^4 \cdot b \cdot \frac{V-15}{f_{ст}}, \quad (6)$$

- При $V \leq 15$ м/с

$$\overline{K_{di}} = a \cdot \frac{V}{15}, \quad (7)$$

де a – коефіцієнт рівний для елементів кузова – 0,05;

b – коефіцієнт який враховує вплив кількість осей n у візку або групі візків під одним кінцем екіпажу,

$$b = \frac{n+2}{2n}; \quad (8)$$

V – розрахункова швидкість руху, м/с;

$f_{ст}$ – статичний прогин ресорного підвішування, м.

4.8.7 Загальна розрахункова кількість циклів протягом розрахункового періоду експлуатації вагона-думпкара для загальної мережі пробігу визначається за формулою:

$$N_{\text{заг}}^{\text{розр}} = N_{\text{заг}}^{\text{уд}} \cdot T_{\text{розр}} \cdot K_{\text{реж}} \cdot K_{\text{уд}} \quad (9)$$

де $N_{\text{заг}}^{\text{уд}}$ -загальна кількість циклів дії ударних поздовжніх сил за 1 рік середньої мережі експлуатації на конструкцію вагона даного типу, для розподілів (без урахування квазистатичних сил) становить:

$T_{\text{роза}}$ - розрахунковий період експлуатації вагона, (1 рік.);

$K_{\text{реж}}$ - коефіцієнт, що враховує вплив порожнього пробігу вагона, при оцінці циклічної довговічності несівних елементів $K_{\text{реж}}$,

$$K_{\text{реж}} = 1 - K_{\text{пор}} \quad (10)$$

$K_{\text{уд}}$ - коефіцієнт, що враховує несиметричність навантаження конструкції вагона по його довжині при зіткненнях і рівномірності додатки ударних сил до автозчеплення з обох кінців вагона (при оцінці циклічної довговічності елементів консольної частини вагона рекомендується приймати рівним 0,6).

Вибір режиму навантаження здійснюється з урахуванням співвідношення середньодобового пробігу до загальномережевого.

Для дослідження впливу сил розтягування на міцність несівних конструкцій доцільно після випробувань на стискаючі ударні навантаження в об'ємі 300-400 ударів проводити випробування на розтягування в кількості до 100 циклів з реєстрацією показників сили розтягу та напружень.

$N_{\text{уд}}$ – розрахункове число зіткнень за один рік експлуатації вагона.

4.8.8 При одно ударній схемі співударянь необхідно передбачити зміну ударного кінця або поворот вагона, що підлягає випробуванням не рідше, ніж через кожних 500 співударянь. З метою зниження надлишкової дії насипних вантажів на торцеві стінки кузова розворот завантажених таких вантажем вагонів необхідно проводити частіше, ніж через 500 ударів, або застосувати двох ударну схему співударянь.

4.8.9 При 2-х ударній схемі перше співударяння виконується при накочуванні вагона-бойка, на вагон, що випробовується, а друге – при накочуванні вагона, що випробовується одного чи в зчепі з вагоном-бойком на нерухомий підпір. При цій схемі реєструються сили удару на двох автозчехах вагона, що випробовується. Допускається застосування схеми трьома співударяннями.

Прискоренню випробувань сприяють також зменшення швидкостей співударяння при збереженні сил удару за рахунок застосування поглинальних апаратів з малою енергоємністю.

4.8.10 Випробування припиняються при порушенні цілісності конструкції вагона, що загрожує безпеці подальшого проведення випробування, або якщо час напрацювання перевищить в 1,1...1,2 рази необхідний ресурс.

4.8.11 Випробування на ресурс при зіткненні. В процесі випробувань після кожного зіткнення визначають сумарне накопичення пошкоджень $D_u(n)$ за формулою:

$$D_u(n) = \sum_{i=1}^n (F_{1,i}^m + F_{2,i}^m), \quad (11)$$

Де i – порядковий номер зіткнення;

n – число зіткнень;

$F_{1,i}^m$ – максимальна сила, яка виникає в автозчепі між вагоном бойком і дослідним вагоном, Н;

$F_{2,i}^m$ – максимальна сила, яка виникає в автозчепі між вагоном бойком і підпором;

m – показник степені, приймають $m=4$.

Сумарне накопичене пошкодження при випробуваннях порівнюють з розрахунковим пошкодженням $D_{розр}$:

$$D_{розр} = N_{розр} \sum_k p_k F_k^m, \quad (12)$$

де F_k – середнє значення сили;

p_k – частість сили.

Тоді строк експлуатації вагона-думпкара:

$$T = \frac{\sum D}{D_p}. \quad (13)$$

4.8.12 Для оцінки показників опору втомі були враховані напруження несівних конструкцій вагону під час випробувань:

- сил, що виникають під час руху вагону під час коливань підскакування, скручування кузова, галопування та бокової хитавиці;

- сили взаємодії між вагонами, вагону з локомотивом, гальмування, співударів.

Оцінку n – запасу опори втомі проведено згідно [11] наступим чином.

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,e}} \geq [n] \quad (14)$$

де $\sigma_{a,N}$ - границя витривалості (за амплітудою) натурної деталі в разі симетричного циклу та сталого режиму навантаження на базі випробування $N_0=10^7$ циклів, Мпа;

$\sigma_{a,e}$ – розрахункова значення амплітуди динамічного напруження умовного симетричного циклу, приведена до бази N_0 , еквіваленте за пошкоджуваною дією реальному режиму експлуатаційних випадкових напружень протягом проектного строку служби, Мпа;

[n] – допустимий коефіцієнт запасу опору втомі.

Розрахункове значення границі витривалості:

$$\sigma_{a,N} = \overline{\sigma_{a,N}} \cdot (1 - z_p \cdot \vartheta_{\sigma_{a,N}}) \quad (15)$$

де $\overline{\sigma_{a,N}}$ – середнє (медіанне) значення границі витривалості дослідного зразка;

$z_p = 1.645$ – квантиль розподілу, що відповідає односторонній ймовірності $P=0,95$;

$\vartheta_{\sigma_{a,N}} = 0,05$ – коеф. Варіації границі витривалості.

$$\overline{\sigma_{a,N}} = \frac{\sigma_{-1}}{(K_\sigma)_K} \quad (16)$$

де σ_{-1} – границя витривалості;

$(K_\sigma)_K$ – значення загального коефіцієнту зниження границі витривалості натурної деталі.

$$\sigma_{a,e} = \sqrt[m]{\frac{N_c}{N_0} \cdot \sum \sigma^m P} \quad (17)$$

де $N_0 = 10^7$ – базова кількість циклів (база випробувань);

m – показник ступеню в рівнянні кривої втомі у амплітуда;

N_c – сумарка кількість циклів динамічних напружень за розрахунковий термін служби;

$\sigma^m P$ – значення рівня напружень з урахуванням її масової долі під час експлуатації.

$$m = \frac{A}{(K_b)_k}, \quad (18)$$

де A – коефіцієнт згідно [12],

$(K_b)_k$ – середнє значення загального коефіцієнту зниження границі витривалості натурної деталі по відношенню до границі витривалості гладкого стандартного зразка;

$$N_c = \vartheta_e \cdot T_p \quad (19)$$

де T_p – сумарний час дії динамічних напружень,

$$T_p = B \cdot T_K \quad (20)$$

$$\vartheta_e = \frac{a}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{f_{ст}}} \quad (21)$$

B – коефіцієнт переводу календарного розрахункового строку служби у роках в час непереривного руху в секундах;

T_K – сумарний час дії динамічних напружень;

$a = 1,1$ – коеф. Для кузова вагона;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

f_{CT} – статичний прогин підвішування.

$$B = 365 \frac{10^3 \bar{L}_c}{\bar{V}} \quad (22)$$

\bar{L}_c – середньодобовий пробіг вагону;

\bar{V} – середня швидкість.

4.8.13 Результати випробувань оформлюють протоколом, в якому повинні бути приведені наступні відомості:

- найменування організації – виконавач випробувань;
- відомості про об'єкт випробувань маркування, завод-виробник, дата виготовлення, дані про технічний стан);
- відомості про умови проведення випробувань (дата, місце проведення, умови проведення);
- результати випробувань (таблиці, графіки, діаграми);
- висновок про результати випробувань.

4.9 Обробка даних та оформлення результатів

4.9.1 Результати випробувань фіксуються в журналі робочих записів.

4.9.2 За результатами контрольних випробувань вагонів та оцінки їх технічного стану приймається рішення про можливість подальшої експлуатації і встановлюється величина нового граничного строку експлуатації.

4.9.3 Результати контрольних випробувань оформляються технічним звітом (актом, протоколом), в якому наводяться дані, отримані при обстеженні технічного стану і контрольних випробуваннях, результати аналізу отриманої інформації, вказується новий термін служби. Звіт є підставою для розробки технічного рішення для кожного окремого вагона.

5 ВИМОГИ ДО ПЕРСОНАЛУ

5.1 До участі в обстеженні вагонів-думпкарів допускаються працівники, які досягли 18 років і пройшли спеціальне навчання і перевірку знань, в т. ч. з питань охорони праці при проведенні технічного діагностування вагонів, згідно з НПАОП 0.00–4.12.05 [16].

5.2 Для проведення неруйнівного контролю залучаються фахівці, сертифіковані на рівень кваліфікації не нижче другого відповідно ДСТУ EN ISO 9712 [17].

5.3 Для проведення контрольних випробувань та обробки результатів допускаються працівники, які мають практичний досвід роботи в даній області, вивчили технічну документацію на засоби виміральної техніки, які використовуються під час проведення випробувань та конструкцію рухомого складу, що є об'єктом випробувань.

6 РОЗПОДІЛ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ І ЗВІТНІСТЬ

6.1 Роботи з підготовки і проведення технічного діагностування та випробування повинні проводитись під безпосереднім керівництвом і контролем керівника випробувань або особи, яка виконує його обов'язки.

6.2 За результатами контрольних випробувань і оцінки технічного стану приймається рішення щодо можливості подальшої експлуатації вагонів-думпкарів, яким проводиться технічне діагностування і встановлюється величина нового строку експлуатації.

6.3 Порядок документообігу при встановленні нового призначеного строку експлуатації вагонів-думпкарів визначається [2].

7 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ

7.1 Всі учасники технічного діагностування вагонів перед початком робіт проходять цільовий інструктаж з охорони праці, з відповідною реєстрацією у встановленій формі облікової документації.

7.2 Під час проведення технічного діагностування вагонів працівники відповідного напрямку повинні знаходитися тільки на тих ділянках, які призначені для проведення робіт.

7.3 Працівники, зайняті на роботах з технічного діагностування вагонів, повинні бути забезпечені відповідним спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту.

7.4 Роботи з технічного діагностування вагонів проводяться на огороженій ділянці колії не менше ніж двома працівниками, один з яких в процесі обстеження знаходиться в зоні, що забезпечує достатній огляд прилеглої території і залізничних колій та дозволяє своєчасно виявити потенційну небезпеку, і попередити інших працівників, що обстежують вагони.

7.5 Допоміжні засоби, інструмент, які будуть використовуватися для робіт з технічного діагностування вагонів-думпкарів, повинні перебувати в технічно справному стані і забезпечувати безпеку їх обслуговування і використання, а також відповідати НПАОП 40.1-1.21 [18].

7.6 При підготовці до проведення випробувань повинні забезпечуватися вимоги безпеки і максимальне забезпечення умов зручності у відповідності з ГОСТ 12.2.003 [19], дотримання загальних вимог техніки безпеки, викладених в ГОСТ 12.1.019 [20], ДСН 3.3.6.037 [21], ДСН 3.3.6.042 [22].

7.7 Для захисту шкіри рук від дефектоскопічних матеріалів (магнітна суспензія, магнітний порошок при магнітопорошковому контролі, пенетрант і проявник при капілярному контролі) повинні застосовуватися гумові рукавиці, Дерматологічні засоби індивідуального захисту згідно ГОСТ 12.4.068 [23].

7.8 Всі етапи технічного діагностування виконуються в світлий час доби, або при освітленні, що забезпечує якісне і безпечне виконання робіт.

7.9 Категорично забороняється для освітлення користуватися відкритим вогнем.

7.10 Перед початком і в ході випробувань проводиться ретельний огляд випробувального обладнання та засобів вимірювань.

7.11 Організація робіт з підготовки вагонів до випробувань повинна забезпечувати необхідну зручність і безпеку проведення всіх робіт, які передбачені програмою випробувань. Доступ сторонніх осіб в зону випробувань повинен бути заборонений.

7.12 Застосовувані при випробуваннях засоби вимірювань, прилади, обладнання, а також випробовуваний зразок не повинні чинити шкідливого впливу на навколишнє середовище.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових та модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)».

2 Порядок проведення комплексу діагностичних, ремонтних та реєстраційних операцій, спрямованих на продовження строку експлуатації вантажних вагонів (крім вантажних вагонів підприємств технологічного залізничного транспорту, що призначені для переміщення вантажів у виробничих цілях в межах території таких підприємств), установленого виробником, затверджено наказом Міністерства інфраструктури України від 30 листопада 2021 року № 647, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 28 грудня 2021 року за № 1677/37299.

3 ДСТУ 33211:2017 «Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей».

4 Альбом-справочник «Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм. 002И-2009 ПКБ ЦВ». ОАО «РЖД», филиал «Проектно-конструкторское бюро вагонного хозяйства».

5 Альбом моделей вантажних вагонів для визначення фактичних даних. АМ.НДКТІ.НВЦ.ВВ-2021, погоджено Департаментом вагонного господарства АТ «Укрзалізниця» від 16.12.2021 року.

6 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). ВНИИВ-ВНИИЖТ. М., 1983.

7 СТП 04-101:2021 «Вагони вантажні. Технічне обслуговування. Правила з підготовки вантажних вагонів до перевезень».

8 ЦВ-0063 «Правила виключення вантажних вагонів із інвентарного парку» затв. наказом Укрзалізниці від 11.05.2005 № 151 ЦЗ.

9 СТП 04-032:2020 «Вагони вантажні. Настанова з деповського ремонту».

10 СТП 04-016:2018 «Вагони вантажні залізничного транспорту колії 1520 (1524) мм. Настанова з капітального ремонту» затв. наказом АТ «Укрзалізниця» від 25.04.2019 № 282.

11 СТП 04-020:2018 «Вагони вантажні та контейнери. Правила ремонту при зварюванні та наплавленні» затв. наказом АТ «Укрзалізниця» від 13.06.2019 № 384.

12 РД 24.050.37-90 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества». Москва, ВНИИВ, 1990.

13 РД.24.050.37.95 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества». Москва, ГосНИИВ, 1995.

14 ТД.НДКТИ.НВЦ.УК-001. Технологічна інструкція з проведення технічного діагностування вантажних вагонів, м. Київ 2021.

15 Правила технічної експлуатації залізниць України, затв. наказом Міністерства транспорту та зв'язку України № 1014 від 01.10.2009.

16 НПАОП 0.00-4.12-05 Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. Затв. наказом Держнагляд охорони праці України від 26.01.2005 № 15.

17 ДСТУ EN ISO 9712 Неруйнівний контроль. Кваліфікація і сертифікація персоналу в галузі неруйнівного контролю.

18 НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

19 ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

20 ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

21 ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Затв. Постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 37.

22 ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Затв. Постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 42.

23 ГОСТ 12.4.068-79 ССБТ. Средства индивидуальной защиты дерматологические. Классификация и общие требования.

24 Технологія інформаційного взаємообміну при обробці технічних рішень при виконанні ремонтів вантажних вагонів з продовження терміну служби, УЗ, 2004.

ДОДАТОК Ж.

Форма технічного рішення щодо продовження строку експлуатації вагонів-думпкарів

ПОГОДЖЕНО

ЗАТВЕРДЖУЮ

Представник АТ «Укрзалізниця»

Керівник спеціалізованої організації

М.П.

М.П.

«___» _____ 20__ р.

«___» _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ РІШЕННЯ № _____

про продовження строку експлуатації вантажних вагонів,
що належать _____

(повне найменування підприємства-власника вагонів, код ЄДРПОУ)

і приписані до станції _____
(вказати станцію, залізницю, власника інфраструктури)

(повне найменування спеціалізованої організації)
на підставі обстеження _____ технічного стану, технічного діагностування, яке проведено
(дата обстеження)

фахівцем спеціалізованої організації _____
(власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

на коліях _____
(тип колій, власник)

та результатів проведених випробувань _____,
(дата випробувань)

призначає вид і обсяг необхідних ремонтних робіт і після їх виконання продовжує строк експлуатації наступним вантажним вагонам (___ од.):

№ п/п	Номер вагона	Модель вагона	Дата побудови	Вид призначеного ремонту	Номер проєктів, ТУ, керівництва, правил, стандартів, за якими відбувається ремонт	Термін продовження строку експлуатації (день, місяць, рік)	Рід вантажу, що перевозиться	Дата проведення останнього ремонту, його вид
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Строк служби, в тому числі строк експлуатації, змінних вузлів вантажних вагонів (деталей та вузлів автозчепних пристроїв, автогальмового обладнання та ходових частин) продовженню по цьому технічному рішенню не підлягає.

Роботи згідно з цим Технічним рішенням повинні бути виконані протягом 6 місяців.

Технічне рішення в частині продовження строку експлуатації набирає чинності з дати виконання призначеного ремонту, передачі в автоматизований банк даних парку вантажних вагонів повідомлення про приймання вагонів з ремонту та реєстрації продовження строку експлуатації в автоматизованому банку даних парку вантажних вагонів.

Перелік дефектів кузова, деталей та вузлів кузова, в тому числі рами, які необхідно усунути при виконанні робіт з продовженням строку експлуатації вантажних вагонів:

Номер вантажного вагона	Найменування деталі, вузла	Перелік дефектів, що підлягають усуненню

Відповідальний фахівець

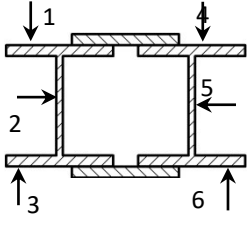
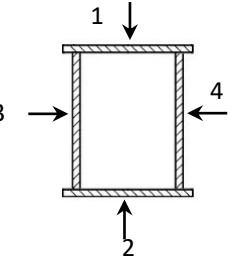
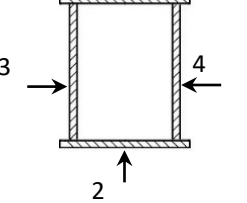
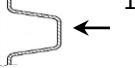
Ім'я ПРИЗВИЩЕ

ДОДАТОК К.

Форма карти контролю технічного стану НМК думпкара моделі – 31-638

№ вагона-думпкара

--	--	--	--	--	--	--	--

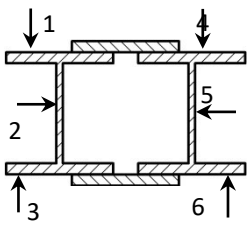
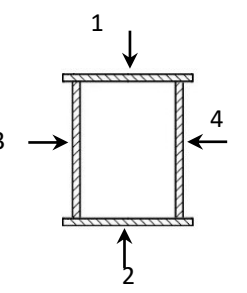
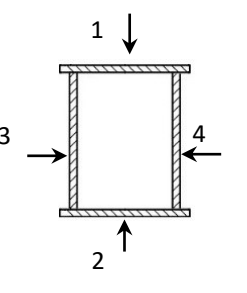
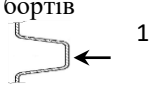
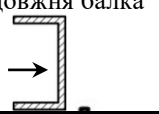


Модель 31-638	Позначення місць вимірювання	Точки вим-ня	Номін. зн-ня, мм	Фактичні значення, мм			Середнє значення, мм	
				1	2	3		
<u>Огляд виконали (П.І.Б., підпис):</u>	Хребтова балка	1	13,3					
		2	7,6					
Дата та час огляду		3	13,3					
Місце огляду (станція)		4	13,3					
Приписка вагону (філія, підрозділ)		5	7,6					
Завод-виробник		6	13,3					
Дата виробництва		Кронштейн циліндровий	1	14,0				
		2	10,0					
		3	9,0					
<u>Останні проведені ремонти</u>		4	9,0					
Деповський ремонт (Дата)		1	14,0					
Капітальний ремонт (Дата)		2	10,0					
		3	9,0					
		4	9,0					
<u>Технічне рішення</u>		Кронштейн циліндровий	1	14,0				
ДР	КР	Викл	2	12,0				
			3	8,0				
Умови проведення технічного діагностування		4	8,0					
Ультразвуковий товщиномір _____		1	14,0					
Люксметр _____		2	12,0					
Термогірометр _____		3	8,0					
Додаткове обладнання _____	4	8,0						
	Пояс поздовжніх бортів	1	5,0					
		1	5,0					
		Повздовжня балка	1	4,0				
Освітленість	Вологість	Температура	1	4,0				
люкс	°С	%	1	2,5				
ПРИМІТКИ:			Обшива торц. стіни	1	2,5			
			Обшива поздовжньої стіни:	1	2,5			
			1	2,5				

ДОДАТОК Л.

Форма карти контролю технічного стану НМК думпкара моделі – 31-656

№ вагона-думпкара

--	--	--	--	--	--	--	--

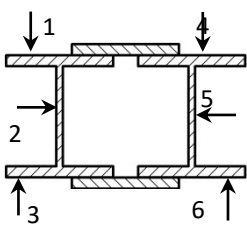
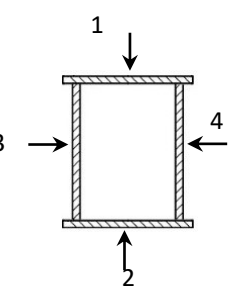
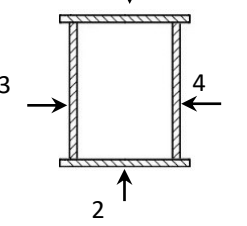
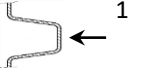
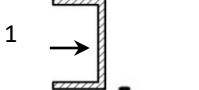


Модель 31-656			Позначення місць вимірювання	Точки вим-ня	Номін. зн-ня, мм	Фактичні значення, мм			Середнє значення, мм			
						1	2	3				
<u>Огляд виконали (П.І.Б., підпис):</u>			Хребтова балка 	1	16,5							
				2	11,0							
Дата та час огляду				3	16,5							
Місце огляду (станція)				4	16,5							
Приписка вагону (філія, підрозділ)				5	11,0							
Завод-виробник				6	16,5							
Дата виробництва			Кронштейн циліндровий 	1	10,0							
				2	12,0							
				3	12,0							
Останні проведені ремонти				4	10,0							
Деповський ремонт (Дата)				1	10,0							
Капітальний ремонт (Дата)				2	12,0							
Технічне рішення				3	12,0							
ДР	КР	Викл		4	12,0							
Умови проведення технічного діагностування			Кронштейн циліндровий 	1	14,0							
Ультразвуковий товщиномір _____				2	12,0							
Люксметр _____				3	8,0							
Термогігрометр _____				4	8,0							
Додаткове обладнання _____				1	14,0							
Освітленість				2	12,0							
Вологість				3	8,0							
Температура				4	8,0							
люкс	°С	%	Пояс поздовжніх бортів 	1	5,0							
				1	5,0							
ПРИМІТКИ:			Повздовжня балка 	1	5,0							
				1	5,0							
						Обшива торц. стіни 	1	4,0				
							1	4,0				
			Обшива поздовжньої стіни: 	1	4,0							
				1	4,0							

ДОДАТОК М.

Форма карти контролю технічного стану НМК думпкара моделі – 31-661

№ вагона-думпкара

--	--	--	--	--	--	--	--

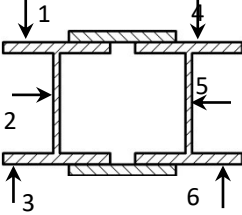
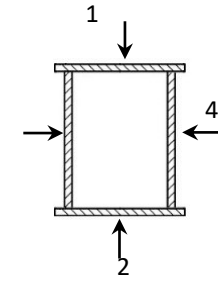
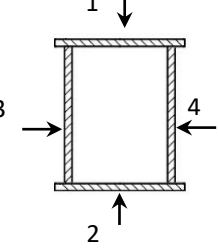
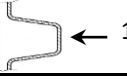
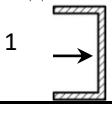


Модель 31-661	Позначення місць вимірювання	Точки вим-ня	Номін. зн-ня, мм	Фактичні значення, мм			Середнє значення, мм	
				1	2	3		
<u>Огляд виконали (П.І.Б., підпис):</u>	Хребтова балка 	1	16,5					
		2	11,0					
Дата та час огляду		3	16,5					
Місце огляду (станція)		4	16,5					
Приписка вагону (філія, підрозділ)		5	11,0					
Завод-виробник		6	16,5					
	Кронштейн циліндровий 	1	10,0					
Дата виробництва		2	12,0					
		3	12,0					
		4	10,0					
Останні проведені ремонти		1	10,0					
Деповський ремонт (Дата)		2	12,0					
Капітальний ремонт (Дата)		3	12,0					
		4	12,0					
	Кронштейн циліндровий 	1	10,0					
		2	12,0					
		3	8,0					
		4	8,0					
Умови проведення технічного діагностування		1	10,0					
Ультразвуковий товщиномір _____		2	12,0					
Люксметр _____		3	8,0					
		4	8,0					
	Пояс поздовжніх бортів 	1	5,0					
Термогірометр _____		1	5,0					
Додаткове обладнання _____	Повздовжня балка 	1	5,0					
		1	5,0					
Освітленість	Вологість	Температура	Обшива торц. стіни 	1	4,0			
люкс	°С	%		1	4,0			
ПРИМІТКИ:	Обшива поздовжньої стіни: 	1	4,0					
		1	4,0					

ДОДАТОК Н.

Форма карти контролю технічного стану НМК думпкара (загальна)

№ вагона-думпкара

--	--	--	--	--	--	--	--

Модель _____	Позначення місць вимірювання	Точки вим-ня	Номін. зн-ня, мм	Фактичні значення, мм			Середнє значення, мм
				1	2	3	
<u>Огляд виконали (П.І.Б., підпис):</u>	Хребтова балка 	1	13,3				
		2	7,6				
Дата та час огляду		3	13,3				
Місце огляду (станція)		4	13,3				
Приписка вагону (філія, підрозділ)		5	7,6				
Завод-виробник		6	13,3				
	Кронштейн циліндровий 	1	14,0				
Дата виробництва		2	10,0				
		3	9,0				
		4	9,0				
Останні проведені ремонти		1	14,0				
Деповський ремонт (Дата)		2	10,0				
Капітальний ремонт (Дата)		3	9,0				
		4	9,0				
	Кронштейн циліндровий 	1	14,0				
		2	12,0				
		3	8,0				
		4	8,0				
Умови проведення технічного діагностування		1	14,0				
Ультразвуковий товщиномір _____		2	12,0				
Люксметр _____		3	8,0				
		4	8,0				
	Середні пояс поздовжніх бортів 	1	5,0				
		1	5,0				
	Повздовжня балка 	1	5,0/4,0				
		1	5,0/4,0				
	Обшива торц. стіни 	1	2,5/4,0				
		1	2,5/4,0				
	Обшива поздовжньої стіни: 	1	2,5/4,0				
		1	2,5/4,0				
ПРИМІТКИ:							

ДОДАТОК П.

Список опублікованих наукових праць за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації та відповідають п.8 Постанови КМУ від 12 січня 2022 р. №44:

1. Koshel O., Sapronova S., Kara S. Revealing patterns in the stressed-strained state of load-bearing structures in special rolling stock to further improve them. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. № 4 (7 (124)). 30-42. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285894> (стаття у виданні *квартилію Q3* проіндексована в базі даних *Scopus*).

2. Кошель О.О., Сапронова С.Ю., Буліч Д.І., Ткаченко В.П. Визначення залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів) на основі результатів технічного діагностування та типових випробувань. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2020. №35. С. 14-23. URL: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-2> (наукове фахове видання України).

3. Буліч Д.І., Сапронова С.Ю., Ткаченко В.П., Кошель О.О. Дослідження корозійного зносу несучих металевих конструкцій вантажних вагонів під час проведення заходів щодо продовження терміну служби. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2020. №36. С. 43-53. URL: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-36-5> (наукове фахове видання України).

4. Сапронова С.Ю., Кошель О.О., Ткаченко В.П., Буліч Д.І., Радкевич М.М. Аналіз методів продовження терміну служби вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2019. №1(33). С. 118-129. URL: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2019-33-1-11> (наукове фахове видання України).

5. Кошель О.О., Сапронова С.Ю. Дослідження несправностей вагонів спеціального рухомого складу в експлуатації. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. № 4(268). Сєверодонецьк. 2021. С. 72-75. URL: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-72-75> (наукове фахове видання України).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Сапронова С.Ю., Кошель О.О., Стретович В.П., Скакун В.С. Оцінка залишкового ресурсу вантажних вагонів в процесі експлуатації з метою продовження призначеного терміну служби. *Збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» 16-17 листопада 2018 року*. Київ. 2018. С. 192-194.

7. Кошель О.О., Кара С.В., Гриндей О.О. (2022) Міцнісний аналіз нижньої рами думпкара (вагона-самоскида) з метою визначення можливості продовження терміну експлуатації. *Scientific Collection «InterConf»*, (111): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Scientific Community: Interdisciplinary Research» (June 6-8, 2022). Boston, USA; pp. 439-444. URL: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/637>.

8. Кошель О.О. Варіанти відновлення нижньої рами думпкара (вагона-самоскида) з метою подальшої можливості продовження терміну експлуатації. *Scientific Collection «InterConf»*, (113): with the Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference «Theory and Practice of Science: Key Aspects» (June 19-20, 2022) at Rome, Italy; pp. 431-436. URL: <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.06.2022.044>.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

9. Кошель О.О., Титорчук Р.І., Ліщинський О.В. Вдосконалення системи контролю технічного стану несучих конструкцій рухомого складу шляхом

застосування неруйнівних методів контролю. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2018. №1. С. 47-53.

10. Сапронова С.Ю., Буліч Д.І., Радкевич М.М., Кошель О.О. Оцінка працездатності несучих конструкцій вантажних вагонів з вичерпаним нормативним терміном служби. *Збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» 16-17 листопада 2018 року*. Київ. 2018. С. 188-192.

11. Буліч Д.І., Сапронова С.Ю., Кошель О.О., Ткаченко В.П. Оцінка показників надійності несучих конструкцій вантажних вагонів із залишковим ресурсом. *Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» 14-16 листопада 2019 року*. Лиман. 2019. С. 17-19.

12. Sapronova S., Koshel O., Bulich D., Tkachenko V. (2020). Determination of the residual operation time of the load-bearing metal structures of the hopper doser and dumping wagons (dumpers) on the basis of the technical diagnostics and type testing results. *Theses of international scientific and practical conference: Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects (5-10 May 2020, Batumi (Georgia))*. Severodonetsk: "Polygraph-Service". P. 101-105.

13. Кошель О.О. Методи визначення ринкової вартості майна підприємств Укрзалізниці в умовах реформування галузі. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту серія «Економіка і управління»*. Київ. 2012. №21-22 (1). С. 192-199. URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Znpdetut_eiu_2012_21-22\(1\)_26](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Znpdetut_eiu_2012_21-22(1)_26) (наукове фахове видання *України*).

14. Патент України на корисну модель №151144 (51) МПК (2006) B61D 9/08, B61D 17/00 B61D 17/04 (2006.01). Спосіб підвищення конструкційної міцності рами думпкара (вагона-самоскида) після виникнення тріщини. Кошель О. О., Петренко В. О., Кара С. В., (Україна); власник: Кошель О. О., Петренко В. О., Кара С. В.; заявка № и 2021 07626 від 28.12.2021; публ. 08.06.2022, Бюл. № 23. URL:<https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=281809>.

15. Науковий твір. Програма та методика випробувань вагонів, що використовуються в колійному господарстві (думпкар, хопер-дозатор, платформа) з метою визначення залишкового ресурсу. Малишко І.В., Кара С.В., Петренко В.О., Повисший В.М., Прокопенко П.М., Кошель О.О., Коломієць О.П., Бідун О.М. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір від 10 січня 2022 №110890.