

Міністерство освіти і науки України  
Державний університет інфраструктури та технологій

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ПЕТРЕНКО ВЯЧЕСЛАВ ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

УДК 656.225.073.41:633.1-048.35

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ПОКРАЩЕННЯ НЕСНОЇ ЗДАТНОСТІ РАМИ ВАГОНІВ-ХОПЕРІВ ДЛЯ  
ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНА ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА  
МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ**

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

В.О. Петренко

Науковий керівник

Іщенко Вадим Миколайович

кандидат технічних наук, доцент

**Київ – 2025**

## **АНОТАЦІЯ**

**Петренко В.О.** Покращення несної здатності рами вагонів-хоперів для перевезення зерна шляхом удосконалення конструкції та методів розрахунку. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт». – Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, 2025.

Дана дисертаційна робота присвячена дослідженню щодо покращення несної здатності рами вагонів-хоперів для перевезення зерна шляхом удосконалення конструкції та методів розрахунку і є актуальною для галузі залізничного транспорту в частині забезпечення несної здатності відповідного виду рухомого складу поза межами призначеного строку служби з врахуванням особливостей його експлуатації.

В дисертаційній роботі вирішується наукове завдання з удосконалення методів розрахунку та зміцнення рами вагонів-хоперів для перевезення зерна.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

#### **Вперше:**

- науково обґрунтовано застосування в математичній моделі прогнозування ресурсу несних конструкцій вантажних вагонів додаткового коригуючого коефіцієнту та визначено його кількісну величину, який враховує нерівномірність навантаження вагона-хопера для перевезення зерна з метою покращення несної здатності його рами;

- отримано залежності коефіцієнтів опору втомі рами вагона-хопера для перевезення зерна від прогнозованого терміну служби з врахуванням еквівалентних напружень, які виникають в рамі при нерівномірному навантаженні вагона, що дозволяє розробити конструкційні рішення з удосконалення несних конструкцій вагону;

- встановлено причину розвитку тріщин в рамі вагона-хопера для перевезення зерна, яка полягає у наднормативних напруженнях, що виникають в

місці з'єднання хребтової балки із заднім упором поглинального апарату через дію додаткових сил від нерівномірно розміщеного вантажу при розрахункових режимах I (розтяг), III (розтяг) та різку зміну жорсткості з'єднання, що дозволяє удосконалити методи розрахунку міцнісних якостей даного типу вантажного вагону.

#### **Удосконалено:**

- схеми прикладання сил розрахункових режимів I та III для оцінки напружено-деформованого стану рами вагона-хопера для перевезення зерна шляхом врахування додаткових сил від нерівномірного навантаження вагона, що дозволяє створити сучасні технічні рішення з удосконалення конструкції рами вагону;

- метод проєктування нових конструкційних рішень для несних конструкцій вантажних вагонів, який, на відміну від існуючих методів, враховує результати аналізу можливого накопичення напружень (пошкоджень) шляхом порівнювання нормальних та дотичних напружень з межами границею витривалості за дотичними напруженнями при пульсуючому циклі навантаження, що дозволяє підвищити ступінь обґрунтованості прийняття конструкційних рішень при модернізації вагону.

**Дістала подальшого розвитку** розрахункова модель оцінки напружено-деформованого стану рами вагона-хопера для перевезення зерна, яка враховує вплив нерівномірності навантаження вагона, що дозволяє створювати більш досконалі конструкційні рішення та суттєво підвищити ресурс несних конструкцій вагону.

#### **Практичне значення отриманих результатів:**

- нове конструкційне рішення щодо удосконалення рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна, яке захищене Державним патентом України на корисну модель №135500, на підставі якого розроблено конструкторську та технологічну документацію з модернізації вагонів-хоперів для перевезення зерна;

- уточнена математична модель прогнозування ресурсу несних конструкцій вантажних вагонів із застосуванням коригуючого коефіцієнту, яка враховує можливість нерівномірності навантаження вагона-хопера для перевезення зерна, використовується в практичній діяльності в АТ «Укрзалізниця» при випробуваннях та модернізації вагонів робочого парку залізниць;

- удосконалені методи розрахунку несних конструкцій в частині доопрацювання розрахункових режимів I та III для оцінки напружено-деформованого стану рами вагона-хопера для перевезення зерна, що враховують нерівномірність навантаження вагона, використовується в практичній діяльності філією «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» при виконанні дослідно-конструкторських робіт з удосконалення конструкцій вантажних вагонів;

- розроблену за участі автора Програму та методику технічного діагностування вагонів-хоперів для перевезення зерна з метою продовження терміну служби застосовано у практичній діяльності АТ «Укрзалізниця» при визначенні технічного стану вантажних вагонів.

### **Основні результати дисертаційної роботи впроваджено:**

- на вагоноремонтних підприємствах АТ «Укрзалізниця» при ремонті вагонів-хоперів для перевезення зерна моделі 19-752 використовується технологічна інструкція НДКТІ.19-752.00.00.000 ТІ, яка розроблена на підставі запропонованого автором конструкційного рішення, що підтверджується відповідним актом від 14.03.2025 філії «УЗ ВАГОН-СЕРВІС» (Додаток А).

- у філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» при розробці програм та методик технічного діагностування та контрольних випробувань вагонів-хоперів для перевезення зерна з метою продовження строку експлуатації, при оцінці напружено-деформованого стану рами вантажних вагонів, при проектуванні нових конструкційних рішень для несних конструкцій вантажних вагонів, що підтверджується актом від 10.03.2025 філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» (Додаток А);



- результати аналізу особливостей конструкції вагонів-хоперів для перевезення зерна, аналіз та класифікація несправностей несних конструкцій вагонів хоперів для перевезення зерна моделі 19-752, програма та методика технічного діагностування вагонів хоперів для перевезення зерна з метою продовження строку експлуатації 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 від 13.03.2025 (Додаток А).

Результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, доповідались, обговорювались та отримали схвалення на 7 наукових конференціях.

Відповідно до теми дисертаційної роботи опубліковано: Всього 20 наукових публікацій, з яких 4 наукові статті у вітчизняних виданнях, які входять до затвердженого МОН України переліку наукових фахових видань, 1 наукова стаття у виданні, що індексується в науко-метричній базі даних Scopus, 7 тез доповідей, які засвідчують апробацію результатів досліджень та додатково опубліковано 5 статей, що відображають результати роботи, також оформлено 1 патент України на корисну модель та 2 авторських права на твір, які доповнюють практичну новизну результатів роботи.

У ВСТУПІ обґрунтовано вибір теми дослідження та її актуальність, визначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету дослідження, описано об'єкт, предмет дослідження та методи досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів досліджень, розкрито суть особистого внеску автора в дисертаційну роботу, надано інформацію про апробацію та впровадження результатів досліджень, огляд публікацій, а також описана структура та обсяг дисертаційної роботи.

У РОЗДІЛІ 1 проведено аналіз наукової та технічної літератури за напрямком дисертаційного дослідження, виконано аналіз публікацій щодо

удосконалення конструкції та методів розрахунку рам вагонів-хоперів для перевезення зерна, підтверджено необхідність врахування особливостей експлуатації вагонів-хоперів для перевезення зерна з нерівномірним навантаженням для уточнення існуючих методів розрахунку. Розроблено структурну схему, по якій проведено аналіз конструктивних особливостей вагонів-хоперів для перевезення зерна. Встановлено, що моделі вагонів-хоперів 19-752 та 11-739 мають недоліки конструкції рами в місці з'єднання хребтової балки з заднім упором поглинального апарату. На підставі аналізу комерційних несправностей вантажних вагонів визначено особливість вагонів-хоперів для перевезення зерна, яка може впливати на їх несну здатність – можливість їх експлуатації з нерівномірним навантаженням вагона (зсув вантажу). В нормативній документації щодо утримання вантажних вагонів не передбачено окремих вимог, які б унеможливили експлуатацію вагонів-хоперів для перевезення зерна з нерівномірним навантаженням. Враховуючи особливості експлуатації вагонів-хоперів для перевезення зерна, рівень завантаженості яких не є однаковим, внаслідок порушення вимог щодо завантаження, а також різних рівнів густини зерна та можливості його зсуву, доцільно при проєктуванні нових конструкційних рішень несних конструкцій вагонів-хоперів для перевезення зерна врахувати нерівномірність міжвізкового статичного навантаження на рівні 10%.

На підставі проведеного аналізу автором висунуто наступну гіпотезу: відмови несних конструкцій вагонів-хоперів для перевезення зерна пов'язані з недосконалою конструкцією місця з'єднання хребтової балки рами з заднім упором та надмірними напруженнями, які виникають внаслідок їх експлуатації з нерівномірним навантаженням.

У РОЗДІЛІ 2 на підставі аналізу парку вантажних вагонів встановлено, що модель вагонів-хоперів для перевезення зерна є найбільш поширеною (95% від всього парку вагонів-хоперів), для визначення впливу недосконалості конструкції несних конструкцій (рами кузова) вагонів-хоперів для перевезення зерна на їх технічний стан проведено системний аналіз статистичних даних щодо

відмов в експлуатації. Встановлено, що системною відмовою рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 є тріщина хребтової балки в місці її з'єднання з заднім упором поглинального апарату. Разом з цим, з метою визначення впливу нерівномірного навантаження вагонів-хоперів для перевезення зерна на несну здатність рами виконано оцінку її напружено деформованого стану та розрахунок прогнозного ресурсу з врахуванням дії додаткових сил від нерівномірного навантаження вагона. Таким чином, було уточнено розрахункові режими I та III для оцінки напружено-деформованого стану рами вагона-хопера з врахуванням нерівномірності його навантаження та теоретично обґрунтовано застосування коригуючого коефіцієнту для прогнозування ресурсу. Встановлено, що нерівномірно розміщений вантаж при режимах I (розтяг) та III (розтяг) є причиною виникнення втомних тріщин в зоні заклепкового з'єднання через різку зміну жорсткості цього з'єднання.

У РОЗДІЛІ 3 проведено роботи з пошуку та визначення оптимального конструкційного рішення щодо удосконалення конструкції рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 з метою покращення несної здатності. Для цього було розроблено відповідну структурну схему досліджень з застосуванням методу проєктування циклічної ітерації та врахуванням результатів аналізу можливого накопичення напружень шляхом порівнювання нормальних та дотичних напружень з границею витривалості за дотичними напруженнями при пульсуючому циклі. За результатами досліджень було визначено оптимальне конструкційне рішення щодо удосконалення рами вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752, яка полягає у застосуванні накладки змінного перерізу в місці з'єднання хребтової балки з заднім упором поглинального апарату. За результатами теоретичного розрахунку прогнозування ресурсу несних конструкцій вантажних вагонів підтверджено відповідність обраного конструкційного рішення встановленим вимогам з врахуванням коригуючого коефіцієнту, що передбачає нерівномірність навантаження.

На основі запропонованого конструкційного рішення розроблено конструкторську та технологічну документацію (проект модернізації) для виготовлення дослідного зразка.

У РОЗІДІ 4 за результатами випробування «скидання з клинів» визначено рівні напружень, які виникають при імітації різних видів коливань, дані результати були враховані при розрахунках динамічної складової напружень для визначення показника опору втомі (прогнозування ресурсу).

За результатами проведених ресурсних випробувань підтверджено можливість подальшої експлуатації рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 що найменше на 7 років. Враховуючи сходиність результатів теоретичних та експериментальних досліджень методом екстраполяції було визначено коефіцієнти опору втомі для зони модернізації та шворневої балки з розрахунку експлуатації 40 та 45 років.

Таким чином, було підтверджено експериментально доцільність застосування коригуючого коефіцієнту для формули визначення запасу опору втомі (математична модель прогнозування ресурсу) та обґрунтовано ефективність запропонованого конструкційного рішення для удосконалення конструкції рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752.

Для підтвердження безвідмовності запропонованого конструкційного рішення щодо удосконалення конструкції рами кузова вагона моделі 19-752 в експлуатації проведена підконтрольна експлуатація дослідної партії 10 вагонів з модернізованими рамами протягом 4 місяців за авторською програмою та методикою. Результати підконтрольної експлуатації успішні, дефектів рами кузова в ході підконтрольної експлуатації не виявлено. Окрім цього, було проаналізовано частоту виникнення відмов рам кузовів дослідної партії вагонів з модернізованими рамами (4 роки до модернізації рам вагонів та 3 роки після модернізації рам вагонів). Отримані результати демонструють зменшення загальної кількості несправностей серед вагонів, що досліджувалися, після модернізації.

Оцінено прогностичний економічний ефект від впровадження результатів дисертаційного дослідження шляхом порівняння вартості модернізації рами вагонів-хоперів для перевезення зерна та вартості нових вагонів.

ВИСНОВКИ описані підсумки результатів досліджень щодо кожного розділу дисертаційної роботи та приведено загальний висновок. Мета роботи була досягнута з застосуванням відповідних методів досліджень. Результати досліджень містять наукову новизну, яка може бути застосована при оцінці напружено-деформованого стану несних конструкцій вагонів-хоперів для перевезення зерна та прогнозування їх ресурсу з врахуванням особливостей їх умов експлуатації з нерівномірно розміщеним вантажем, отримані практичні результати дослідження впроваджені в галузі залізничного транспорту.

**Ключові слова:** залізничний транспорт, рухомий склад, вантажні вагони, вагон-хопер, несні конструкції, несна здатність, рама, діагностування, системний аналіз, тріщина, відмова, зміщення вантажу, напруження (еквівалентні напруження), напружено-деформований стан, модель, метод, алгоритм розрахунку, ресурс, термін служби, модернізація, випробування.

## ABSTRACT

*Petrenko V.O.* Improving the load-bearing capacity of the frame of hopper cars for grain transportation by improving the design and calculation methods. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy in Specialty 273 «Railway Transport». – State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, 2025

This dissertation is dedicated to the study of improving the load-bearing capacity of hopper wagon frames for grain transportation by optimizing the design and calculation methods. It is highly relevant to the railway transport industry in ensuring the load-bearing capacity of this type of rolling stock beyond its designated service life, considering the specific operational conditions.

In this dissertation, the scientific task of improving the methods of calculation and strengthening of the frame of hopper cars for grain transportation is solved.

### **Scientific novelty of the obtained results:**

#### **For the first time:**

- the application of an additional correction coefficient in the mathematical model for predicting the resource of load-bearing structures of freight wagons has been scientifically substantiated, and its quantitative value has been determined. This coefficient accounts for the uneven loading of the grain hopper wagon to enhance the load-bearing capacity of its frame;
- dependencies of the fatigue resistance coefficients of the grain hopper wagon frame on the predicted service life have been obtained, considering the equivalent stresses arising in the frame due to uneven loading. This allows for the development of design solutions to improve the load-bearing structures of the wagon;
- the reason for the development of cracks in the frame of a hopper wagon for grain transportation is determined, which consists in excessive stresses arising at the junction of the backbone beam with the rear stop of the absorber due to the action of additional forces from unevenly placed cargo in design modes I (tension), III (tension) and a sharp change in the rigidity of the connection, which allows to improve the methods for calculating the strength properties of this type of freight wagon.

#### **Improvements made:**

- the schemes of design modes I and III for assessing the stress-strain state of the hopper car frame for grain transportation by taking into account additional forces from uneven loading of the car, which allows creating modern technical solutions to improve the design of the car frame;
- the design methodology for new structural solutions of load-bearing freight wagon structures has been improved. Unlike existing methods, it considers the accumulation of stresses (damage) by comparing normal and shear stresses with endurance limits under a pulsating load cycle, thus increasing the justification level for design decisions during wagon modernization.

The computational model for assessing the stress-strain state of the grain hopper wagon frame has been further developed by considering the impact of uneven loading.

This allows for the creation of more advanced structural solutions and significantly extends the service life of load-bearing wagon structures.

**Practical significance of the obtained results:**

- a new structural solution for improving the body frame of the grain hopper wagon, protected by Ukrainian State Patent No. 135500 for a utility model, has been developed. Based on this, design and technological documentation for the modernization of grain hopper wagons has been created;
- the refined mathematical model for predicting the resource of load-bearing structures of freight wagons using a correction coefficient, which accounts for the possibility of uneven loading of the grain hopper wagon, is applied in practice at JSC "Ukrzaliznytsia" for testing and modernizing railway wagons;
- improved methods for calculating load-bearing structures, specifically refining calculation modes I and III to assess the stress-strain state of the grain hopper wagon frame considering uneven loading, are utilized by the "NDCTI" branch of JSC "Ukrzaliznytsia" in research and development projects for improving freight wagon designs;
- a program and methodology for technical diagnostics of grain hopper wagons to extend their service life, developed with the author's participation, have been implemented in JSC "Ukrzaliznytsia" to assess the technical condition of freight wagons.

**Implementation of dissertation results:**

- at wagon repair enterprises of JSC "Ukrzaliznytsia," the technological instruction NDCTI.19-752.00.00.000 TI, developed based on the proposed structural solution, is used for repairing grain hopper wagons of model 19-752. This is confirmed by an official act dated 14.03.2025 from the "UZ WAGON-SERVICE" branch (Appendix A).
- at the "NDCTI" branch of JSC "Ukrzaliznytsia," the dissertation results are applied in developing programs and methodologies for technical diagnostics and control tests of grain hopper wagons to extend their operational life, in assessing the stress-strain state of freight wagon frames, and in designing new structural solutions

for load-bearing freight wagon structures. This is confirmed by an act dated 10.03.2025 from the "NDCTI" branch of JSC "Ukrzaliznytsia" (Appendix A).

- the analysis of grain hopper wagon structures, classification of structural defects in grain hopper wagons of model 19-752, and the program and methodology for technical diagnostics of grain hopper wagons to extend their operational life are utilized in the educational process at the State University of Infrastructure and Technologies. This is part of the lecture course for the academic component "Reliability and Technical Diagnostics of Freight Wagons" at the Department of "Wagons and Wagon Facilities" for the preparation of master's degree students in specialty 273 "Railway Transport." This is confirmed by an act dated 13.03.2025 (Appendix A).

### **Publications**

In connection with the dissertation topic, the following works have been published:

A total of 20 scientific publications have been published, including 4 scientific articles in domestic journals listed in the approved list of scientific specialized publications by the Ministry of Education and Science of Ukraine, 1 scientific article in a journal indexed in the Scopus database, 7 conference abstracts confirming the validation of research results, and an additional 5 articles reflecting the research outcomes. Furthermore, 1 Ukrainian utility model patent and 2 copyrights for works have been registered, supplementing the practical novelty of the research results.

### **Structure of the Dissertation**

In the INTRODUCTION, the choice of the research topic and its relevance are substantiated, the relationship of the work with scientific programs, plans, and themes is determined, the research objective is formulated, and the object, subject, and methods of research are described. The scientific novelty and practical significance of the obtained research results are defined, the essence of the author's personal contribution to the dissertation work is revealed, information on the testing and implementation of the research results is provided, a review of publications is presented, as well as a description of the structure and volume of the dissertation work.



In SECTION 1, an analysis of scientific and technical literature related to the dissertation research direction is conducted, and an analysis of publications on the improvement of the design and calculation methods of hopper car frames for grain transportation is performed. The necessity of considering the specific operational features of grain hopper cars with uneven loading to refine the existing calculation methods is confirmed. A structural scheme is developed, according to which an analysis of the design features of grain hopper cars is conducted. It is established that the hopper car models 19-752 and 11-739 have design deficiencies in the frame at the connection point of the spine beam with the rear stop of the absorption device. Based on the analysis of commercial failures of freight cars, a specific feature of grain hopper cars that may affect their load-bearing capacity is identified—the possibility of their operation with uneven loading (cargo shift). The regulatory documentation for the maintenance of freight cars does not provide specific requirements to prevent the operation of grain hopper cars with uneven loading. Considering the operational features of grain hopper cars, where the loading level is not uniform due to non-compliance with loading requirements and different grain densities, it is advisable to account for the unevenness of the inter-bogie static load at the level of 10% when designing new structural solutions for the load-bearing structures of grain hopper cars.

Based on the conducted analysis, the author proposes the following hypothesis: failures of the load-bearing structures of grain hopper cars are related to the imperfect design of the connection point of the spine beam with the rear stop and excessive stresses arising from their operation with uneven loading.

In SECTION 2, based on an analysis of the freight car fleet, it is determined that the grain hopper car model is the most widespread (95% of the total fleet of hopper cars). To determine the impact of structural imperfections in the load-bearing structures (body frame) of grain hopper cars on their technical condition, a systematic analysis of statistical data on operational failures is conducted. It is established that the systematic failure of the body frame of the 19-752 grain hopper car model is a crack in the spine beam at its connection with the rear stop of the absorption device. Additionally, to assess the impact of uneven loading on the load-bearing capacity of the frame, an

evaluation of its stress-strain state and a forecast resource calculation considering the additional forces from uneven loading are performed. As a result, calculation modes I and III for assessing the stress-strain state of the hopper car frame, considering loading unevenness, are refined, and the theoretical justification for applying a correction coefficient for resource prediction is provided. It is established that unevenly distributed cargo in modes I (tension) and III (tension) causes fatigue cracks in the riveted joint area due to the abrupt change in stiffness at this connection.

In SECTION 3, research is conducted to identify and determine the optimal structural solution for improving the body frame design of the 19-752 grain hopper car model to enhance its load-bearing capacity. To achieve this, an appropriate structural research scheme is developed using the cyclic iteration design method, taking into account the results of stress accumulation analysis by comparing normal and shear stresses with the endurance limit for shear stresses under a pulsating cycle. Based on the research results, the optimal structural solution for improving the 19-752 grain hopper car frame is determined—applying a variable cross-section reinforcement plate at the connection point of the spine beam with the rear stop of the absorption device. Theoretical resource prediction calculations confirm the compliance of the chosen structural solution with established requirements, considering the correction coefficient that accounts for loading unevenness.

Based on the proposed structural solution, design and technological documentation (modernization project) for manufacturing a prototype is developed.

In SECTION 4, based on the results of the "wedge drop" tests, the stress levels arising from the simulation of various vibration types are determined, and these results are considered in the calculations of the dynamic stress component to determine the fatigue resistance index (resource prediction). The results of resource tests confirm the feasibility of further operation of the 19-752 grain hopper car body frame for at least seven years. Considering the convergence of theoretical and experimental research results, fatigue resistance coefficients for the modernization zone and the pivot beam were determined using extrapolation for 40 and 45 years of operation.

Thus, the experimental justification for applying a correction coefficient in the fatigue resistance margin determination formula (mathematical resource prediction model) is confirmed, and the effectiveness of the proposed structural solution for improving the 19-752 grain hopper car body frame design is substantiated.

To confirm the reliability of the proposed structural solution for improving the 19-752 model car body frame in operation, controlled operation of a test batch of 10 cars with modernized frames was conducted over four months according to the author's program and methodology. The results of the controlled operation were successful, with no defects found in the body frame during the controlled operation period. Additionally, the frequency of frame body failures in the test batch of cars with modernized frames was analyzed (four years before modernization and three years after modernization). The results demonstrate a reduction in the total number of failures among the studied cars after modernization.

The estimated economic effect of implementing the dissertation research results is assessed by comparing the cost of modernizing the frames of grain hopper cars with the cost of new cars.

The CONCLUSIONS summarize the research results for each section of the dissertation and provide an overall conclusion. The research objective was achieved using appropriate research methods. The research results contain scientific novelty, which can be applied in the stress-strain state of load-bearing structures of grain hopper cars and predicting their resource considering the specific operational conditions with unevenly distributed cargo. The obtained practical research results have been implemented in the railway transport industry.

**Keywords:** railway transport, rolling stock, freight cars, hopper car, load-bearing structures, load-bearing capacity, frame, diagnostics, system analysis, crack, failure, shifting cargo, stresses (equivalent stresses), stress-strain state, model, method, calculation algorithm, service life, modernization, testing.

## 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. Petrenko V. O., Ishchenko V. M. Strengthening Riveted Joints of the Grain Rail Car Backstop. *Strength of Materials*. 2023. Vol. 55, № 6. 1192-1200. URL: <https://doi.org/10.1007/s11223-024-00609-9> (стаття у виданні квартилю Q4 проіндексована в базі даних Scopus/Web of Science).

2. Петренко В.О. Аналіз відмов модернізованих рам вагонів для перевезення зерна моделі 19-752. *Збірника наукових праць "Рухомий склад"*. Кременчук. № 25. С. 144-151. URL: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2022-25-144-152> (наукове фахове видання України).

3. Петренко В.О., Кельріх М. Б., Прокопенко П. М., Кара С. В. Оцінка несівної здатності модернізованої рами вагона-зерновоза. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2022. № 3. С. 4-10. URL: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2022-144-3-04-10> (наукове фахове видання України).

4. Прокопенко П.М., Петренко В.О., Кара С.В. Дослідження причин виникнення дефектів в базовій конструкції вагона-зерновоза після тривалої експлуатації. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2023. № 3, С. 49-60. URL: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2023-148-3-49-60> (наукове фахове видання України).

5. Петренко В. О., Гордієнко Т. М. Експлуатаційні відмови вагонів-хоперів для перевезення зерна. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2020. №1 С. 40-49. URL: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2020-134-1-40-49>. (наукове фахове видання України).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Петренко В.О., Яценко Л.Ф. Дослідження заклепкового з'єднання хребтової балки із заднім упором поглинаючого апарату вагона – зерновоза. 82 *Міжнародна науково-практична конференція "Проблеми та перспективи*

розвитку залізничного транспорту", (20-21 квітня 2023). м. Дніпро С. 298 – 299.  
URL: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/16951>.

7. Кара С.В., Петренко В.О., Прокопенко П.М. Проведення періодичних контрольних випробувань вантажних вагонів з метою підвищення ефективності їх використання. *Science, society, education: topical issues and development prospects. Abstracts of VII International Scientific and Practical Conference (Kharkiv, Ukraine 7-9 June 2020)*. P. 328-330. URL: [https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2020/06/SCIENCE-SOCIETY-EDUCATION\\_TOPICAL-ISSUES-AND-DEVELOPMENT-PROSPECTS\\_7-9.06.20.pdf](https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2020/06/SCIENCE-SOCIETY-EDUCATION_TOPICAL-ISSUES-AND-DEVELOPMENT-PROSPECTS_7-9.06.20.pdf).

8. Kara S., Petrenko V., Fomin O., Prokopenko P. Diagnostic modules for railway freight cars load-bearing structures. *Proceedings of XI International Scientific and Practical Conference. "Actual trends of modern scientific research". Munich, Germany 6-8 June 2021*. С.174-179. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/06/ACTUAL-TRENDS-OF-MODERN-SCIENTIFIC-RESEARCH-6-8.06.2021.pdf>.

9. Петренко В.О. Обґрунтування ефективності модернізації рами вагона-зерновоза шляхом теоретично-експериментальних досліджень. *Збірник тез Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, молодих вчених та викладачів (4 – 6 квітня 2023 року)*. м. Київ. С. 564 – 565.  
URL: <https://duit.edu.ua/research-activities/conferences/all-ukrainian-scientific-practical-conferences/>

10. Петренко В.О., Іщенко В.М. Аналіз відмов вагонів-хоперів для перевезення зерна. *Збірник тез II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Виклики та перспективи розвитку транспортної інфраструктури України» (3 – 5 квітня 2024 року)*. м. Київ. С. 665 – 666. URL: <https://duit.edu.ua/research-activities/conferences/all-ukrainian-scientific-practical-conferences/>

11. Петренко В.О. Проєкт модернізації хребтових балок вагонів-зерновозів моделі 19-752 для продовження їх терміну служби. *II Міжнародна конференція RAIL EXPO "Вагонобудування та ремонт рухомого складу в Україні" (16 – 18*

жовтня 2018 року). м. Київ. URL: <https://railexpoua.com/vahonobuduvannia-17-10-2018/>

12. Петренко В.О. Застосування методів неруйнівного контролю при проведенні робіт з продовження строку служби несучих конструкцій рухомого складу залізничного транспорту. Системний аналіз результатів. 78 Міжнародна науково-практична конференція "Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (17 – 18 травня 2018 року). м. Дніпро. С. 62-63. URL: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/10501>

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

13. Кара С.В., Петренко В.О., Прокопенко П.М., Гордієнко Т.М. Дослідження несучих конструкцій тепловозів серії ЧМЕЗ та визначення можливості продовження терміну їх експлуатації. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2019. №3. С. 9 – 13. URL: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2019-131-2-09-13>.

14. Петренко В. О., Серняєв О. Г., Браславець Ю. В. Усунення дефектів несучих конструкцій тягового рухомого складу залізничного транспорту методом зварювання згідно діючих правил ремонту. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2016. №3 – 4. С. 88-93. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU\\_2016\\_3-4\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2016_3-4_15).

15. Петренко В. О., Буліч Д. І. Оцінка стану несучих конструкцій вантажних вагонів з продовженим терміном строку служби. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2017. №1. С. 48-52. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU\\_2017\\_1\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2017_1_10).

16. Петренко В. О., Серняєв О. Г., Браславець Ю. В. Нові підходи до ремонту зварюванням рухомого складу залізниць України. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2017. №4. С. 58-67. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU\\_2017\\_4\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2017_4_10).

17. Петренко В. О., Буліч Д. І. Дослідження можливостей відновлення хребтової балки вантажних вагонів в районі шворневого вузла на основі вагона-

зерновоза моделі 19-752. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2018. №4. С. 27-36. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU\\_2018\\_4\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2018_4_6)

18. Патент України на корисну модель №135500 (51) МПК (2006) B61D 17/00 B61D 17/04 (2006.01). Спосіб підвищення конструкційної міцності хребтової балки вантажного вагона. Зайцев В.О.; Петренко В.О.; Браславець Ю.В.; Кара С.В.; Прокопенко П.М.; Кошель О.О.; Яценко Л.Ф.; публ. 10.07.2019, Бюл. № 13. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=259991>

19. Науковий твір. Програма та методика ресурсних випробувань вагона-хопера модернізованого для зерна. Кара С.В., Малишко І.В., Коломієць О.П., Ігнатенко В.С., Бідун О.М., Петренко В.О. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір від 10 серпня 2020 №98806.

20. Науковий твір. Програма та методика експлуатаційних випробувань модернізованого вагона-хопера моделі 19-752. Малишко І.В., Коломієць О.П., Ігнатенко В.С., Прокопенко П.М., Бідун О.М., Петренко В.О., Кошель О.О., Буліч Д.І. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір від 10 серпня 2020 №98821.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	24
1.1 Терміни та визначення пов'язані з темою дисертаційної роботи .....	35
1.2 Аналіз наукових публікацій щодо удосконалення конструкції та методів розрахунку рам вагонів-хоперів для перевезення зерна .....	37
1.3 Дослідження та порівняльний аналіз особливостей конструкції вагонів-хоперів для перевезення зерна .....	40
1.3.1 Вагони-хопери для перевезення зерна моделей 19-752 та 11-739 .....	41
1.3.2 Вагон-хопер для перевезення зерна моделі 19-7016 .....	47
1.3.3 Вагон-хопер для перевезення зерна моделі 19-7053 .....	50
1.4 Аналіз особливостей умов експлуатації вагонів-хоперів для перевезення зерна та основних положень нормативних документів щодо їх утримання .....	55
1.5 Формування гіпотези .....	64
1.6 Висновки до розділу 1 .....	64
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ТА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РАМИ ВАГОНІВ-ХОПЕРІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНА .....	67
2.1 Аналіз відмов парку вагонів-хоперів для перевезення зерна .....	67
2.2 Системний аналіз технічного стану рам кузовів вагонів-хоперів для перевезення зерна .....	78
2.3 Особливості розрахунків несних систем вагона-хопера для перевезення зерна .....	88
2.3.1 Розрахунок на міцність при I розрахунковому режимі .....	89
2.3.2 Розрахунок на міцність при II розрахунковому режимі .....	92
2.3.3 Розрахунок на міцність при III розрахунковому режимі .....	93
2.4 Побудова розрахункової моделі для оцінки напружено-деформованого стану рами вагона-хопера для перевезення зерна .....	98
2.4.1 Опис математичного апарату для оцінки напружено-деформованого стану рами кузова .....	98
2.4.2 Розробка розрахункової моделі для оцінки напружено-деформованого стану рами вагона-хопера для перевезення зерна .....	106



2.4.3 Особливості навантаження розрахункової моделі рами вагона-хопера для перевезення зерна .....	110
2.5 Оцінка напружено-деформованого стану рами вагона-хопера для перевезення зерна.....	114
2.5.1 Результати розрахунку рами вагона-хопера для перевезення зерна від нормативних навантажень.....	114
2.5.2 Результати розрахунку заклепкового з'єднання заднього упору поглинального апарату .....	121
2.5.3 Результати розрахунку рами вагона-хопера для перевезення зерна від нормативних навантажень при зміщеному положенні вантажу в кузові.....	124
2.5.4 Результати розрахунку втомних пошкоджень хребтової балки в зоні заклепкового з'єднання.....	134
2.5.5 Розрахунок показника опору втомі з урахуванням додаткових навантажень .....	138
Висновки до розділу 2 .....	145
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ РАМИ ВАГОНА-ХОПЕРА ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНА .....	148
3.1 Структурна схема досліджень щодо визначення оптимального конструкційного рішення .....	148
3.2 Розробка заходів щодо усунення факторів, що призводять до руйнування хребтової балки.....	150
3.3 Визначення оптимального конструкційного рішення щодо удосконалення конструкції рами вагона-хопера для перевезення зерна .....	152
3.3.1 Конструкційне рішення за першим варіантом .....	153
3.3.2 Конструкційне рішення за другим варіантом .....	157
3.3.3 Конструкційне рішення за третім варіантом.....	160
3.3.4 Конструкційне рішення за четвертим варіантом.....	162
3.4 Висновки до розділу 3 .....	169
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РАМИ ВАГОНА-ХОПЕРА ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНА УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ .....	171
4.1 Підготовка дослідного зразка до контрольних випробувань .....	172
4.2 Проведення контрольних випробувань та визначення показників для прогнозування ресурсу .....	176

4.2.1 Випробування скидання з клинів .....	178
4.2.2 Ресурсні випробування на співудар .....	185
4.3 Експлуатаційні випробування .....	203
4.4 Оцінка прогностного економічного ефекту від практичного впровадження результатів роботи .....	209
Висновки до розділу 4 .....	210
ВИСНОВКИ.....	213
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	217
ДОДАТОК А. Акти впровадження .....	229
ДОДАТОК Б. Технологічна інструкція. Модернізація вагонів-зерновозів моделі 19-752 з відновленням несучої спроможності рами кузова .....	234
ДОДАТОК В. Криті хопери для зерна, що вичерпали призначений заводом- виробником термін служби. Програма та методика технічного діагностування .....	262
ДОДАТОК Г. Програма та методика підконтрольної експлуатації. Модернізований вагон-хопер для перевезення зерна моделі 19-752.....	308
ДОДАТОК Д. Список опублікованих наукових праць за темою дисертації .....	326

## **СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

АТ – Акціонерне товариство

УЗ – АТ «Укрзалізниця»

СТП – Стандарт підприємства

ГІОЦ – Філія «Головний інформаційно-обчислювальний центр»

АТ «Укрзалізниця»

СЕМ – Скінченно-елементна модель

Зерновоз (вагон-зерновоз) – вагон-хопер для перевезення зерна

ПМ – Програма та методика

НДКТІ – Філія «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця»

ДВРЗ – філія «Дарницький вагоноремонтний завод» АТ «Укрзалізниця»

ВРП – Вагоноремонтне підприємство

## ВСТУП

### **Обґрунтування вибору теми дослідження.**

Україна є одним із лідерів в світі серед експортерів аграрної продукції. Основними продуктами українського аграрного експорту традиційно є зернові культури. В умовах воєнного стану особливе значення для експорту є логістика, яка забезпечується певними видами транспорту. Для перевезення зернових культур переважно використовується залізничний транспорт з використанням вагонів-хоперів для перевезення зерна (вагонів-зерновозів).

Згідно з даним довідки ГЮЦ УЗ 2066 [1] в Україні налічується 31 319 вагонів-зерновозів з них 11 634 вагонів власності АТ "Укрзалізниця". Середній відсоток зносу вагонів-зерновозів АТ "Укрзалізниця" становить 98,47 %. Весь цей відсоток вантажних вагонів вичерпав свій призначений термін служби [2], але при цьому, для подальшої безпечної експлуатації, ці вагони повинні забезпечувати необхідний рівень безпеки [3]. Оскільки швидкість оновлення парку вантажних вагонів не дає змоги відмовитись від вантажних вагонів з вичерпаним терміном служби, на законодавчому рівні застосовуються процедури продовження строку експлуатації вантажних вагонів [4]. Зазначені процедури передбачають виконання комплексу заходів з технічного діагностування несних конструкцій вантажних вагонів, визначення залишкового ресурсу та можливості їх подальшої безпечної експлуатації. Під час проведення таких заходів фахівцями філії «НДКТІ» АТ "Укрзалізниця" було виявлено вагони-хопери для перевезення зерна з руйнуваннями хребтових балок в місцях клепаного з'єднання з заднім упором поглинального апарату [5]. В середньому кожен сьомий вагон-хопер для перевезення зерна, що діагностується має відповідні пошкодження рами. Згідно діючої нормативної документації [4] вантажні вагони з виявленими пошкодженнями хребтової балки підлягають виключенню з інвентарного парку, а ремонт дефектів в місці з'єднання хребтової балки рами вагона з заднім упором непередбачений. Зменшення наявного парку вагонів-хоперів для перевезення зерна АТ «Укрзалізниця» негативно вплине на

забезпечення зернових перевезень. Враховуючи те, що пошкодження хребтових балок носять системний характер, виникає необхідність проведення теоретичних та експериментальних досліджень щодо удосконалення конструкції рами вагонів-хоперів для перевезення зерна з покращенням несної здатності [5] враховуючи недоліки заводської конструкції та особливості умов експлуатації таких вагонів в методах розрахунку.

Дана дисертаційна робота присвячена дослідженню щодо покращення несної здатності рами вагонів-хоперів для перевезення зерна шляхом удосконалення конструкції та методів розрахунку. Робота є актуальною для залізничної галузі в частині можливості удосконалення конструкції рами вагонів-хоперів для перевезення зерна з покращенням їх несної здатності враховуючи умови експлуатації даного виду рухомого складу, що забезпечить їх необхідний рівень безпеки.

Дослідження по цій роботі виконувалась в умовах акредитованої випробувальної лабораторії філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» в рамках Плану науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт АТ «Укрзалізниця» за темою «Розробка проекту модернізації вагонів-зерновозів моделі 19-752 з відновленням несучої спроможності рами кузова» в три етапи, автор дисертації безпосередньо приймав участь у виконанні зазначеної науково-дослідної роботи, а також проводив власні додаткові дослідження.

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

Дисертаційна робота базується на системному підході до вирішення наукового завдання щодо удосконалення методів розрахунку та конструкції рами вагонів-хоперів для перевезення зерна з метою покращення несної здатності та забезпечення їх подальшої безпечної експлуатації за межами призначеного строку служби.

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), установленого 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.

Дисертаційні дослідження проведенні в рамках науково-дослідної роботи за темою: «Розробка проекту модернізації вагонів-зерновозів моделі 19-752 з відновленням несучої спроможності рами кузова» (держ. реєстр. №0121U114408), що виконувалася в три етапи згідно з планом Науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт та розроблення нормативної документації АТ «Укрзалізниця» у період 2017-2019 років; розробки програми та методики ресурсних випробувань вагона-хопера модернізованого для зерна (Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір від 10 серпня 2020 №98806); розробки програми та методики експлуатаційних випробувань модернізованого вагона-хопера моделі 19-752 (Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір від 10 серпня 2020 №98821). Автор дисертаційного дослідження приймав безпосередню участь в проведенні зазначених робіт і є виконавцем та автором науково-технічних звітів цих робіт, що підтверджується відповідною довідкою. Також в ініціативному порядку автором проводились додаткові власні дослідження за тематикою дисертації.

### **Гіпотеза дослідження.**

У дисертації автором висунуто наступну гіпотезу: відмови несних конструкцій вагонів-хоперів для перевезення зерна пов'язані з недосконалою конструкцією місця з'єднання хребтової балки рами з заднім упором та наднормативними напруженнями, які виникають внаслідок їх експлуатації з нерівномірним навантаженням, що в повній мірі не враховано нормами проєктування несних конструкцій вантажних вагонів.

### **Мета та завдання дослідження.**

**Метою дисертаційної роботи є:** розвиток методів розрахунку та підвищення несної здатності рами вагонів-хоперів для перевезення зерна з продовженням строку їх експлуатації. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання:**

- провести аналіз наукової та технічної літератури з метою визначення актуальності вибору теми дослідження та використання існуючих напрацювань, провести структурний аналіз конструктивних особливостей вагонів-хоперів для перевезення зерна з метою виявлення відповідних недоліків, проаналізувати особливості умов експлуатації вагонів-хоперів для перевезення зерна та виділити такі, як можуть впливати на несну здатність вагонів, виконати огляд нормативної документації з ремонту та експлуатації вагонів хоперів для перевезення зерна, висунути гіпотезу щодо причин руйнувань рам вагонів-хоперів для перевезення зерна;

- провести аналіз відмов парку вагонів-хоперів для перевезення зерна та визначити системні відмови рами кузова, розробити скінченно-елементну та розрахункову модель рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна, яка враховує нерівномірність навантаження вагона для дослідження напружено-деформованого стану конструкції, провести оцінку можливості накопичення втомних пошкоджень в рамі та розрахувати прогнозний ресурс несних конструкцій з врахуванням нерівномірності навантаження вагона, на підставі теоретичних досліджень сформулювати основні причини, що призводять до руйнувань хребтових балок вагона-хопера для перевезення зерна;

- розробити технічні вимоги до нового конструкційного рішення щодо удосконалення конструкції рами вагона-хопера для перевезення зерна та структурну схему досліджень щодо визначення оптимального конструктивного рішення, обґрунтувати застосування нового конструкційного рішення шляхом оцінки напружено-деформованого стану та оцінки накопичення пошкоджень з врахуванням особливості конструкції та експлуатації вагона-хопера;
- розробити план експерименту та провести контрольні випробування з метою обґрунтування прийнятого конструктивного рішення та експериментального обґрунтування застосування уточнених розрахункових схем та коефіцієнтів прогнозування ресурсу, що враховують особливості експлуатації вагонів-хоперів для перевезення зерна;
- провести аналіз результатів експлуатаційних випробувань вагонів-хоперів для перевезення зерна;
- виконати оцінку прогнозного економічного ефекту від застосування результатів дослідження.

#### **Об'єкт досліджень.**

Процес зміни несної здатності вагонів-хоперів для перевезення зерна за межами призначеного строку служби.

#### **Предмет досліджень.**

Напружено-деформований стан рами вагона-хопера для перевезення зерна та методи його розрахунку, модель прогнозування ресурсу несних конструкцій вантажного вагона.

#### **Методи дослідження.**

Для вирішення поставлених завдань у дисертаційній роботі використано: методи системного, статистичного та структурного аналізу, метод скінченних елементів із використанням програмного комплексу SolidWorks, методи неруйнівного контролю, методи проектування циклічної ітерації, методи вимірювання напружень в конструкції з застосуванням тензорезисторів (тензометрія), методи прогнозування ресурсу. Експериментальні дослідження



виконані за допомогою сучасного лабораторного обладнання акредитованої випробувальної лабораторії філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця».

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

#### **Вперше:**

- науково обґрунтовано застосування в математичній моделі прогнозування ресурсу несних конструкцій вантажних вагонів додаткового коригуючого коефіцієнту та визначено його кількісну величину, який враховує нерівномірність навантаження вагона-хопера для перевезення зерна з метою покращення несної здатності його рами;

- отримано залежності коефіцієнтів опору втомі рами вагона-хопера для перевезення зерна від прогнозованого терміну служби з врахуванням еквівалентних напружень, які виникають в рамі при нерівномірному навантаженні вагона, що дозволяє розробити конструкційні рішення з удосконалення несних конструкцій вагону;

- встановлено причину розвитку тріщин в рамі вагона-хопера для перевезення зерна, яка полягає у наднормативних напруженнях, що виникають в місці з'єднання хребтової балки із заднім упором поглинального апарату через дію додаткових сил від нерівномірно розміщеного вантажу при розрахункових режимах I (розтяг), III (розтяг) та різку зміну жорсткості з'єднання, що дозволяє удосконалити методи розрахунку міцнісних якостей даного типу вантажного вагону.

#### **Удосконалено:**

- схеми прикладання сил розрахункових режимів I та III для оцінки напружено-деформованого стану рами вагона-хопера для перевезення зерна шляхом врахування додаткових сил від нерівномірного навантаження вагона, що дозволяє створити сучасні технічні рішення з удосконалення конструкції рами вагону;

- метод проектування нових конструкційних рішень для несних конструкцій вантажних вагонів, який, на відміну від існуючих методів, враховує результати аналізу можливого накопичення напружень (пошкоджень) шляхом

порівнювання нормальних та дотичних напружень з межами границею витривалості за дотичними напруженнями при пульсуючому циклі навантаження, що дозволяє підвищити ступінь обґрунтовності прийняття конструкційних рішень при модернізації вагону.

**Дістала подальшого розвитку** розрахункова модель оцінки напружено-деформованого стану рами вагона-хопера для перевезення зерна, яка враховує вплив нерівномірності навантаження вагона, що дозволяє створювати більш досконалі конструкційні рішення та суттєво підвищити ресурс несних конструкцій вагону.

#### **Практичне значення отриманих результатів:**

- нове конструкційне рішення щодо удосконалення рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна, яке захищене Державним патентом України на корисну модель №135500, на підставі якого для вагоноремонтних підприємств АТ «Укрзалізниця» розроблено конструкторську та технологічну документацію з модернізації рами вагонів-хоперів для перевезення зерна;

- уточнена математична модель прогнозування ресурсу несних конструкцій вантажних вагонів із застосуванням коригуючого коефіцієнту, яка враховує можливість нерівномірності навантаження вагона-хопера для перевезення зерна, використовується в практичній діяльності в АТ «Укрзалізниця» при випробуваннях та модернізації вагонів робочого парку залізниць;

- удосконалені методи розрахунку несних конструкцій в частині доопрацювання розрахункових режимів I та III для оцінки напружено-деформованого стану рами вагона-хопера для перевезення зерна, що враховують нерівномірність навантаження вагона, використовується в практичній діяльності філією «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» при виконанні дослідно-конструкторських робіт з удосконалення конструкцій вантажних вагонів;

- розроблену за участі автора Програму та методику технічного діагностування вагонів-хоперів для перевезення зерна з метою продовження

терміну служби застосовано у практичній діяльності АТ «Укрзалізниця» при визначенні технічного стану вантажних вагонів.

**Основні результати дисертаційної роботи впроваджено:**

- на вагоноремонтних підприємствах АТ «Укрзалізниця» при ремонті вагонів-хоперів для перевезення зерна моделі 19-752 використовується технологічна інструкція НДКТІ.19-752.00.00.000 ТІ, яка розроблена на підставі запропонованого автором конструкційного рішення, що підтверджується відповідним актом від 14.03.2025 філії «УЗ ВАГОН-СЕРВІС» (Додаток А).

- у філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» при розробці програм та методик технічного діагностування та контрольних випробувань вагонів-хоперів для перевезення зерна з метою продовження строку експлуатації, при оцінці напружено-деформованого стану рами вантажних вагонів, при проектуванні нових конструкційних рішень для несних конструкцій вантажних вагонів, що підтверджується актом від 10.03.2025 філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» (Додаток А);

- результати аналізу особливостей конструкції вагонів-хоперів для перевезення зерна, аналіз та класифікація несправностей несних конструкцій вагонів хоперів для перевезення зерна моделі 19-752, програма та методика технічного діагностування вагонів хоперів для перевезення зерна з метою продовження строку експлуатації 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 від 13.03.2025 (Додаток А).

**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] – проаналізовано сучасний стан парку вантажних вагонів для перевезення зерна. Показано, що більшість вагонів-хоперів для перевезення зерна АТ «Укрзалізниця» вичерпали початково призначений термін служби, який встановлений заводом-виробником, та мають системні і однотипні дефекти несних конструкцій в зоні заклепкових з'єднань заднього упору з хребтовою балкою. Розроблено розрахункову модель рами вагона-хопера для перевезення зерна за допомогою програмного комплексу SolidWorks для оцінки напружено деформованого стану. Визначено рівні напружень, які виникають в рамі вагона при одночасній дії нормативних сил відповідно до встановлених розрахункових режимів I та III з урахуванням особливостей їх експлуатації;

[2] – проведено аналіз відмов модернізованих рам вагонів-хоперів для перевезення зерна на основі довідок вагонного господарства АТ «Укрзалізниця» з метою визначення тенденції щодо зниження відмов та підтвердження ефективності застосування прийнятого конструкторського рішення за результатами теоретичних та експериментальних досліджень. Аналіз проведено на основі даних 10 вагонів-зерновозів рами яких були модернізовані в 2018 році і знаходяться в експлуатації по теперішній час. За результатами проведеного аналізу визначено відсутність сталих тенденцій щодо зниження частоти відмов модернізованих вагонів-зерновозів, але позитивна динаміка відмічається у зменшенні кількості відмов рами кузова;

[3] – розроблено програму та методику контрольних випробувань вагонів-хоперів для перевезення зерна з модернізованими рамами. Взято участь в проведенні контрольні випробування модернізованих вагонів-зерновозів моделі 19-752 з розрахунком прогнозного ресурсу несних конструкцій підтвердили, що напруження в зоні модернізації (посилення) його хребтової балки не перевищують максимально допустимих значень, а вагон-хопер для перевезення зерна з модернізованою рамою може бути допущений до подальшої експлуатації. Сформовані підходи щодо оцінки несної здатності металоконструкцій вагонів-хоперів для перевезення зерна можуть бути застосовані при виконанні

аналогічних робіт з посилення елементів конструкції, ремонту та модернізації вантажних вагонів;

[4] – проведена оцінка напружено-деформованого стану рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна та встановлено причину виникнення дефектів місця з'єднання хребтової балки з заднім упором;

[5] – систематизовано види відмов вагонів-хоперів для перевезення зерна, які призводять до передчасного виходу їх з ладу в експлуатації. Визначено групи відмов вагонів-зерновозів в експлуатації, що мають системний характер і є критичними для забезпечення безперебійного перевізного процесу, а саме: несправності гальмового обладнання вагона (685 од, 35,8 %), несправності кузова вагону (647 од., 33,8 %) та несправності рами вагону (320 од., 16,7 %). Понад 90 % відмов рами приходить на вагони, які вже вичерпали свій призначений термін служби 30 років.

#### **Апробація результатів дисертації.**

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

- Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», (20-21 квітня 2023);

- VII International Scientific and Practical Conference (Kharkiv, Ukraine 7-9 June 2020);

- XI International Scientific and Practical Conference. «Actual trends of modern scientific research». Munich, Germany 6-8 June 2021;

- Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти, молодих вчених та викладачів (4 – 6 квітня 2023 року);

- II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Виклики та перспективи розвитку транспортної інфраструктури України» (3 – 5 квітня 2024 року);

- II Міжнародна конференція RAIL EXPO «Вагонобудування та ремонт рухомого складу в Україні» (16 – 18 жовтня 2018 року);

- 78 Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (17 – 18 травня 2018 року).

У повному обсязі дисертація доповідалась та була схвалена на засіданні науково-технічної ради філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» та міжкафедральному науковому семінарі Державного університету інфраструктури та технологій за участю рецензентів кафедри «Вагони та вагонне господарство».

### **Публікації.**

Відповідно до теми дисертаційної роботи опубліковано: всього 20 наукових публікацій, з яких 4 наукові статті у вітчизняних виданнях, які входять до затвердженого МОН України переліку наукових фахових видань, 1 наукова стаття у виданні, що індексується в наукометричній базі даних Scopus, 12 статей та тез доповідей, які додатково відображають результати роботи, 1 патент України на корисну модель та 2 свідоцтва про авторські права на твір.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ТА ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ЗА НАПРЯМКОМ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

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

В дисертаційній роботі використовуються терміни, що пов'язані з експлуатацією та технічним діагностуванням вантажних вагонів, прогнозуванням ресурсу та оцінки напружено-деформованого стану несних конструкцій згідно [2-10] , їх основні визначення приведено нижче:

*безпека* – властивість об'єкта забезпечувати відсутність ризику нанесення шкоди здоров'ю людей, майну і навколишньому середовищу [2];

*рівень безпеки* – імовірність того, що під час перевезення вантажів у заданих режимах і умовах не виникне аварійної ситуації [3];

*безвідмовність (власивість)* – властивість об'єкта виконувати потрібні функції в певних умовах протягом заданого інтервалу часу наробітку [2];

*несна здатність* – здатність об'єкта зберігати під час навантажування стан, що відповідає його функціональному призначенню [5]; Несну здатність вагонних конструкцій оцінюють за допустимими значеннями напружень та запасів опору втомі [3];

*навантаження* – чинник або сукупність чинників, дія яких на об'єкт призводить до зміни його напружено-деформованого стану [6];

*міцність* – здатність матеріалу витримувати напруження без руйнування (зародження та розвитку дефектів) [5];

*напруження* – вектор внутрішніх сил, що діють на одиницю площі даної елементарної площадки під час стягування її у точку [5];

*руйнування* – зародження та розвиток у матеріалі дефектів і (або) розділення об'єкта на частини [5];

*тріщина* – дефект суцільності у твердому тілі, що обмежений двома протилежними невізаємодіючими поверхнями, відстань між якими знехтувано мала у порівнянні з іншими характерними розмірами дефекту, та вузькою кінцевою областю з неповністю порушеними міжатомними зв'язками [9];

*втома* – процес поступового накопичення пошкоджень, утворення та розвитку тріщин у матеріалі під дією циклічного навантажування [5];

*граничний стан* – механічний стан об'єкта, що характеризується певними значеннями напружень та деформацій, за якого подальша зміна навантаження та/або інших чинників призводить до руйнування, втрати несучої здатності чи стійкості, розвитку надмірних деформацій, появи чи розкриття тріщин [7];

*ресурс, технічний ресурс* – сумарний наробіток об'єкта від початку його експлуатації або поновлення після ремонту до переходу в граничний стан [2];

*термін служби* – календарна тривалість експлуатації об'єкта від початку чи її поновлення після ремонту до переходу в граничний стан [4];

*призначений термін служби* – календарна тривалість експлуатації, при досягненні якої експлуатацію об'єкта належить припинити незалежно від його технічного стану [4];

*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 [4];

*залишковий ресурс* – сумарний наробіток об'єкта від моменту контролю його технічного стану до переходу у граничний стан [2];

*технічний стан об'єкта* – стан, який характеризується в певний момент часу, за певних умов зовнішнього середовища значеннями параметрів, установлених технічною документацією на об'єкт [8];

*технічне діагностування* – визначення технічного стану об'єкта з означеною (заданою) точністю (завданнями технічного діагностування є: контроль технічного стану; пошук місця та визначення причин несправності) [8];

*контроль технічного стану* – перевірення відповідності значень параметрів об'єкта вимогам технічної документації та визначення на цій основі одного із заданих видів технічного стану в даний момент часу [8];

*несправність (відмова)* – стан об'єкта, за яким він нездатний виконувати хоча б одну із заданих функцій [2];



*метод скінчених елементів* – метод чисельного розв'язування диференціальних рівнянь, який широко використовують в інженерному та математичному моделюванні [10].

## **1.2 Аналіз наукових публікацій щодо удосконалення конструкції та методів розрахунку рам вагонів-хоперів для перевезення зерна**

Сучасні дослідження, які присвячені питанням покращення несної здатності вантажних вагонів, в основному спрямовані на поліпшення їх конструкцій за рахунок різних підходів до їх проєктування, впровадження нових матеріалів з метою покращення їх техніко-економічних характеристик. При цьому, значний вклад в удосконалення конструкцій вантажних вагонів внесли такі вчені як: Є.П. Блохін, В.М. Бубнов, А.В. Донченко, Ю.В. Дьомін, В.В. Ільчишин, М.Б. Кельрих, В.А. Лазарян, А.О. Ловська, С.В. Мямлін, Л.А. Мурадян, С.В. Панченко, В.І. Панасенко, А.Л. Пуларія, О.Г. Рейдемейстер, С. Ю. Сапронова, А.О. Сулим, В.П. Ткаченко, О.В. Фомін, І.Е. Мартинов, Г.Ю. Черняк та інші.

В [11] розглянуто питання удосконалення конструкції вагонів-хоперів для перевезення зерна в частині покращення техніко-економічних характеристик кузова. Запропонована конструктивна схема кузова, дозволила знизити масу вагона-хопера і підвищити його вантажопідйомність із забезпеченням необхідної міцності і надійності конструкції. Обсяг кузова вагона-хопера збільшений при збереженні існуючих параметрів типової довжини і маси тари, що на 6-7% збільшить його корисне завантаження. Збільшений обсяг бункерів дозволив знизити центр ваги, що поліпшило стійкість вагона від перекидання, а збільшені розміри завантажувальних люків покращують умови завантаження вагона. Розглянута наукова праця не містить досліджень в частині удосконалення рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна.

Наукова праця [12] присвячена висвітленню запропонованих інновацій для конструкцій піввагонів «залізничного простору 1520 мм» і особливостей їх проєктування. Визначено перспективні напрямки розвитку розробки піввагонів

нового покоління, які потребують системного підходу до створення та дослідження аналітичних та математичних моделей, що враховують всі особливості експлуатації таких вагонів. В даній роботі не розглянуто окремо питання розвитку конструкції рам вагонів, але запропоновані підходи до створення нових конструкційних рішень доцільно використати в дисертаційній роботі. Автори роботи [13] висвітлюють результати проведеного дослідження з визначення конструктивної досконалості залізничних зерновозів (з сімейства бункерних вагонів-хоперів), визначають перспективи їх розвитку. В роботі розглянуто особливості конструкції вагонів-хоперів для перевезення зерна. Запропоновано виконувати конструювання вагонів нового покоління на підставі теорії оптимального проектування конструкцій. У роботах [14, 15] представлені підходи щодо удосконалення вагонних конструкцій на підставі математичного моделювання динамічних характеристик вагонів. У [16] запропоновано інноваційне технічне рішення щодо проектування бічної стінки еквівалентно піввагона моделі 12-974, що дає змогу зменшити тару вагона. Розглянутий підхід до проектування може бути використаний для рами вагона-хопера для перевезення зерна. В науковій праці [17] розглянуто недосконалості ходових частин вантажних вагонів та запропоновано їх удосконалення шляхом конструкційних змін на підставі теоретично-експериментальних досліджень. Особливістю роботи є врахування особливостей експлуатації ходових частин, які впливають на їх міцнісні характеристики.

В дисертаційній роботі [18] представлено концепт рами та частин кузова вагона-хопера для перевезення зерна з листових ресор з'єднаних між собою шарнірами. Впровадження таких концептів для вагонних конструкцій дозволить суттєво покращити їх характеристики, зокрема досягти зниження їх тари на  $\frac{2}{3}$  з відповідним підвищенням вантажопідйомності, збільшити корозійну стійкість більше ніж в 2 рази та відповідно термін експлуатації. Слід зазначити, що для модернізації вже існуючих конструкцій рам вагонів-хоперів застосуванням листових ресор є проблематичним через різні характеристики зварюваності матеріалів.

В науковій праці [19] детально розглянуто метод дослідження з застосуванням математичної моделі, яка адекватно відображає конструкцію та навантаження, що діють на неї. На підставі цієї моделі запропоновано конструкційне рішення щодо удосконалення рами довгобазної платформи. Результати теоретичних досліджень підтверджені експериментально. Слід зазначити, що запропонована математична модель враховує конструкційні особливості досліджуваного вагона, такий підхід є доцільним та ефективним при проєктуванні конструкційних рішень.

В [20] розглядається таке явище, як нерівномірне розміщення вантажу відносно вертикальної площини симетрії в вагоні-хопері для перевезення зерна. Зсув вантажу у вагонах хоперах для перевезення зерна негативно впливає на динаміку вагона і його міцність, за результатами розрахункових досліджень було встановлено, що осьове навантаження залежно від перерозподілу вантажу на один візок збільшується до 27-30,5 тс/вісь; зсув центра ваги вантажу уздовж вагона становить 0,35-0,7 м; коефіцієнт вертикальної динаміки збільшується на 11-27% порівняно з рівномірним розподілом; вертикальне динамічне навантаження збільшується на 10-20 %; погонний динамічний вплив на рейкову колію збільшується на 11-22 %; рамна сила на боковину візка з боку колісної пари збільшується на 15-30 %. За результатами аналізу [11-19] встановлено, що в розглянутому питанні існують значні напрацювання, але серед невизначеного залишається задача щодо покращення несної здатності рами вагонів-хоперів для перевезення зерна шляхом удосконалення конструкції та методів розрахунку. При цьому, слід враховувати всі розглянуті напрацювання та підходи з подальшим використанням їх при дисертаційному дослідженні.

Згідно наукової праці [20], слід врахувати особливості експлуатації вагонів-хоперів для перевезення зерна в частині нерівномірності їх навантаження (зсуву вантажу в кузові) при теоретичних та експериментальних дослідженнях рами вагона.

### 1.3 Дослідження та порівняльний аналіз особливостей конструкції вагонів-хоперів для перевезення зерна

Для проведення дослідження та порівняльного аналізу конструктивних особливостей вагонів-хоперів для перевезення зерна було застосовано метод структурного аналізу. Для проведення структурного аналізу конструктивних особливостей вагонів-хоперів для перевезення зерна було розроблено відповідний алгоритм, який представлено на схемі (рис.1.1).

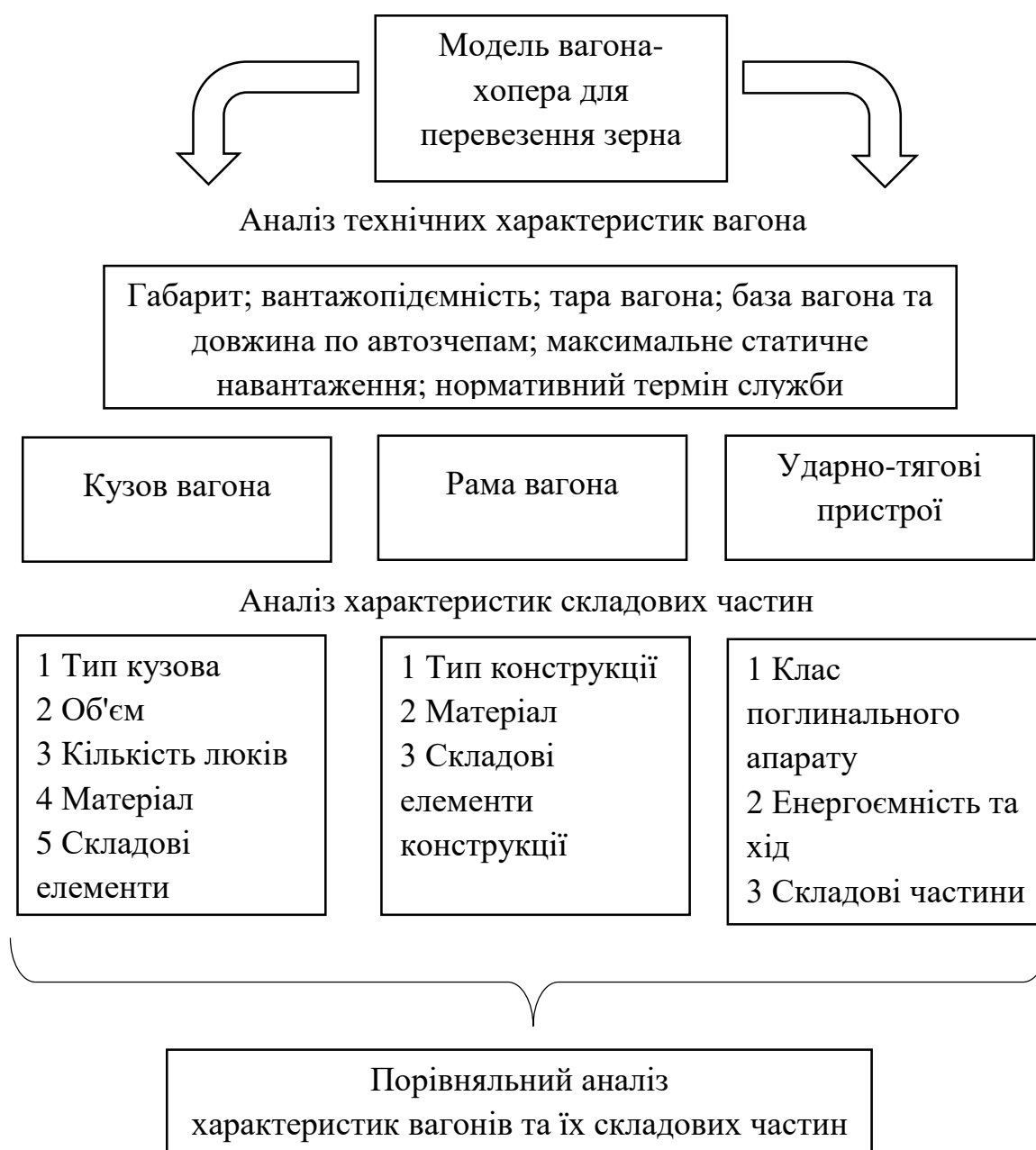


Рисунок 1.1 – Схема структурного аналізу особливостей конструкції вагонів-хоперів для перевезення зерна

За розробленою схемою для проведення структурного аналізу було опрацьовано три моделі вагонів-хоперів для перевезення зерна, всі ці вагони мають типову конструкцію ходової частини та гальмівного обладнання:

- вагон-хопер моделі 19-752 (вагон старої конструкції);
- вагон-хопер моделі 11-739 (вагон старої конструкції);
- вагона хопер моделі 19-7016 (нового покоління);
- вагона хопер моделі 19-7053 (нового покоління).

### 1.3.1 Вагони-хопери для перевезення зерна моделей 19-752 та 11-739

Вагони-хопери для перевезення зерна моделей 19-752 та 11-739 (рис.1.2) мають типову конструкцію рами, ходових частин і ударно-тягових пристроїв, при цьому мають відмінності в конструкції кузова вагона. Габарит вагонів 1-ВМ, вантажопідємність 70 тон для моделі 19-752 та 65 тон для моделі 11-739, тара вагонів 21 (23max) тон, база вагонів 10 500 мм, довжина по автозчепам 14 720 мм, нормативний строк служби 30 років.

Тип кузова вагона – бункерний, об'єм – 94 м<sup>3</sup> для моделі 19-752 та 93 м<sup>3</sup> для моделі 11-739, кількість розвантажувальних люків – 6, кількість завантажувальних люків – 4, кут нахилу бункерів до горизонту – 55°, кут нахилу торцевої стіни – 65°. Всі несні елементи кузова виконані з низьколегованої сталі 09Г2С, а обшивка зі сталі 10ХНДП-2.

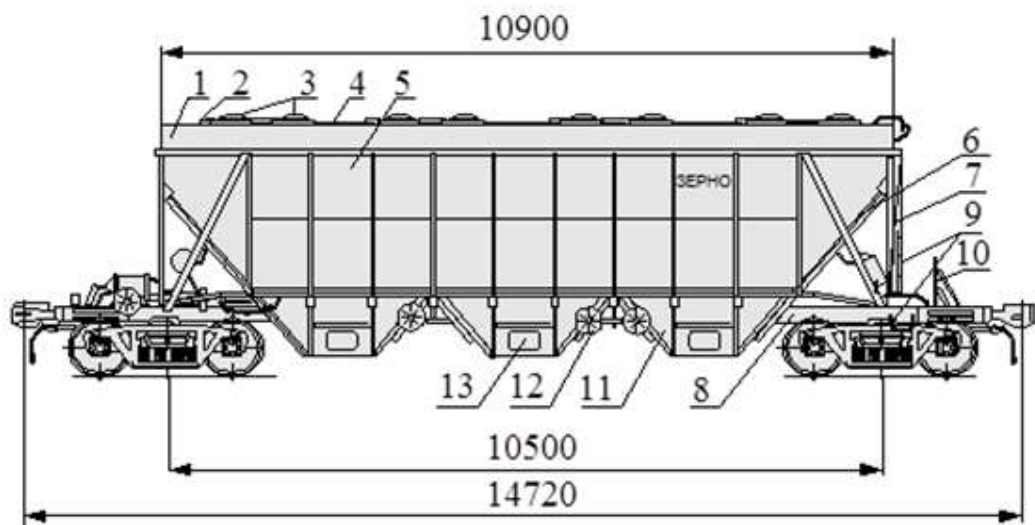


Рисунок 1.2 – Вагона хопер для перевезення зерна моделі 19-752 та 11-739

Бокові стіни виконані з гофрованих металевих листів 6 товщиною 3 мм, підкріплених для жорсткості десятьма стойками 5, верхньою 4 і нижньою 7 обв'язками. Стойки виготовлені з двотавра № 10, верхня обв'язка 4 - з гнутого спеціального профілю товщиною 6 мм, а нижня - з прокатного куточка 125×80×10 мм. Для більшої жорсткості кожна стіна пов'язана з рамою двома похилими швелерами № 9, які зварені з листів товщиною 5 мм у формі усіченої піраміди та мають розвантажувальні кришки 10 люків з гумовими ущільнювачами. Кожні два протилежні бункера забезпечені одним важільним механізмом розвантаження з приводним штурвалом 8. Торцеві стіни (рис. 1.3) нахилені під кутом 55° до площини рами. Вони зварені з верхнього та нижнього листів товщиною 4 мм і двох бокових обв'язок кутового профілю 60×60×6 мм. Верхній лист має відбортовку (верхня обв'язка). У нижній частині зроблена фігурна підштамповка, яка, з'єднуючись з нахиленим листом стіни, утворює поперечну балку коробчастого перетину. Нижній лист обшивки посилений двома поздовжніми 15 і одним поперечним 13 поясами і підкосами 11.

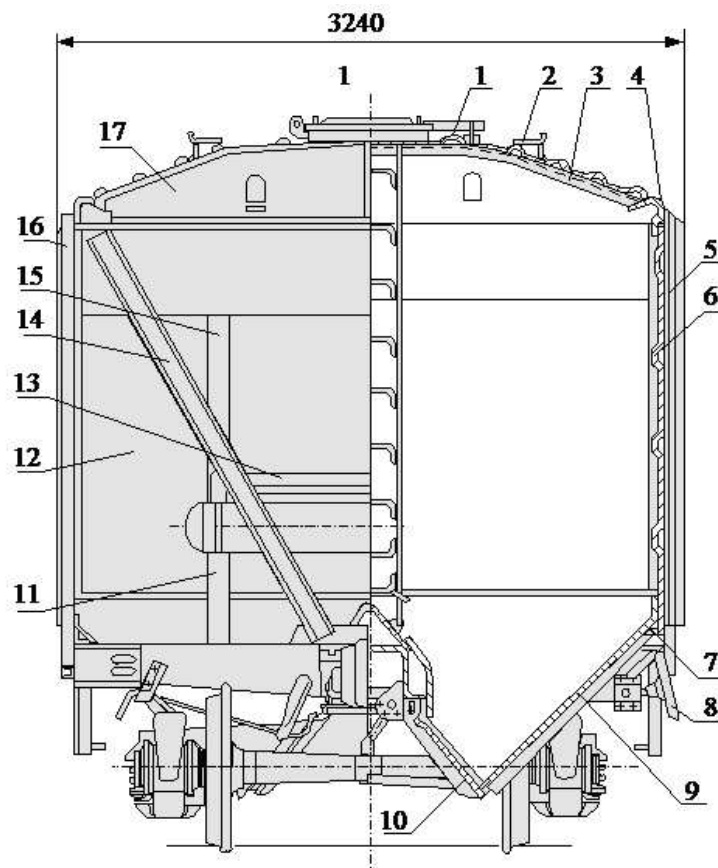


Рисунок 1.3 – Торцева стіна вагона

Для додавання консольним частинам кузова достатньої міцності і жорсткості кожна торцева стіна посилена двома стояками-розкосами 14 і 16 з швелера № 14. Дах кузова зварний і складається з листової гофрованої обшивки 1 товщиною 3 мм в середині і 1,8 мм з боків, підкріпленої дванадцятьма дугами 3, виконаними з кутового профілю 75×50×5 мм. З торцевими стінами дах пов'язаний фрамугами 17, а з боковими - безпосередньо приварюванням до верхньої обв'язки 4 стіни. Для доступу на дах і всередину вагона є сходи, а по всій довжині даху - трап 2.

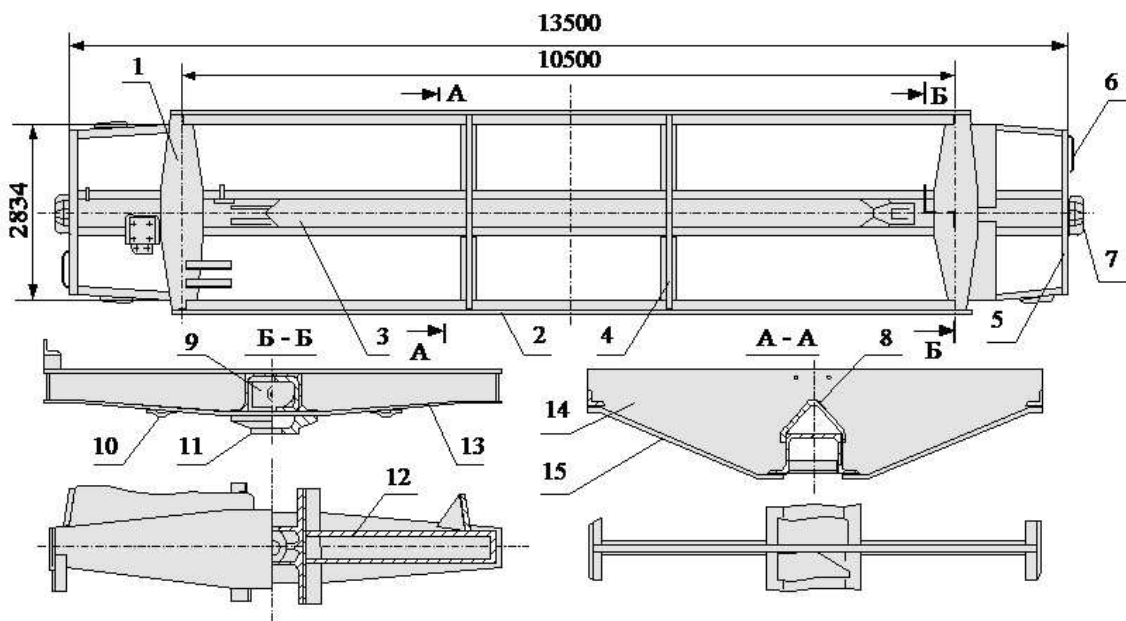
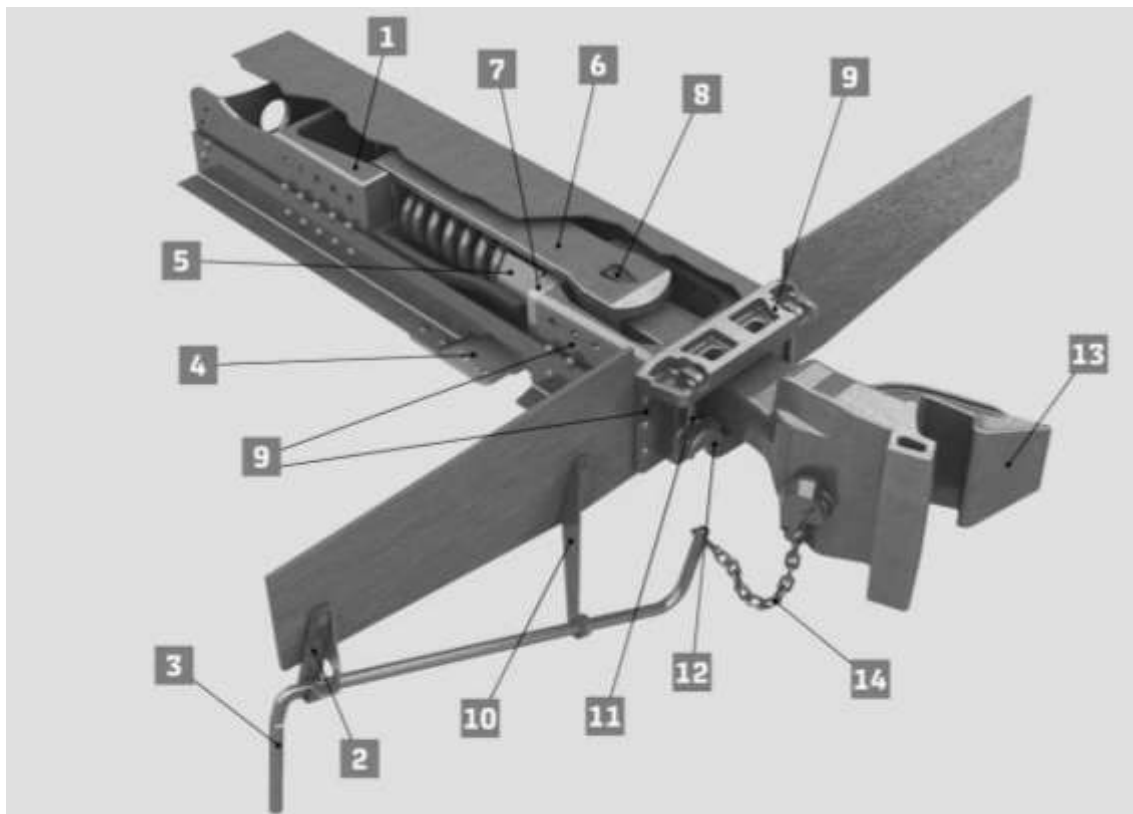


Рисунок 1.4 – Рама вагона-хопера моделі 19-752 та 11-739

Тип конструкції рами вагона – штамповарна, матеріал – сталь 09Г2С. Рама (рис. 2.4) складається з хребтової 3, двох бокових 2, двох кінцевих 5, двох шворневих і двох середніх 4 балок. Хребтова балка зварена з двох Z-образних профілів № 31, покритих в середній частині коником 8 (4 мм) для кращого зсипання вантажу. В консольній частині хребтова балка посилена розеткою 7 і упорами автозчепу. Бокові балки виконані з кутового профілю 125×80×10 мм. Кінцеві балки зварені з листів товщиною 4 мм та мають Г-подібну форму поперечного перерізу. Для безпечної роботи складача поїздів на кінцевий балці встановлені поручні 6.

Шворневі балки коробчастого перетину складаються з двох вертикальних 12 (6 мм) і двох горизонтальних 13 листів (10 мм). На нижньому горизонтальному листі балки укріплені ковзуни 10 і п'ятник 11. Для забезпечення міцності опорного вузла і підвищення жорсткості з'єднання шворневої і хребтової балок між ними встановлена надп'ятникова коробка 9. Середні поперечні балки складаються з вертикального 14 (6 мм) і нижнього нахилоного 15 (8 мм) листів.

Конструкція ударно-тягових пристроїв вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 та 11-739 наведена на рис. 1.5.



1 – Задній упор; 2 – Фіксуючий кронштейн; 3 – Розчіпний важіль; 4 – Підтримуюча планка; 5 – Поглинальний апарат; 6 – Тяговий хомут; 7 – Упорна плита; 8 – Клин тягового хомута; 9 – Передній упор, об'єднаний з ударною розеткою; 10 – Підтримуючий кронштейн; 11 – Маятникові підвіски; 12 – Центруюча балочка; 13 – Автозчеплення; 14 – Ланцюг розчіпного важеля.

Рисунок 1.5 – Конструкція ударно-тягових пристроїв вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 та 11-739



Всі вагони хопери для перевезення зерна мають типову конструкцію автозчеплення типу СА-3 та його елементів. Але головною особливістю вагонів хоперів моделі 19-752 та 11-739 є те, що площа з'єднання заднього упору з хребтовою балкою досить обмежена, а в конструкції рами непередбачені додаткові розкоси для розсіювання повздовжніх навантажень.

Задній упор сприймає ударні (повздовжні) навантаження безпосередньо від корпусу поглинального апарата, які через клепане з'єднання передаються на хребтову балку. Саме від отворів в хребтовій балці під клепане з'єднання з задньою частиною заднього упору можуть виникати дефекти через обмежену площу з'єднання заднього упору. Велике значення на величину повздовжніх сил, що діють на задній упор мають умови експлуатації та клас поглинальних апаратів, що застосовуються на вагоні.

Забезпечення цілісності конструкцій рухомого складу, його обладнання та вантажів, що перевозяться від впливу повздовжніх сил, які мають місце як при маневрових зіткненнях рухомого складу, так і при різних режимах його руху в складі поїзда, є основним завданням ударно-тягових пристроїв.

Одним з основних показників роботи ударно-тягових пристроїв, які застосовуються в якості засобів повздовжньої амортизації вагонів і характеризують їх ефективність є енергоємність. До таких амортизуючих пристроїв відносяться поглинальні апарати.

Всі поглинальні апарати розподілені на чотири класи в залежності від своєї енергоємності:

T0 – пружинно-фрикційні апарати;

T1 – фрикційні апарати з комбінованим пружними елементами;

T2 – еластомірні апарати (можуть бути комбіновані);

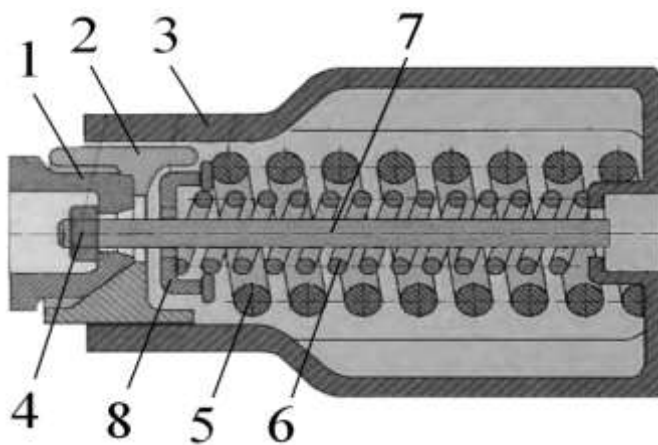
T3 – еластомірні апарати.

На вагонах-хоперах для перевезення зерна моделі 19-752 та 11-739 застосовуються пружино-фрикційні поглинаючі апарати шестигранного типу класу T0. До їх числа відносяться апарати Ш-1-ТМ і Ш-2-В.

Пружинно-фрикційні поглинаючі апарати шестигранного типу (рис. 1.6) мають корпус 3 з шестигранною горловиною, в якій розміщені натисний конус 1 і три клина 2. Між клинами і днищем корпусу розміщені пружини 5 і 6 підпірного комплексу. В апараті Ш-1-ТМ є шайба 8, яка у апаратів Ш-2-В відсутня з метою збільшення висоти пружини.

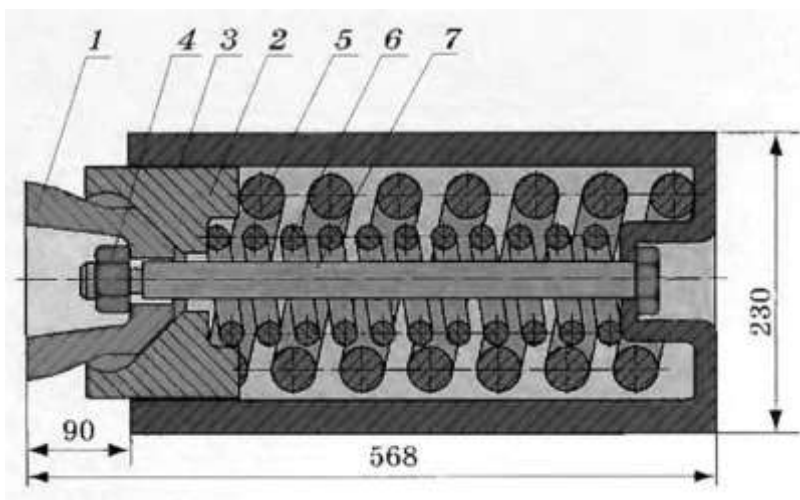
Більша частина (75-90%) кінетичної енергії мас вагонів, що співударяються, сприймаються апаратами даного типу і перетворюється в теплову енергію фрикційної взаємодії деталей фрикційного вузла і частково в потенційну енергію стиснення пружин 5 і 6.

### Ш-1-ТМ



1. Нажимний конус
2. Фрикційні клини
3. Корпус
4. Гайка стяжного болта
5. Велика пружина
6. Мала пружина
7. Стяжний болт
8. Шайба

### Ш-2-В



1. Нажимний конус
2. Фрикційні клини
3. Корпус
4. Гайка стяжного болта
5. Велика пружина
6. Мала пружина
7. Стяжний болт

Рисунок 1.6 – Поглинальні апарати класу Т0

На відміну від поглинальних апаратів класу Т0, апарати класу Т1, Т2 і Т3 мають більшу енергоємність, а значить поглинають більшу частину енергії від співударяння вагонів, внаслідок чого зменшуються напруження в несних конструкціях вагона.

Характеристики поглинальних апаратів класу Т0 наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Поглинальні апарати класу Т0

Тип апарата	Клас	Хід, мм	Номінальна енергоємність, кДж	Виробник	Примітки
<b>Ш-1-ТМ</b>	Т0	70	40	Не виготовляється	Поставляється, як запчастини при ремонті. На нові вагони не встановлюється.
<b>Ш-2-В</b>	Т0	90	50	Не виготовляється	Поставляється, як запчастини при ремонті. На нові вагони не встановлюється.

Поглиналильні апарати класу Т0 на даний час заборонені для використання при будівництві нових вантажних вагонів через їх низьку енергоємність, в нових вагонах застосовують апарати класу Т1 та вище.

### 1.3.2 Вагон-хопер для перевезення зерна моделі 19-7016

Вагон-хопер моделі 19-7016 для перевезення зерна (рис. 1.7) має габарит 1-Т, вантажопідємність 70,2 тон, тара вагона 23 (23,1 тах) тон, база вагона 10 500 мм, довжина по автозчепам 14 720 мм, нормативний строк служби 30 років.

Тип кузова вагона – бункерний, об'єм – 108 м<sup>3</sup>, кількість розвантажувальних люків – 4, кількість завантажувальних люків – 3. Всі несні елементи кузова виконані з низьколегованої сталі 09Г2С.

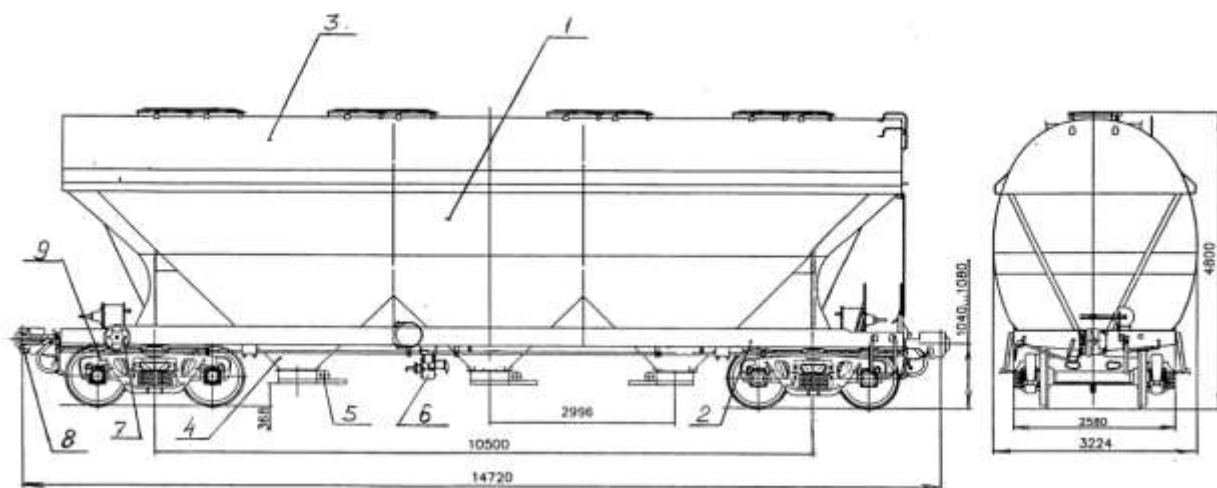


Рисунок 1.7 – Вагона хопер для перевезення зерна моделі 19-7016

Кузов вагону (рис.1.8) являє собою суцільнометалеву зварну конструкцію, яка утворена боковими стінами 1, торцевими стінами 2 та внутрішніми перегородками 3. Бокові стіни мають дугоподібний профіль, верхня обв'язка 4 - С- образний перетин.

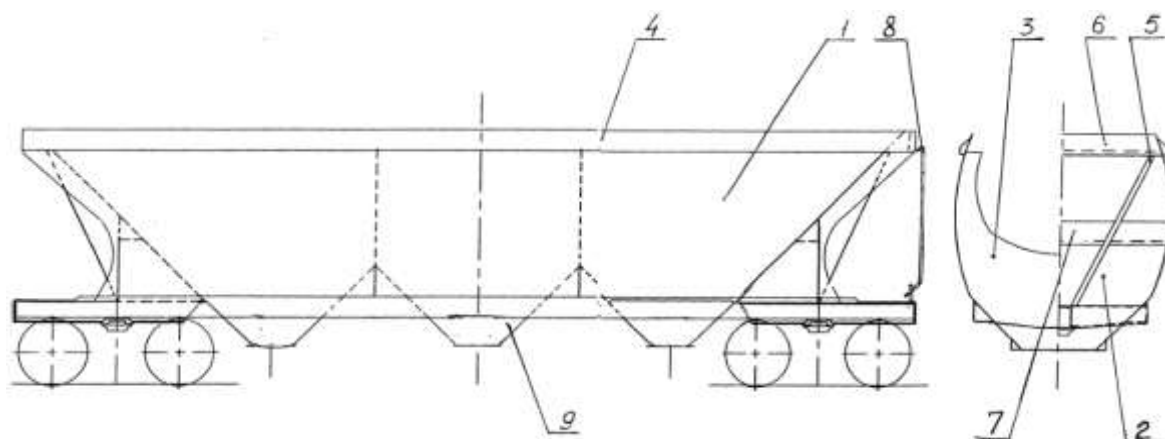


Рисунок 1.8 - Кузов вагона моделі 19-7016

Похилі торцеві стіни підкріплені двома листовими підкосами 5, встановленими V-образно, і з'єднані верхнім 6 і нижнім 7 Г-подібними горизонтальними поясами. Обшива торцевих стін вагона виготовлена з гладкого листа. Кузов обладнаний сходами 8 для підйому обслуговуючого персоналу на дах вагона. Бункери 9 замикають нижню частину кузова. Стіни бункерів виконані з гладкого листа. У нижній частині кожного бункера є розвантажувальні прорізи для висипання вантажу.

Рама вагона (рис. 1.9) складається з двох консольних хребтових балок 1, двох шворневих 2, двох бокових 3, двох проміжних 4 і двох кінцевих балок 5 і настилів 6,7.

Кожна консольна хребтова балка виконана з двох балок зетового профілю. Кінцеві частини хребтових балок обладнані передніми і задніми упорами, об'єднаними з надп'ятниками.

Шворневі балки мають коробчастий перетин. Вони утворені верхнім, нижнім і двома вертикальними листами і виконані у вигляді бруса змінного перерізу. Для установки на візки на нижньому листі кожної шворневої балки встановлені п'ятник і ковзуни. Проміжні балки встановлені між бункерами і виконані з нижнього і вертикального листів, що утворюють тавровий перетин.

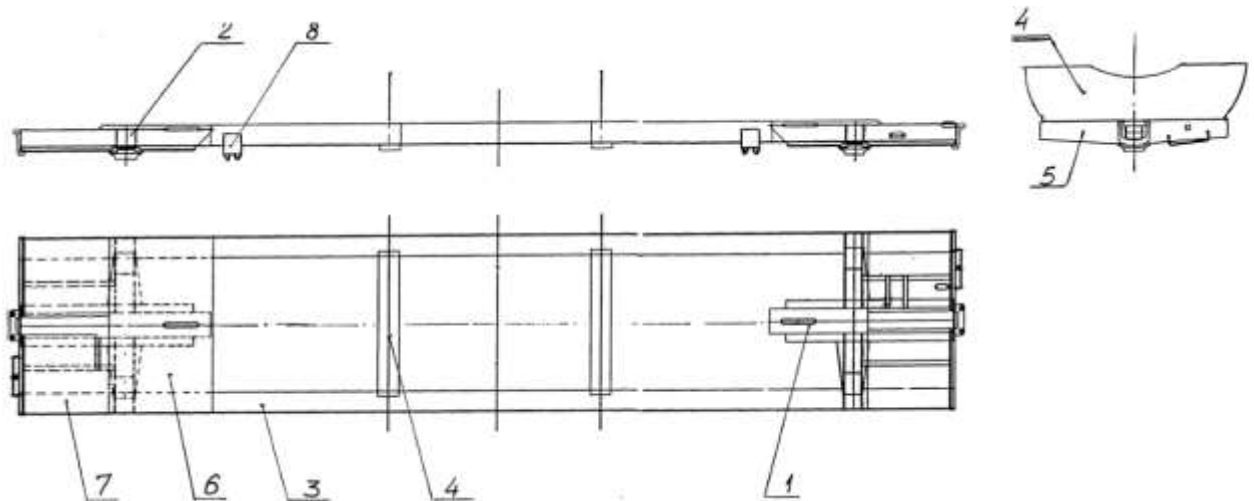


Рисунок 1.9 - Рама вагона моделі 19-7016

Кінцеві балки виконані з листа Г-подібної форми. На кінцевих балках кріпляться розчеплювальні важелі з кронштейнами, поручні складача і скоби сигнального ліхтаря. На консолях рами знаходяться настили 6, з боку перехідної площадки - настили 7, виконані з листів з рифленням. На вимогу замовника вагон може бути обладнаний кронштейнами 8, які приварюються до обв'язки рами, і призначені для підйому кузова за допомогою строп з метою вивантаження вантажу, що перевозиться, безпосередньо в приймальні пристрої.

Ударно-тягові пристрої вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-7016 мають типову конструкцію, при цьому використовуються поглинальні

апарати класу Т1. Основні характеристики поглинальних апаратів класу Т1 наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Поглинальні апарати класу Т1

Тип апарата	Клас	Ход, мм	Номінальна енергоємність, кДж	Виробник	Примітки
АПМ 120	Т1	120	70	ПрАТ «Азовмаш»	Встановлюється на нові і ремонтні вагони.
ПМКП-110	Т1	110	70	ПрАТ «Крюківський вагонобудівний завод»	Встановлюється на нові і ремонтні вагони.

### 1.3.3 Вагон-хопер для перевезення зерна моделі 19-7053

Вагона хопер моделі 19-7053 для перевезення зерна (рис.1.10) має габарит 1-Т, вантажопідємність 76 тон, тара вагона 23 (24тах) тон, база вагона 10 500 мм, довжина по автозчепам 14 720 мм, нормативний строк служби 32 роки.

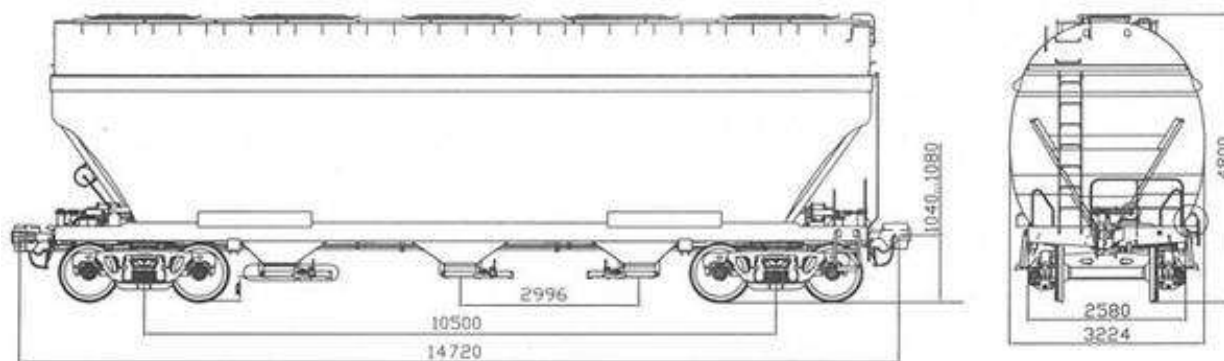


Рисунок 1.10 – Вагона хопер для перевезення зерна моделі 19-7053

Тип кузова вагона – бункерний, об'єм – 116 м<sup>3</sup>, кількість розвантажувальних люків – 3, кількість завантажувальних люків – 5. Всі несні елементи кузова виконані з низьколегованої сталі 09Г2С та 09Г2.

Вагон складається з кузова, рами, даху з завантажувальними люками, бункерів, розвантажувальних пристроїв шиберного типу, автоматичного гальма, стоянкового гальма, автозчепних пристроїв та ходової частини, що складається з двох візків.

Вагони обладнані сходами для підйому обслуговуючого персоналу на дах вагона і спуску всередину кузова, механізмом опломбування завантажувальних люків, механізмом опломбування розвантажувальних люків (на вимогу замовника), кронштейнами, призначеними для сприйняття ударних навантажень від ударних механізмів при розвантаженні вагона, кронштейнами, призначеними для підйому кузова з візків з допомогою строп при вивантаженні вантажу через нижні розвантажувальні люки.

Кузов (рис.1.11) кожної з моделей вагонів являє собою суцільнометалеву зварну конструкцію, утворену боковими стінами 1, торцевими стінами 2 і внутрішніми перегородками 3.

Поперечний перетин бокових стін має дугоподібний профіль. Бокові стіни виготовлені з листового прокату товщиною 4 мм зі сталі підвищеної міцності марки 09Г2С.

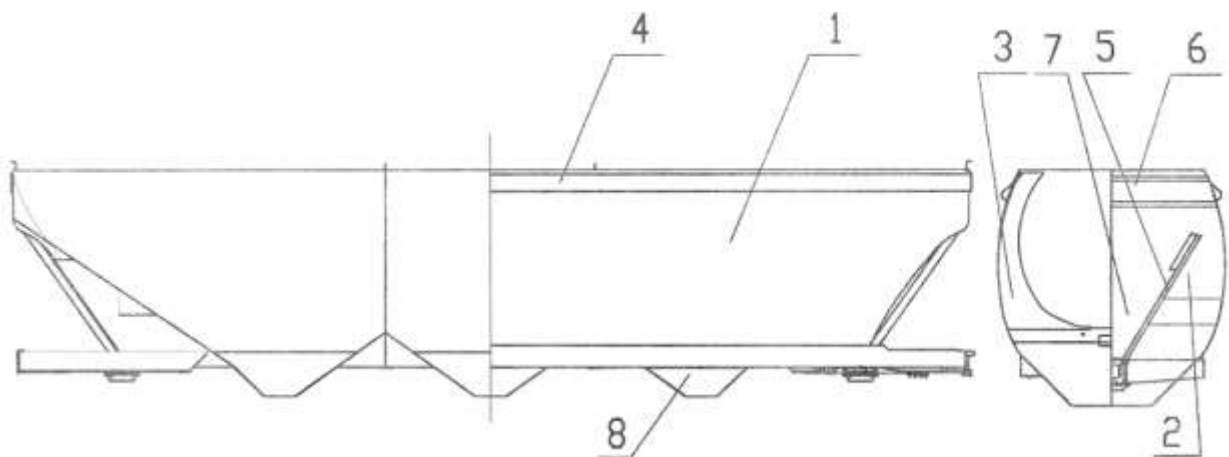


Рисунок 1.11 - Кузов вагона-хопера моделі 19-7053

Верхня обв'язка 4 має С-образний перетин і виготовлена з листового прокату товщиною 3 мм з конструкційної низьколегованої сталі марки 09Г2С.

Похилі торцеві стіни підкріплені двома підкосами 5 з листового прокату товщиною 6 мм зі сталі марки 09Г2С, посиленими по краю армуванням, виконаним з швелера 12П по ГОСТ 8240.

Підкоси встановлені V-образно і з'єднані з верхнім 6 та нижнім 7 Г-подібними горизонтальними поясами, виготовленими з листа товщиною 6 мм марки сталі 09Г2С. Обшивка торцевих стін вагона так само виконана з гладкого листа товщиною 6 мм марки сталі 09Г2С. Бункера 8 замикають нижню частину кузова. Стіни бункерів виконані з гладкого листа товщиною 5 мм марки сталі 09Г2С. У нижній частині кожного бункера є розвантажувальні прорізи для висипання вантажу.

Рама вагона (рис.1.12) складається з двох консольних хребтових балок 1, двох шворневих балок 2, двох бокових балок 3, двох проміжних балок 4, чотирьох лобових листів 5 і двох настилів 6.

Кожна консольна хребтова балка виконана з двох балок зетового профілю. Кінцеві частини хребтових балок обладнані литими передніми упорами і задніми упором, об'єднаними з надп'ятниками.

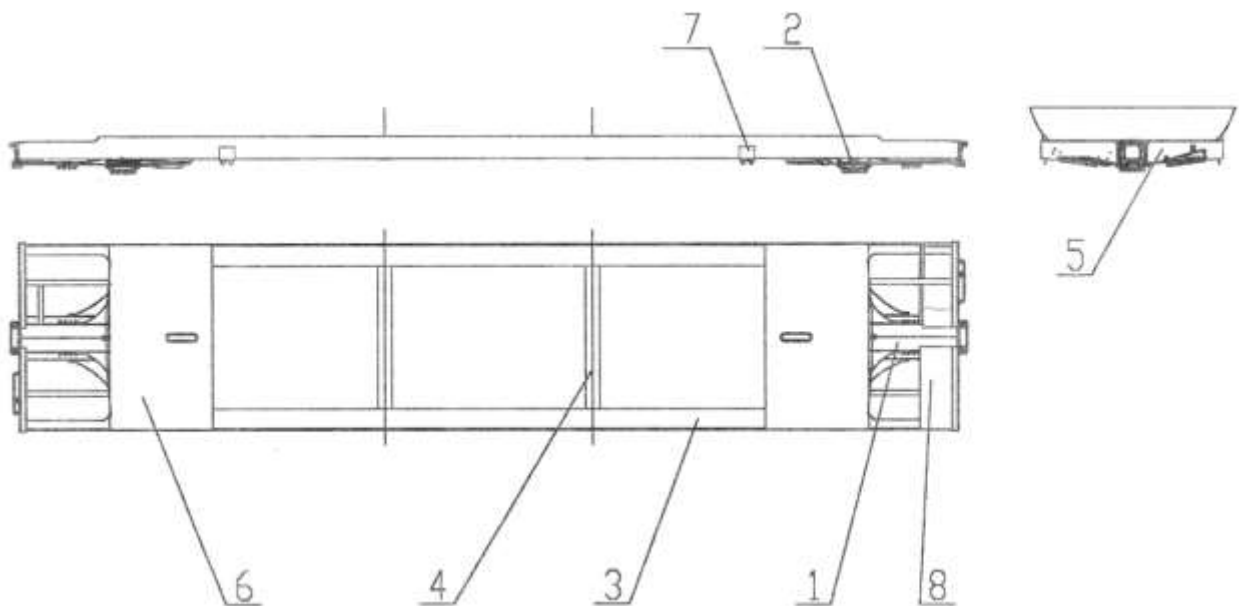


Рисунок 1.12 - Рама вагона-хопера моделі 19-7053



Шворневі балки мають коробчастий перетин, утворений двома вертикальними листами товщиною 10 мм марки сталі 09Г2С і нижнім листом товщиною 12 мм марки сталі 09Г2С. Балки виконані у вигляді бруса змінного перерізу.

При збиранні рами зверху до кожної балки приварюється консольний лист товщиною 6 мм з марки сталі 09Г2С. Для встановлення рами на візки на нижньому листі кожної шворневої балки встановлені по два ковзуни, штамповані з листа товщиною 14 мм марки сталі 09Г2 і п'ятник.

Проміжні балки встановлені між бункерами і зварені з нижнього і вертикального листів товщиною 6 мм марки сталі 09Г2С, що утворюють тавровий розтин.

Лобові листи Г-подібної форми виконані з листа товщиною 4 мм марки сталі 09Г2С. На лобових листах кріпляться розчіплювальні важелі з кронштейнами, поручні складача і скоби сигнального ліхтаря. З боку перехідної площадки на консольній частині рами, встановлені настили 8, виготовлені з просічно-витяжного листа. На бокових балках 3 рами встановлені кронштейни 7, призначені для підйому кузова з візків з допомогою строп, при вивантаженні перевезеного вантажу через нижні розвантажувальні люки.

Ударно-тягові пристрої вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-7053 мають типову конструкцію, при цьому використовуються поглинальні апарати Т1, основні характеристики поглинальних апаратів класу Т1 наведені в табл. 1.2.

Для порівняння особливостей конструкції вагонів-хоперів для перевезення зерна було проведено аналіз згідно табл. 3, де методом співставлення визначено окремі характеристики конструкції вагонів, які можуть мати вплив на характеристики міцності та ресурсу несних конструкцій вагонів.

Таблиця 1.3 – Порівняльна таблиця особливостей конструкції вагонів-хоперів для перевезення зерна

№ п/п	Характеристика	Модель вагона 19-752 (11-739)	Модель вагона 19-7016	Модель вагона 19-7053
1	Кузов			
1.1	Тип кузова	Бункерний	Бункерний	Бункерний
1.2	Об'єм, м³	94 (93)	108	116
1.3	Кількість люків для завантаження/ розвантаження	4/6	3/4	5/3
1.4	Матеріал	Сталь 09Г2С	Сталь 09Г2С	Сталь 09Г2С
1.5	Складові елементи (особливості)	Повноцінна хребтова балка	Хребтові балки консольного типу	Хребтові балки консольного типу
2	Рама			
2.1	Тип конструкції	Штамповварна	Штамповварна	Штамповварна
2.2	Матеріал	Сталь 09Г2С	Сталь 09Г2С	Сталь 09Г2С
2.3	Складові елементи	Обмежена площа кріплення заднього упору	Наявність додаткової повздовжньої балки в передній частині рами	Наявність розпорок в передній частині рами
3	Удрано-тягові пристрої			
3.1	Тип поглинального апарату	T0	T1	T1
3.2	Енергоємність та хід	50 кДж/90 мм	70 кДж/120 мм	70 кДж/120 мм
3.3	Складові частини	СА-3	СА-3	СА-3

Кузова вагонів-хоперів для перевезення зерна відрізняються об'ємом, кількістю завантажувальних та розвантажувальних люків та деякими складальними елементами, всі кузова мають типову конструкцію бункерного типу. Рами вагонів мають різну конструкцію, зокрема вагони нового покоління (моделі 19-7016, 19-7053) мають конструкцію, що обмежує навантаження на задній упор рами кузова, який розміщується окремо від шворневого вузла, що сприймає вертикальні навантаження. А сам задній упор має, щонайменше в два рази більшу площу поверхні з'єднання з рамою кузова в порівнянні з конструктивом вагона-зерновоза моделі 19-752. Також рами вагонів нового покоління в передній частині мають розкоси або додаткові повздовжні бали та не мають хребтової балки в середній частині вагона (крапельного типу). Така особливість конструктиву вагонів-хоперів для перевезення зерна нового покоління забезпечує рівномірний розподіл повздовжніх навантажень на задньому та передніх упорах, а шворневий вузол окремо забезпечує розподіл вертикальних навантажень. Тобто, вагони моделі 19-752 та 11-739 мають недолік конструкції пов'язаний з меншою площею кріплення заднього упору до хребтової балки, що теоретично може призводити до передчасної появи дефектів внаслідок тривалої експлуатації.

Ударно-тягові пристрої вагонів-хоперів для перевезення зерна мають типову конструкцію та відрізняються типом поглинального апарату. На вагоні моделі 19-752 та 11-739 встановлено апарати класу Т0, а на вагонах моделі 19-7016, 19-7053 – класу Т1, які мають підвищену енергоємність в порівнянні з апаратами класу Т0, що свідчить про значно вищу амортизаційну здатність.

#### **1.4 Аналіз особливостей умов експлуатації вагонів-хоперів для перевезення зерна та основних положень нормативних документів щодо їх утримання**

Відмінною особливістю всіх бункерних вагонів є наявність завантажувальних люків на даху вагона, а у підвагонному просторі бункерів з люками, що дозволяють автоматизувати розвантаження вагонів. Особливості

експлуатації вагонів-хоперів для перевезення зерна полягають в процедурі завантаження і вивантаження сипких вантажів. При порушенні правил завантаження вагона-хопера для перевезення зерна або при проходженні вагоном сортувальних гірок може відбуватись зсув вантажу, який призводить до негативних наслідків в експлуатації.

Згідно довідки АСК ВП УЗ №1435 щодо виявлення комерційних несправностей в розрізі регіональних філій АТ «Укрзалізниця» було проведено аналіз за 2021-2023 роки з метою виявлення системних комерційних несправностей, які притаманні вагонам хоперам для перевезення зерна. Так було проаналізовані основні коди комерційних несправностей 711-715, які пов'язані з перевезенням вантажу, результати аналізу зведені в табл. 1.4, при цьому використовувались загальні суми несправностей по АТ «Укрзалізниця» без врахування їх розподілу по регіональним філіям.

Таблиця 1.4 – Аналіз комерційних несправностей вантажних вагонів

Період звітності	КОМЕРЦІЙНІ НЕСПРАВНОСТІ					ВСЬОГО
	Вантаж або його кріплення виходять за габарит навантаження	Повздовжнє зміщення центру маси вантажу більше допустимих норм	Поперечне зміщення центру маси вантажу більше допустимих норм	Розміщення вантажу не у відповідності з ТУ, НТУ та МТУ	Невідповідність кількості та розмірів засобів кріплення вимогам ТУ, НТУ та МТУ	
Код	711	712	713	714	715	
2021	4	928	41	71	18	1062
2022	2	345	0	9	2	358
2023	0	238	0	33	4	275
<b>Всього:</b>	<b>6</b>	<b>1511</b>	<b>41</b>	<b>113</b>	<b>24</b>	<b>1695</b>

Отже, 89 % всіх комерційних несправностей вантажних вагонів за 2021-2023 роки становлять несправності по коду 712 – Повздовжнє зміщення центру маси вантажу більше допустимих норм, а саме 1511 випадків, що свідчить про

системність даного виду несправності. Далі розглянемо, яким чином розподіляються несправності по коду 712 по видам вантажних вагонів за 2021-2023 роки (рис. 1.13).

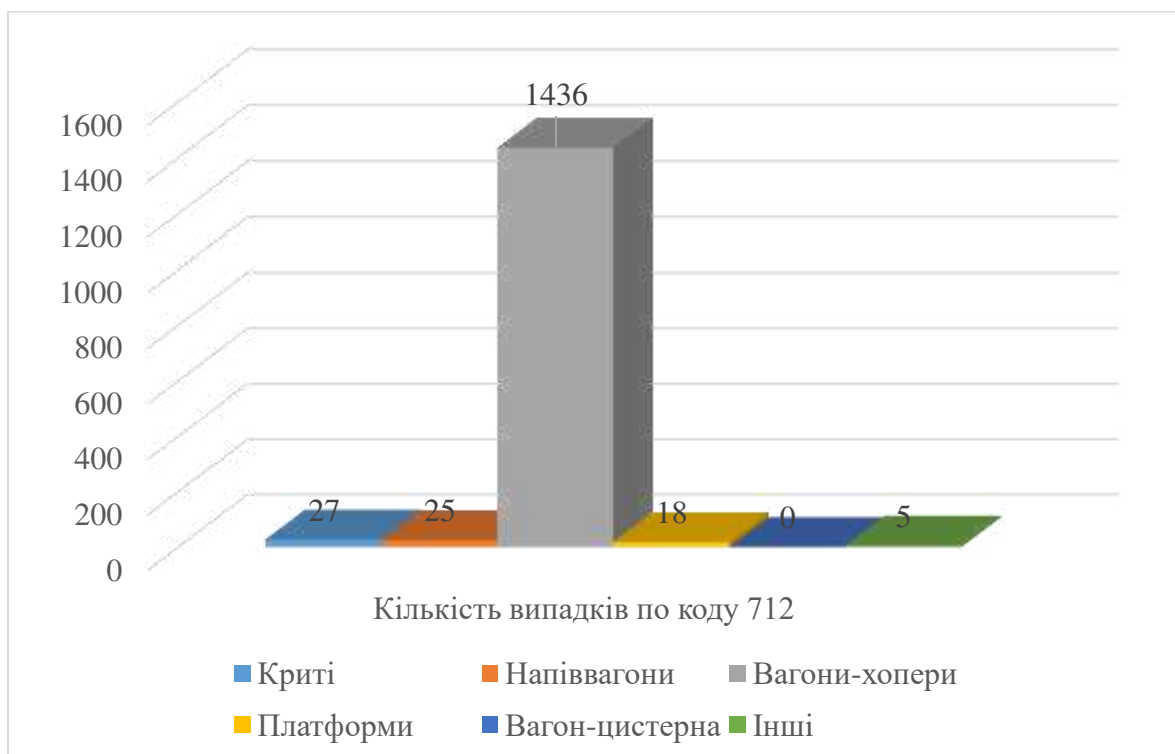


Рисунок 1.13 – Розподіл несправностей по зміщеному вантажу по видам вантажних вагонів

Отже, згідно рис. 1.13 визначено, що 95% (1436 випадків) всіх виявлених комерційних несправностей по коду 712 протягом 2021-2023 років було зафіксовано на вагонах-хоперах для перевезення зерна. Враховуючи результати проведеного аналізу комерційних несправностей вантажних вагонів встановлено, що системною комерційною несправністю для вагонів-хоперів для перевезення зерна є повздовжнє зміщення центру маси вантажу більше допустимих норм.

В подальшому розглянемо результати проведених досліджень, щодо впливу зміщення вантажу в вагонах-хоперах для перевезення зерна на їх динамічні характеристики. Згідно [20] визначено значення динамічних

параметрів, обумовлених зміщенням вантажу, які діють на вагон-хопер для перевезення зерна, що наведені в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Зміна значень динамічних параметрів при зсуві вантажу

Назва параметра	Рівномірне навантаження	Навантажений візок		Розвантажений візок		Відсоток - невідповідності до рівномірного навантаження	
	$\Delta P = 0$	$\Delta P = 7$	$\Delta P = 14$	$\Delta P = -7$	$\Delta P = -14$	$\Delta P = 7$	$\Delta P = 14$
Навантаження на вісь, тс/вісь	23,5	27	30,5	20	16,5	-	-
Швидкість руху 90 км/год (максимальна допустима швидкість руху вантажних поїздів)							
Коефіцієнт вертикальної динаміки	0,540	0,506	0,480	0,586	0,651	8,47%	20,55%
Вертикальне динамічне навантаження, тс	18,904	21,265	23,534	16,403	13,673	12,49%	24,49%
Погонне динамічне навантаження на рейкову колію, тс/м	17,873	20,084	22,296	15,663	13,453	12,37%	24,75%
Рамна сила, що діє на боковину візка, тс	4,47	5,13	5,80	-	-	14,89%	29,79%
Швидкість руху 120 км/год (конструкційна)							
Коефіцієнт вертикальної динаміки	0,756	0,694	0,756	0,840	0,960	11,08%	26,90%
Вертикальне динамічне навантаження, тс	26,477	29,168	31,692	23,528	20,159	10,17%	19,70%
Погонне динамічне навантаження на рейкову колію, тс/м	20,384	22,593	24,803	18,176	15,970	10,84%	21,68%
Рамна сила, що діє на боковину візка, тс	5,710	6,561	7,411	-	-	14,89%	29,79%

Зсув вантажу в вагоні-хопері для перевезення зерна негативно впливає на динаміку вагона та його міцність, за результатами розрахункових досліджень [20] було встановлено:

1. Осьове навантаження залежно від перерозподілу вантажу на один візок може збільшуватись до 27 - 30,5 тс/вісь;
2. Зсув центра ваги вантажу уздовж вагона становить 0,35-0,7 м;

3. Коефіцієнт вертикальної динаміки збільшується на 11-27% порівняно з рівномірним розподілом;

4. Вертикальне динамічне навантаження збільшується на 10-20 %;

5. Погонний динамічний вплив на колію збільшується на 11-22 %;

6. Рамна сила на боковину візка збільшується на 15-30 %.

Перевірка 46 вагонів-хоперів для перевезення зерна показала, що різниця вертикальних сил, які діють на візки, може становити від 7 тс до 14 тс, тобто в середньому 10%.

Нерівномірне навантаження вагона-хопера для перевезення зерна призводить до збільшення навантаженості окремих елементів вагонів, що призводить до їх підвищеного зносу, а значить зменшує їх ресурс та, як наслідок, погіршується безпека руху. Слід зазначити, що при проектуванні вагонів-хоперів для перевезення зерна згідно вимог [3] не передбачено окремих розрахункових режимів або їх уточнення з врахуванням особливостей їх експлуатації, зокрема нерівномірного навантаження.

В таблиці 1.6 наведено об'єми декількох зернових вантажів, що відповідають вазі 70 т (максимальна вантажопідйомність вагона моделі 19-752). Так, навіть при повному завантаженні вагона-хопера зерном, у кузові може залишитись більше 10 м<sup>3</sup> вільного місця і значно більше при недовантаженні вагона, що сприяє його зсуванню при маневрових роботах та збільшує ризик нерівномірного навантаження.

Таблиця 1.6 – Об'єм вантажу що відповідає максимальній вантажопід'ємності вагона-хопера моделі 19-752

№	Вид вантажу	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Об'єм вантажу для 70 т, м <sup>3</sup>	Об'єм кузова вагона зернового вагона моделі 19-752, м <sup>3</sup>
1	Пшениця	750-850	82,4–93,3	94
2	Кукурудза	600–820	85,4–116,7	
3	Макуха	590-670	104,5–118,6	
4	Овес	400-550	127,3–175	

Враховуючи особливості експлуатації вагонів-хоперів для перевезення зерна з нерівномірно розміщеним вантажем, внаслідок порушення вимог щодо завантаження або зсуву вантажу під час маневрових робіт, доцільно при проєктуванні нових конструкційних рішень несних конструкцій вагонів-хоперів для перевезення зерна врахувати нерівномірність міжвізкового навантаження на рівні 10%.

Утримання вагонів-хоперів для перевезення зерна передбачено наступними нормативно-правовими актами державного рівня та нормативними документами АТ «Укрзалізниця».

1 Правила технічної експлуатації залізниць України [21], затверджені наказом Міністерства транспорту України від 20.12.1996 №411, зареєстровані в Міністерстві юстиції України 25.02.1997 №50/1854.

Правила технічної експлуатації залізниць України встановлюють основні положення та порядок роботи залізниць і працівників залізничного транспорту України, основні розміри, норми утримання найважливіших споруд, пристроїв та рухомого складу і вимоги, які ставляться до них, систему організації руху поїздів та принципи сигналізації.

2 Правила експлуатації власних вантажних вагонів [22], затверджено наказом Міністерства інфраструктури України від 29.01.2015 №17 та зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 14.02.2015 №168/26613.

Ці Правила регламентують порядок експлуатації власних вантажних вагонів на залізничному транспорті загального користування. Правила є обов'язковими для при перевезеннях вантажів вагонами, що перебувають у власності перевізників, операторів, підприємств, установ, організацій, фізичних осіб – підприємців, які орендують їх в інших власників або якими вони володіють на підставі договору управління майном, договору про спільну діяльність тощо. У цих Правилах встановлюються вимоги до нумерації, курсування, умов експлуатації та організації перевезень власних вантажних вагонів. Вимоги до технічного обслуговування та ремонту повинні встановлюватись АТ «Укрзалізниця».



3 СТП 04-010:2018 Вагони вантажні. Система технічного обслуговування та ремонту за технічним станом [23]. Прийнято та надано чинності рішенням Правління АТ «Укрзалізниця» від 05.09.2018 № Ц-64/70 Ком.т. Стандарт установлює вимоги до системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця», яка є складовою частиною системи планово-попереджувального ремонту рухомого складу АТ «Укрзалізниця» та призначений для забезпечення і підтримання вантажних вагонів у робочому стані та відновлення їх експлуатаційної надійності. Цей стандарт не містить вимог до обсягів проведення робіт з ремонту та технічного обслуговування, а лише встановлює нормативи періодичності проведення технічного обслуговування та планових видів ремонту вантажних вагонів.

4 ЦВ-0043 Інструкція з технічного обслуговування вантажних вагонів в експлуатації [24], затверджено наказом Укрзалізниці від 25.09.2008 № 417-Ц

Ця Інструкція встановлює порядок технічного обслуговування вагонів в експлуатації, технічні вимоги до вузлів і деталей вагонів з метою забезпечення безпеки руху поїздів, безпеки перевезення пасажирів та збереження вантажів, що перевозяться. В Інструкції встановлені основні положення, загальні технічні вимоги, заходи безпеки при технічному обслуговуванні вантажних та пасажирських вагонів.

5 СТП 04-021:2020 Вагони вантажні залізниць колії 1520 мм. Правила з технічного обслуговування з відчепленням [25]. Прийнято та надано чинності: рішенням Правління АТ «Укрзалізниця» від 01.10.2020 № Ц-45/83 Ком.т. Стандарт застосовують вагоноремонтні підприємства, що виконують технічне обслуговування вантажних вагонів з відчепленням (ТОВ-2). Цей стандарт встановлює вимоги до виконання технічного обслуговування вантажних вагонів з відчепленням, що мають право виходу на колії загального користування незалежно від прав власності.

6 СТП 04-032:2020 Вагони вантажні. Настанова з деповського ремонту [26]. Прийнято та надано чинності: рішенням Правління АТ «Укрзалізниця» від 01.10.2020 № Ц-45/83 Ком.т. Стандарт установлює вимоги до організації та

проведення деповського ремонту вантажного рухомого складу, їх деталей і складових частин. Цей стандарт застосовують під час проведення деповського ремонту універсальних та спеціальних вантажних вагонів, що експлуатують на коліях загального користування залізниць України, третіх країн та в міждержавному сполученні. Даний стандарт не містить вимог що враховують особливості конструкції вагонів-хоперів для перевезення зерна, окрім ремонту розвантажувальних та завантажувальних пристроїв.

7 СТП 04-016:2018 Вагони вантажні залізничного транспорту колії 1520 (1524) мм. Настанова з капітального ремонту [27]. Введено в дію наказом АТ «Укрзалізниця» від 25.04.2019 № 282. Стандарт встановлює правила виконання капітального ремонту вантажних вагонів та основні положення. Стандарт передбачає окремі вимоги до всіх типів вагонів, в тому числі і до ремонту вагонів-хоперів для перевезення зерна, але ці вимоги стосуються виключно завантажувальних та розвантажувальних механізмів і не поширюються на особливості конструкції рами вагонів. Для встановлення вимог щодо ремонту рами вагону у стандарті посилаються на інший стандарт СТП 04-020:2018.

8 СТП 04-020:2018 Вагони вантажні та контейнери. Правила ремонту при зварюванні та наплавленні [28]. Введено в дію рішенням правління від 05.09.2018. Даний стандарт встановлює вимоги до ремонту методом зварювання та наплавлення до автозчепного обладнання, ходової частини, кузова та рами вагонів. Стандартом визначено вимоги до персоналу, обладнання та витратних матеріалів, а також передбачені вимоги до усунення дефектів конструкції вагонів методом зварювання та наплавлення. Слід зазначити, що стандарт не передбачає усунення тріщин хребтових балок в місцях клепаного з'єднання з заднім упором поглинального апарату автозчепного пристрою вагонів-хоперів для перевезення зерна.

9 СТП 04-102:2021. Вагони вантажні. Технічне обслуговування. Правила з підготовки вантажних вагонів до перевезень [29], що затверджено та введено в дію протокольним рішенням правління АТ «Укрзалізниця» від 20.05.2021

№ Ц-56/56. Даний стандарт встановлює загальні вимоги до підготовки порожніх вантажних вагонів до перевезень, встановлює обсяги робіт та вимоги до заходів з безпеки.

10 ЦВ-0063 Правила виключення вантажних вагонів із інвентарного парку[30], затверджено наказом Укрзалізниці від 11.05.2005 № 151-ЦЗ. Даний нормативний документ встановлює критерії до вантажних вагонів, які підлягають виключенню із інвентарного парку за технічним станом або у зв'язку із закінчення строку служби. Встановлені вимоги мають загальний характер і не враховують конструктивні особливості вагонів-хоперів для перевезення зерна.

11 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 [4], що затверджений наказом Міністерства інфраструктури України від 30.11.2021 №647. Цей Порядок встановлює механізм 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, а також встановлює вимоги до строків продовження експлуатації вантажних вагонів, в яких закінчився призначений строк служби. Вагони-хопери для перевезення зерна, згідно даного Порядку, мають граничний строк експлуатації до 45 років від побудови, при нормативному строку служби 30 років.

Розглянута діюча нормативна документація щодо утримання вагонів-хоперів для перевезення зерна повністю не враховує особливості їх конструкції та експлуатації, зокрема відсутні вимоги в частині ремонту дефектів рами кузова в місці з'єднання з задніми упорами. Також в нормативній документації не

передбачено окремих вимог, які б унеможливлювали експлуатацію вагонів-хоперів для перевезення зерна з нерівномірним навантаженням.

### **1.5 Формування гіпотези**

На основі проведеного аналізу наукових публікацій можна зробити висновок, що питання особливості конструкції вагонів-хоперів для перевезення та їх умов експлуатації недостатньо вивчено. Так, за результатами аналізу конструктивних особливостей нових моделей вагонів-хоперів для перевезення зерна та моделей минулих років, автором було встановлено, що вагони хопери моделей 19-752 та 11-739 мають недоліки конструкції в місці з'єднання хребтової балки з заднім упором, що може призводити до передчасного руйнування цього з'єднання. Окрім цього, особливістю вагонів-хоперів для перевезення зерна є можливість їх експлуатації з нерівномірним навантаженням, що негативно впливає на міцнісні характеристики несних конструкцій вагонів та їх ресурс.

Таким чином, автором висунуто наступну гіпотезу: відмови несних конструкцій вагонів-хоперів для перевезення зерна пов'язані з недосконалою конструкцією місця з'єднання хребтової балки рами з заднім упором та наднормативними напруженнями, які виникають внаслідок їх експлуатації з нерівномірним навантаженням, що в повній мірі не враховано нормами проєктування несних конструкцій вантажних вагонів.

### **1.6 Висновки до розділу 1**

Аналіз наукових публікацій підтвердив актуальність теми дисертаційного дослідження. Існуючі дослідження направлені на вивчення конструкції вантажних вагонів з метою її удосконалення шляхом застосування нових матеріалів або нових конструктивних елементів у відповідності до [3], що стосується покращення несної здатності несних конструкцій вагонів-хоперів для перевезення зерна з удосконаленням методів досліджень, які враховують особливості їх конструкції та експлуатації, то такі дослідження відсутні. Тому дослідження щодо покращення несної здатності рами вагонів-хоперів для

перевезення зерна шляхом удосконалення конструкції та методів розрахунку є актуальними та потребують проведення з врахуванням результатів розглянутих публікацій.

Для структурного аналізу особливостей конструкції вагонів-хоперів для перевезення зерна було розроблено відповідну схему по якій аналізувались вагони нового покоління та вагон старої конструкції. Результати структурного аналізу особливостей конструкції вагонів-хоперів для перевезення зерна показали, що моделі нового покоління мають відмінності конструкції рами та ударно-тягових пристроїв, що значно поліпшують їх міцнісні та динамічні якості, а вагони старої конструкції потребують удосконалення. Так було визначено, що вагони моделі 19-752 та 11-739 в порівнянні з вагонами нового покоління мають значно меншу площу з'єднання хребтової балки з зданім упором і не мають додаткових повздовжніх балок або розкосів в передній частині вагона для розсіювання повздовжніх навантажень, також ці вагони мають поглинальні апарати класу Т0, які на сьогодні вже заборонено використовувати при будівництві нових вагонів через їх обмежену енергоємність. Ці особливості повинні бути враховані при покращенні несної здатності рами вагонів-хоперів для перевезення зерна.

Враховуючи результати проведеного аналізу комерційних несправностей вантажних вагонів встановлено, що системною комерційною несправністю для вагонів-хоперів для перевезення зерна є повздовжнє зміщення центру маси вантажу більше допустимих норм. Розглянуті особливості експлуатації вагонів-хоперів для перевезення зерна щодо нерівномірності їх навантаження призводять до збільшення навантажень на окремі елементи вагони та негативно впливають на їх міцність та ресурс. При цьому, нормативна документація щодо утримання вантажних вагонів не встановлює окремих вимог, які б унеможливили нерівномірне навантаження вагонів-хоперів для перевезення зерна та не враховує можливість ремонту хребтової балки рами вагонів-хоперів в місці з'єднання з заднім упором.

При проведенні досліджень щодо покращення несної здатності рами вагонів-хоперів для перевезення зерна слід враховувати конструкційні особливості рами кузова та вплив нерівномірного навантаження шляхом внесення уточнень до розрахункових моделей міцності та методів визначення ресурсу з встановленням нерівномірності міжвізкового навантаження на рівні не менше 10 %. Автором висунуто наступну гіпотезу: відмови несних конструкцій вагонів-хоперів для перевезення зерна пов'язані з недосконалою конструкцією місця з'єднання хребтової балки рами з заднім упором та наднормативними напруженнями, які виникають внаслідок їх експлуатації з нерівномірним навантаженням, що в повній мірі не враховано нормами проєктування несних конструкцій вантажних вагонів.

## РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ТА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РАМИ ВАГОНІВ-ХОПЕРІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНА

Для визначення впливу недосконалості конструкції несних конструкцій (рами кузова) вагонів-хоперів для перевезення зерна на їх технічний стан проведено системний аналіз статистичних даних щодо відмов в експлуатації. Разом з цим, з метою визначення впливу нерівномірного навантаження вагонів-хоперів для перевезення зерна на несну здатність рами виконано оцінку її напружено деформованого стану та розрахунок прогнозного ресурсу з врахуванням відповідних змін.

### 2.1. Аналіз відмов парку вагонів-хоперів для перевезення зерна

Парк вагонів-хоперів для перевезення зерна АТ «Укрзалізниця» становить 11 634 одиниць [1]. При цьому, моделі вагона-хопера для перевезення зерна 19-752 та 19-739 є найбільш поширеними і складають 99 % від всього парку, дані вагони мають подібну конструкцію несних конструкцій. Решта моделей (19-8005У та 19-6938) складають 1 % від загального парку вагонів-хоперів для перевезення зерна (рис. 2.1).

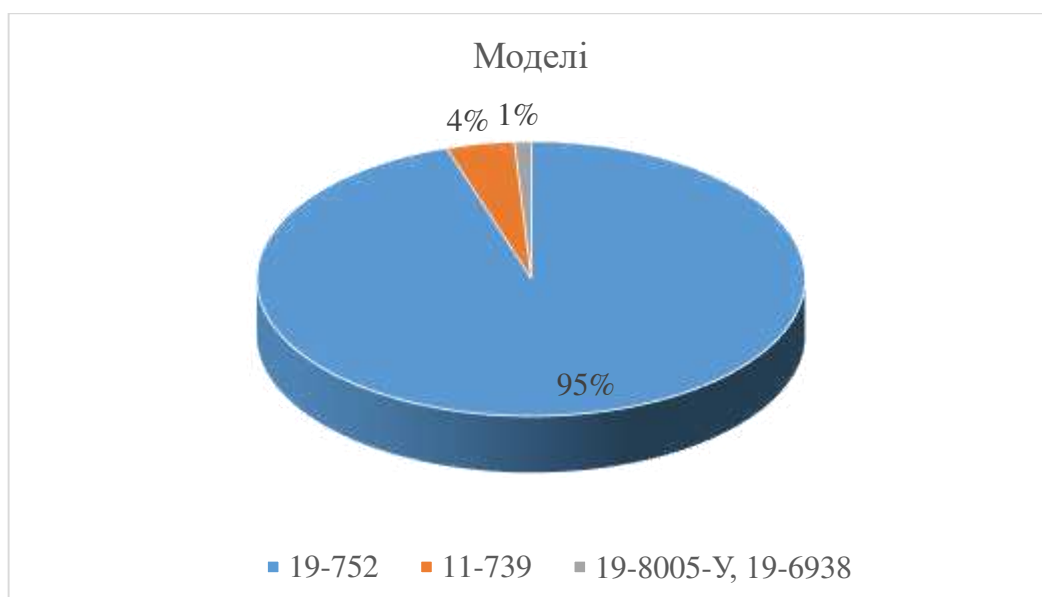


Рисунок 2.1 – Розподіл моделей вагонів-хоперів по моделях

Технічне обслуговування ТОВ-1 вантажних вагонів виконується при їх підготовці до перевезень з відчепленням вагона чи групи вагонів від поїзда, з їх подачею на спеціалізовані колії. Технічне обслуговування вантажних вагонів ТОВ-2 виконується з відчепленням вагонів від транзитних поїздів і тих, які прибули для розформування або від сформованих складів поїздів [25]. Цей вид технічного обслуговування відноситься до позапланового і призначений для виявлення та усунення дефектів (відмов), що виникають в експлуатації.

Відмова – це подія, яка полягає у втраті об'єктом здатності виконувати потрібну функцію, тобто у порушенні працездатного стану об'єкта [2].

Вибірка за відмовами всього парку вагонів-хоперів для перевезення зерна АТ «Укрзалізниця», що виявляються в експлуатації, була сформована згідно інформаційної довідки ГІОЦ УЗ [31] за період 60 діб у осінньо-зимовий період. Обраний період приймається як один з критичних, у зв'язку зі змінами кліматичних умов. Вибірку даних за відмовами (несправностями) вагонів сформовано для подальшого аналізу і наведено у табл. 2.1, згідно з кодами класифікатора «Основні несправності вантажних вагонів» (КЖА 2005 04) [32].

Таблиця 2.1 – Несправності вагонів-хоперів для перевезення зерна за даними їх технічного обслуговування ТОВ-1 та ТОВ -2 на протязі двох місяців

Код та назва обладнання	Код та назви несправностей	Σ Кількість, од.	Вид ТО
1xx- Колісні пари	101- Несправність вагону внаслідок сходу з рейок; 102 - Тонкий гребінь; 106 - Повзун на поверхні; 107 - Вищербина ободу колеса; 109 - Гострокінцевий накат гребеня; 111 - Тонкий обід; 151 - Зсув букси; 153 - Злам (згин) кришки букси; 157 - Нагрів підшипника у корпусі букси/під адаптером вище норми; 160 - Прострочений строк середнього ремонту колісної пари.	100	ТОВ-2
2xx- Візки	203 - Різниця баз бічних рам візка (більш нормативу); 206 - Злам тріщина ковзуна; 208 - Знос ковпака ковзуна; 210 - Відсутність ковпака ковзуна; 211 - Злам ковпака ковзуна; 212 - Тріщина ковпака ковзуна; 213 - Відсутність (зміщення) пружин; 214 - Злам пружин; 218 - Тріщина (злам) клину гасника коливань; 219 Завищення (заниження) фрикційного клину відносно опорної поверхні надресорної балки;	87	ТОВ-1, ТОВ-2



Код та назва обладнання	Код та назви несправностей	Σ Кількість, од.	Вид ТО
	220 - Невідповідність зазорів ковзуна; 225 - Несправність опорної прокладки у буксовому прорізі.		
3xx - Автозчепи	302 - Провисання автозчепи; 30 - Тріщина корпусу автозчепи; 310 - Несправність корпусу автозчепи; 320 - Тріщина ударної розетки; 344 - Тріщина (злам) клина (валика) тягового хомута; 345 - Нетипове кріплення клину тягового хомута; 348 - Несправність поглинаючого апарату; 349 - Злам (тріщина) упорної плити поглинаючого апарату; 350 - Обрив (ослаблення) болту підтримуючої планки; 360 - Злам (ослаблення) кріплення розчіпного приводу; 361 - Злам державки розчіпного приводу; 363 - Злам важеля розчіпного приводу; 380 - Тріщина (злам) центруючої балки.	45	ТОв-1, ТОв-2
4xx - Гальмове обладнання	401 - Несправність авторежиму та його приводу; 402 - Несправність регулятора гальмівної важільної передачі; 403 - Несправність повітророзподільвача; 404 - Несправність гальмівного циліндру; 405 - Несправність кінцевого крану; 406 - Несправність роз'єднувального крану; 408 - Зрив корончатої гайки триангеля; 410 - Несправність трійника повітропроводу гальмівної магістралі; 440 - Ослаблення кріплення труб повітропроводу і гальмівного обладнання; 441 - Обрив (злам) повітропроводу та підводячих труб гальмівної магістралі; 443 - Злам важелів та тяг гальмівної важільної передачі; 444 - Зношування втулок триангелю; 445 - Заварювання башмаку; 447 - Розрегулювання важільної передачі; 448 - Несправність ручного стоянкового гальма; 451 - Обрив (тріщина) кронштейну гальмівного циліндру; 452 - Тріщина (злам) підвіски гальмівного башмаку; 455 - Розукомплектування ручного стоянкового гальма.	685	ТОв-1, ТОв-2
5xx- Кузов	501 - Перекошування кузова більш ніж на 75 мм; 503 - Обрив зварного шву стойки; 504 - Обрив зварного шву розкосів; 505 - Пошкодження стоек; 539 - Пошкодження кришок люка та петель; 549 - Несправність вантажно-розвантажувальних механізмів спеціалізованих вагонів; 553 - Пошкодження (обрив) сходів, поручнів та підніжок; 567 - Тріщина (злам) сходів, поручнів та підніжок.	647	ТОв-1, ТОв-2

Код та назва обладнання	Код та назви несправностей	Σ Кількість, од.	Вид ТО
6xx- Рама	603 - Тріщина у вузлах з'єднання хребтової та шкворневої балок рами вагону; 607 - Ослаблення кріплення п'ятника; 613 – Тріщина на стінці хребтової балки; 614 - Обрив по зварюванню, розрив накладок; 618 - Злам (тріщина, обрив) розкосів; 621 - Тріщина кінцевих балок.	320	ТОВ-1, ТОВ-2
8xx– Небезпечні пошкодження	849- Наскрізний корозійний знос бічних стін та даху більш ніж 25% їх поверхні (можуть призвести до виключення вагону з інвентарного парку).	5	ТОВ-1
9xx– Відмови не пов'язані з технічним станом вагону	900- Несправність не пов'язана з технічним станом вагону; 902 - Відставлення за вказівкою залізничної адміністрації; 912 - Претензії до якості виконання деповського ремонту; 913 - Претензії до якості виконання капітального ремонту; 915 – Пошкодження на станційних коліях загального користування; 916 – Пошкодження на коліях організацій-клієнтів.	24	ТОВ-1, ТОВ-2

Загальна кількість проведених ТОВ-1 та ТОВ-2 вагонів-хоперів для перевезення зерна за зазначений період 2 місяці становила 1913 вагонів, з них: ТОВ-1 – 943 од., ТОВ-2 – 970 од. (рис. 2.2). За вказаний період розрахункова середня кількість вагонів, що пройшли технічне обслуговування з причин несправності їх вузлів становить 30,85 вагонів.

Проведений аналіз показав, що найбільші кількості технічних обслуговувань були проведені внаслідок наступних несправностей: 549 – несправність вантажно-розвантажувальних механізмів спеціалізованих вагонів – 506 од. або 26,45% від загальної кількості вагонів, що пройшли обслуговування; 455 – розукомплектування ручного стоянкового гальма – 233 од. або 12,18% від загальної кількості вагонів, що пройшли обслуговування.

В подальшому отримана вибірка була досліджена окремо по кожній групі вузлів вагону, відповідно до класифікатору «Основні несправності вантажних вагонів» (КЖА 2005 04) [32], по яким мали місце несправності.

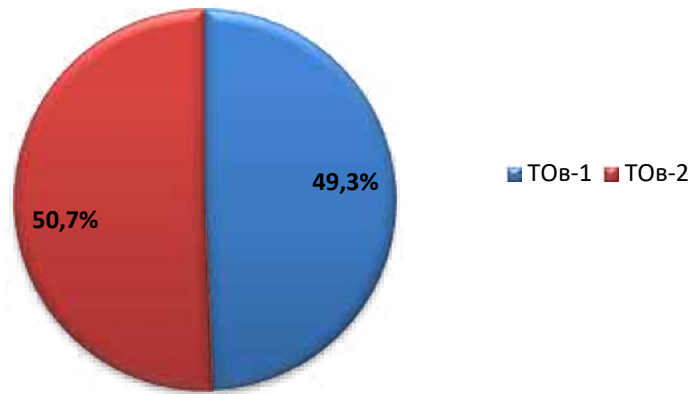


Рисунок 2.2 – Розподілення кількості технічних обслуговувань вагонів-хоперів для перевезення зерна за їх видами

До несправностей колісних пар вагону відносяться дані за кодами 1xx. Гістограма розподілу несправностей, що мали місце на вагонах-зерновозах у розглянутий період представлена на рис. 2.3. Загальна кількість ТОВ-1, ТОВ-2 по несправностям колісних пар вагонів становить 100 од. Найбільші кількості припадають на несправності 102 – Тонкий гребінь (30 од., 30%) та 109 – Гострокінцевий накат гребеня (31 од., 31%).

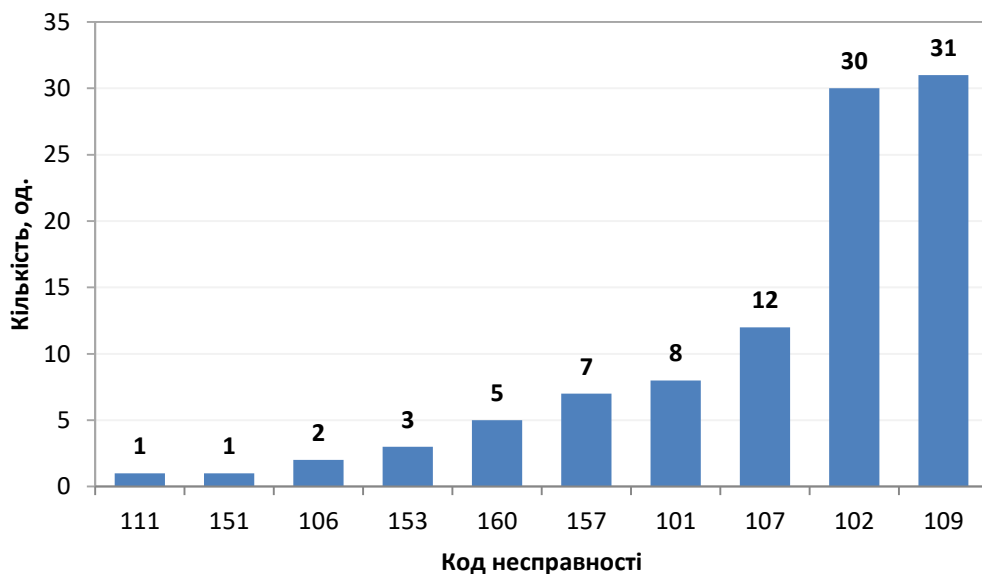


Рисунок 2.3 – Розподілення несправностей колісних пар

До несправностей візків вагонів-хоперів для перевезення зерна відносяться дані з кодами 2xx, розподілення яких представлено на рис. 2.3.

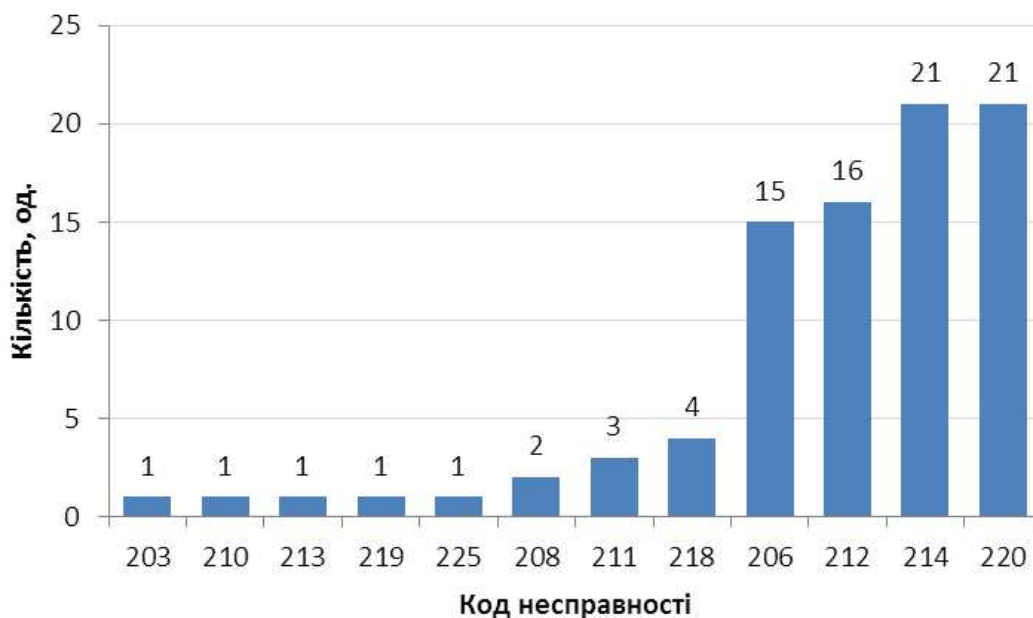


Рисунок 2.3 – Розподілення несправностей візків

Загальна кількість ТОВ-1, ТОВ-2 вагонів-хоперів для перевезення зерна по несправностям візків становить 87 од.

Найбільші кількості припадають на несправності: 220 – Невідповідність зазорів ковзуна (21 од, 24,1%), 214 – Злам пружин (21 од., 24,1%), 212 – Тріщина ковпака ковзуна (16 од., 18,4%) та 206 – Злам (тріщина) ковзуна (15 од., 17,2%).

До несправностей автозчепів вагонів-хоперів для перевезення зерна відносяться дані розділу з кодами 3xx табл. 2.1. Несправності, що мали місце для цих вагонів представлені на рис. 2.4 у вигляді діаграми розподілу по кількості випадків, які зафіксовані по певним кодам несправностей.

Слід зазначити, що виділяються 13 основних кодів несправності по яким фіксуються відмови.

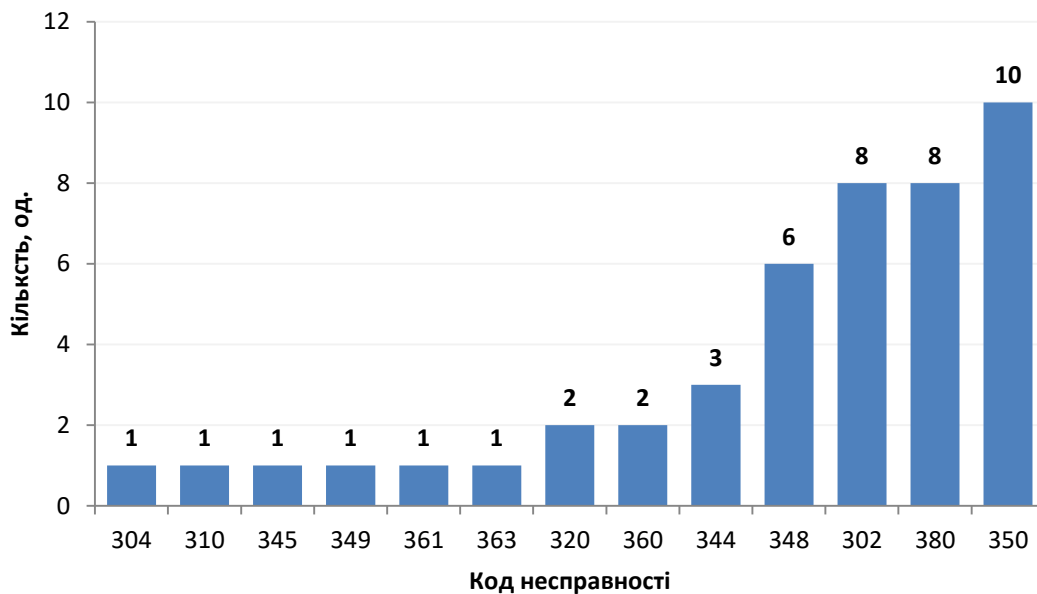


Рисунок 2.4 – Розподілення несправностей автозчепів

Загальна кількість ТОВ-1, ТОВ-2 вагонів-хоперів для перевезення зерна по несправностям автозчепа становить 45 од.

Найбільші кількості припадають на несправності: 348 – Несправність поглинаючого апарату (6 од., 13,3%), 302 – Провисання автозчепа (8 од., 17,8%), 380 – Тріщина (злам) центруючої балки (8 од., 17,8%) та 350 – Обрив (ослаблення) болту підтримуючої планки (10 од., 22,2%). Серед несправностей автозчепа були зафіксовані випадки тріщини корпусу автозчепу (код 304), злам (тріщина) упорної плити поглинаючого апарату (код 349), тріщина ударної розетки (код 320), тріщина (злам) клина (валика) тягового хомута (код 360).

До несправностей гальмового обладнання вагону відносяться дані з кодами 4xx табл. 2.1. Несправності гальмівного обладнання, що мали місце для вагонів-хоперів для перевезення зерна представлені на рис. 2.5.

Слід зазначити, що виділяються 18 основних кодів несправності по яким фіксуються відмови.

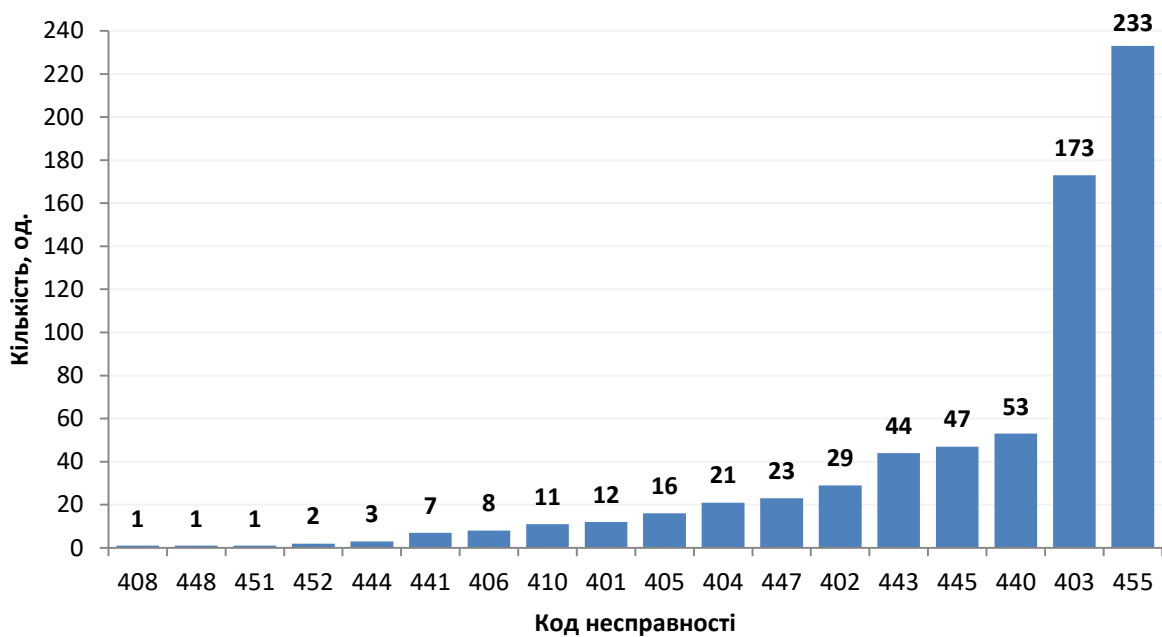


Рисунок 2.5 – Розподілення несправностей гальмового обладнання

Загальна кількість ТОВ-1, ТОВ-2 вагонів-хоперів для перевезення зерна по несправностям гальмового обладнання становить 685 од.

Найбільші кількості припадають на несправності:

455 – Розукомплектування ручного стоянкового гальма (233 од., 34%), 403 – Несправність повітророзподільника (173 од., 25,3%), 440 – Ослаблення кріплення труб повітропроводу і гальмового обладнання (53 од., 7,7%), 445 – Заварювання башмаку (47 од., 6,9%) та 443 – Злам важелів та тяг гальмівної важільної передачі (44 од., 6,4%).

До несправностей кузова вагонів-хоперів для перевезення зерна відносяться дані з кодами 5xx табл. 2.1.

Несправності по кузову вагонів-хоперів для перевезення зерна представлені на рис. 2.6.

Слід зазначити, що виділяються 8 основних кодів несправності по яким фіксуються відмови.

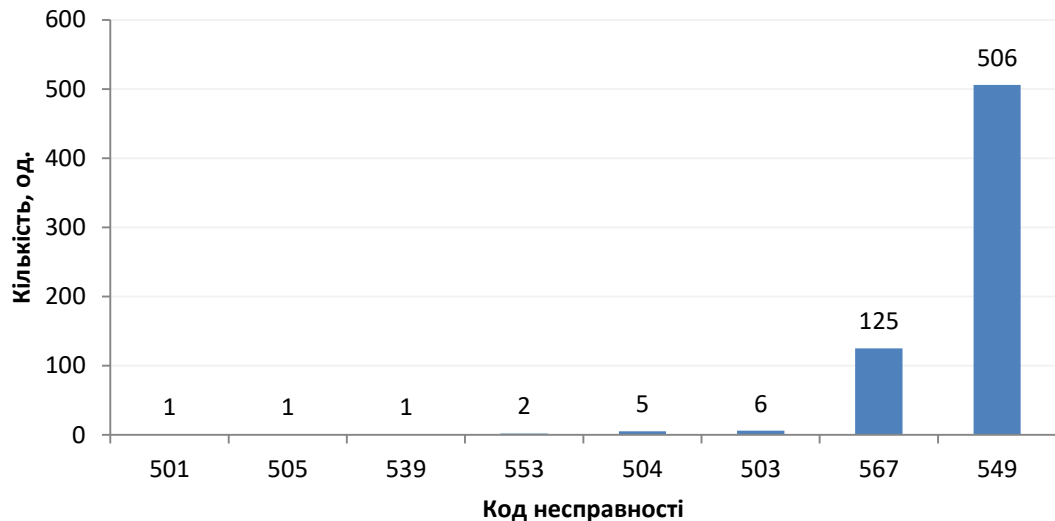


Рисунок 2.6 – Розподілення несправностей кузова

Загальна кількість ТОВ-1, ТОВ-2 вагонів-хоперів для перевезення зерна по несправностям кузова становить 647 од. Найбільші кількості припадають на несправності: 549 – Несправність вантажно-розвантажувальних механізмів спеціалізованих вагонів (506 од., 78,2%) та 567- Тріщина (злам) сходів, поручнів та підніжок (125 од., 19,3%).

До несправностей рами вагонів-хоперів для перевезення зерна відносяться дані з кодами бхх табл. 2.1. Несправності рами, що мали місце для вагонів-хоперів для перевезення зерна представлені на рис. 2.7.

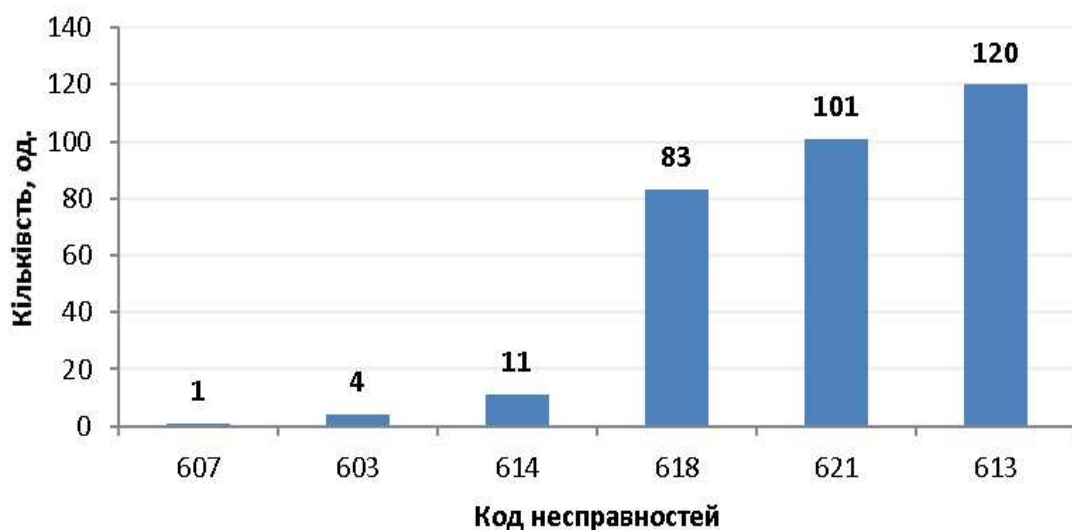


Рисунок 2.7 - Розподілення несправностей рами вагонів-хоперів для перевезення зерна

Загальна кількість ТОВ-1, ТОВ-2 по несправностям рами кузова становить 320 од. Найбільші кількості відносяться на несправності: 613 – Тріщина на стінці хребтової балки (120 од., 37,5%), 621 – Тріщина кінцевих балок (101 од., 31,6%) та 618 – Злам (тріщина, обрив) розкосів (83 од., 25,9%).

Протягом розглянутого періоду експлуатації також мали місце 5 випадків технічного обслуговування по несправності 849 – Наскрізний корозійний знос бічних стін та даху більш ніж 25% поверхні, код 8xx табл. 2.1, а також зафіксовані технічні обслуговування по несправностям не пов'язаним з технічним станом вагонів, код 9xx табл. 2.1. Перелік несправностей даної групи представлений на рис. 2.8.

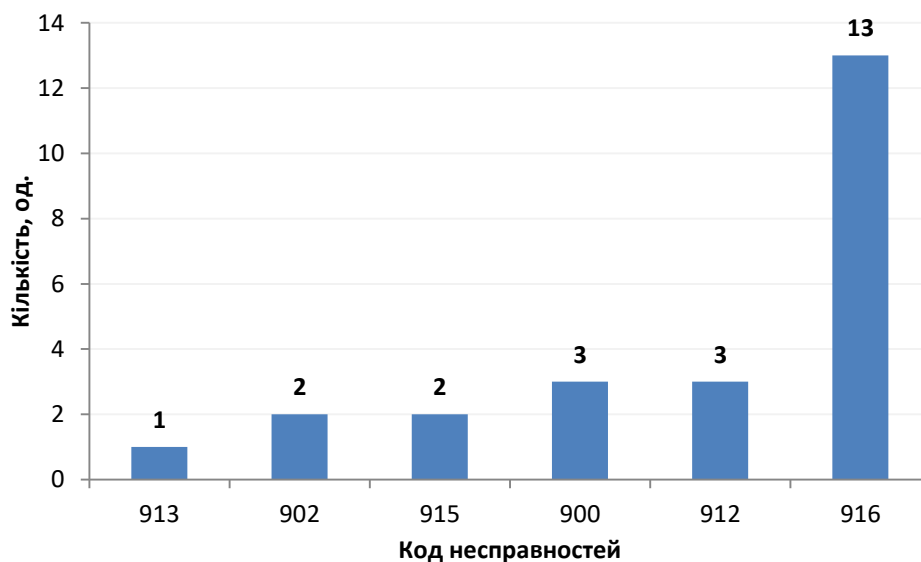


Рисунок 2.8 – Розподілення відмов вагонів-хоперів для перевезення зерна, що не пов'язані з їх поточним технічним станом

Аналіз сумарних кількостей експлуатаційних несправностей вагонів-хоперів для перевезення зерна відносно груп їх обладнання (рис. 2.3 – 2.8) показав (рис. 2.9), що найбільші кількості відмов приходяться на наступні групи: несправності гальмового обладнання вагона, код 4xx (685 од, 35,8%), несправності кузова вагону, код 5xx (647 од., 33,8%) та несправності рами вагону, код 6xx (320 од., 16,7%).



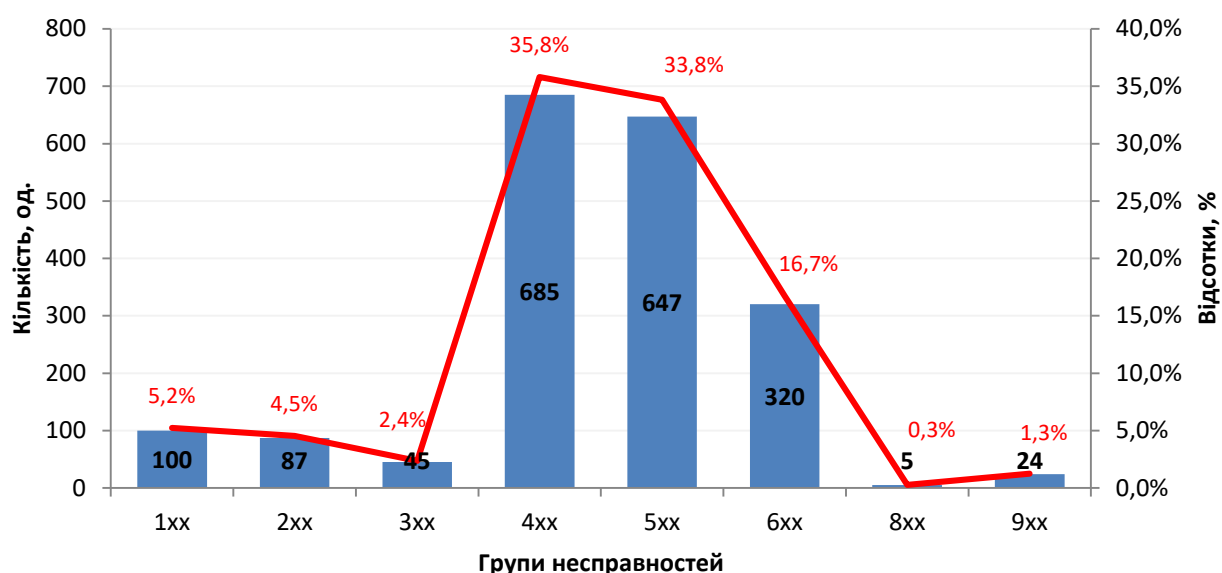


Рисунок 2.9 – Розподілення кількості відмов досліджених вагонів-хоперів для перевезення зерна по групам їх обладнання

Якщо розглянути отриману вибірку по виконаних технічних обслуговуванням вагонів-хоперів для перевезення зерна з точки зору року побудови вагонів, то розрахунковий середній вік вагона-хопера для перевезення зерна на несправність становить 31,96 роки, межі розподілення віку від 1 до 43 років. Розподіл кількості вагонів, що досліджувалися, відносно їх вікових груп представлено на рис. 2.10.

Згідно отриманих результатів дослідження встановлено, що для обраної вибірки даних по несправностям, 90% технічних обслуговувань з відчепленням вагонів-хоперів для перевезення зерна по несправностям їх обладнання приходяться на вагони, що перевищили встановлений нормативний строк служби 30 років.

У зв'язку з цим, можна зробити висновок, що після настання призначеного строку служби вагонів-хоперів для перевезення зерна слід переглянути систему технічного діагностування та ремонту в частині впровадження удосконалення конструкцій з метою покращення їх надійності та несної здатності.

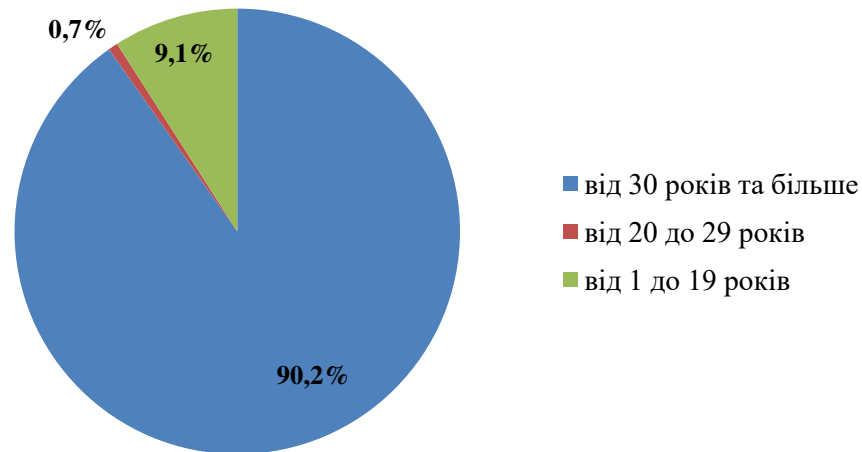


Рисунок 2.10 – Розподілення кількості вагонів-хоперів для перевезення зерна по віковим групам з моменту їх побудови

Із загальної кількості парку вагонів-хоперів для перевезення зерна АТ «Укрзалізниця» (11 634 од.) тільки за два місяці їх експлуатації були відчеплені у позаплановий ремонт (ТОВ-1 та ТОВ-2) 1913 вагонів, що становить 16,4% від загального парку. Такі результати свідчать про низький рівень готовності парку вагонів-хоперів для перевезення зерна АТ «Укрзалізниця» [2]. Разом з цим визначено, що значний вплив на технічний стан в експлуатації вагонів-хоперів для перевезення зерна мають відмови рами кузова, зокрема найбільші кількості відмов рами вагона відносяться тріщини на стінці хребтової балки (120 од., 37,5%), що свідчить про необхідність проведення досліджень щодо конструкційного удосконалення рами.

Основні результати проведених досліджень приведені в працях [33-35].

## **2.2 Системний аналіз технічного стану рам кузовів вагонів-хоперів для перевезення зерна**

Для проведення системного аналізу технічного стану рам кузовів вагонів-хоперів для перевезення зерна було розглянуто вибірку із 667 вагонів-хоперів для перевезення зерна, яким було проведено технічне діагностування з метою продовження терміну експлуатації протягом 2016-2017 років згідно [36].

За результатами аналізу технічних рішень [36] щодо продовження терміну експлуатації виданих філією «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» встановлено, що у 100 вагонів із 667 оглянутих було виявлені дефекти несних конструкцій (рис. 2.11).

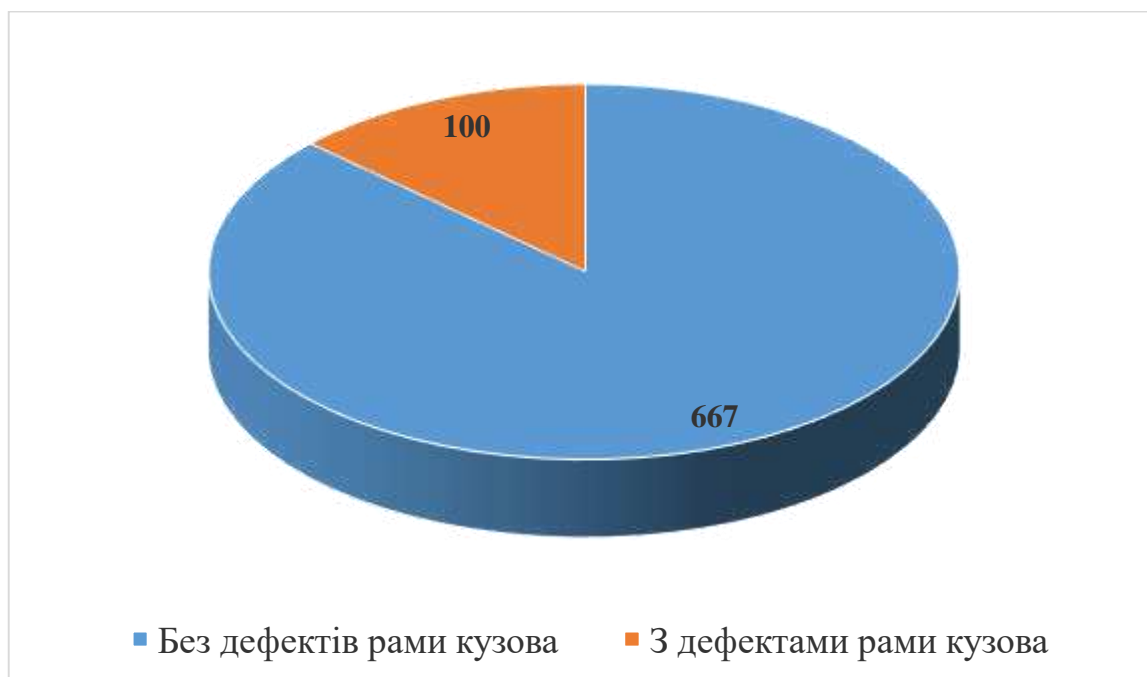


Рисунок 2.11 – Співвідношення дефектних та бездефектних несних конструкцій вагонів-хоперів для перевезення зерна за результатами технічного діагностування

Отже, за результатами технічного діагностування вагонів-хоперів для перевезення зерна встановлено, що у 15 % вагонів (100 од.) виявлено дефекти несних конструкцій.

Щоб визначити типи виявлених дефектів несних конструкцій вагонів-хоперів для перевезення зерна та провести їх аналіз з метою визначення закономірності місць їх виникнення в рамі розроблено відповідну схему з кодуванням основних параметрів (рис. 2.12).

Дефекти самого кузова (обшиви та стійок) в аналізі не розглядаються.

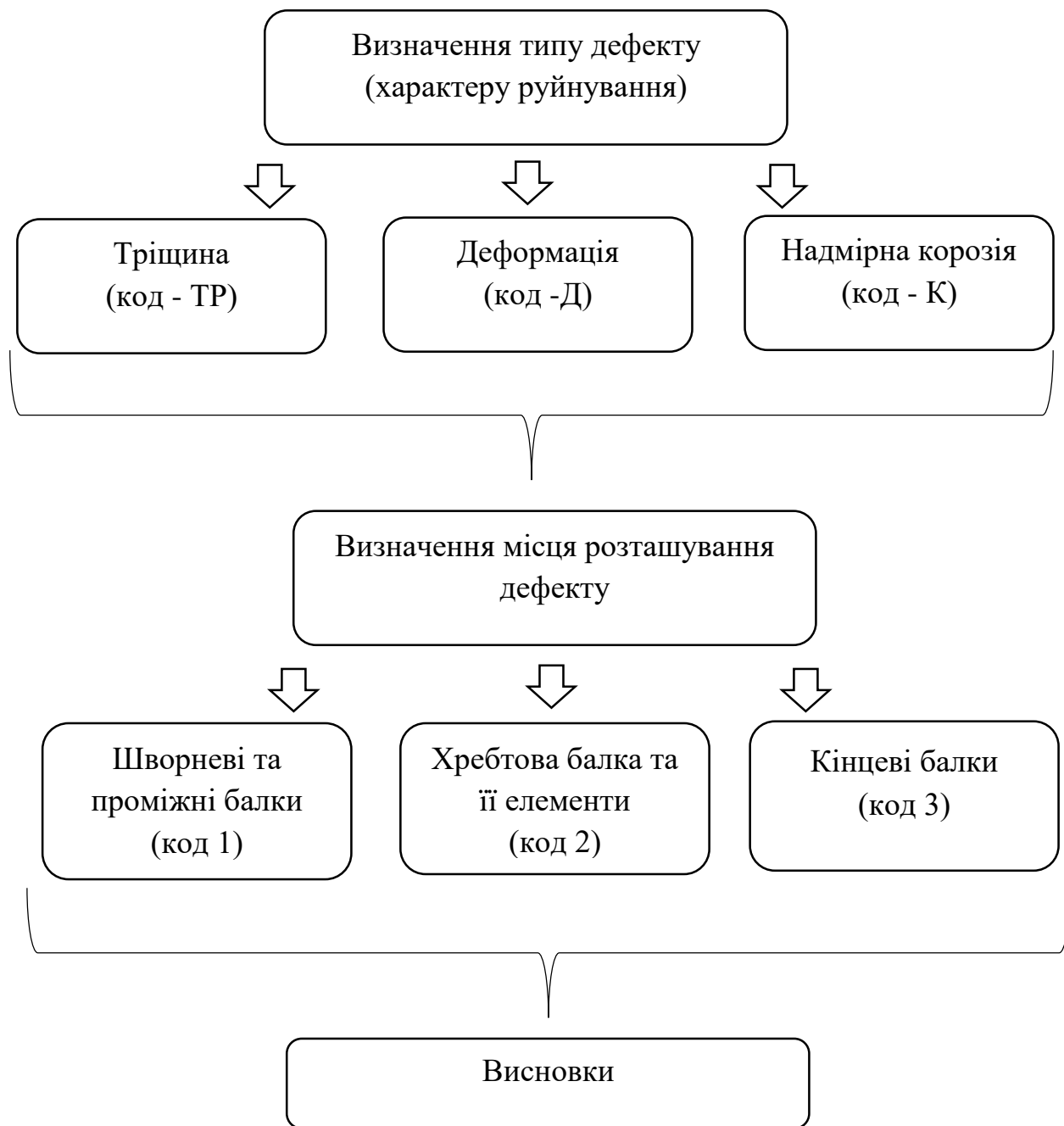


Рисунок 2.12 – Схема аналізу дефектів несних конструкцій вагонів-хоперів для перевезення зерна

Аналіз виконувався по картах контролю [36] складених за результатами технічного діагностування 100 вагонів-хоперів для перевезення зерна з врахуванням розробленої схеми.

Результати аналізу занесені до табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Аналіз даних щодо виявлених дефектів рами кузова

№ п/п	Номер вагону	Модель вагону	Рік побудови	Розміщення дефекту		
				Код 1	Код 2	Код 3
1	95615928	19-752	1987		ТР	
2	95453965	19-752	1985		ТР	ТР
3	95525853	19-752	1986		ТР	
4	95615233	19-752	1987		ТР	
5	95759783	19-752	1988		ТР	
6	95619086	19-752	1987		ТР	
7	95531513	19-752	1986	К	ТР	
8	95523155	19-752	1986		ТР	
9	95679320	19-752	1986	ТР	ТР	
10	95625927	19-752	1987		ТР	
11	95529459	19-752	1986		ТР	
12	95516910	19-752	1985		ТР	
13	95616348	19-752	1987		ТР	
14	95633921	19-752	1986		ТР	
15	95320719	19-752	1986		ТР	
16	95529418	19-752	1986		ТР	
17	95667051	19-752	1987		ТР	ТР
18	95524583	19-752	1986		ТР	
19	95524930	19-752	1986	ТР	ТР	ТР
20	95618815	19-752	1987		ТР	
21	95523114	19-752	1986		ТР	
22	95712865	19-752	1987		ТР	
23	95449831	19-752	1985	ТР	ТР	
24	95524278	19-752	1986		ТР	
25	95526828	19-752	1986		ТР	
26	95527255	19-752	1986		ТР	
27	95682589	19-752	1986		ТР	
28	95750873	19-752	1988		ТР	
29	95678850	19-752	1986	ТР	ТР	
30	95530028	19-752	1986		ТР	
31	95620076	19-752	1987		ТР	
32	95524914	19-752	1986	К	ТР	
33	95529947	19-752	1986		ТР	
34	95636346	19-752	1987		ТР	
35	53203550	19-752	1986		ТР	
36	95530135	19-752	1986		ТР	
37	95678660	19-752	1986		ТР	ТР
38	95224879	19-752	1986		ТР	
39	95543484	19-752	1985		ТР	
40	95530473	19-752	1986		ТР	
41	95683926	19-752	1987		ТР	
42	95523635	19-752	1986	ТР	ТР, Д	Д
43	95447223	19-752	1985		ТР	
44	95526877	19-752	1986		ТР	
45	95531273	19-752	1986		ТР	

№ п/п	Номер вагону	Модель вагону	Рік побудови	Розміщення дефекту		
				Код 1	Код 2	Код 3
46	95683140	19-752	1987		ТР	
47	95628582	19-752	1985	ТР	ТР, Д	Д
48	95373361	19-752	1986		ТР	
49	95523874	19-752	1986		ТР	
50	95487476	19-752	1986		ТР	
51	95531307	19-752	1986		ТР	
52	95620985	19-752	1987		ТР	
53	95683934	19-752	1987		ТР	
54	95643763	19-752	1986		ТР	
55	95619151	19-752	1987		ТР	
56	95696274	19-752	1985		ТР	
57	95667713	19-752	1987		ТР	
58	95532818	19-752	1986		ТР	
59	95452454	19-752	1985		ТР	
60	95668257	19-752	1987		ТР	
61	95526281	19-752	1986		ТР	
62	95561452	19-752	1986		ТР	
63	95643540	19-752	1984		ТР	
64	95451118	19-752	1985		ТР	
65	95542411	19-752	1985		ТР	
66	95542510	19-752	1985		ТР	
67	95540720	19-752	1985		ТР	
68	95543070	19-752	1985		ТР	
69	95529251	19-752	1986		ТР	
70	95539227	19-752	1985		ТР	
71	95666970	19-752	1987		ТР	
72	95681482	19-752	1986		ТР	ТР
73	95682001	19-752	1986		ТР	
74	95249413	19-752	1986		ТР	
75	95526919	19-752	1986	ТР	ТР	
76	95529566	19-752	1986		ТР	
77	95645107	19-752	1984		ТР	
78	95451381	19-752	1985		ТР	
79	95336749	19-752	1985		ТР	ТР
80	95423471	19-752	1985	ТР	ТР	
81	95446944	19-752	1985		ТР	
82	95449963	19-752	1985		ТР	
83	95524534	19-752	1986		ТР	
84	95543740	19-752	1985		ТР	
85	95613865	19-752	1986		ТР	
86	95682621	19-752	1986		ТР	
87	95430773	19-752	1985		ТР	
88	95448254	19-752	1985		ТР	
89	95449500	19-752	1985		ТР	
90	95523015	19-752	1986		ТР	
91	95541074	19-752	1985	ТР	ТР	

№ п/п	Номер вагону	Модель вагону	Рік побудови	Розміщення дефекту		
				Код 1	Код 2	Код 3
92	95641676	19-752	1984		ТР	
93	95646717	19-752	1984		ТР	
94	95453502	19-752	1985		ТР	
95	95523023	19-752	1986		ТР	
96	95682803	19-752	1986	ТР	ТР	
97	95528915	19-752	1986		ТР	
98	95448486	19-752	1985		ТР	
99	95452942	19-752	1985	ТР	ТР	
100	95450680	19-752	1985		ТР	
Загальна кількість				ТР-11 К-2	ТР-100 Д-2	ТР-6 Д-2

За результатами аналізу встановлено, що на всіх 100 вагонах присутні тріщини хребтових балок та їх елементів, також у двох вагонів на хребтових балках виявлено деформації хребтових балок. На 11 вагонах виявлені тріщини в шворневих та проміжних балках (в зварних з'єднаннях) та в двох випадках була присутня надмірна корозія цих елементів. На кінцевих балках було виявлено тріщини в 6 вагонах та в двох випадках виявлено деформацію цих елементів рами кузова. Отже, серед дефектів рами 100 % складають дефекти у вигляді тріщин хребтової балки та їх елементів.

Результати аналізу занесені до діаграми що наведена на рис. 2.13.



Рисунок 2.13 – Розподіл вагонів по місцям виявлення дефектів в рамі

Аналіз технічних даних вибірки вагонів по рокам побудови, показав, що 94% вагонів-хоперів для перевезення зерна з виявленими тріщинами в хребтових балках вироблені у період з 1985-1987 рік (рис. 2.14).

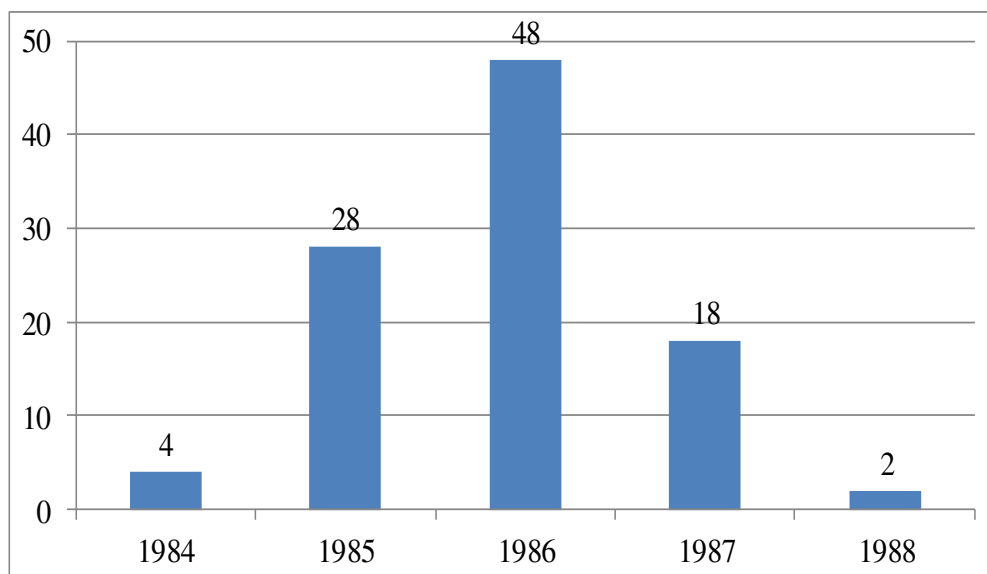


Рисунок 2.14 – Розподіл вагонів-хоперів з тріщинами в хребтовій балці за роками побудови

Враховуючи нормативний строк служби вагонів-хоперів для перевезення зерна, який становить 30 років, встановлено, що тріщини в рамі кузова виникають на перетині призначеного строку служби.

Для детального дослідження тріщин хребтових балок з метою визначення закономірності їх розміщення, на 100 вагона-хоперах для перевезення зерна було проаналізовано фотоматеріали результатів їх технічного діагностування з метою продовження строку експлуатації.

В результаті було визначено три основні дефекти хребтових балок рам кузовів (рис. 2.15):

- тріщина хребтової балки в місці заклепкового з'єднання з заднім упором;
- тріщина в верхній частині заднього упору;
- тріщина зварного з'єднання хребтової балки з шкворневою балкою



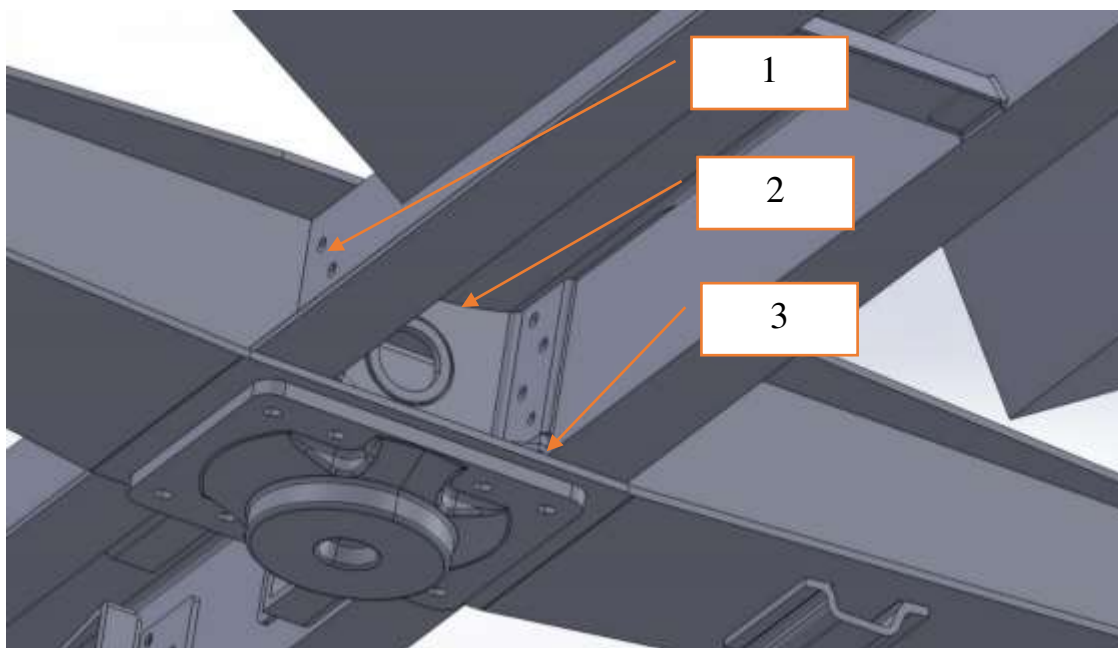


Рисунок 2.15 – Основні дефекти хребтових балок: 1 – тріщина хребтової балки в місці заклепкового з'єднання з заднім упором; 2 – тріщина в верхній частині заднього упору; 3 – тріщина зварного з'єднання хребтової балки з шкворневою балкою

У всіх 100 вагонів виявлені тріщини в місця заклепкового з'єднання хребтової балки з заднім упором поглинального апарату. Тріщини в верхній частині заднього упору хребтової балки виявлено на 11 вагонах і ще на 7 вагонах виявлені тріщини в зварному з'єднанні хребтової балки з шкворневою (ремонтне з'єднання). Загальний вигляд тріщин хребтових балок зображено на рис. 2.16. Результати визначення розміщення дефектів на хребтових балках вагонів-хоперів для перевезення зерна (100 од.) занесені до табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати визначення розміщення дефектів на хребтових балках

Місце розміщення тріщини	Кількість виявлених тріщин на 100 вагонів, од.	Відсоток від загальної кількості оглянутих вагонів
1	100	100
2	11	11
3	7	7

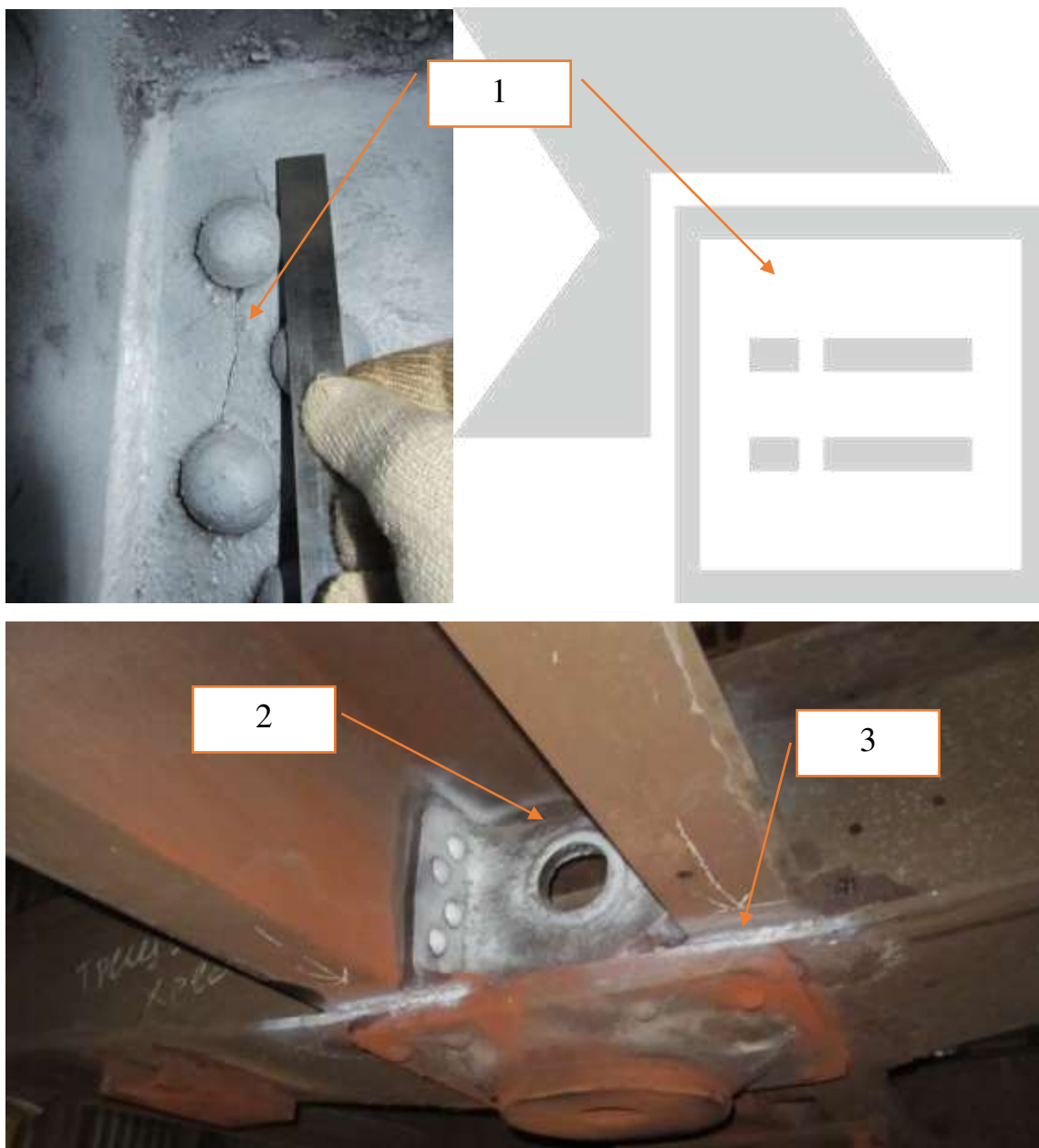


Рисунок 2.16 – Загальний вигляді тріщин хребтових балок: тріщина хребтової балки в місці заклепкового з'єднання з заднім упором; 2 – тріщина в верхній частині заднього упору; 3 – тріщина зварного з'єднання хребтової балки з шкворневою балкою

Отже за результатами аналізу встановлено, що основний дефект рами кузова вагонів-хоперів для перевезення зерна, що були продіагностовані є тріщина хребтової балки в місці заклепкового з'єднання з заднім упором. Можна припустити, що решта дефектів є наслідком руйнування хребтової балки в місці з'єднання з заднім упором та ослаблення заклепкового з'єднання.

Для визначення доцільності розробки заходів щодо покращення конструкції рами вагонів-хоперів для перевезення зерна з виявленими дефектами в хребтових балках було проведено порівняння виконання непланових ремонтів на зерновозах з дефектами та на зерновозах загального парку АТ «Укрзалізниця» представлені в табл. 2.4. Графічне зображення показників табл. 2.4 представлено на рис. 2.17.

Таблиця 2.4 – Порівняння кількості непланових ремонтів зерновозів з дефектами із загальним парком зерновозів

Опис показника	Зерновози з дефектами	Зерновози загального парку АТ «УЗ»
Частота непланових ремонтів ТОВ-1 на 1 вагон	0,76	0,75
Частота непланових ремонтів ТОВ-2 на 1 вагон	0,77	1,01
Загальна частота непланових ремонтів на 1 вагон	1,53	1,77

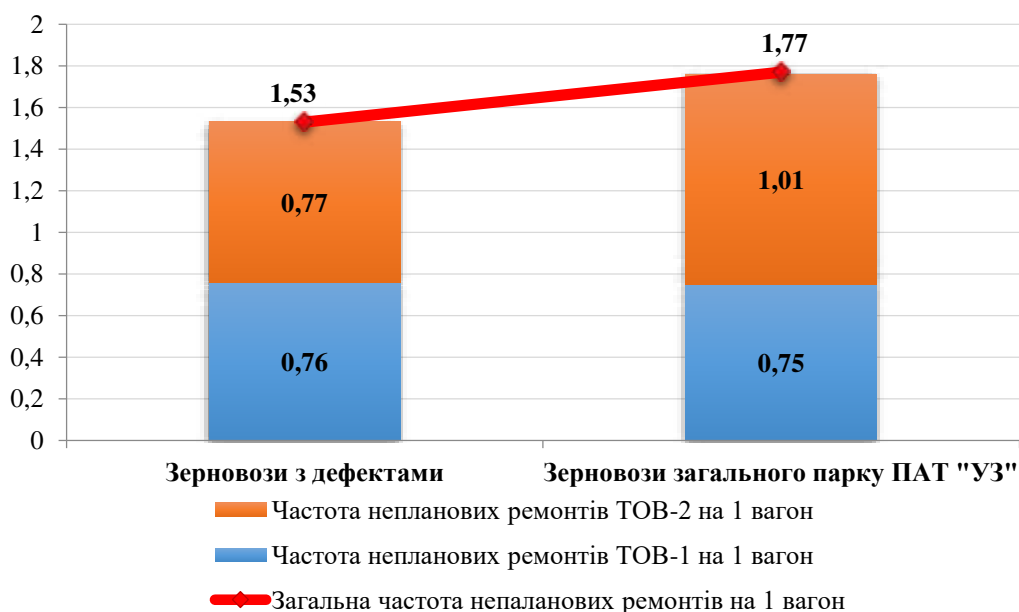


Рисунок 2.17 – Порівняння частот непланових ремонтів зерновозів з дефектами та зерновозів загального парку

Порівняння кількості непланових ремонтів зерновозів, по яким були виявлені типові тріщини під час технічного обстеження з зерновозами

загального парку показало, що для зерновозів з дефектами рами кузова не характерне збільшення непланових ремонтів під час експлуатації. По кількості непланових ремонтів в експлуатації вони проявляють себе на рівні зерновозів, по яким під час технічного обстеження не було зафіксовано дефектів несних конструкцій. Це означає, що покращення конструкції рами кузова вагонів-хоперів для перевезення зерна виконувати доцільно. Для цього спочатку необхідно розробити розрахункову (математичну) модель рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна та виконати відповідні міцнісні розрахунки (оцінку напружено-деформованого стану) [37] з врахуванням недоліків конструкції та нерівномірності їх навантаження .

### **2.3 Особливості розрахунків несних систем вагона-хопера для перевезення зерна**

Протягом всього строку експлуатації вагон знаходиться під дією власної ваги (вага тари), величина якої залишається постійною. У період між завантаженням та розвантаженням на вагон діє вага вантажу, яка називається корисним навантаженням. Навантаження, що постійно діють на вагон (не залежать від часу), називають статичними. Крім того, на кузов вагона при здійсненні маневрових операцій у завантаженому стані діє зусилля розпору насипного вантажу, а при зчепленні – зусилля удару [38].

Перелічені навантаження приводяться до наступних схем за напрямком їх дії [3]:

- вертикальні;
- бокові (поперечні);
- повздовжні.

Як правило, вважається, що сили діють незалежно одна від одної.

При розрахунках вагонів на міцність ураховується найбільш несприятливе сполучення зусиль згідно з розрахунковими режимами.

У вагонобудуванні прийняті два основні («І» та «ІІІ») і один додатковий спеціальний («ІІ») розрахункові режими [3] .

### 2.3.1 Розрахунок на міцність при I розрахунковому режимі

В експлуатації режиму «I» відповідають для вантажних вагонів такі умови: осаджування та рушання з місця поїзда; співударяння вагонів при маневрових роботах, розпусканні з гірки; екстрене гальмування при малих швидкостях руху. За цим режимом розглядається відносно рідкісне поєднання екстремальних навантажень. Основна вимога при розрахунках на міцність – не допустити появи остаточних деформацій (пошкоджень) у вузлі вагона. Допустимі напруження вибираються близькими до границі текучості матеріалу з урахуванням характеру дії навантаження (квазістатичне, ударне) та властивостей матеріалу.

Вертикальні навантаження.

Головне вертикальне навантаження складається з ваги тари, корисного та вертикального динамічного навантажень.

Вертикальна сила, що зумовлена вагою тари та корисним навантаженням, називається вертикальною статичною і визначається за формулою:

$$p_s^{(cm)} = \frac{P_{bp} - P_{\chi}}{m}, \quad (2.1)$$

де  $P_{bp}$  – вага бруто вагона, кН;

$P_{\chi}$  – вага частин вагона, що передають навантаження на рейки від тих частин, що розраховуються, кН;

$m$  – число однойменних паралельно навантажених частин, що розраховуються.

Поперечні зусилля – зусилля розпору насипного вантажу на бокові торцеві стіни кузова вагона-хопера.

Приймається, що навантаження розпору насипного вантажу на бокові стіни кузова вагону розподілене за законом трикутника з максимумом у його основи, а на торцеву – за законом трапеції (рис. 2.18).

Максимальні навантаження біля основ стійок бокової стіни визначаються:

$$q_1 = 0,5 \cdot p_a \cdot l_1,$$

$$q_2 = 0,5 \cdot p_a \cdot (l_1 + l_2), \quad (2.2)$$

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

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

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

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

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

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

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

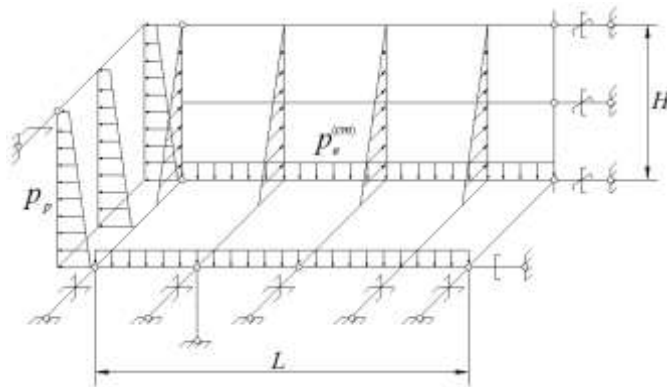


Рисунок 2.18 – Схема дії зусиль розпору вантажу на кузов

Активний тиск розпору насипного вантажу визначається за формулою:

$$p_a = \gamma \cdot g \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (2.3)$$

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

$H$  – висота бокової стіни, м;

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

$g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ .

Інтенсивність трапецієподібного навантаження, що приходить на кутову стійку визначається:

$$q_{T1}^H = 0,5(p_a + p_n) \cdot b_1; \quad (2.4)$$

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

на проміжну стійку:

$$q_{T2}^H = 0,5(p_a + p_n) \cdot (b_1 + b_2); \quad (2.5)$$

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

на середню стійку:

$$q_{T3}^H = 0,5(p_a + p_n) \cdot b_2; \quad (2.6)$$

$$q_{T3}^6 = 0,5 \cdot p_n \cdot b_2$$

Повздовжні сили – навантаження представляють собою сили розтягування та стискування (квазістатичні та динамічні), що виникають при взаємодії вагонів та вагона і локомотива при різних режимах руху поїзда та маневрових роботах, а також виникаючі при цьому сили інерції, що сприймаються у вузлах вагонів.

Сили розтягування та стискування прикладаються відповідно до передніх та задніх упорів автотчепного пристрою. Величини їх приймаються як нормативні для розрахункових режимів і наведені в табл. 2.5.

Знаком «+» позначаються зусилля розтягування, ривка, а «-» зусилля стискування, удару.

Час дії імпульсних зусиль (удар, ривок) приймається 0,3 с.

Таблиця 2.5 – Величини повздовжніх сил, які діють на вантажний вагон при «І» розрахунковому режимі

Величина повздовжньої сили, МН	
Квазістатична сила	Удар, ривок
–2,5	–3,5
+2,0	+2,5

Встановлені такі схеми дії повздовжніх сил:

- квазістатичні розтягування чи стискування прикладені до упорів автозчепу обох кінців вагона;
- сили удару чи ривка, прикладені до упорів автозчепу одного кінця вагона й урівноважуються силами інерції мас вагона.

### 2.3.2 Розрахунок на міцність при II розрахунковому режимі

«II» додатковий спеціальний розрахунковий режим встановлюється для окремих типів вагонів, а необхідність проведення розрахунку вказується у технічному завданні на проектування. При розрахунках враховують сили, що утворюють несприятливе поєднання навантажень для даного типу вагона (при ремонтних операціях, завантажувально-розвантажувальних операціях тощо).

У випадку дослідження міцності несної конструкції кузова вагона при ремонтних операціях до уваги приймається дія сил, що виникають при поточному ремонті:

- а) дія сили тяжіння, що врівноважена чотирма реакціями в зонах, передбачених для підйому вагона на домкратах;
- б) дія сили тяжіння, що врівноважується чотирма реакціями в кінцевих частинах шворневих балок;
- в) дія сили тяжіння, що врівноважується двома реакціями в кінцевих частинах однієї шворневої балки та п'ятнику з протилежного боку вагона;



г) дія сили тяжіння (без урахування сили тяжіння вантажу), що врівноважується реакціями в двох кінцевих частинах шворневих балок, розміщених за діагоналлю вагона;

д) дія сили тяжіння, що врівноважується двома реакціями в кінцевій балці в зонах на відстані 0,79 м від осі колії та п'ятнику з протилежного боку вагона.

При наявності додаткових схем підйому кузова вагона, що передбачені експлуатаційними документами, для них повинна бути визначена міцність несної конструкції. У даній роботі довідково проводилось дослідження впливу запропонованого конструкційного рішення щодо удосконалення конструкції рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна в ремонтних режимах (у т.ч. аварійному), які передбачають підймання вагона на домкратах.

### 2.3.3 Розрахунок на міцність при III розрахунковому режимі

При III розрахунковому режимі до уваги приймається вертикальне статичне навантаження, що визначається за формулою (2.1).

Вертикальне динамічне навантаження розраховується за формулою:

$$P_{\delta}^{\delta} = P_{\delta}^{ст} \cdot k_{\delta\delta}, \quad (2.7)$$

де:  $k_{\delta\delta}$  – коефіцієнт вертикальної динаміки, який розраховується за формулою:

$$k_{\delta\delta} = \frac{\bar{k}_{\delta\delta}}{\beta} \cdot \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - P(k_{\delta\delta})}\right)}, \quad (2.8)$$

де  $\bar{k}_{\delta\delta}$  – математичне очікування;

$\beta$  – коефіцієнт розподілу, для вантажних вагонів  $\beta = 1,15$ ;

$P(k_{\delta\delta})$  – імовірність коефіцієнта вертикальної динаміки,  $P(k_{\delta\delta}) = 0,97$ .

$$\bar{k}_{\delta\delta} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot b \cdot \frac{V - 15}{f_{ст}}, \quad (2.9)$$

де:  $a$  – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від типу вузла,  $a=0,05$ ;

$b$  – коефіцієнт співвідності, розраховується за формулою:

$$b = \frac{n' + 2}{2 \cdot n'}, \quad (2.10)$$

де  $n'$  – число осей у візку або у групі візків під одним кінцем вагона,  
 $n = 2$ .

$V$  – конструкторська швидкість,  $V = 33$  м/с;

$f_{cm}$  – статичний прогин рессорного підвішування,  $f_{cm} = 0,45$  м.

Відцентрове навантаження розраховується за формулою:

$$H_{\text{ц}} = P_{\text{бр}} \cdot \eta, \quad (2.11)$$

де:  $\eta$  – коефіцієнт для вантажних вагонів,  $\eta = 0,075$ .

Вітрове навантаження визначається за формулою:

$$H_{\text{в}} = \omega_{\text{в}} \cdot F_{\text{в}}, \quad (2.12)$$

де:  $\omega_{\text{в}}$  – питомий тиск вітру,  $\omega_{\text{в}} = 0,5$  кН/м<sup>2</sup>;

$F_{\text{в}}$  – площа бокової проекції кузова, м<sup>2</sup>.

Бокові сили динамічної взаємодії вагона та колії (рамне зусилля) визначається за формулою:

$$H_p = \bar{H}_p \cdot \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \ln \left( \frac{1}{1 - P(H_p)} \right)}, \quad (2.13)$$

де:  $\bar{H}_p$  – математичне очікування рамного зусилля;

$P(H_p)$  – імовірність рамного зусилля,  $P(H_p) = 0,97$ .

Тоді математичне очікування рамного зусилля дорівнює:

$$\bar{H}_p = q_0 \cdot b \cdot \delta \cdot (5 + V), \quad (2.14)$$

де:  $\delta$  – коефіцієнт, що залежить від типу ходових частин,  $\delta = 0,003$ .

Інерційні навантаження розраховується за формулою:

$$N_i^{kyz} = N \cdot \frac{m}{M_{бр}}, \quad (2.15)$$

де:  $N$  – нормована величина повздовжнього навантаження, що прикладена до автозчепу, кН;

$M_{бр}$  – маса брутто вагона, т;

$m$  – маса кузова, т.

Вертикальна сила, що зумовлена дією сил інерції

$$P_{\epsilon}^i = N_i^{kyz} \cdot \frac{h_k}{2L_{\epsilon}}, \quad (2.16)$$

де:  $h_k$  – вертикальна відстань від центру ваги вагона до осі автозчепу, м.

$$h_k = h_{ц} + r - h_a, \quad (2.17)$$

де:  $h_{ц}$  – відстань від осі колісної пари до центру ваги,  $h_{ц} = 2$  м;

$r$  – радіус середньозношеного колеса,  $r = 0,475$  м;

$h_a$  – відстань від верху головки рейки до осі автозчепу,  $h_a = 0,95$  м.

Вертикальна сила, що зумовлена дією бокових сил визначається за формулою:

$$P_{\epsilon}^{\sigma} = \frac{H_{\psi} \cdot h_{\psi} + H_{\epsilon} \cdot h_{\epsilon}}{m' \cdot b'}, \quad (2.18)$$

де:  $H_{\psi}$ ,  $H_{\epsilon}$  – відповідно відцентрове та вітрове навантаження, кН;

$h_{\psi}$ ,  $h_{\epsilon}$  – вертикальні відстані від точки прикладення зусиль до точки додаткового завантаження або розвантаження,  $h_{\psi} = 1,2$  м,  $h_{\epsilon} = 2$  м;

$m'$  – число однойменних паралельно завантажених вузлів;

$b'$  – горизонтальна відстань між точками додаткового завантаження або розвантаження,  $b' = 0,76$  м.

Вертикальне зусилля, яке прикладене до упорів автозчепу визначається:

$$P_{\text{в}}^{\text{y.a.}} = \pm N \cdot \frac{l}{2a}, \quad (2.19)$$

де:  $N$  – нормоване повздовжнє зусилля, кН;

$l$  – різниця рівня осей автозчепу,  $l = 0,1$  м;

$a$  – розрахункова довжина корпусу автозчепу (при стисканні  $a = 1$  м, при розтягуванні  $a = 0,9$  м).

Бокові зусилля, які діють на вагон через автозчепний пристрій:

– при гальмуванні:

$$P_N = N \cdot \left( \frac{\delta \cdot L}{l_6^2} \cdot \left( 1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \frac{L_c}{R} \right) \cdot \frac{l_6}{L}, \quad (2.20)$$

де:  $N$  – нормоване повздовжнє зусилля;

$\delta$  – можливе однобічне зміщення шкворневого перерізу кузова за рахунок зазорів між елементами вагона,  $\delta = 0,04$  м;

$L$  – половина відстані між задніми упорними поверхнями упорів автозчепного пристрою, м;

$L_C$  – половина довжини вагона за осями зчеплення автозчепів, м;

$l_0$  – половина бази вагона, м;

$R$  – розрахунковий радіус кривої,  $R = 250$  м.

– при вписуванні в криву дільницю колії:

$$H_N = N \cdot \frac{L_C}{R}, \quad (2.19)$$

Чисельні значення основних зусиль, які діють на несну конструкцію кузова вагона-хопера при III розрахунковому режимі наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.6 – Чисельні значення зусиль, які діють на несну конструкцію кузова при III розрахунковому режимі

Тип зусилля	Значення, кН
Вертикальне статичне	829,926
Вертикальне динамічне	99,59
Відцентрове	156,35
Рамне	202,94
Вітрове	17,1

Величини повздовжніх сил, які діють на вагон при III розрахунковому режимі наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Величини повздовжніх сил, які діють на вагон при «III» розрахунковому режимі

Величина повздовжньої сили, МН	
Квазістатична сила	Удар, ривок
–1,0	–1,0
+1,0	+1,0

Розрахункові значення зусиль розпору насипного вантажу на стіни кузова вагона-хопера при «ІІІ» розрахунковому режимі наведені в таблицях 2.8, 2.9.

Таблиця 2.8 – Чисельне значення тиску розпору насипного вантажу на елементи бокових стінок кузова вагона-хопера

Елементи бокової стінки	Тиск насипного вантажу, кПа
Кінцеві	23,6
Проміжні	43,42
Поверхня стінки	39,64

Таблиця 2.9 – Чисельне значення тиску розпору насипного вантажу на елементи торцевої стінки кузова вагона-хопера

Елемент торцевої стінки	Тиск насипного вантажу, кПа
Кінцеві стійки	35,39
Проміжні стійки	70,78
Поверхня стінки	35,39

## **2.4 Побудова розрахункової моделі для оцінки напружено-деформованого стану рами вагона-хопера для перевезення зерна**

2.4.1 Опис математичного апарату для оцінки напружено-деформованого стану рами кузова

Для проведення оцінки напружено-деформованого стану (міцнісних розрахунків) рами вагона-хопера моделі 19-752 було застосовано метод кінцевих елементів [10, 39], який реалізований в системі автоматизованого проєктування SolidWorks Simulation [41].

SolidWorks Simulation – пакет програм, призначений для інженерних розрахунків конструкцій і аналізу фізичних процесів, пов'язаних з ними, заснований на методі кінцевих елементів і призначений для проведення аналізу напружено-деформованого стану конструкцій.

Метод кінцевих елементів (далі – МКЕ) – чисельний метод рішення диференціальних рівнянь з частинними похідними, а також інтегральних

рівнянь, що виникають при вирішенні завдань механіки та фізики [10, 39]. Суть МКЕ полягає в тому, що досліджувана область розбивається на кінцеві елементи, в кожному з елементів довільно вибирається вид апроксимуючої функції і потім знаходяться значення цих функцій на кордонах елементів. Процес поділу моделі на малі частини називається створенням сітки. В SolidWorks Simulation використовуються просторові, оболонкові, балкові і спеціальні сітки.

Просторові елементи застосовують для об'ємних тіл і утворюють сітку з тетраедральними твердотільними елементами для кожного твердого тіла і бувають двох типів:



Рисунок 2.19 – Лінійний (а) та параболічний (б) просторовий елемент

Оболонкові елементи застосовують для тонкостінних деталей (з листового металу) і утворюють сітку з трикутними елементами і бувають також двох типів:



Рисунок 2.20 – Лінійний (а) та параболічний (б) оболонковий елемент

Балкові елементи застосовуються для моделей створених рухом постійного поперечного перерізу за деякою траєкторії, і визначається двома кінцевими точками і поперечним перерізом.

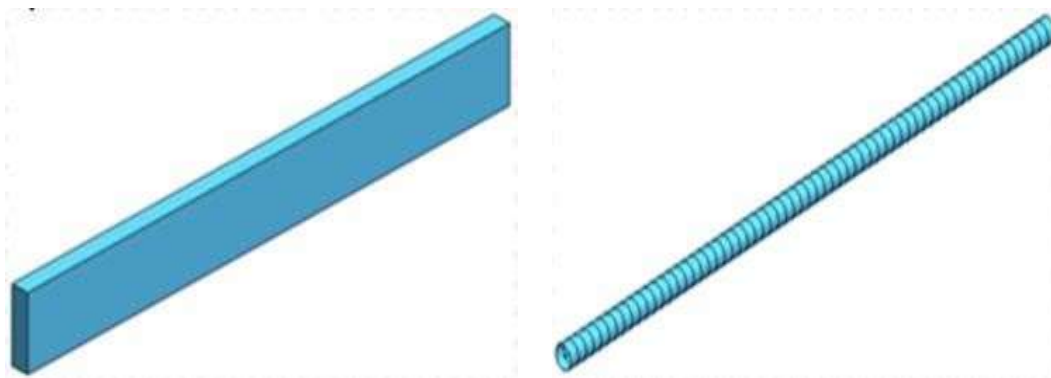


Рисунок 2.21 – Балковий елемент

Комбінована сітка автоматично застосовується, коли в моделі присутні різні геометричні форми.

В основі МКЕ лежить дискретизація об'єкта з метою розв'язання рівнянь механіки неперервного середовища з припущенням, що ці співвідношення виконуються в межах кожної з елементарних областей. Ці області називаються кінцевими елементами. Вони можуть відповідати реальній частині простору або ж бути математичною абстракцією, як елементи стержнів, балок, пластин або оболонок. У межах кінцевого елемента призначаються властивості обмеженого ним сегмента об'єкта (це можуть бути, наприклад, характеристики жорсткості та міцності матеріалу, щільність тощо) і описуються поля пошукових величин (відносно механіки твердого тіла це переміщення, деформації, напруження тощо). Параметри з другої групи призначаються в вузлах елемента, а потім вводяться інтерполяційні функції, за допомогою яких відповідні значення можна обчислити в будь-якій точці всередині елемента або на його межі. Завдання математичного опису елемента зводиться до того, щоб пов'язати діючі в вузлах фактори. У механіці неперервного середовища це, як правило, переміщення та сили. Розглянемо прямий метод побудови рівнянь, що пов'язують ці фактори в межах кінцевого елемента, за припущенням лінійної постановки задачі.

Поле переміщень  $A$  в межах елемента (для просторової задачі  $A = [u, v, w]$ ) через інтерполяційні функції (в так званих ізопараметричних кінцевих елементах, які використовуються, зокрема, в SolidWorks Simulation, вони є ідентичними функціям форми), зібрані в матрицю  $[N]$ , виражається через



вузлові переміщення  $\{\Delta\}$ . Сенс інтерполяційних функцій полягає в тому, щоб, знаючи величини, наприклад, переміщень в вузлах, отримати їх значення в будь-якій точці елемента в залежності від координат. У матричному вигляді співвідношення мають вигляд:

$$\Delta = N \cdot \{\Delta\} \quad (2.20)$$

Для просторової задачі:

$$\{\Delta\} = [u1, v1, w1, u2, v2, w2, \dots, uk, vk, wk], \quad (2.21)$$

де:  $k$  — кількість вузлів кінцевого елемента.

Поле деформацій  $\varepsilon$  виражається через ступені свободи  $\{\Delta\}$  шляхом диференціювання поля переміщень (а фактично інтерполяційних функцій) відповідно до співвідношень, зібраних в матрицю  $[D]$ , що пов'язує деформації з переміщеннями:

$$\varepsilon = [D] \cdot \{\Delta\}, \quad (2.22)$$

З урахуванням рівнянь стану, на основі яких лежить закон Гука і коефіцієнти якого утворюють матрицю  $[E]$ , встановлюється зв'язок спочатку між полем напружень і полем деформацій:

$$\sigma = [E], \quad (2.23)$$

Потім і між напруженнями і ступенями свободи в вузлах:

$$\sigma = [E] \cdot [D] \cdot \{\Delta\}, \quad (2.24)$$

Формулюються вирази для сил  $\{F\}$ , що діють в вершинах елемента, в залежності від поля напружень  $\sigma$ , для чого використовується матриця перетворення напружень у вузлові сили  $[A]$ :

$$\{F\}=[A]\cdot\{\sigma\}, \quad (2.25)$$

Пов'язуються вирази для вузових сил і переміщень в вузлах:

$$\{F\}=[k] \{\Delta\}, \quad (2.26)$$

де:  $[k]=[A]\cdot[E]\cdot[D]$  - матриця жорсткості кінцевого елемента.

Для надання матриці  $[k]$  властивості симетрії досягаєм заміни матриці перетворення жорсткості матрицею, транспонованої до матриці перетворення переміщень в деформації  $[D]$ . Тоді:

$$[k]=[D]^T\cdot[E]\cdot[D], \quad (2.27)$$

Перераховані залежності дозволяють, знаючи переміщення в вузлах, отримати величини сил, а також вирішити зворотну задачу: за силами знайти переміщення, а потім деформації та напруження в межах кінцевого елемента.

Пряме формулювання, як правило, використовується для отримання матриць жорсткості кінцевих елементів стержнів, балок і пластин, а також для опису процесу теплопровідності.

Для отримання матриць жорсткості просторових елементів використовуються варіаційні принципи, наприклад, принцип мінімуму потенційної енергії. Отримана таким чином матриця жорсткості тут буде обчислюватися як:

$$[k] = \left[ \int_V [D]^T [E] [D] dx dy dz \right], \quad (2.28)$$

Проблема інтегрування по об'єму тіла складної форми або ж, в разі оболонкових елементів, по криволінійній поверхні вирішується за рахунок того, що вирази записуються в локальній системі координат зв'язаній з елементом  $\xi$ ,  $\psi$ ,  $\eta$ , при цьому координати змінюються в інтервалі  $[-1, +1]$ .

При цьому вираз для елементарного об'єму набуває вигляду:

$$dx dy dz = |J| d\xi d\psi d\eta, \quad (2.29)$$

де  $|J|$  — детермінант матриці Якобі, або якобіан перетворення. Тоді:

$$[k] = \left[ \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} [D]^T [E] [D] \det[J] d\xi d\psi d\eta \right], \quad (2.30)$$

Аналітичний розрахунок інтегралів у виразі для матриці жорсткості неможливий навіть для трикутників з криволінійними сторонами. Тому застосовують чисельне інтегрування. Воно полягає в заміні інтеграла сумою добутків підінтегральних виразів, обчислених у точках Гаусса або в іншій системі точок, з відповідними ваговими коефіцієнтами. Цей процес супроводжується розрахунком величини визначника якобіана. Від'ємне значення є наслідком виродженості даного кінцевого елемента. Як правило, інформація про це включається в діагностичні повідомлення програм.

Маючи математичний апарат для отримання матриць жорсткості кінцевих елементів, приведення навантажень, прикладених до поверхні або в об'ємі елемента, до зусиль в вузлах, а також рішення зворотних задач: обчислення полів деформацій і напружень в об'ємі елемента на базі переміщень у вузлах, можна побудувати алгоритм МКЕ. Наведемо алгоритм для розв'язання задач у лінійній постановці.

Дискретизація об'єму. Об'єм, зайнятий деталлю або збіркою, дискретизується на елементи, або, як кажуть, будується сітка кінцевих елементів. Для об'ємного тіла область розбивається (в рамках функціональності SolidWorks Simulation) на тетраедри з гранями, апроксимованими лінійними (лінійна

залежність від координат) або параболічними функціями координат. Для поверхневих моделей — на плоскі (лінійні) або криволінійні (параболічні залежності) трикутники.

Степені свободи для просторових елементів. Для просторових кінцевих елементів степенями свободи є переміщення в напрямку осей локальної системи координат елемента. Для кінцевих елементів оболонки до трьох переміщень в кожному вузлі додаються ще три кути повороту нормалі до середньої поверхні області, апроксимованої елементом, відносно тих самих осей.

Перетворення переміщень і кутів повороту. Визначаються залежності для перетворення переміщень і кутів повороту в вузлах до глобальної системи координат.

Обчислення матриць жорсткості кінцевих елементів. У формули для розрахунку компонент матриць жорсткості кінцевих елементів, окрім координат вузлів, входять модулі пружності та коефіцієнти Пуассона матеріалів. Тобто, якщо аналізується збірка, то в залежності від належності елемента деталі при розрахунку матриць жорсткості елементів використовуються відповідні характеристики жорсткості матеріалу.

Перехід до глобальної системи координат. Отримані матриці жорсткості з використанням залежностей для переходу від локальних систем координат елемента в глобальні перетворюються в глобальну систему координат.

Об'єднання матриць жорсткості. Матриці жорсткості, представлені в глобальних координатах, об'єднуються в глобальну матрицю жорсткості  $[K]$ .

Граничні умови. Призначені користувачем граничні умови, статичні і кінематичні, приводяться до навантажень і переміщень в вузлах, виражених в глобальній системі координат, і включаються в стовпець зусиль  $[F]$ .

Отримана лінійна система рівнянь виду розв'язується відносно стовпця переміщень:

$$[K] \cdot [\Delta] = [F], \quad (2.31)$$

Це найбільш трудомісткий етап розрахунку. Для розв'язку використовуються ітераційні або прямі методи (методом Гаусса для SolidWorks). Матриця жорсткості, як правило, зберігається в компактній формі, структура якої визначається до етапу її заповнення матрицями жорсткості елементів.

Обчислення деформацій і напружень. Для кожного кінцевого елемента, маючи переміщення (кути повороту) в вузлах і апроксимуючі функції, розраховуються деформації. Якщо елементи лінійні – деформації в межах елементів постійні, якщо елементи параболічні – деформації змінюються лінійно. На основі деформацій обчислюються напруження в елементах. При необхідності (функція програми) напруження в вузлах сусідніх елементів середньоарифметуються (це також дуже відповідальний етап, по-різному вирішуваний в різних програмах) з подальшим перерахунком напружень в межах кожного елемента.

Визначення еквівалентних напружень. На основі компонент напружено-деформованого стану і параметрів міцності матеріалу (матеріалів) проводиться обчислення еквівалентних напружень критерієм міцності.

Призначення критеріїв міцності, їх використання та інтерпретація результатів розрахунку напружено-деформованого стану тіла мають важливе значення при розрахунку.

Solidworks Simulation дозволяє оцінювати міцність виробів за чотирма критеріями [42-45] :

- максимальні еквівалентні напруження по Мізесу (Von Mises);
- максимальні дотичні напруження;
- напруги Мора-Кулона;
- максимальні нормальні напруження.

Величина, що отримується розрахунком за критерієм міцності, має розмірність напруги  $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$  або  $1 \text{ МПа} = 1 \cdot 10^6 \text{ Па} = 1 \text{ Н/мм}^2$ .

Оцінка максимальних напружень напружено-деформованого стану рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна проводиться за критерієм

максимального еквівалентного напруження за Мізесом (теорія Мізес-Хенкі, також відома як четверта енергетична теорія міцності Губера) [46]. Критерій Мізеса визначає момент вичерпання несної здатності шляхом порівняння величини еквівалентних напружень з межею плинності матеріалу ( $\sigma_p$ ).

Еквівалентне напруження в певній точці визначається за формулою:

$$\sigma_{екв}^{IV} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \leq [\sigma_p] \quad (2.32)$$

де:  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – головні напруження.

Критерій Мізеса застосовується для ізотропних матеріалів, що мають в'язкий характер руйнування. До них відноситься більшість металів, а також деякі пластмаси, які мають лінійну ділянку на діаграмі деформування.

Теорія стверджує, що пластичний матеріал починає руйнуватися в місцях, де напруження по Мізесу стає рівним максимально допустимому значенню.

2.4.2 Розробка розрахункової моделі для оцінки напружено-деформованого стану рами вагона-хопера для перевезення зерна

Рама вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 представляє собою суцільнометалеву несну конструкцію і виконані із набору повздовжніх і поперечних елементів жорсткості.

Просторова 3D-модель рами вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 побудована згідно конструкторської документації заводу-виробника і складається із 554 деталей (рис. 2.22).

Основні результати досліджень цього розділу розглядають в наукових працях [47-48].

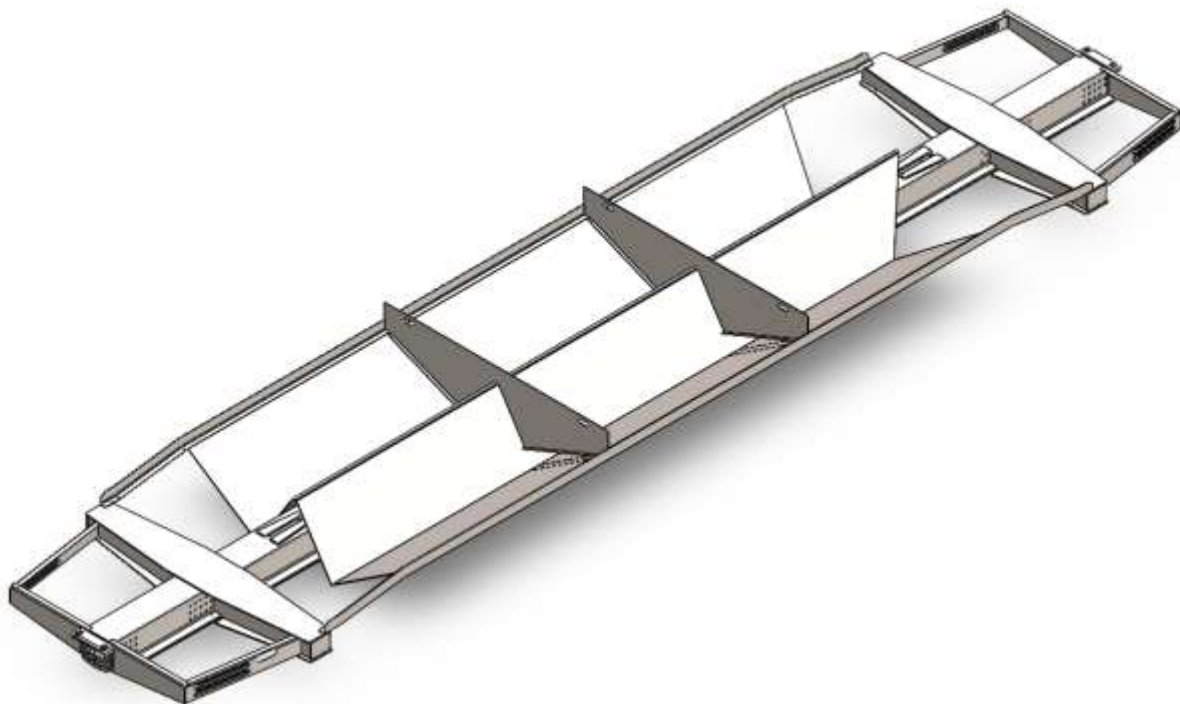


Рисунок 2.22 – 3D-модель рами вагона-хопера

Для проведення оцінки напружено-деформованого стану розроблено комбіновану скінченно-елементну модель рами вагона-хопера для перевезення зерна з різними розмірами кінцевих елементів та різними типами елементів – 6 мм і 24 мм (рисунок 2.23). Такий вибір розмірів елементів виконувався з розрахунку геометричних особливостей конструкції з метою отримання більш точних результатів (для протяжних габаритних частин використовувались елементи 24 мм, а для об'єктів складних форм – 6 мм) згідно [49].

Параметри скінченно-елементної моделі наведено в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Параметри скінченно-елементної моделі рами вагона

Параметр	Значення
Розмір елемента	6 мм та 24 мм
Кількість елементів	1748350
Кількість вузлів	3260275

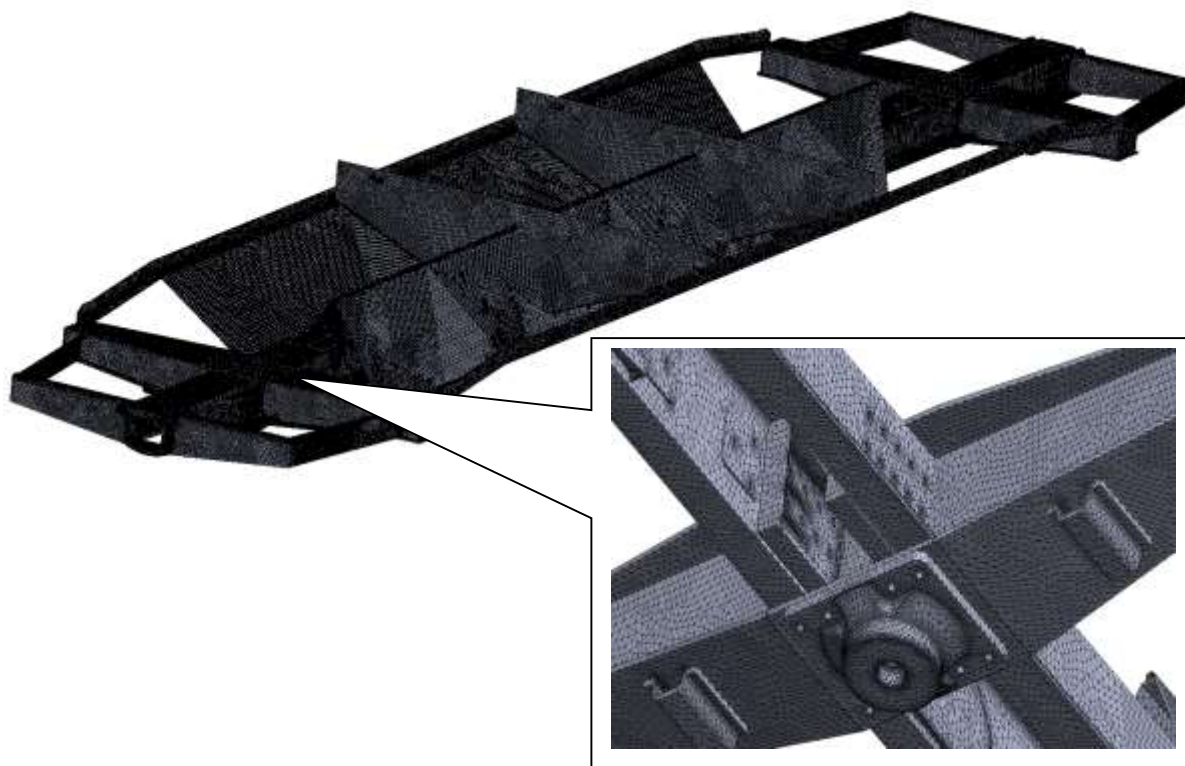


Рисунок 2.23– Кінцево-елементна модель рами та кузова вагона (сітка 6 мм і 24 мм)

Схему навантаження (граничні умови) для рами та кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 розроблено згідно з [3] та наведено в табл. 2.11. Оцінка напружено-деформованого стану рами вагона-хопера буде виконуватись для найбільш не вигідного можливого поєднання одночасно діючих нормативних сил у відповідності зі встановленими розрахунковими режимами I та III. Режим I – умовний режим безпеки. Умовам експлуатації за I режимом розрахування для вантажних вагонів відповідають осаджування і зрушення великовагового рухомого складу з місця, зіткнення вагонів під час маневрів, зокрема й під час розпуску з гірок, екстрене гальмування в потягах за малих швидкостей руху або зіткнення вагонів у позаштатних ситуаціях, а також аварійний ривок (поштовх). Режим III – експлуатаційний режим. В умовах експлуатації III розрахунковому режиму відповідають випадки руху вагона з повним навантаженням у складі потягу по прямих і кривих ділянках колії та стрілкових переводах відповідної конструкції й стану з допустимою швидкістю, аж до конструкційної, під час періодичних службових регулювальних



гальмувань, періодичних помірних ривків і поштовхів, штатної роботи механізмів і вузлів вагона.

Таблиця 2.11 – Статичні та кінематичні граничні умови

Розрахункові сили	Розрахункові режими	
	Кузов	
	I (ривок, розтяг-удар, стиск)	III (розтяг-стиск)
1	2	3
Вертикальні сили (підрозділ 5.2 ДСТУ 7598: 2014)		
Сили тяжіння бруто (82,4т)	808344 Н	808344 Н
Динамічні сили при конструкційній швидкості ( $k_{дв} = 0,352$ )	—	285345 Н
Вертикальна складова позовдовжньої сили інерції кузова (50%)	256000 Н	—
Бокові сили (підрозділ 5.3 ДСТУ 7598: 2014)		
Відцентрова сила	—	67689 Н
Поперечна складова частина позовдовжньої квазістатичної сили	(-) 200000 Н (+) 26400 Н	—
Поздовжні сили (підрозділ 5.4 ДСТУ 7598: 2014)		
Удар	-3,5 МН	—
Ривок	+2,5 МН	—
Стискання	-2,5 МН	-1,0 МН
Розтягування	+2,0 МН	+1,0 МН
Жорсткість ресорного підвішування		
Сумарна жорсткість ресорного підвішування вагона	Поздовжня жорсткість 7584000 Н/м Горизонтальна жорсткість 7704000 Н/м	Поздовжня жорсткість 7584000 Н/м Горизонтальна жорсткість 7704000 Н/м

При визначенні властивостей матеріалу, які потрібні для проведення оцінки напружено-деформованого стану, застосовано деякі припущення. По-

перше, матеріал, з якого виготовлена та чи інша деталь, вважається однорідним. Крім того, дійсні характеристики реального матеріалу, з якого виготовлені будь-яка конструкція, мають певні відхилення від характеристик, що наведені у довідниках [50].

Рама вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 виготовлялась зі сталі 09Г2С. Прийняті у відповідності з [3] допустимі напруження при розрахунку на міцність несних елементів рами приведені у табл. 2.12.

Таблиця 2.12 – Допустимі напруження

Матеріал	Режим І			Режим ІІІ		
	$[\sigma]$ , МПа	$[\tau_{зр}]$ , МПа	$[\sigma_{зм}]$ , МПа	$[\sigma]$ , МПа	$[\tau_{зр}]$ , МПа	$[\sigma_{зм}]$ , МПа
Хребтова та шворнева балки рами кузова						
Сталевий прокат, 09Г2С	$0.9 \sigma_t$	$0.55 \sigma_t$	$1.2 \sigma_t$	195	120	290

Механічні властивості сталі 09Г2С приведені у табл. 2.13.

Таблиця 2.13 – Механічні властивості сталі 09Г2С (МПа)

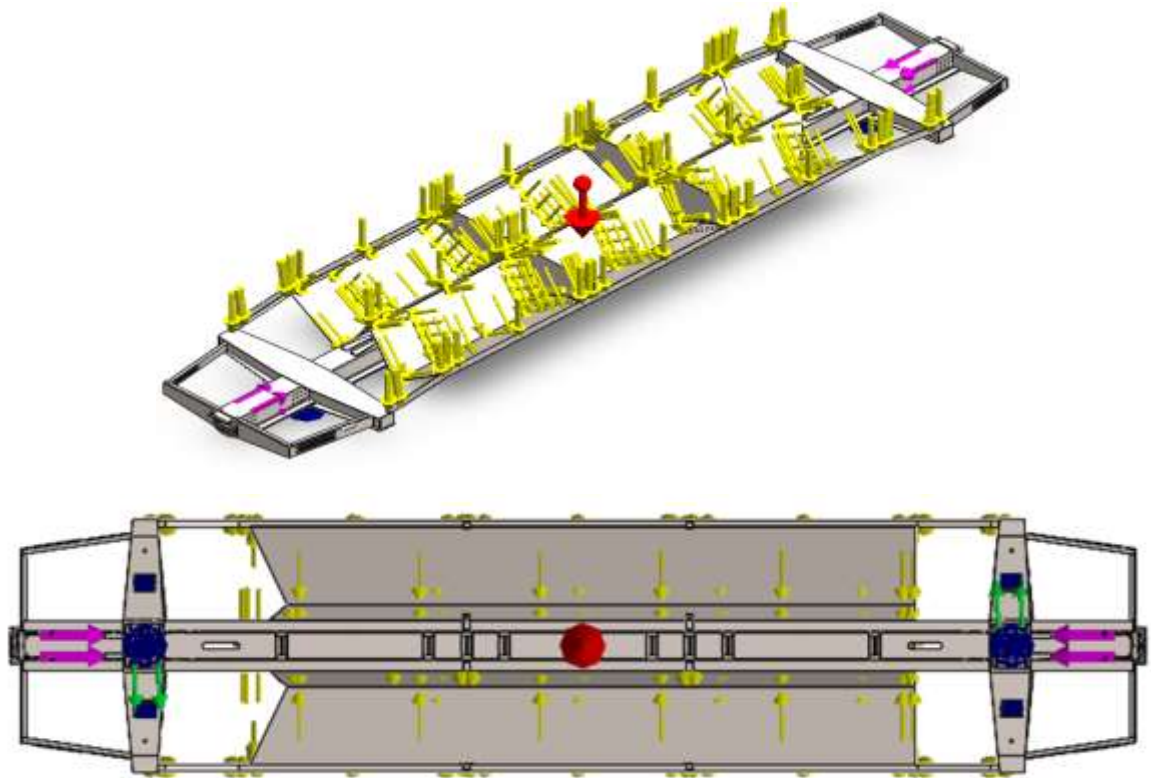
Назва матеріалу	$\sigma_t$	$\sigma_b$	$\sigma_{-1}$ P=50%	$\tau_{-1}$ P=50%	$\sigma_{-0}$ P=97,5%	$\tau_{-0}$ P=97,5%
09Г2С	325	450	190	140	120	70

2.4.3 Особливості навантаження розрахункової моделі рами вагона-хопера для перевезення зерна

Для дослідження міцності несної конструкції кузова вагона-хопера для перевезення зерна побудовано розрахункові схеми навантаження рами вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 (рис. 2.24-2.27).

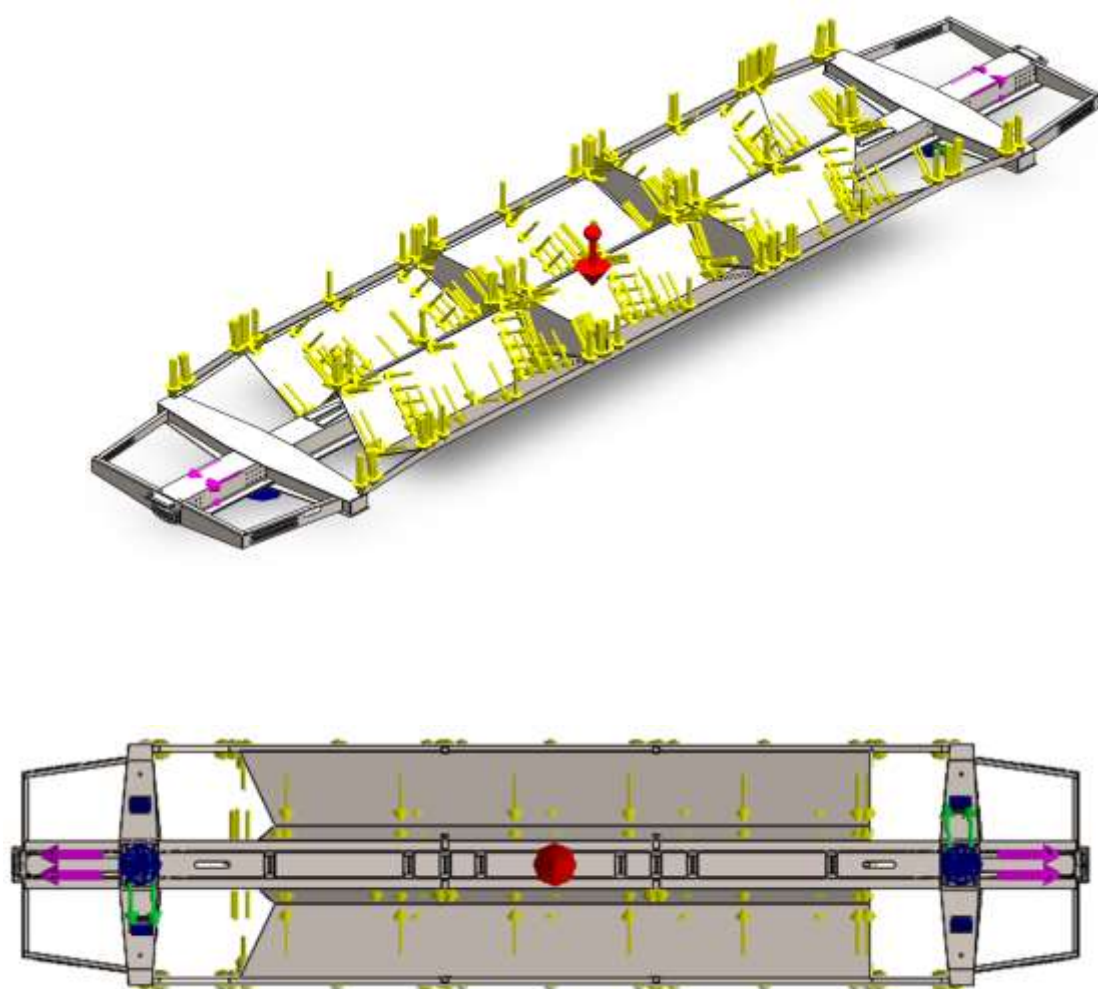
Обмеженнями моделі є відсутність різниці рівнів корпусів автозчепів вагонів, що взаємодіють між собою. Закріплення моделі здійснювалося за п'ятники несної конструкції вагона. В моделі враховані реакції у п'ятникових вузлах, викликані дією на несну конструкцію бокових та повздовжніх зусиль.

При дослідженні міцності рами вагона-хопера в умовах навантаження, яке відповідає режиму «удар-стиснення» повздовжнє зусилля прикладалося до заднього упору автозчепу, а з іншого боку урівноважувалося силою інерції маси кузова. При моделюванні міцності рами вагона в умовах режиму «розтягнення-ривок» повздовжнє зусилля прикладалося до передніх упорів з одного кінця вагона, а з іншого урівноважувалося силою інерції маси кузова.



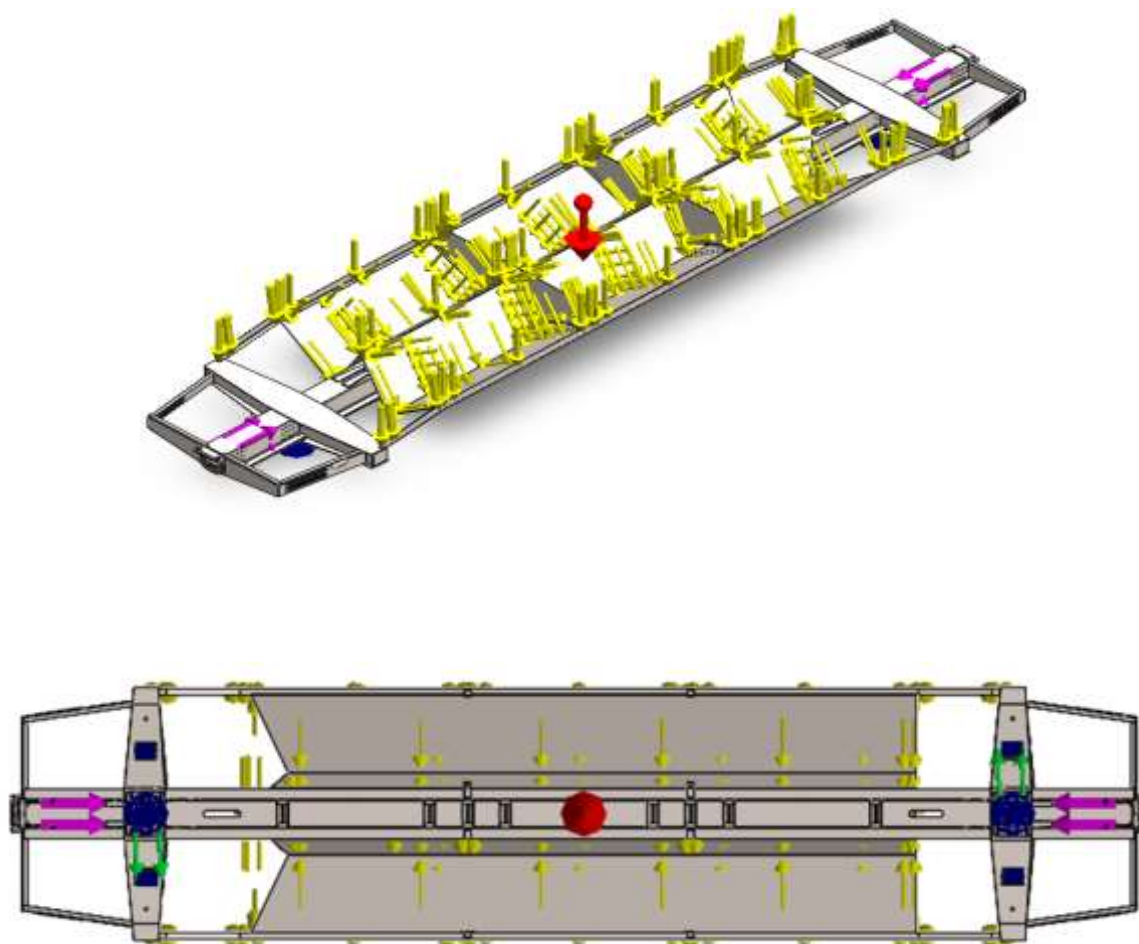
- прискорення від сили тяжіння
- поздовжні сили
- вертикальні сили
- жорсткість ресорного підвішування
- бокові сили

Рисунок 2.24 – Розрахункова схема навантаження рами вагона-хопера за I режимом (стиск, удар)



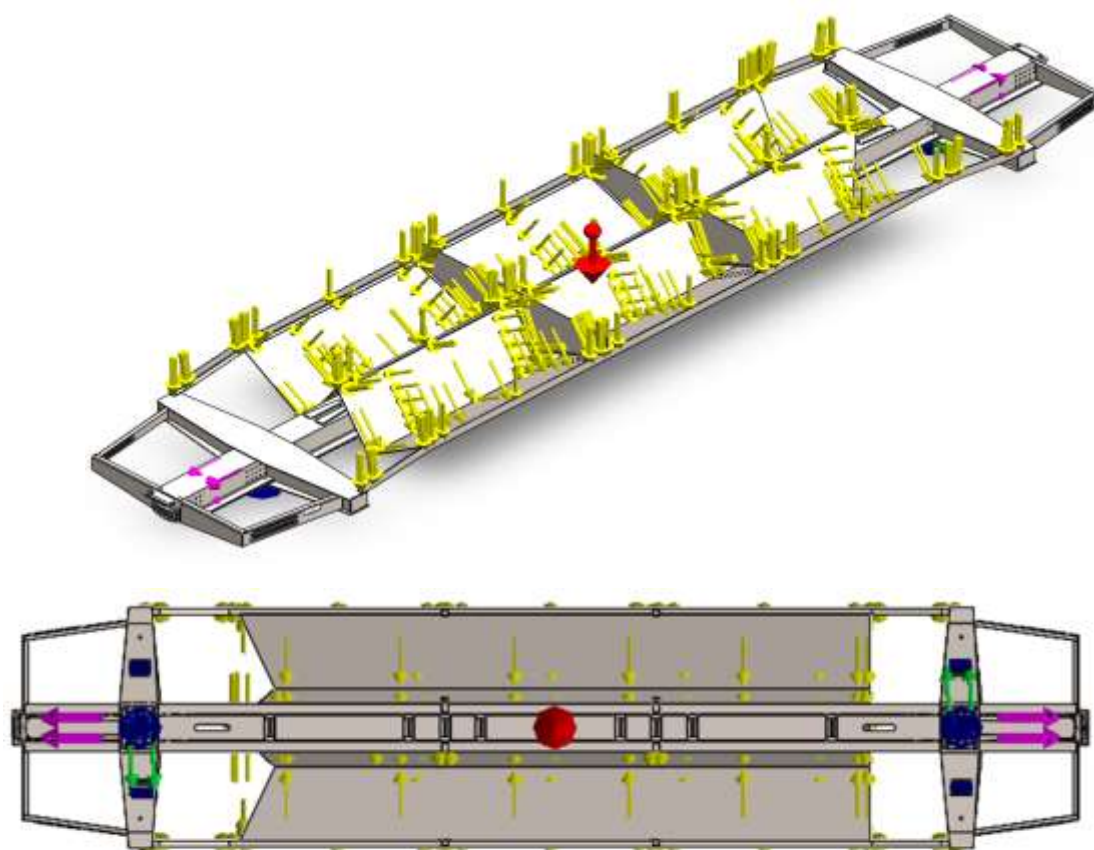
- прискорення від сили тяжіння
- поздовжні сили
- вертикальні сили
- жорсткість ресорного підвішування
- бокові сили

Рисунок 2.25 – Розрахункова схема навантаження рами вагона-хопера за I режимом (ривок, розтяг)



- прискорення від сили тяжіння
- поздовжні сили
- вертикальні сили
- жорсткість ресорного підвішування
- бокові сили

Рисунок 2.26 – Розрахункова схема навантаження рами вагона-хопера за  
ІІІ режимом (стиск)



- прискорення від сили тяжіння
- поздовжні сили
- вертикальні сили
- жорсткість ресорного підвішування
- бокові сили

Рисунок 2.27 – Розрахункова схема навантаження рами вагона-хопера за ІІІ режимом (розтяг)

## 2.5 Оцінка напружено-деформованого стану рами вагона-хопера для перевезення зерна

### 2.5.1 Результати розрахунку рами вагона-хопера для перевезення зерна від нормативних навантажень

На основі розроблених розрахункових схем проведено статичний розрахунок на міцність (оцінка напружено-деформованого стану) рами вагона-



хопера для перевезення зерна. Отримано епюри розподілу еквівалентних напружень. На рисунках 2.28–2.33 наведено епюру еквівалентних напружень, що виникають в рамі вагона-хопера моделі 19-752 від дії нормативного навантаження за режимом І (удар, стиснення, розтягнення, ривок) та режимом ІІІ (стиснення, розтягнення). 14,15 – контрольні точки використовуються для оцінки адекватності розрахункової моделі шляхом порівняння з експериментальними даними.

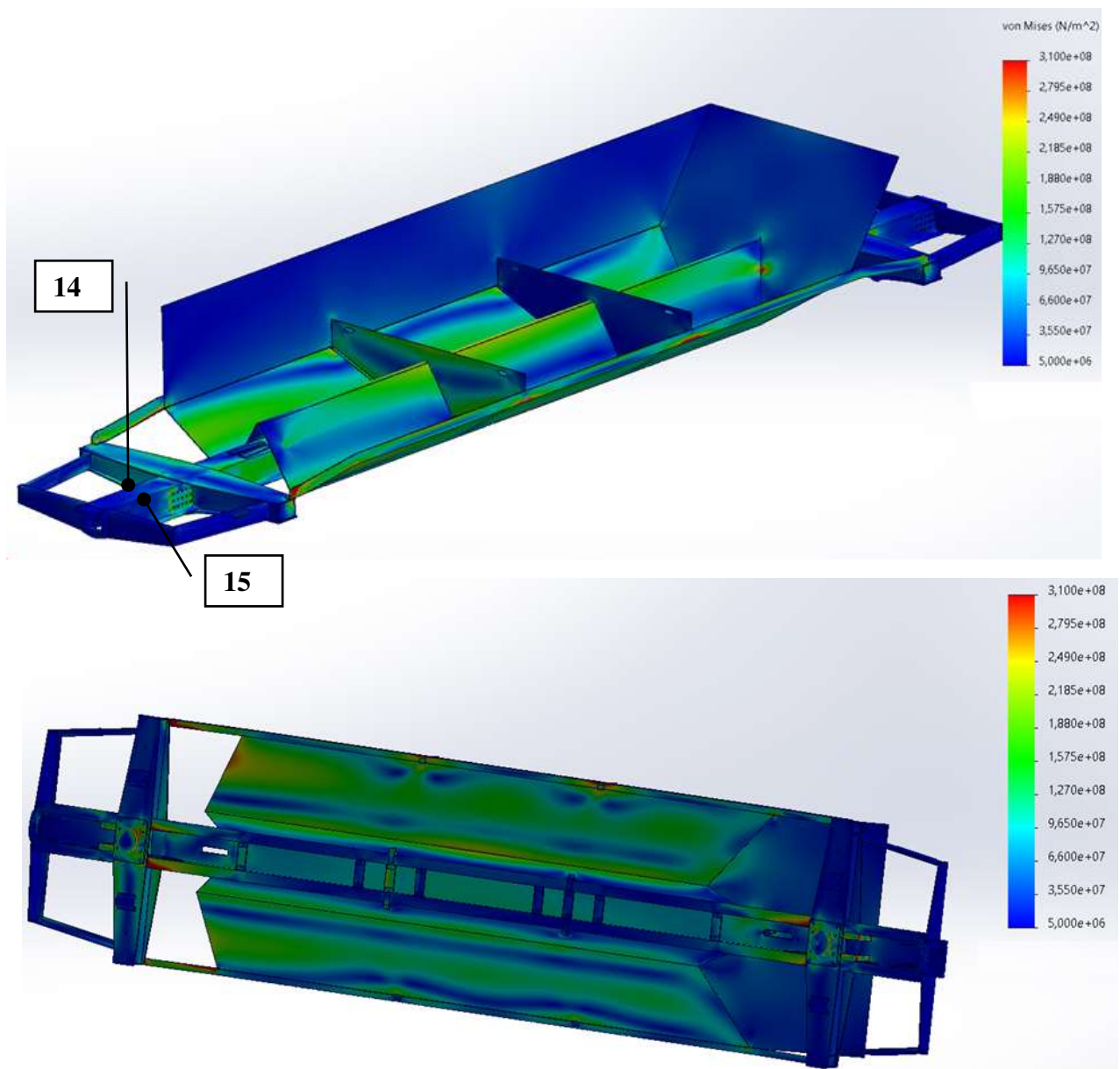


Рисунок 2.28 – Епюра еквівалентних напружень рами вагона-хопера за режимом  $I_{\text{удар}}$

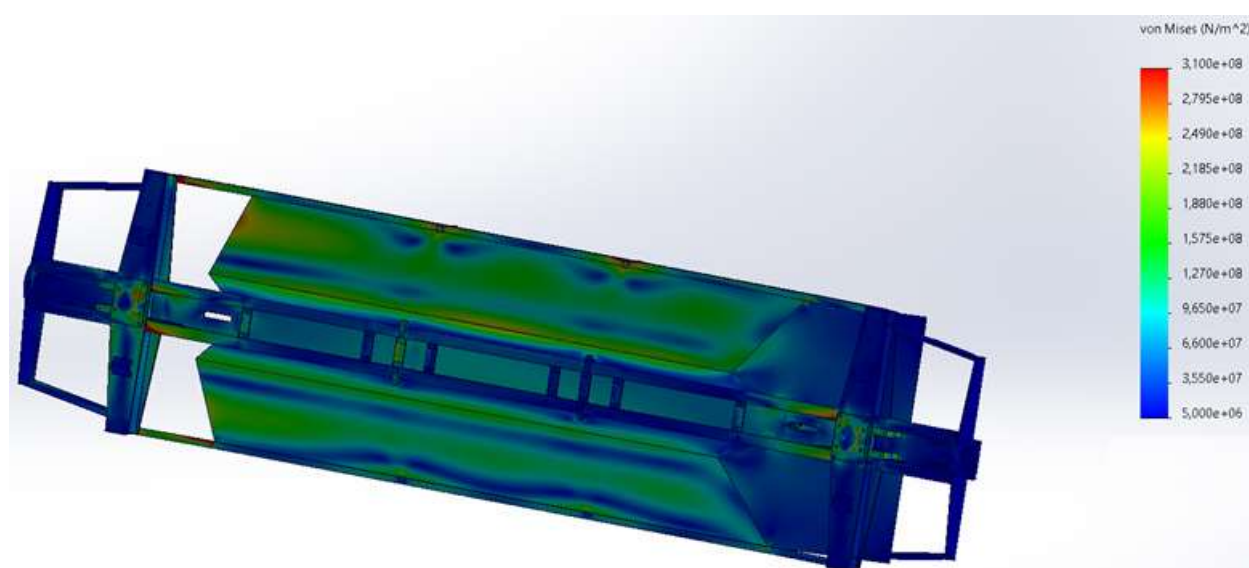
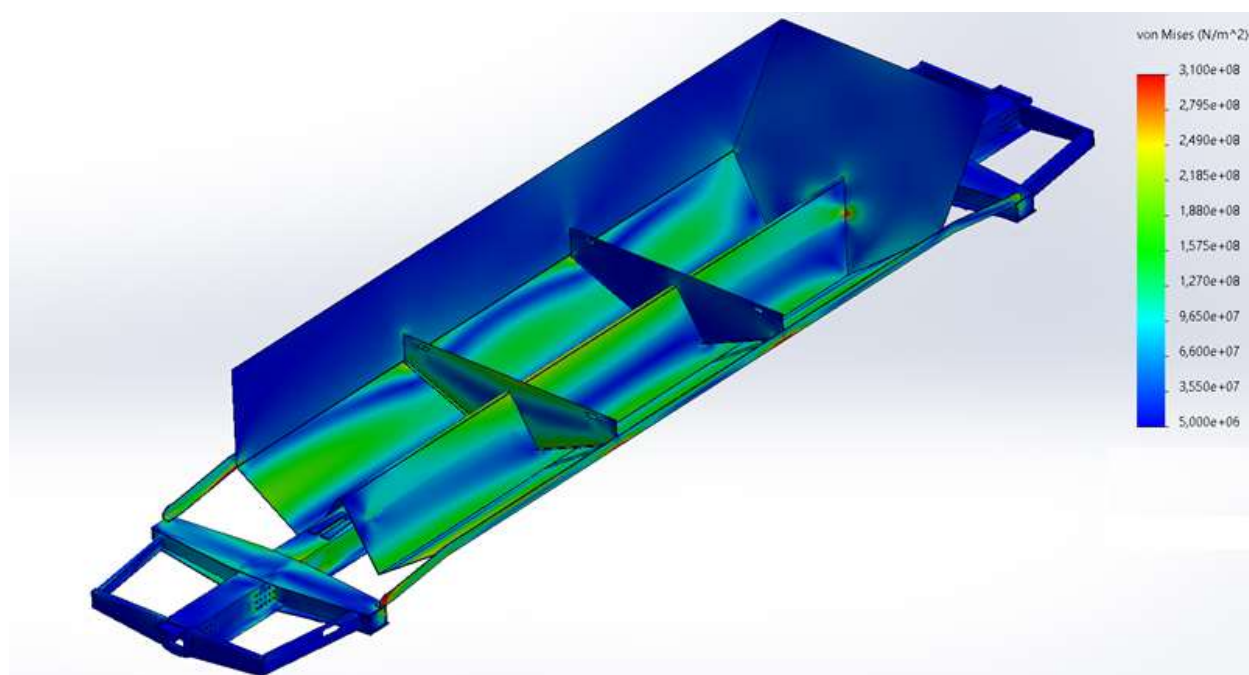


Рисунок 2.29 – Епюра еквівалентних напружень рами вагона-хопера за режимом  $I_{ст}$



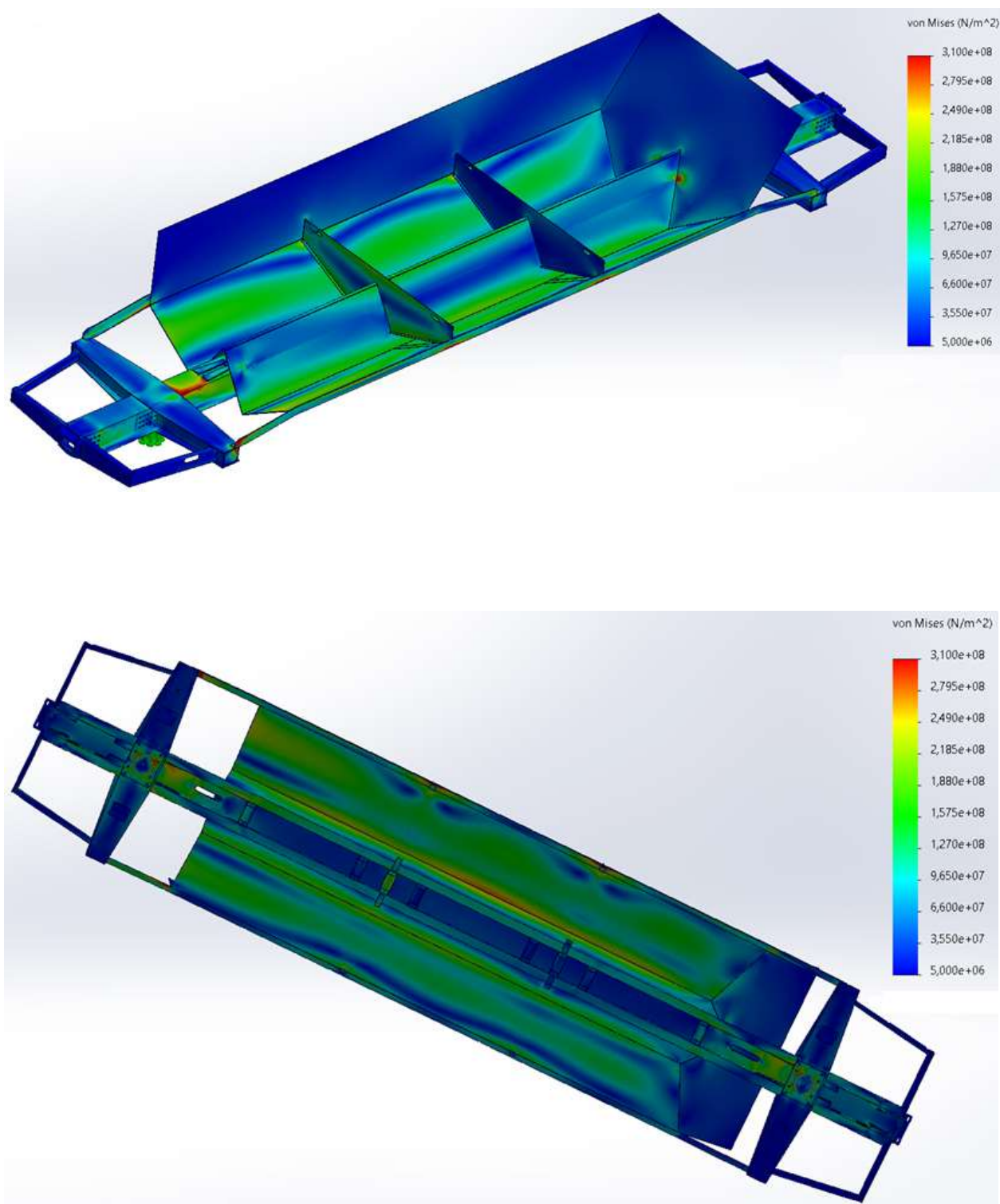


Рисунок 2.30 – Епюра еквівалентних напружень рами вагона-хопера за режимом  $I_{\text{ривок}}$

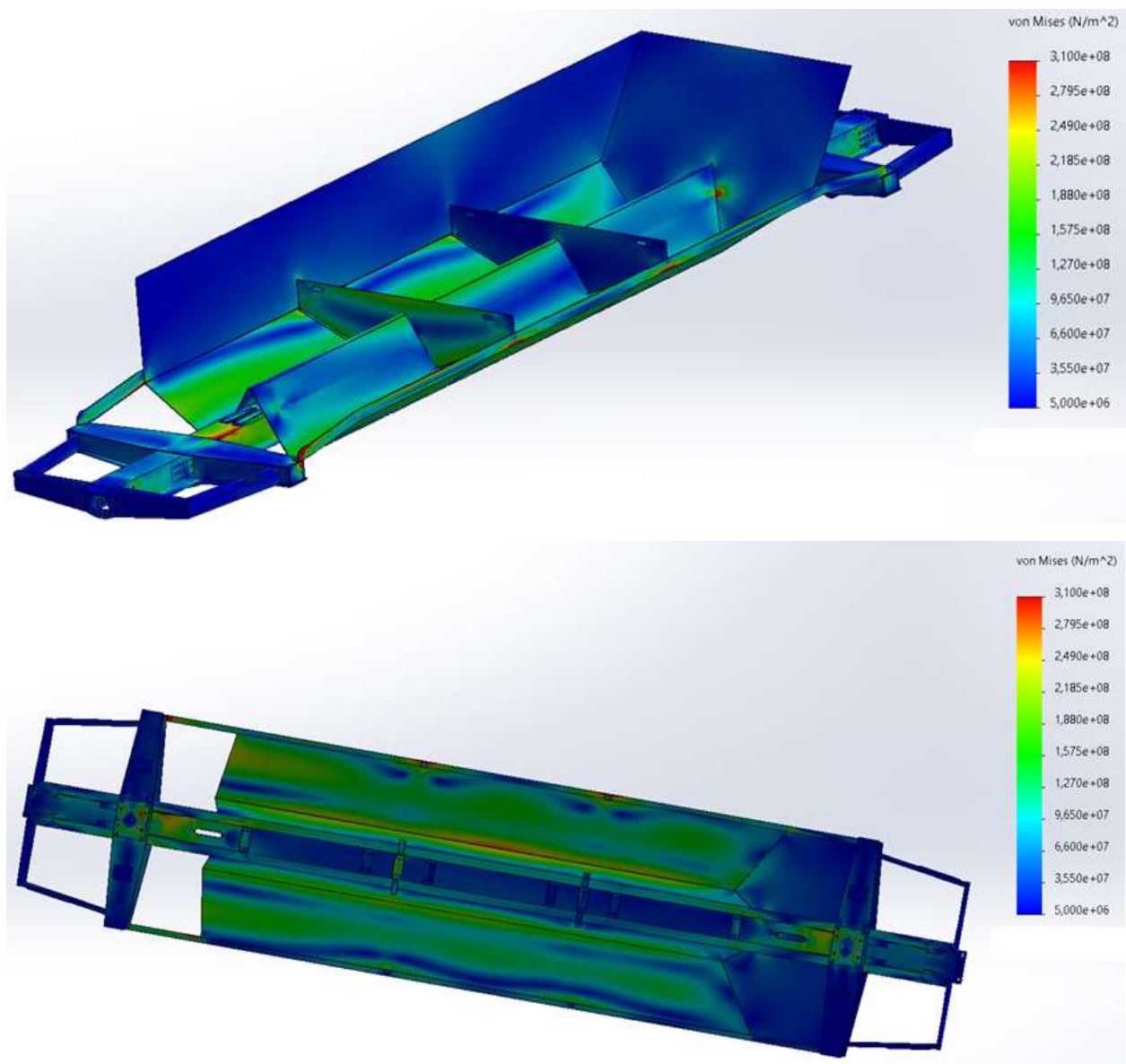


Рисунок 2.31 – Епюра еквівалентних напружень рами вагона-хопера за режимом  $I_{\text{розт}}$

Максимальні розрахункові напруження в I режимі (стиск, удар, розтяг, ривок) складають 240-279 МПа. Допустимі значення напружень для I режиму – 310,5 МПа. Таким чином, максимальні розрахункові напруження не перевищують допустимі та вимоги за [3] виконуються. Слід зазначити, що максимальні напруження при цьому концентруються на хребтовій балці в зоні її з'єднання з заднім упором та шворневою балкою. В контрольних точках 14,15 напруження становлять – 28 МПа.

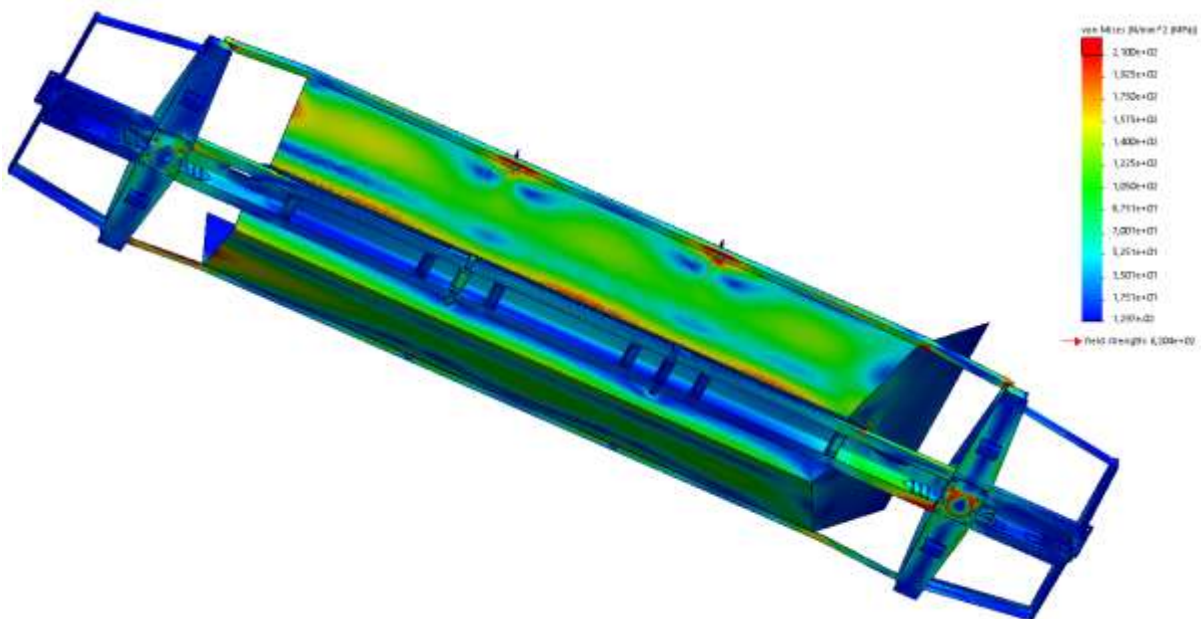
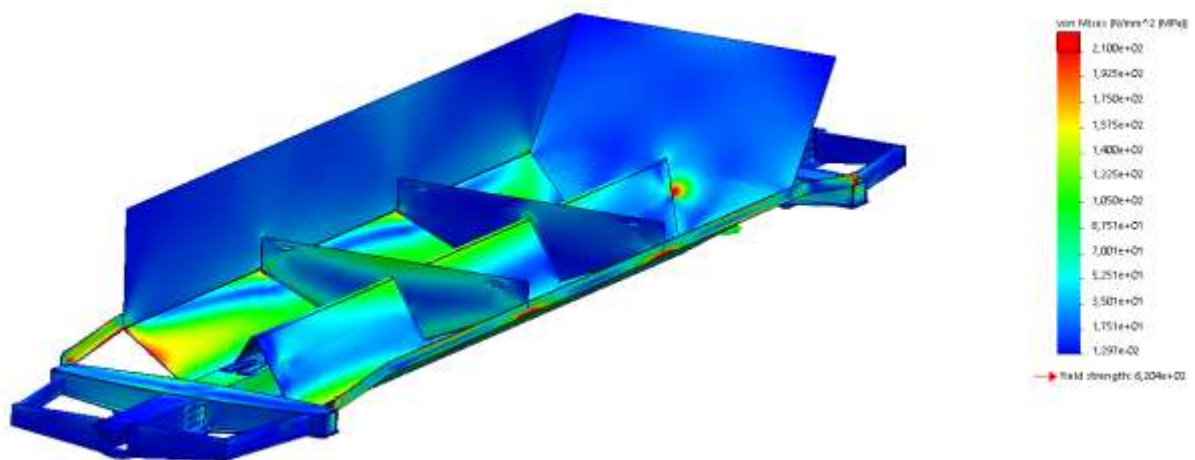


Рисунок 2.32 – Епюра еквівалентних напружень рами вагона-хопера за режимом III<sub>ст.</sub>

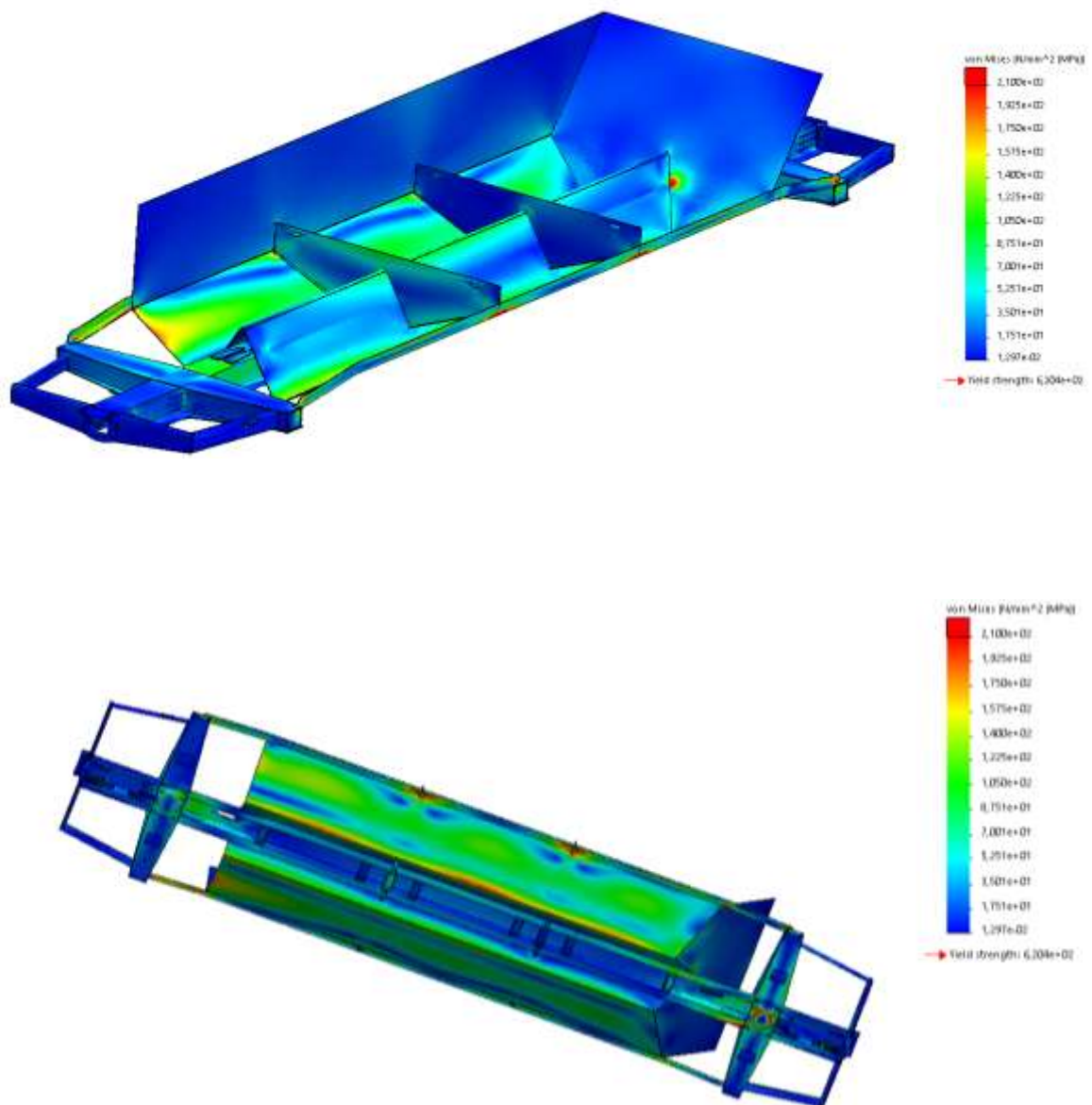


Рисунок 2.33 – Епюра еквівалентних напружень рами вагона-хопера за режимом  $\Pi_{\text{розт}}$

Максимальні розрахункові напруження в  $\Pi$  режимі (стиск, розтяг) складають 190-200 МПа (в зоні з'єднання хребтової балки з заднім упором та шворневою балкою). Допустимі значення напружень для  $\Pi$  режиму – 210 МПа. Таким чином, максимальні розрахункові напруження не перевищують допустимі та вимоги за [3] виконуються.



## 2.5.2 Результати розрахунку заклепкового з'єднання заднього упору поглинального апарату

Для визначення причин виникнення тріщин клепоного з'єднання заднього упору автозчепного пристрою з хребтовою балкою проведено розрахунки з визначення сил, які діють в клепоному з'єднанні з рівномірним навантаженням та зміщеним навантаженням на одну сторону вагона-хопера з розрахунку 10 % (9,1 тон) нерівномірності міжвізкового навантаження [51].

В режимах удару та стискання заклепкове з'єднання працює як однозрізне з'єднання внапуск (рисунок 2.34).

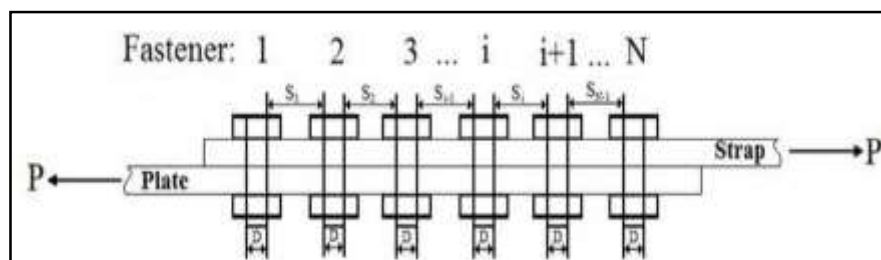


Рисунок 2.34 – Однозрізне з'єднання внапуск

В такому випадку хребтова балка буде знаходитись у стисненні, а розкриття тріщини в твердому тілі може бути здійснено тільки типу «зсуву» (тип II). При плоскому зсуві утворюється тріщина шляхом переміщення країв тріщини в площині і перпендикулярно її фронтальній лінії (рисунок 2.35).

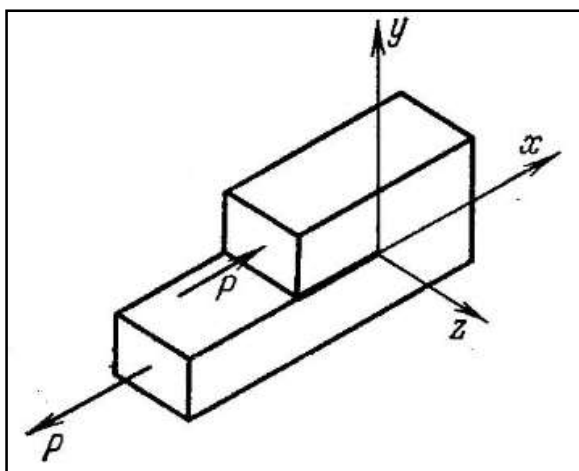


Рисунок 2.35 – Тріщина «зсуву» типу II

Щоб така тріщина утворювалась при стисканні на хребтову балку повинні діяти великі перерізуючі сили, які можуть виникнути тільки від вертикальних навантажень.

В режимах ривка та розтягування заклепкового з'єднання працює як однозрізне з'єднання з накладкою (рисунок 2.36).

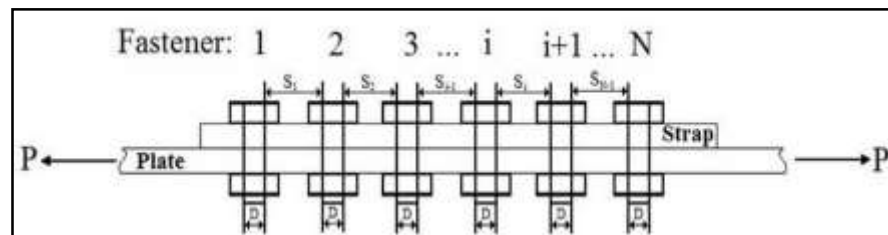


Рисунок 2.36 – Однозрізне з'єднання з накладкою

В такому випадку хребтова балка буде знаходитись у розтягу, а розкриття тріщини в твердому тілі може бути здійснено тільки типу «розрив» (тип I). При нормальних напруженнях тріщина виникає шляхом коли краї тріщини переміщуються перпендикулярно площині тріщини (рисунок 2.37).

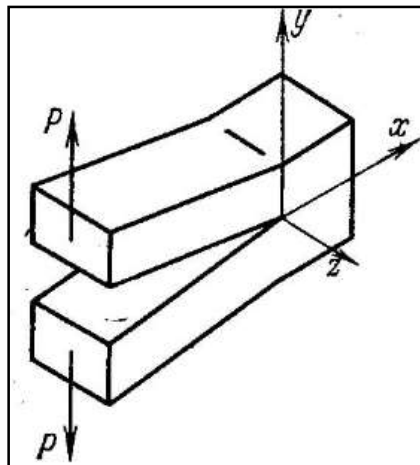


Рисунок 2.37 – Тріщина «розриву» типу I

Щоб така тріщина утворювалась при розтягу на хребтову балку повинні діяти великі поперечні сили.

Оцінку сил, які діють в заклепковому з'єднанні рами вагона-хопера для перевезення зерна, проведено на основі побудованих розрахункових схем згідно

з [3]. На рисунках 2.38 – 2.43 наведено результати розрахунку заклепкового з'єднання за нормативними режимами удару та стискання при рівномірному завантаженні та при зсуві вантажу на одну сторону.

Сума сил повинна дорівнювати прикладеному навантаженню в режимі I (удар) – 3,5 МН поділеному навпіл.

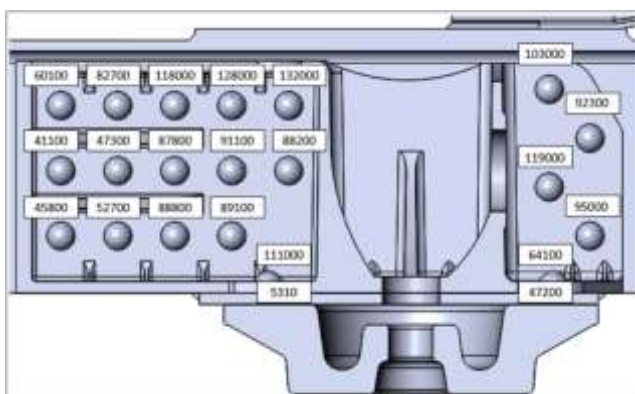


Рисунок 2.38 – Сили що діють в однозрізному заклепковому з'єднанні внапуск в режимі I (удар) при рівномірному навантаженні

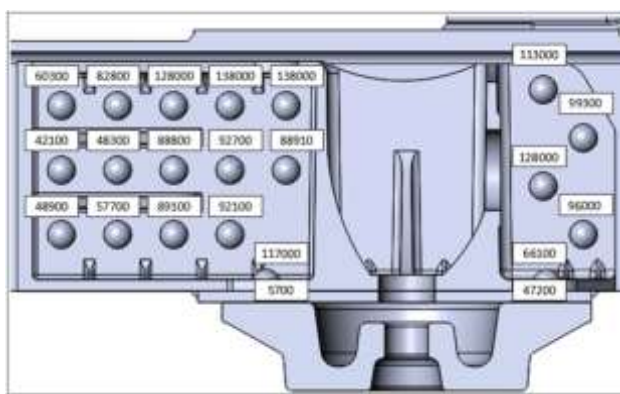


Рисунок 2.39 – Сили що діють в однозрізному заклепковому з'єднанні внапуск в режимі I (удар) при зміщеному навантаженні

Сума сил повинна дорівнювати прикладеному навантаженню в режимі I (стискання) = 2,5 МН поділеному навпіл.

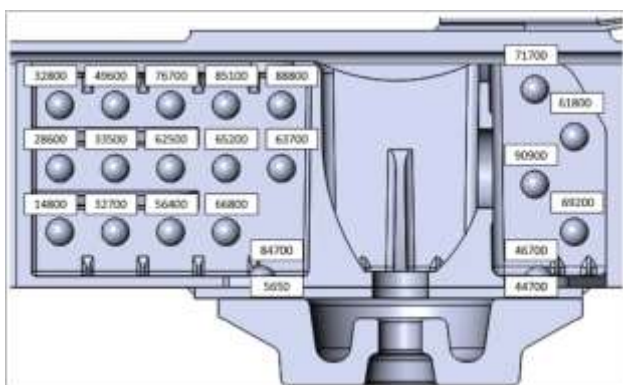


Рисунок 2.40 – Сили що діють в однозрізному заклепковому з'єднанні внапуск в режимі I (стиск) при рівномірному навантаженні

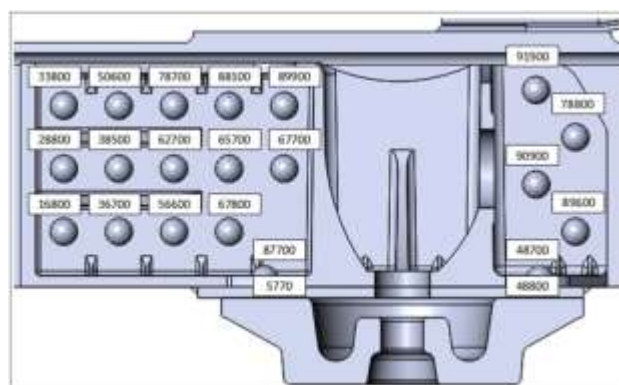


Рисунок 2.41 – Сили що діють в однозрізному заклепковому з'єднанні внапуск в режимі I (стиск) при зміщеному навантаженні

Сума сил повинна дорівнювати прикладеному навантаженню в режимі ІІІ (стискання) – 1,0 МН поділеному навпіл.

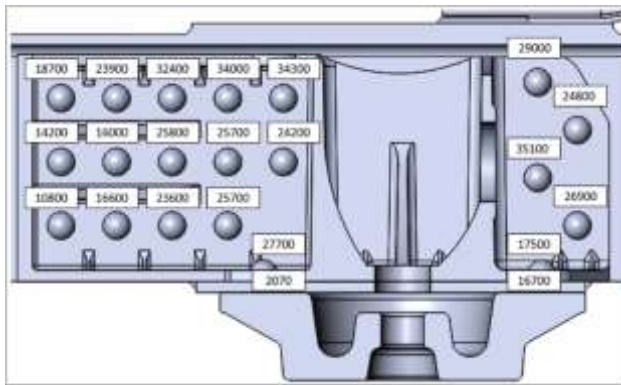


Рисунок 2.42 – Сили що діють в однозрізному заклепковому з'єднанні внапуск в режимі ІІІ (стиск) при рівномірному навантаженні

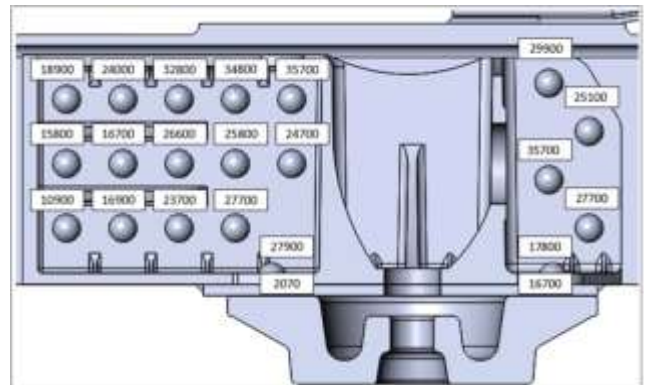


Рисунок 2.43 – Сили що діють в однозрізному заклепковому з'єднанні внапуск в режимі ІІІ (стиск) при зміщеному вантажі

За результатами проведеного дослідження сил, які діють у заклепковому з'єднанні рами вагона-хопера для перевезення за нормативними режимами І та ІІІ (удар та стиск) при рівномірному та зміщеному вантажу (10 % нерівномірності міжвізкового навантаження), можна зробити висновок, що сили, які виникають у клепковому з'єднанні при зміщеному вантажі на одну сторону вагона-хопера, приблизно на 7-10% більші за сили, що виникають при рівномірно розподіленому вантажі. Також в праці [52] було досліджено матеріал зруйнованих заклепок, що з'єднують хребтову балку з заднім упором та встановлено втомний характер їх руйнувань.

2.5.3 Результати розрахунку рами вагона-хопера для перевезення зерна від нормативних навантажень при зміщеному положенні вантажу в кузові

Для визначення впливу нерівномірно розподіленого вантажу в кузові вагона-хопера (10 % нерівномірності міжвізкового навантаження) на напружено-деформований стан рами нормативні розрахункові схеми за режимом І (удар, ривок) та режимом ІІІ (стиснення, розтягнення) були уточнені шляхом внесення нерівномірності міжвізкового навантаження на величину - 9,1 тон (10%).



Уточненні розрахункові схеми навантаження показані на рис. 2.44 – 2.47.

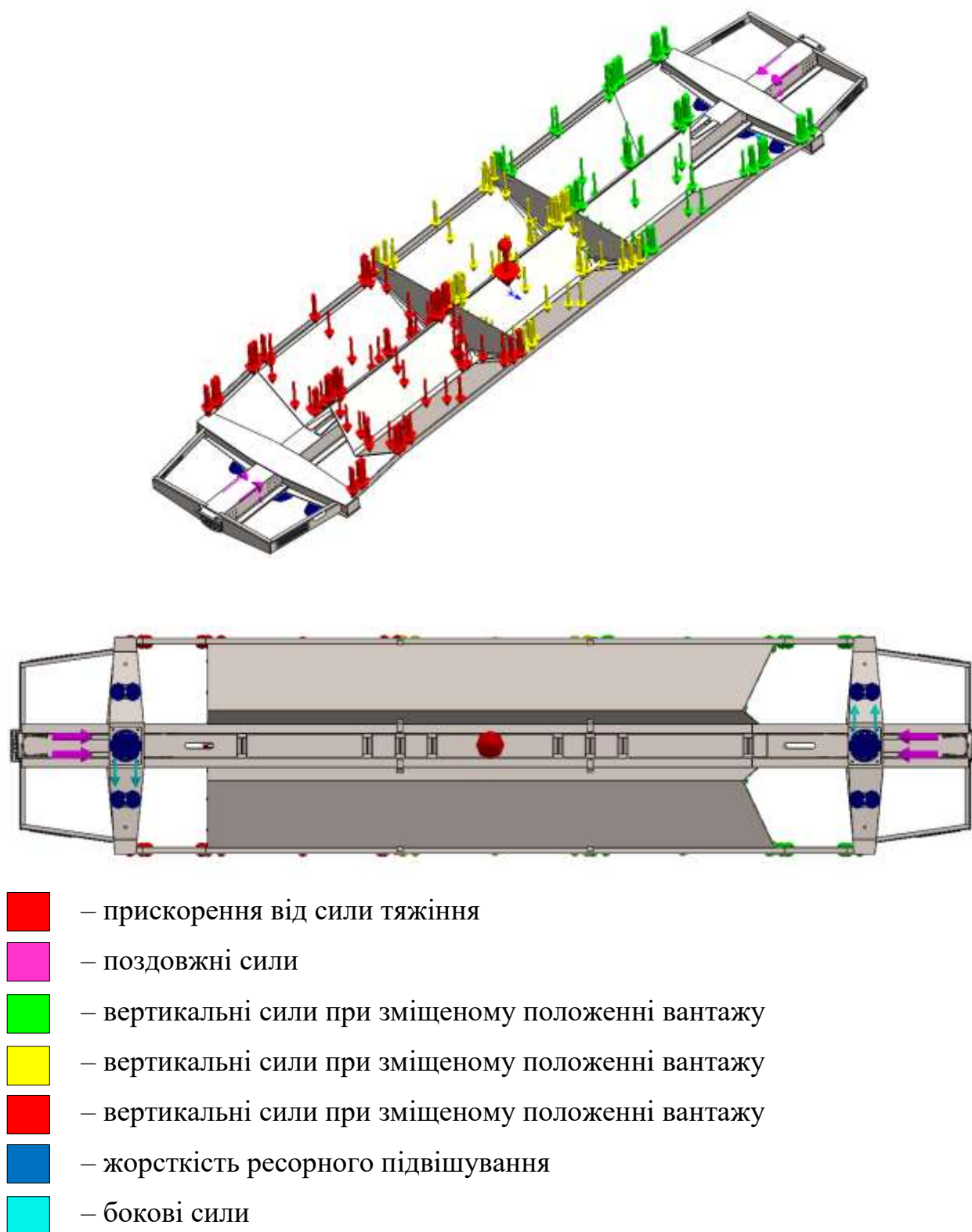
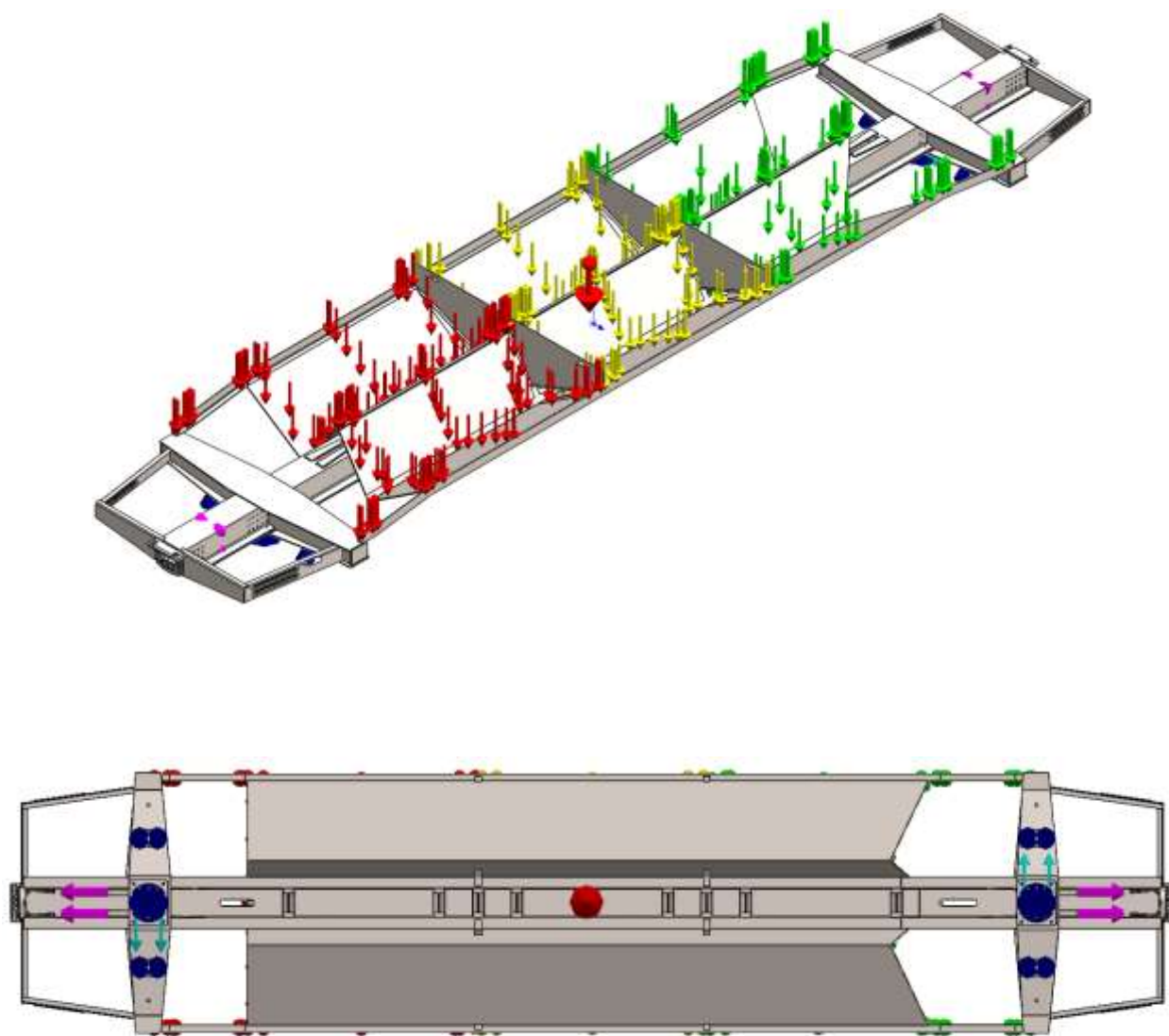
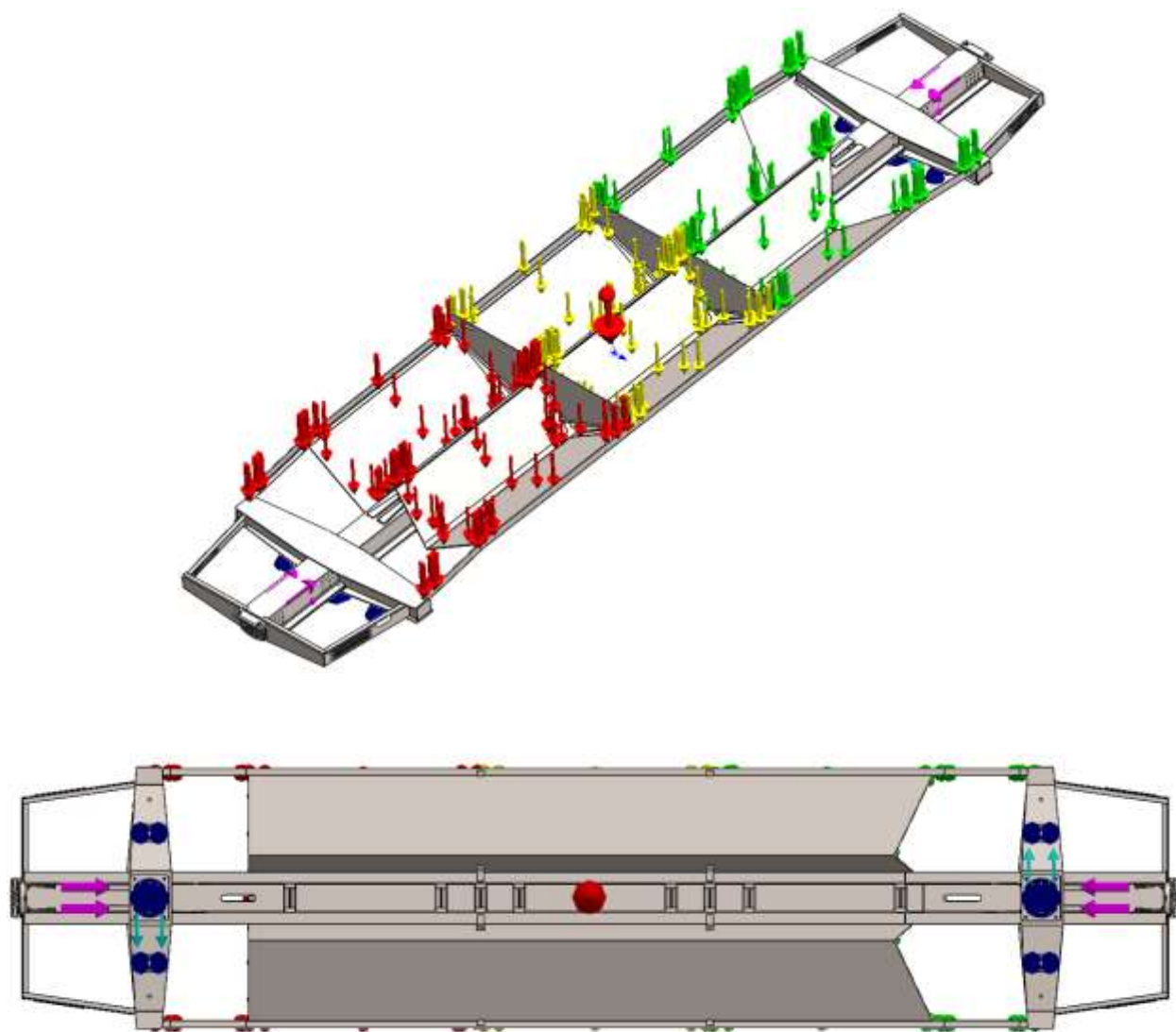


Рисунок 2.44 – Розрахункова схема навантаження рами вагона-хопера за I режимом (удар) при зміщеному положенні вантажу



- прискорення від сили тяжіння
- поздовжні сили
- вертикальні сили при зміщеному положенні вантажу
- вертикальні сили при зміщеному положенні вантажу
- вертикальні сили при зміщеному положенні вантажу
- жорсткість ресорного підвішування
- бокові сили

Рисунок 2.45 – Розрахункова схема навантаження рами вагона-хопера за I режимом (ривок) при зміщеному положенні вантажу



- прискорення від сили тяжіння
- поздовжні сили
- вертикальні сили при зміщеному положенні вантажу
- вертикальні сили при зміщеному положенні вантажу
- вертикальні сили при зміщеному положенні вантажу
- жорсткість ресорного підвішування
- бокові сили

Рисунок 2.46 – Розрахункова схема навантаження рами вагона-хопера за  
ІІІ режимом (стиск) при зміщеному положенні вантажу

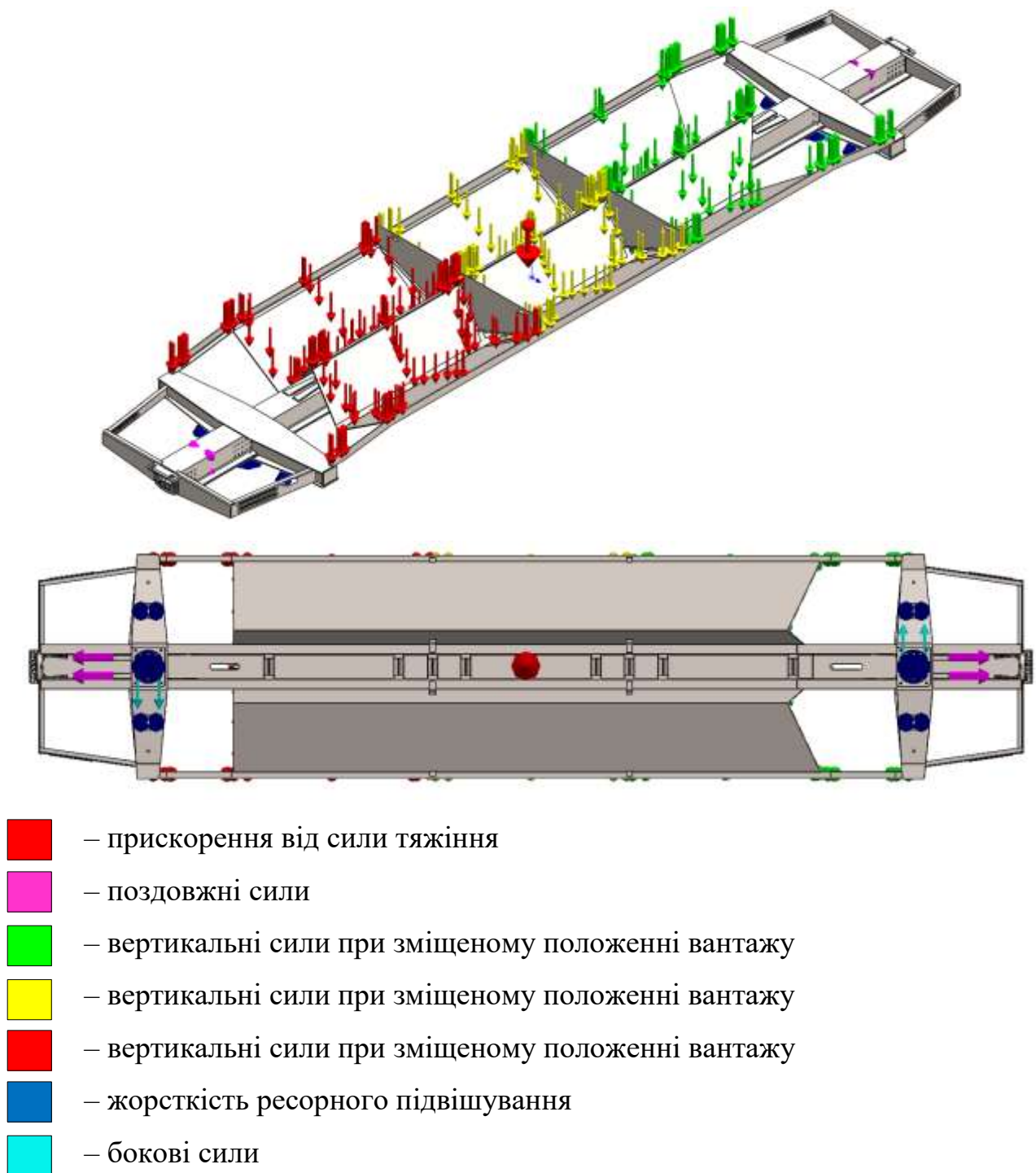


Рисунок 2.47 – Розрахункова схема навантаження рами вагона-хопера за III режимом (розтяг) при зміщеному положенні вантажу

На рисунках 2.48 – 2.49 наведено епюри сил, моментів, переміщень при рівномірно розміщеному та нерівномірному розміщеному вантажу в кузові вагона (10 % нерівномірність міжвізкового навантаження), які ілюструють вплив від дії нерівномірного навантаження.

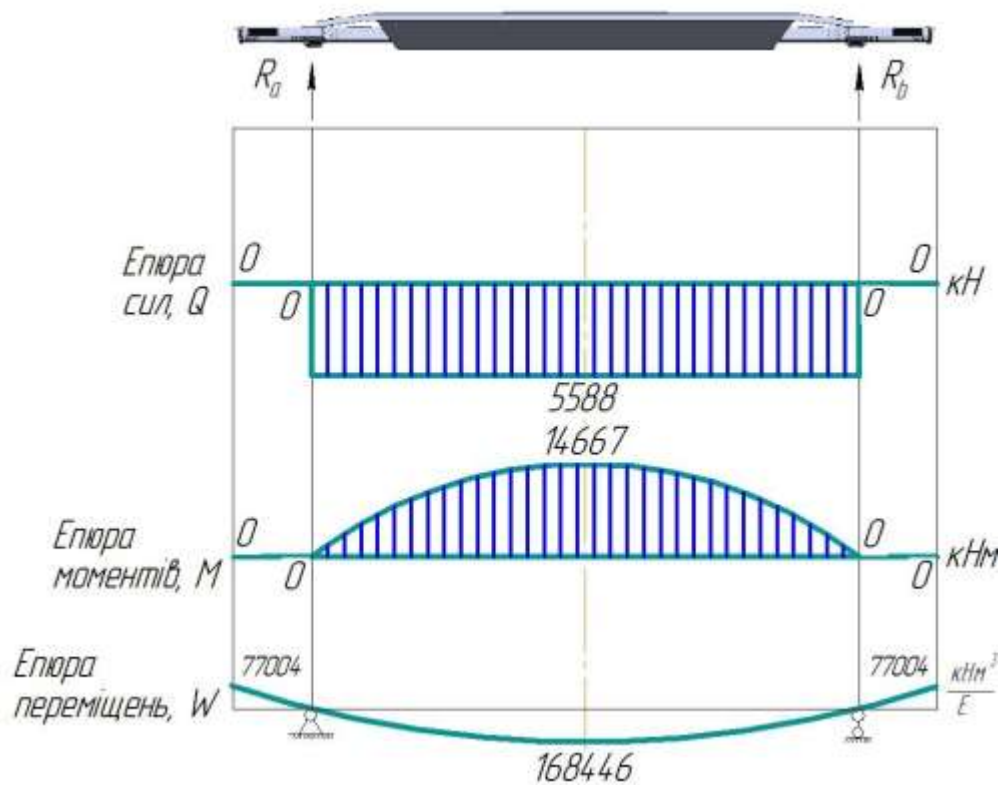


Рисунок 2.48 – Епюра при рівномірно розміщеному вантажі в кузові вагона

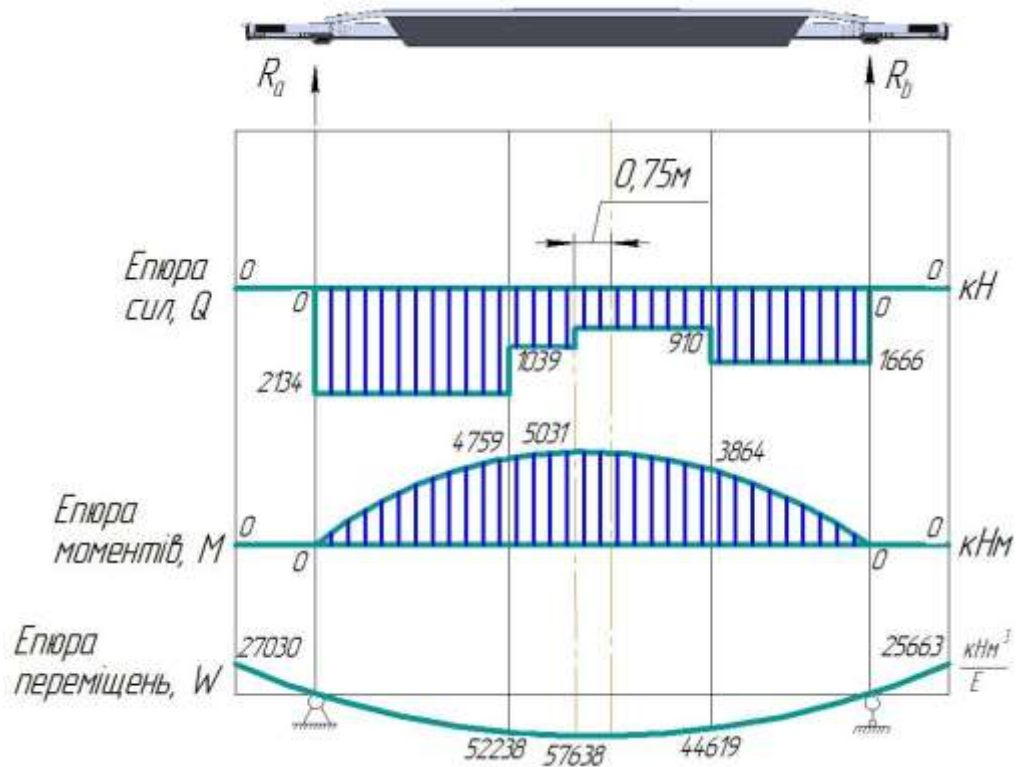


Рисунок 2.49 – Епюра сил, моментів та переміщень при нерівномірно розміщеному вантажі в кузові вагона



На рисунках 2.50–2.53 наведено епюри еквівалентних напружень, що виникають в рамі вагона-хопера моделі 19-752 від дії нормативного навантаження при умові зміщеного вантажу на 10% за режимом І (удар, ривок) та режимом ІІІ (стиснення, розтягнення). Точки 14, 15 були обрані для оцінки адекватності моделі за результатами порівняння з результатами експериментальних досліджень.

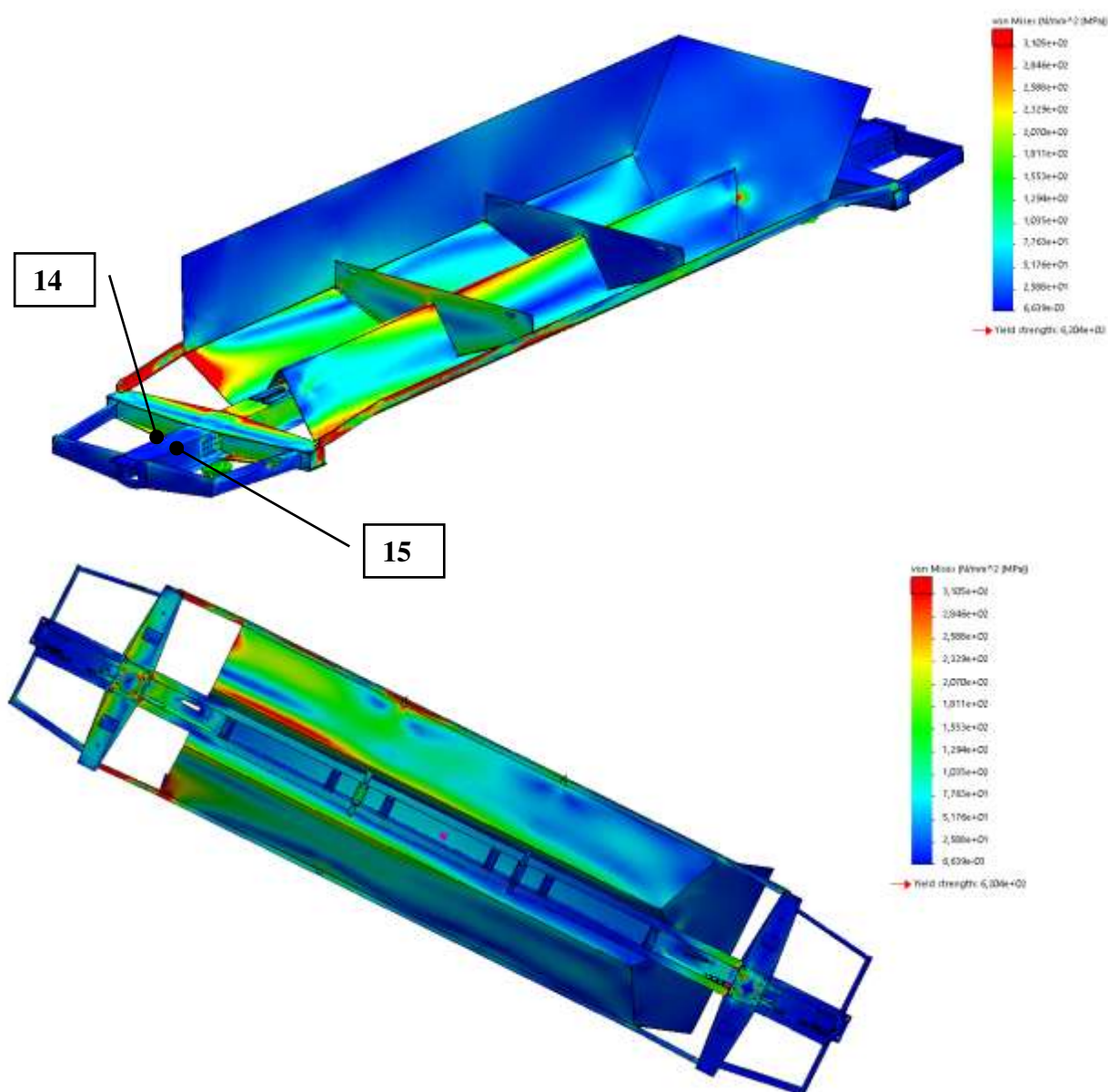


Рисунок 2.50 – Епюра еквівалентних напружень рами вагона-хопера за режимом  $I_{\text{удар}}$

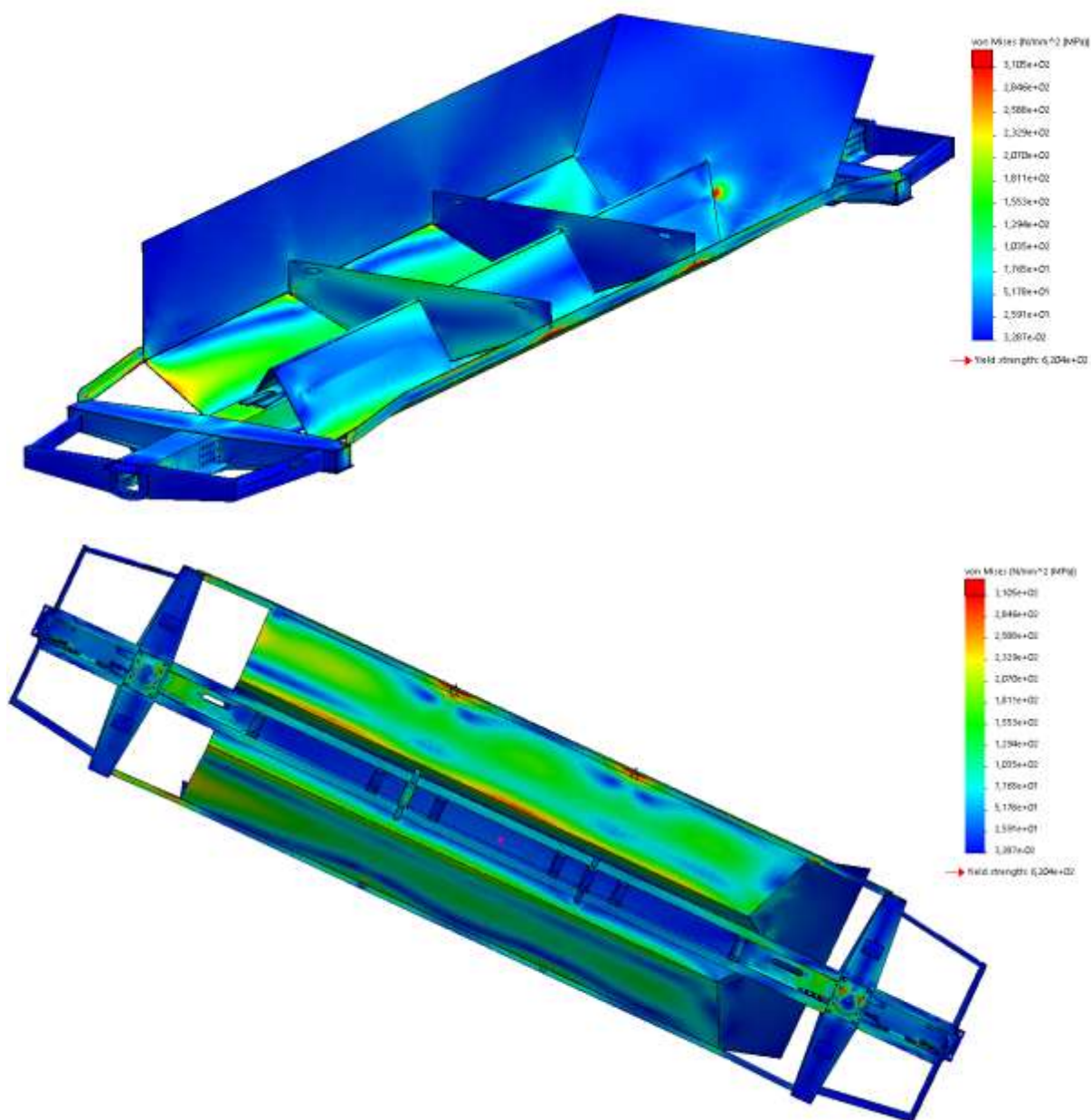


Рисунок 2.51 – Епюра еквівалентних напружень рами вагона-хопера за режимом  $I_{\text{ривок}}$

Максимальні розрахункові напруження в І режимі (удар, ривок) при нерівномірно розподіленого вантажу в кузові вагона-хопера складають 316-327 МПа (в зоні з'єднання хребтової балки з заднім упором та шворневою балкою). Допустимі значення напружень для І режиму – 310,5 МПа. Таким чином, максимальні розрахункові напруження перевищують допустимі значення згідно з [3]. У контрольних точках 14, 15 напруження становлять 35,5 МПа.

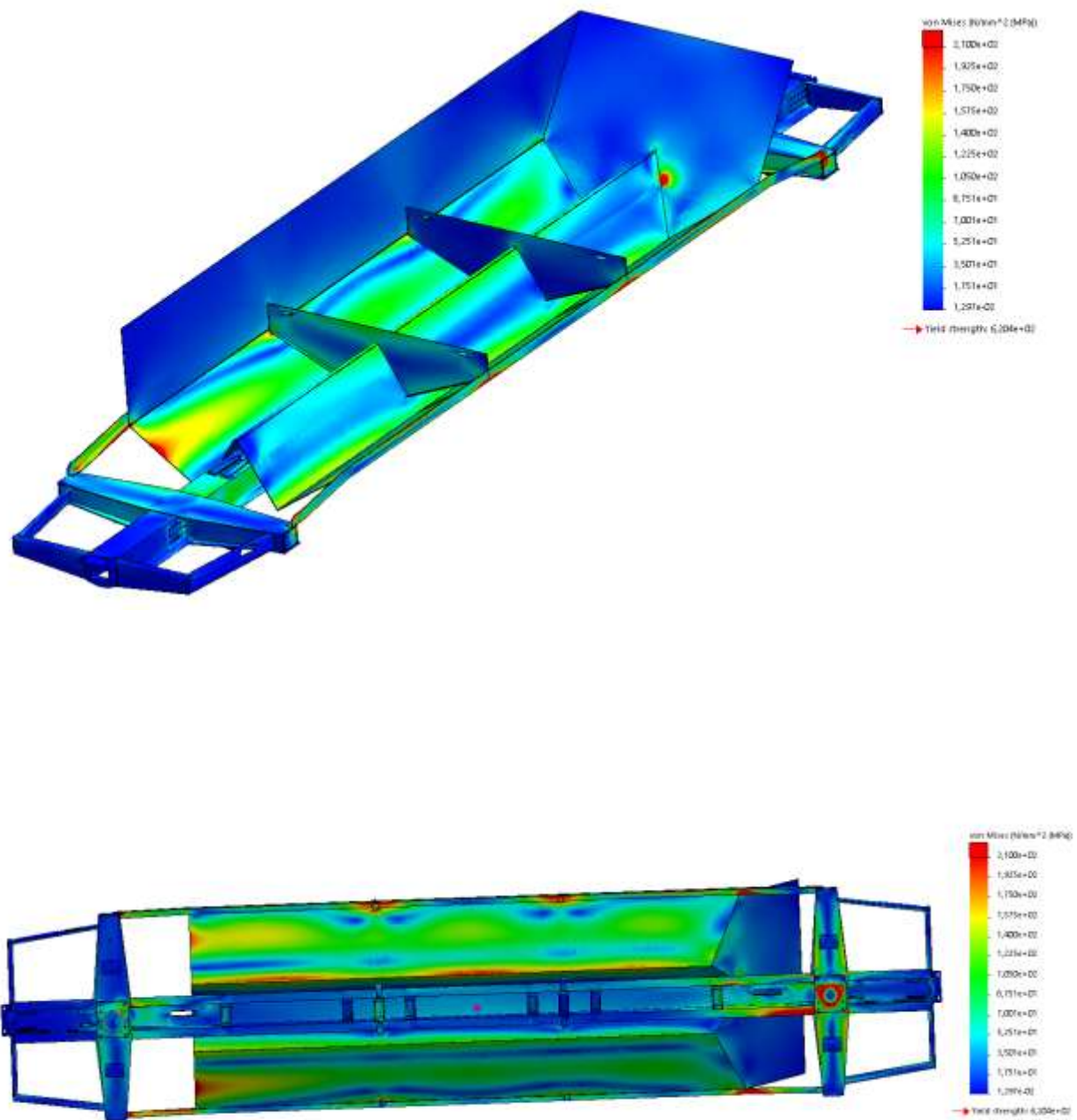


Рисунок 2.52 – Епюра еквівалентних напружень рами вагона-хопера за режимом  $\Pi_{\text{ст}}$



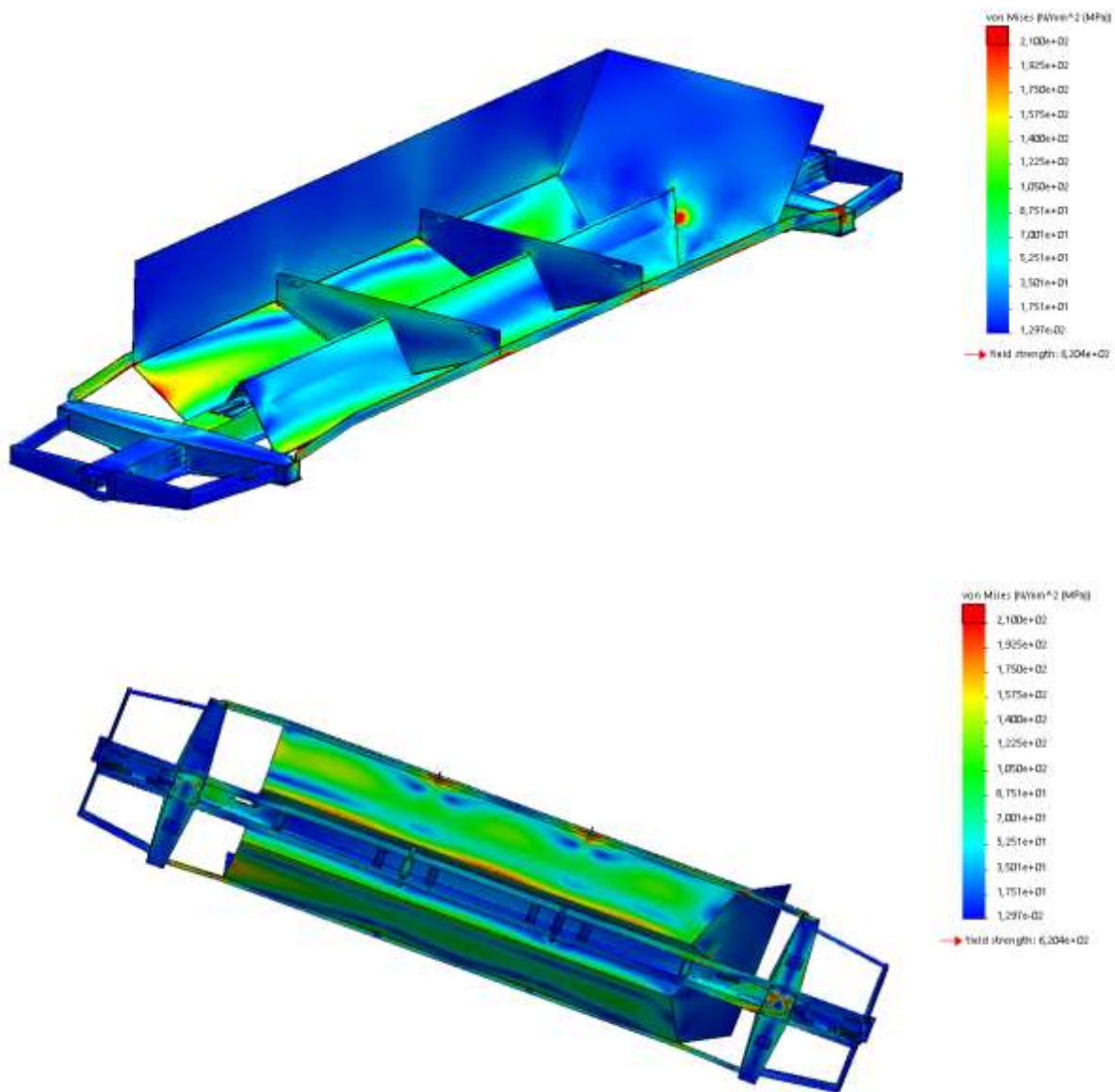


Рисунок 2.53 – Епюра еквівалентних напружень рами вагона-хопера за режимом  $\Pi_{\text{розтяг}}$

Максимальні розрахункові напруження в  $\Pi$  режимі (розтяг) при нерівномірно розподіленого вантажу в кузові вагона-хопера складають 211-221 МПа (в зоні з'єднання хребтової балки з заднім упором та шворневою балкою). Допустимі значення напружень для  $\Pi$  режиму – 210 МПа. Таким чином, максимальні розрахункові напруження перевищують допустимі згідно [3]. Згідно отриманих результатів можна зробити висновок, що нерівномірне розподілення вантажу впливає на підвищення напружень рами вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 в середньому на 10-15 % (20-40 МПа) та

призводить до перевищення напружень за межі допустимих згідно з [3] в зоні з'єднання хребтової балки з заднім упором та шворневою балкою.

$$\sigma_{I\max (\text{норма})} = 279 \text{ МПа} < \sigma_{I\max (\text{зсув})} = 327 \text{ МПа, при } \sigma_{I\text{доп.}} = 310,5 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{III\max (\text{норма})} = 200 \text{ МПа} < \sigma_{III\max (\text{зсув})} = 221 \text{ МПа, при } \sigma_{I\text{доп.}} = 210 \text{ МПа}$$

#### 2.5.4 Результати розрахунку втомних пошкоджень хребтової балки в зоні заклепкового з'єднання

Враховуючи [53-58] розглянемо розподілення нормальних та дотичних напружень на хребтової балці під заклепками від поздовжніх сил стискання (рис. 2.54-2.57). Оцінювання можливого накопичення напружень виконується шляхом порівнювання отриманих напружень з границею витривалості за дотичними напруженнями при пульсуючому циклі  $\tau_{-0}=70 \text{ МПа}$  [59].

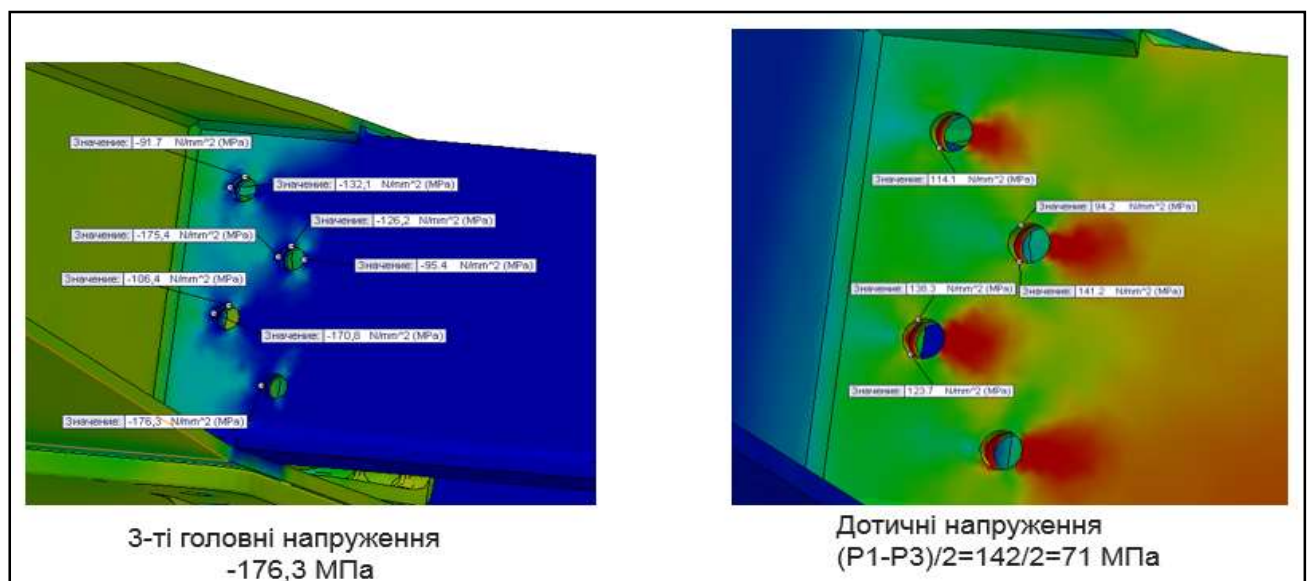


Рисунок 2.54 – Розподіл напружень на хребтової балці під заклепками від поздовжніх сил. Режим I (стиснення 2,5МН)

За результатами розрахунку представленому на рис. 2.54 можна зробити висновок, що втомні пошкодження теоретично можуть накопичуватися в хребтовій балці при навантаженні 2,5 МН та вище. При цьому тріщина буде поширюватися під нахилом приблизно  $45^\circ$ . Але перевищення напружень 1 МПа дуже незначне і тому вірогідність такого явища без додаткових сил дуже низька.

Окремо розглянемо вплив вертикальних сил на сумарні дотичні напруження. Порівняємо розрахунки від сил тяжіння бруто 70 т з розрахунком від сил тяжіння бруто 70 т з коефіцієнтом динаміки 0,352 та з розрахунком від сил тяжіння бруто 75 т (перенавантаження) з коефіцієнтом динаміки 0,352.

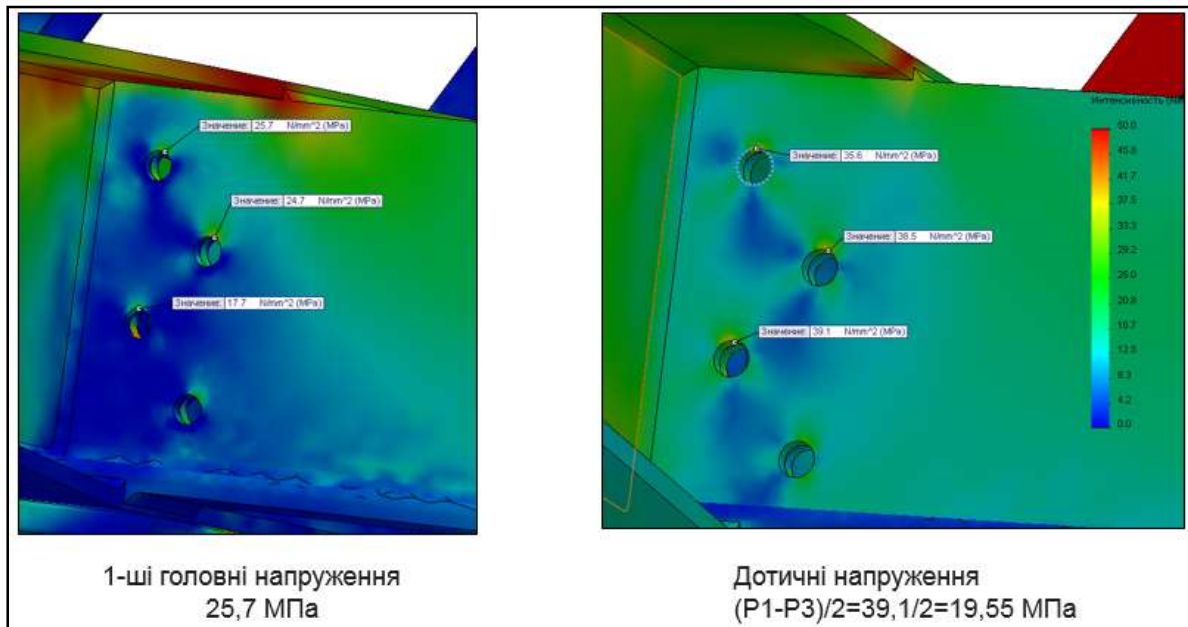


Рисунок 2.55 – Розподіл напружень на хребтовій балці під заклепками від сил тяжіння (70 т)

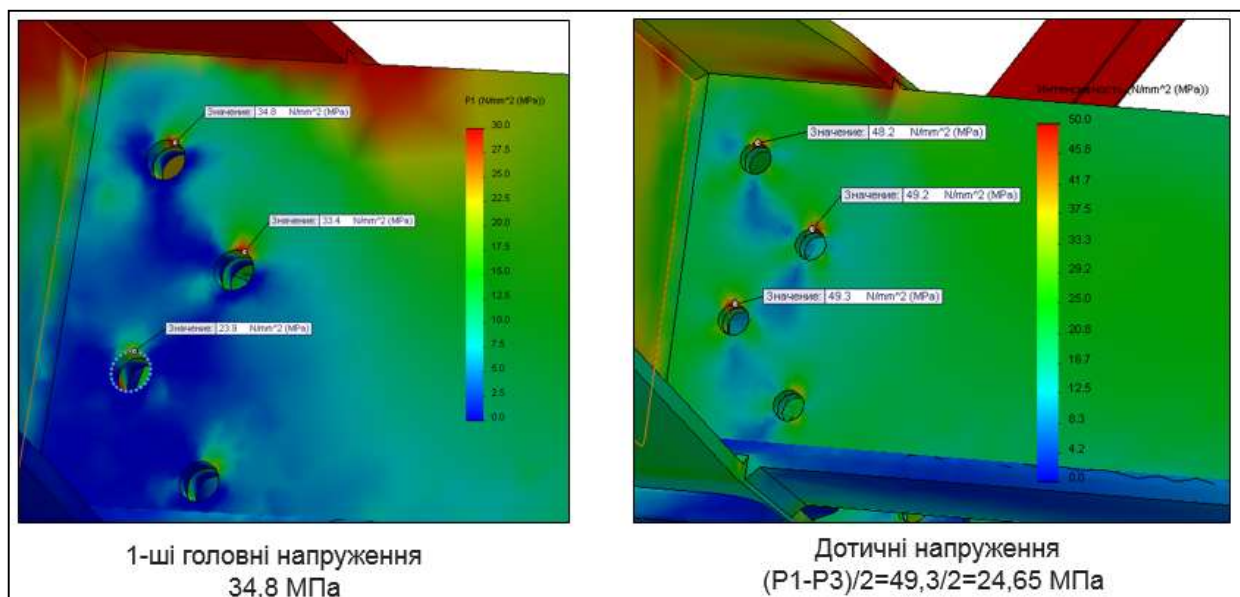


Рисунок 2.56 – Розподіл напружень на хребтовій балці під заклепками від сил тяжіння з коефіцієнтом динаміки 0,352 (70т)

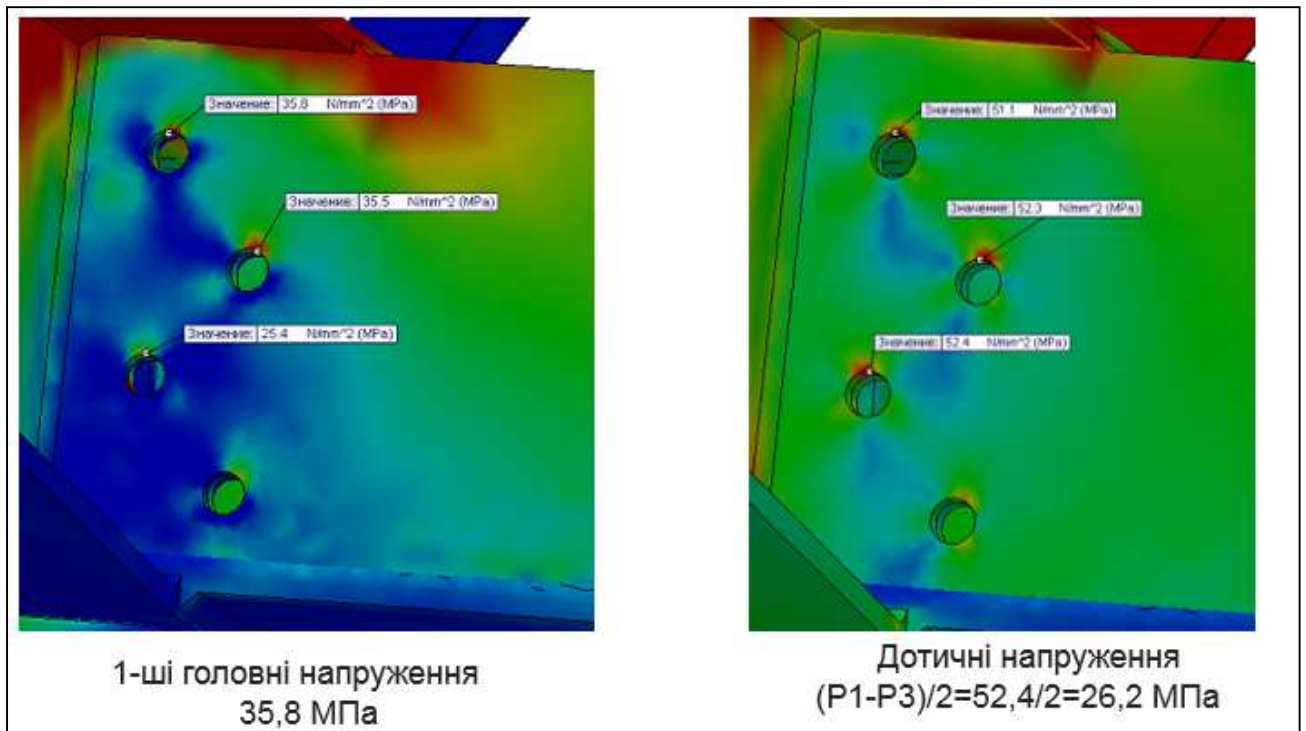


Рисунок 2.57 – Розподіл напружень на хребтовій балці під заклепками від сил тяжіння з коефіцієнтом динаміки 0,352 (75т)

Порівнюючи отримані напруження з границею витривалості за дотичними напруженнями при пульсуючому циклі (70 МПа), можна зробити висновок, що режими удару, стиснення режим I та режим III згідно [3] не є причинами виникнення втомних тріщин в зоні заклепкового з'єднання.

Розглянемо режими ривка, розтягу режим I та режим III.

На рисунках 2.58 – 2.59 наведено результати розрахунку заклепкового з'єднання за нормативними режимами удару та стиснення при зміщеному вантажі на одну сторону вагона-хопера (10 % нерівномірності міжвізкового навантаження в 9,1 тону).

Розглянемо розподілення нормальних та дотичних напружень на хребтовій балці під заклепками від поздовжніх сил розтягування. Оцінювання можливого накопичення напружень виконується шляхом порівнювання отриманих напружень з границею витривалості за нормальними напруженнями при пульсуючому циклі  $\sigma_{-0} = 120$  МПа [59].



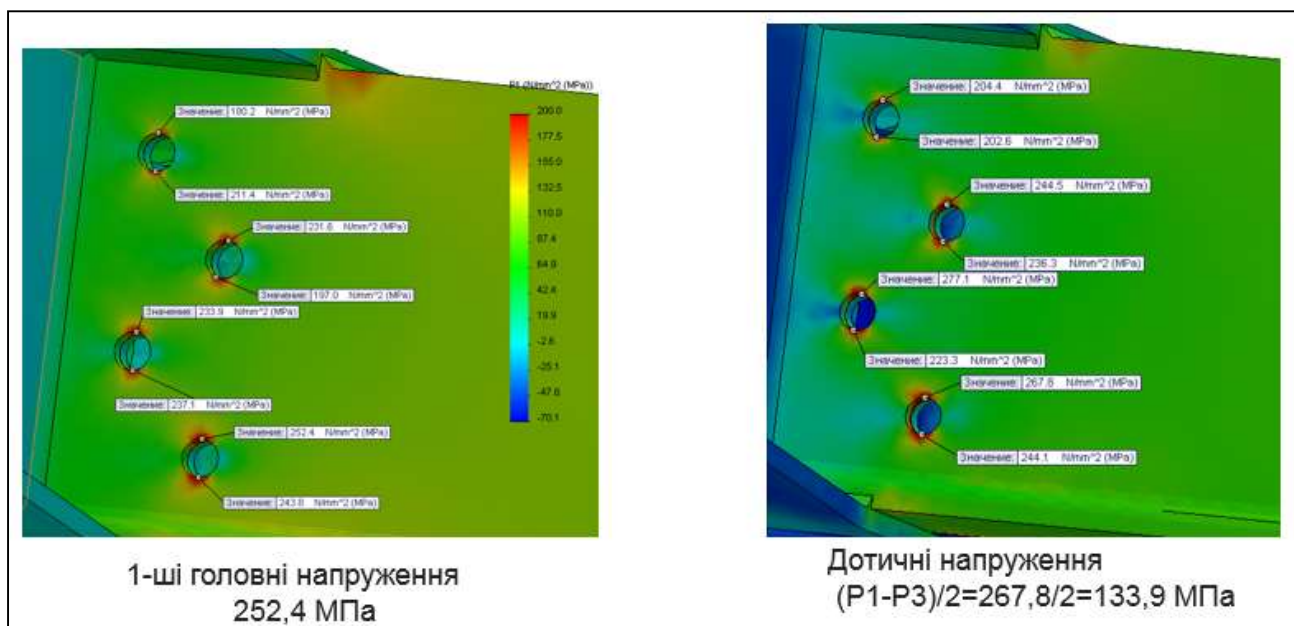


Рисунок 2.58 – Розподіл напружень на хребтовій балці під заклепками від поздовжніх сил. Режим I (розтяг 2,0 МН)

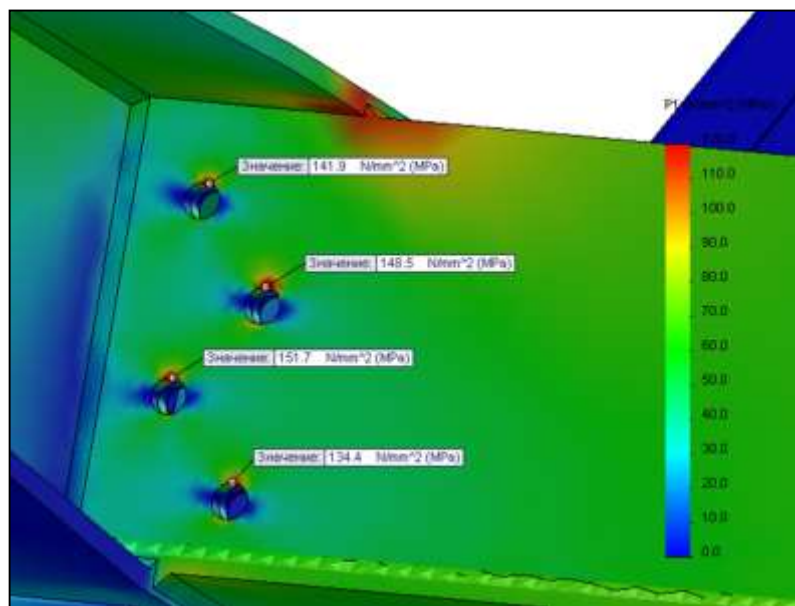


Рисунок 2.59 – Розподіл напружень на хребтовій балці під заклепками від поздовжніх сил. Режим III (розтяг 1,0 МН)

За результатами розрахунку представленому на рисунках 2.53 та 2.54 можна зробити висновок, що втомні пошкодження накопичуються в хребтовій балці при навантаженні менше 1,0 МН. При цьому тріщина буде поширюватися

вертикально від нижнього отвору заклепки 151,7 МПа до верхньої 141,9 МПа. Отримані напруження в середньому перевищують допустимі на 25%.

Таким чином нерівномірно розміщений вантаж при режимах І (розтяг) та ІІІ (розтяг) є причиною виникнення та розвитку втомних тріщин в зоні заклепкового з'єднання. Такі значні напруження виникають через різку зміну жорсткості з'єднання та обмежену площу заклепкового з'єднання хребтової балки з заднім упором [60].

#### 2.5.5 Розрахунок показника опору втомі з урахуванням додаткових навантажень

У відповідності до алгоритму [3] виконано додатковий розрахунок при зміщенні зернового вантажу (збільшення на 10 % навантаження на один візок при розвантаженні іншого). У якості предмету даного дослідження обрано коефіцієнт запасу опору втомі, який розраховано для блоку навантажень, що відповідає ІІІ розрахунковому режиму, наведеного в табл. 2.11.

Основною відмінністю навантажень є перерозподілені вертикальні сили, рівень еквівалентних механічних напружень наведено на рис. 2.50 та 2.53.

Розрахунок коефіцієнту запасу опору втомі при перерозподілу навантажень у порівнянні з рівномірним навантаженням наведено нижче.

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,e}} \geq [n], \quad (2.33)$$

де  $\sigma_{a,N}$  - границя витривалості (за амплітудою) натурної деталі за симетричним циклом і встановленим режимом навантажень згідно – 42,7 МПа;

$\sigma_{a,e}$  - розрахункова величина еквівалентної амплітуди динамічного напруження у реальному режимі експлуатаційних випадкових навантажень за проектний строк служби конструкції;

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

$$\sigma_{a,N} = \overline{\sigma_{a,N}} * (1 - Z_p * V_{\sigma_{a,N}}), \quad (2.34)$$

де  $\overline{\sigma_{a,N}}$  – середнє (медіанне) значення границі витривалості натурної деталі, Па;

$Z_p$  – 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  $Z_p = 1,645$ ;

$V_{\sigma_{a,N}}$  – коефіцієнт варіації границі витривалості деталі.

Значення  $V_{\sigma_{a,N}}$  для деталей з вуглецевих, низьколегованих і нержавіючих сталей рекомендовано вважати такими, що дорівнюють:

- для зварних рам і балок з листового й фасонного прокату 0,05;  
в разі автоматичного зварювання
- те саме, в разі напівавтоматичного і ручного зварювання 0,07;
- для зон приварювання до балок кронштейнів та інших 0,10  
деталей ручним зварюванням
- для сталевих литва 0,10;
- для зон приварювання литих деталей до прокатних і навпаки 0,12.

$$\overline{\sigma_{a,N}} = \frac{\overline{\sigma_{-1}}}{(\overline{K_{\sigma}})_k}, \quad (2.35)$$

де  $\overline{\sigma_{-1}}$  – середнє (медіанне) значення границі витривалості гладкого стандартного зразка з матеріалу деталі, МПа. Числові значення  $\overline{\sigma_{-1}}$  визначають за довідковими даними;

$(\overline{K_{\sigma}})_k$  – середнє значення загального коефіцієнта зниження границі витривалості даної натурної деталі відносно границі витривалості гладкого стандартного зразка. Визначають за експериментальним даними для аналогічних деталей. Для деяких типових елементів несних конструкцій вагонів значення  $(\overline{K_{\sigma}})_k$  наведено в табл. 2.15 згідно [3].

Таблиця 2.15 – Значення  $(\bar{K}_\sigma)_k$  для деяких типових елементів несних конструкцій вагонів

Характеристика елемента й розрахункової зони	$(\bar{K}_\sigma)_k$
Стандартний зразок із полірованою поверхнею згідно з ГОСТ 25.502	1,0
Смуга прокатна або лита з перерізом до 20 см <sup>2</sup> без концентраторів напружень по основному металу	1,3 – 1,5
Балки з фасованого прокату (двотавр, швелер, зет, куток) і штамповані з листового прокату по основному металу полицок (віддалені від концентраторів напружень)	1,3 – 1,5
Балки коробчасті, зварені з фасонного прокату та штамповок поздовжніми стиковими швами по верхніх і нижніх полицках без поперечних ребер жорсткості та діафрагм, по зварному шву	1,4 – 1,6
Балки з фасованого прокату та штамповок, пояси коробчастих балок з листового прокату в зоні зварного шва, зварені: <ul style="list-style-type: none"> <li>- двосторонніми прямими поперечними стиковими швами у зоні зварного шва</li> <li>- двосторонніми косими швами під кутом 45°</li> <li>- двосторонніми прямим, обробленими урівень з поверхнею основного металу, швами</li> <li>- односторонніми прямими швами (із непроваром кореня шва чи без підварки)</li> </ul>	2,0 – 2,4 1,8 – 2,2 1,5 – 1,7 4,0 – 4,8
Балки фасонного прокату та штамповок, балок коробчасті зварні з фасонного прокату, штамповок і листа з накладками з листа на полицках, привареними по контуру кутовими (лобовими і фланговими) швами: <ul style="list-style-type: none"> <li>- у перерізі в зоні лобового шва прямокутної накладки</li> <li>- у перерізі в зоні лобового шва накладки за співвідношення катетів 1:2</li> <li>- те саме із механічною обробкою шва</li> </ul>	4,0 – 4,5 3,2 – 3,8 2,5 – 3,0
Балки з фасонного прокату і штамповок, балки коробчасті зварні з фасонного прокату, штамповок і листа з ребрами жорсткості або діафрагмами, привареними поперечними кутовими швами без оброблення кромки і зачищення цих швів	4,0 – 4,5
Напусткове з'єднання прокатних елементів кутовими фланговими швами в зоні закінчення цих швів	4,5 – 5,2
Таврове з'єднання елементів із фасонного прокату, штамповок, коробчастих і листових елементів, зварених один з одним кутовими швами без оброблення кромки у зоні зварних швів	4,2 – 4,8
Те саме з обробленням кромки і повним проваром шва	3,5 – 4,0
Елементи з фасонного та листового прокату або штамповок з отворами, утвореними свердлінням, для болтів і заклепок у перерізах по отворах	2,6 – 2,8
Зварні коробчасті балки рам візків зі сталевих прокату з накладками й отворами для люлькових підвісок у зоні приварення кутовими швами (без оброблення) внутрішніх обичайок цих отворів	5,0 – 5,5
Вал ( $d \cong 150$ мм) із напресованою маточиною для передавання поперечних сил і/або моментів у зоні кромки маточини	3,5 – 4,0
Болти на шпильки з метричною нарізкою за деформації розтягування-стискання діаметром різьби: <ul style="list-style-type: none"> <li>d = 10 – 20 мм</li> <li>d = 20 – 30 мм</li> <li>d = 30 – 40 мм</li> <li>d = 40 – 50 мм</li> </ul>	3,0 – 3,5 3,5 – 4,0 4,0 – 5,0 4,5 – 5,5



Динамічна складова напружень розрахована наступним чином:

$$\sigma_{a,e} = \sqrt[m]{\frac{T_p v_e}{N_0} A \sum_{j=1}^n K_{\text{дїл } j} \sum_{vi}^{N_{vi}} S_{\sigma vi}^m T_{vi}} \quad (2.36)$$

де  $m$  – показник степені в рівнянні кривої втоми в амплітудах;

$T_p$  – сумарний час дії динамічних напружень, с;

$v_e$  – центральна (ефективна) частота процесу зміни динамічних напружень, Гц;

$N_0$  – базова кількість циклів,  $10^7$ ;

$A$  – функція показника  $m$  кривої втоми, для маловуглецевих сталей = 16, для низьколегованих сталей = 18;

$K_{\text{дїл } j}$  – середня частка довжини прямих ділянок колії ( $j = 1$ ), кривих ділянок колії ( $j = 2$ ) і стрілок ( $j = 3$ ) від загальної довжини залізничних ліній, по яких передбачають експлуатувати дослідний вагон. Для мережі магістральних залізниць рекомендовано брати такі значення:

- для прямих ділянок колії 0,75;
- для кривих ділянок колії 0,23;
- для стірлочних переводів, хрестовин і перерізу колії 0,02;

$N_{vi}$  – прийнята відповідно кількість розрядів амплітуд напружень в  $i$ -му інтервалі швидкостей і кількість розрядів швидкостей руху;

$S_{vi}$  – середньоквадратичне відхилення поточних значень амплітуд динамічних напружень в  $i$ -му інтервалі швидкостей;

$T_{vi}$  – частка часу, що приходить на розподіл повздовжніх сил.

Для зварних і литих рам та балок  $m$  визначати за формулою:

$$m = \frac{A}{(\bar{K}_\sigma)_k}, \quad (2.37)$$

Сумарний час дії динамічних напружень  $T_p$ , в секундах, визначають за формулою:

$$T_p = 365 * \frac{10^3 * \bar{L}_c}{\bar{v}} * T_k, \quad (2.38)$$

де  $\bar{L}_c$  – проектний середньодобовий пробіг вагона, км/доба;

$\bar{v}$  – середня технічна швидкість руху вагона, м/с. Значення рекомендовано обирати згідно [3]. В окремих випадках вхідними даними проектування конкретного виробу може бути передбачено інше;

$T_k$  – 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.

Центральну (ефективну) частоту процесу, рекомендовано приблизно визначати за формулою:

$$v_e = \frac{a}{2\pi} * \sqrt{\frac{g}{f_{ст}}}, \quad (2.39)$$

де  $a$  – коефіцієнт, що дорівнює:

- для кузова ізотермічного вагона 1,2;
- для кузова вантажного вагона 1,4;
- для підресорених частин вантажного візка 1,7;
- для непідресорених частин візка 2,0;

$g$  – прискорення вільного падіння, 9,8 м/с<sup>2</sup>;

$f_{ст}$  – статичний прогин ресорної підвіски для розрахункового режиму навантаження вагона, м.

Для необресорених частин візків вважають що  $f_{ст} = 0,005$  м.

Таблиця 2.16 – Частка часу розподілу повздовжніх сил  $T_{vi}$ 

Інтервал сил, МН	Частотність сил		Число циклів дії сил	
	Розтяг	Стиск	Розтяг	Стиск
Від 0,1 до 0,4	0,139	0,099	2432	742
Від 0,4 до 0,8	0,309	0,239	5408	1793
Від 0,8 до 1,2	0,289	0,269	5058	2018
Від 1,2 до 1,6	0,179	0,199	3132	1492
Від 1,6 до 2,0	0,060	0,050	1050	892
Від 2,0 до 2,4	0,020	0,019	350	375
Від 2,4 до 2,8	0,0034	0,019	60	142
Від 2,8 до 3,2	0,0006	0,005	10	38
Від 3,2 до 3,6	0,0000	0,0008	0	6
Понад 3,6	0,0000	0,0002	0	2
Сумарно	1,0000	1,0000	17500	7500

Таблиця 2.17 – Рекомендовані коефіцієнти запасу опору втомі  $[n]$  елементів конструкції вагонів

Варіант	Вхідні умови розрахунку	Значення [n]
А	У разі використання статистично надійних експериментальних даних щодо границь витривалості $\sigma_{a,N}$ за довірчої ймовірності $P = 0,95$ та надійних границь даних щодо експлуатації навантаженості деталі $\sigma_{a,e}$	1,3
		1,4
		1,7
Б	У разі використання статистично надійних експериментальних даних щодо $\sigma_{a,N}$ за $P = 0,95$ та наближених даних щодо $\sigma_{a,e}$ , визначених розрахунковим методом за встановленими нормативами динамічних сил, або в разі використання середньоймовірних даних щодо $\sigma_{a,N}$ (якщо $P = 0,5$ ) та надійних експериментальних даних щодо $\sigma_{a,e}$	1,5
		1,6
		1,9
В	У разі використання наближених даних щодо $\sigma_{a,N}$ , визначених розрахунковим методом або експертним оцінюванням для $P \cong 0,5$ , і наближених даних щодо $\sigma_{a,e}$ , визначених розрахунковим методом за встановленими нормативами динамічних сил	1,8
		2,0
		2,2

**Примітка 1.** У варіантах умов розрахування А, Б та В значення допустимих коефіцієнтів запасу стосуються:

- перше – елементів кузовів всіх типів;
- друге – візків, зчіпних і гальмівних пристроїв вантажних та ізометричних вагонів;
- третє – колісних пар і її зв'язків із рамою візка вагонів усіх типів.

**Примітка 2.** У разі застосування спеціальних уточнених методів розрахування конкретних вузлів і деталей можна використовувати відповідно обґрунтовані, уточнені значення [n].

Для оцінки динамічної складової напружень у несних конструкціях рами кузова були розраховані рівняння для дослідних місць з'єднання хребтової балки рами з заданим упором поглинального апарату.

Вагові коефіцієнти  $P_{vi}$  та  $K_{yrf}$  прийнято згідно рекомендацій Норм [3].

Таблиця 2.18 – Результати розрахунку коефіцієнту запасу опору втомі

№	Вагон	Строк служби, р.	Коеф. запасу опору втомі $n$	Допустиме значення коеф. запасу опору втомі
1	Вагон моделі 19-752 з рівномірним навантаженням	20	1,81	$[n] \geq 1,5$
2		30	1,75	
3		40	1,68	
4	Вагон моделі 19-752 з нерівномірним навантаженням	20	1,61	
5		30	1,51	
6		40	<b>1,48</b>	

На рис. 2.60 наведено порівняння залежності зміни коефіцієнту запасу опору втомі при рівномірно розміщеному та при нерівномірно розміщеному вантажу в кузові вагона-хопера (10 % нерівномірності міжвізкового навантаження).

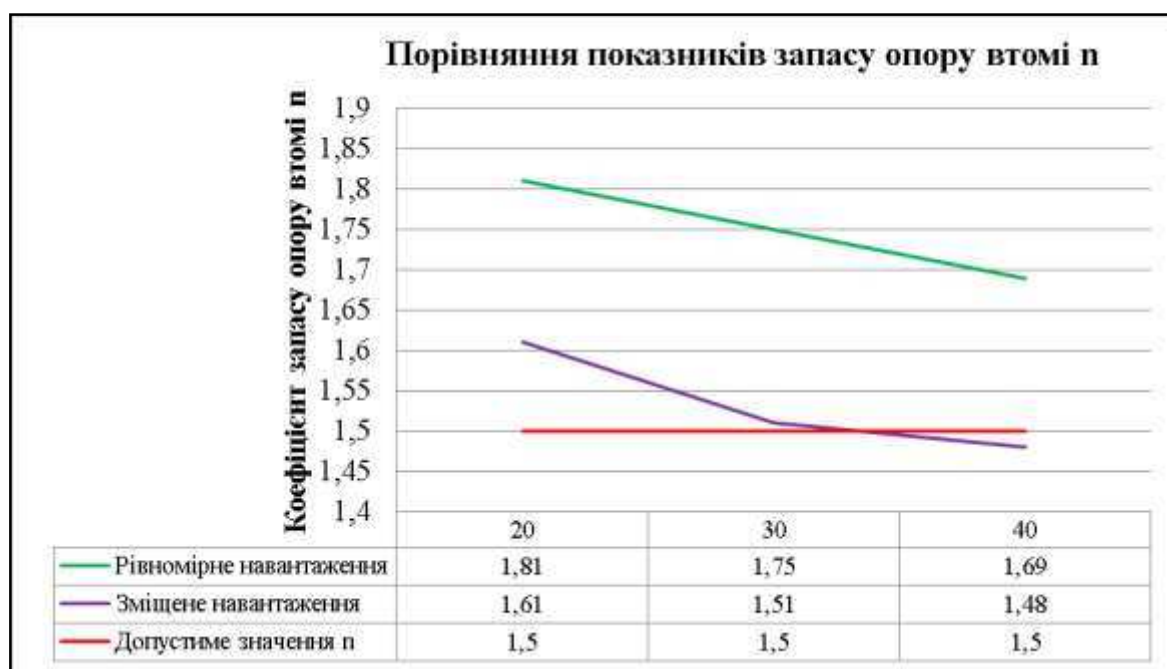


Рисунок 2.60 – Зміна коефіцієнта запасу опору втомі в залежності від рівномірності навантаження

На основі проведено порівняльного дослідження можна зробити висновок, що при експлуатації вагонів-хоперів з нерівномірно розміщеним вантажем коефіцієнт запасу опору втомі в середньому на 15% нижчий ніж у вагонів з рівномірно розміщеним вантажем.

Нерівномірне навантаження на вагонів-хоперів для перевезення зерна впливає на зниження коефіцієнта запасу опору втомі та призводить до критичного зменшення після закінчення нормативного терміну служби, що в свою чергу корелюється з отриманими статистичними даними про відмови.

В зв'язку з цим, та результатами наведеним на рис. 2.60, для визначення реального показника опору втомі  $n$  для вагонів-хоперів, які експлуатуються з нерівномірно розміщеним вантажем необхідно ввести до формули 2.33 додатковий коригуючий коефіцієнт  $K_{np}$ , який дорівнює 0,85.

Тоді формула для визначення показника опору втомі  $n$  для вагонів-хоперів, які експлуатуються з нерівномірно розміщеним вантажем має вигляд

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,e}} \cdot K_{np} \geq [n], \quad (2.40)$$

де:  $\sigma_{a,N}$  - границя витривалості (за амплітудою) натурної деталі за симетричним циклом і встановленим режимом навантажень згідно – 42,7 МПа;

$\sigma_{a,e}$  - розрахункова величина еквівалентної амплітуди динамічного напруження у реальному режимі експлуатаційних випадкових навантажень за проектний строк служби конструкції;

$K_{np}$  – коригуючий коефіцієнт при експлуатації вагона-хопера з нерівномірно розподіленим вантажем,  $K_{np}=0,85$ ;

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

## Висновки до розділу 2

На основі проведеного аналізу парку вагонів-хоперів для перевезення зерна встановлено, що зерновози моделі 19-752 становлять 95% від всього парку. На основі результатів проведеного аналізу відмов вагонів-хоперів для

перевезення зерна моделі 19-752 систематизовано та визначено відмови, які призводять до передчасного виходу їх з ладу в експлуатації. Визначено групи відмов вагонів-хоперів для перевезення зерна в експлуатації, що мають системний характер і є критичними для забезпечення безперебійного перевізного процесу, а саме: несправності гальмового обладнання вагона (685 од, 35,8%), несправності кузова вагону (647 од., 33,8%) та несправності рами вагону (320 од., 16,7%). Понад 90% відмов приходить на вагони, які вже вичерпали свій призначений термін служби 30 років. На основі системного аналізу відмов рам кузовів встановлено, що 15% продіагнованих вагонів-хоперів для перевезення зерна моделі 19-752 мають дефекти в рамах кузовів із них 100% це тріщини хребтових балок в місцях їх з'єднання з заднім упором. Такі тріщини є системними та виникають на перетині призначеного строку служби вагонів (30 років).

На основі проведеного аналізу результатів оцінки напружено деформованого стану рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 теоретично підтверджено гіпотезу про те, що нерівномірне навантаження на вагонів-хоперів для перевезення зерна та недосконала конструкції заклепкового з'єднання хребтової балки з заднім упором негативно впливає на міцнісні характеристики рами та призводить до підвищення напружень вище допустимих.

Проведено аналіз накопичення втомних пошкоджень хребтової балки в зоні клепаного з'єднання при умові нерівномірного розміщення вантажу та визначено, що втомні пошкодження накопичуються в при навантаження менше 1,0 МН. При цьому тріщина на хребтовій балці рами кузова буде поширюватися вертикально від нижнього отвору заклепки 151,7 МПа до верхньої 141,9 МПа. Таким чином нерівномірно розміщений вантаж (10 % нерівномірності міжвізкового навантаження) при режимах I (розтяг) та III (розтяг) є причиною виникнення втомних тріщин в зоні заклепкового з'єднання через різку зміну жорсткості цього з'єднання.

Теоретично доведено, що нерівномірне навантаження вагона-хопера для перевезення зерна негативно впливає на зниження коефіцієнта запасу опору втомі та призводить до його критичного зменшення після закінчення нормативного терміну служби, що в свою чергу корелюється з отриманими статистичними даними про відмови. Рама вагонів-хоперів з нерівномірно розміщеним вантажем має коефіцієнт запасу опору втомі в середньому на 15% нижчий ніж у вагонів з рівномірно розміщеним вантажем.

Автором були уточнені розрахункові схеми навантаження для I та III режимів розрахунку шляхом доповнення нерівномірним розподілом вертикальних сил (10% міжвізкового нерівномірного навантаження) та доведено доцільність їх використання для вагонів-хоперів для перевезення зерна.

На основі теоретичних досліджень автором запропоновано внесення змін до формули визначення показника опору втомі (математична модель визначення ресурсу вантажних вагонів), що полягає у введенні коригуючого коефіцієнту, який враховує нерівномірність розміщення вантажу вагонів-хоперів для перевезення зерна та визначено його кількісну величину.

### **РОЗДІЛ 3 . УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ РАМИ ВАГОНА-ХОПЕРА ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНА**

За результатами виконаних досліджень у розділі 2 проведено роботи з пошуку та визначення оптимального конструкційного рішення щодо удосконалення конструкції рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 з метою покращення несної здатності [61]. Для цього було розроблено відповідну структурну схему досліджень з застосуванням методу проєктування послідовного наближення (метод циклічної ітерації).

#### **3.1 Структурна схема досліджень щодо визначення оптимального конструкційного рішення**

Для розробки схеми досліджень щодо визначення оптимального конструкційного рішення для удосконалення конструкції рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 з метою покращення несної здатності було проаналізовано діючу нормативну документацію щодо ремонту вантажених вагонів, результати контролю технічного стану рам кузовів в частині розміщення тріщин хребтових балок, результати оцінки напружено-деформованого стану рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752, результати розрахунків втомної довговічності та враховано досвід викладених у працях [62-67].

Розроблена схема досліджень (алгоритм) представлена на рис. 3.1.

Дана схема передбачає наступні етапи:

- 1) Встановлення вимог до нового конструктивного рішення на основі вимог ДСТУ 7598 [3];
- 2) Визначення факторів, що призводять до руйнування хребтової балки вагона-хопера на основі проведених теоретичних досліджень;
- 3) Розробка заходів (загального характеру) для усунення факторів, що призводять до руйнування хребтової балки з врахуванням вимог до нового конструкційного рішення;



- 4) Вибір нових конструктивних рішень на основі пунктів 1-3;
- 5) Оцінка відповідності нових конструкційних рішень шляхом моделювання з врахуванням технологічності реалізації такого рішення;
- 6) Визначення оптимального конструкторського рішення, підтвердження ефективності якого буде виконуватись експериментальним методом.

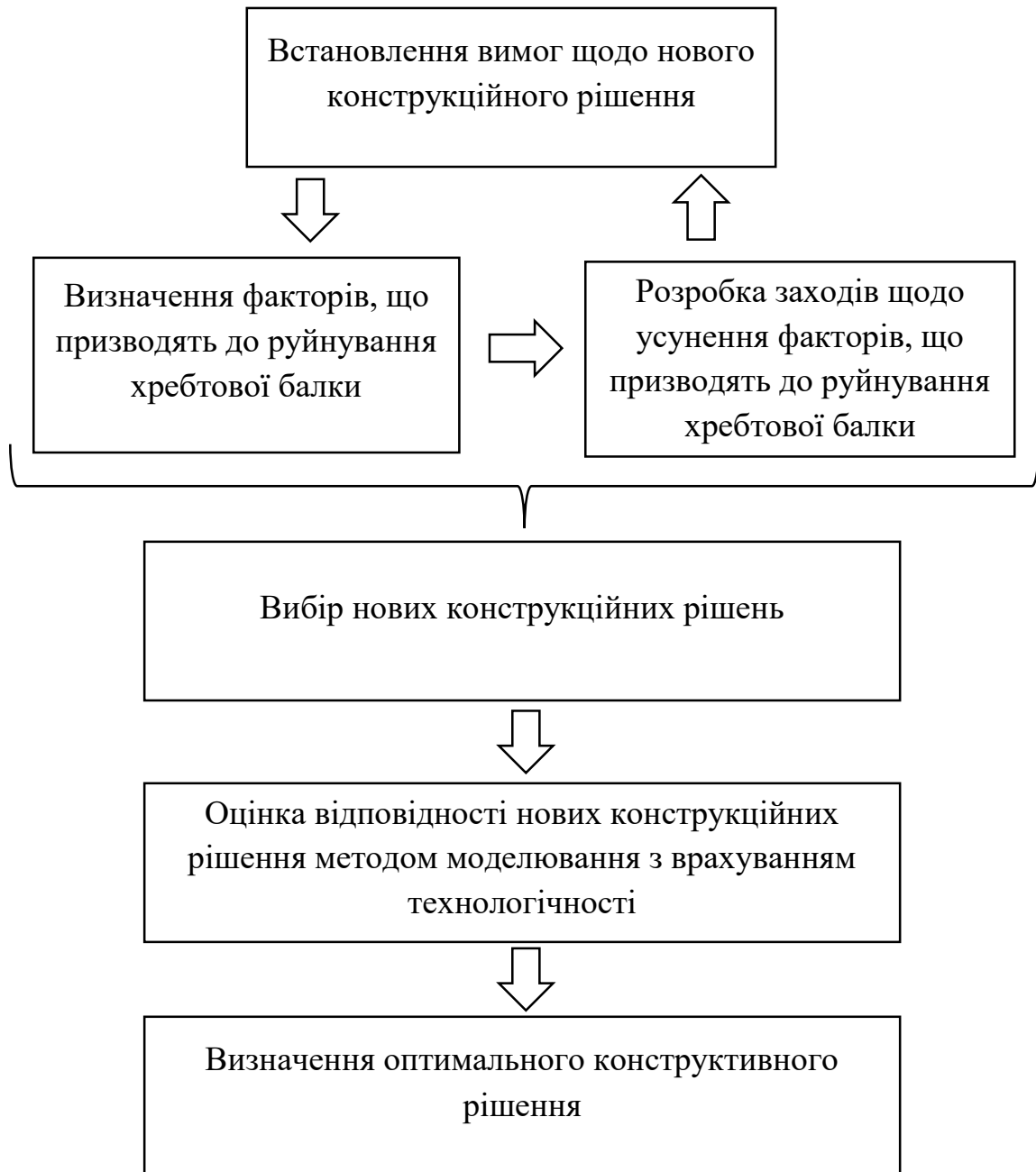


Рисунок 3.1 – Структурна схема досліджень щодо визначення оптимального конструкційного рішення

### **3.2 Розробка заходів щодо усунення факторів, що призводять до руйнування хребтової балки**

Для розробки заходів щодо усунення факторів, що призводять до руйнування хребтової балки рами вагона вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 згідно схеми досліджень необхідно встановити вимоги до нового конструкційного рішення та визначити фактори, що призводять до руйнування хребтової балки.

Для встановлення вимог до нового конструкційного рішення, що дозволить покращити несну здатність рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 використовуємо загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм [3]. Під час проектування вагонів та їх вузлів потрібно забезпечувати необхідну несну здатність усіх елементів, що сприймають експлуатаційні навантаження. Згідно п.6.1.2 ДСТУ 7598 [3] несну здатність вагонних конструкцій оцінюють відповідно до встановлених цими нормами величин і поєднань розрахункових навантажень за допустимими значеннями:

- напруження;
- запасів опору втомі;
- запасів стійкості;
- прогинів(деформацій).

У кожному конкретному разі розрахунки необхідно виконувати за такими критеріями, які найбільше відповідають умовам роботи певного елемента конструкції. Елементи кузовів вагонів розраховують за допустимими напруженнями і запасами стійкості. Елементи ходових частин і окремих елементів кузовів (рам) вагонів розраховують за допустимими напруженнями і запасами опору втомі.

Отже, до нового конструкційного рішення щодо удосконалення конструкції рами вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 встановлюємо вимоги згідно табл. 3.1. При цьому, для збільшення достовірності результатів до вимог додаємо оцінку за границею витривалості за дотичними

напруженнями при пульсуючому циклі, яка повинна корелюватись зі значеннями коефіцієнту запасу опори втоми. Окрім, цього додаємо вимогу щодо технологічності, тобто конструкційне рішення повинно бути доступним та простим у виконанні з використанням наявного інструменту на вагоноремонтних підприємствах і контролепридатним [68].

Таблиця 3.1 – Вимоги до конструкційного рішення щодо удосконалення конструкції рами вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752

№ з/п	Показник	Значення	Умова
1	Допустимі дотичні напруження для режиму I	178 МПа	Не більше
2	Допустимі дотичні напруження для режиму III	120 МПа	Не більше
3	Границя витривалості за дотичними напруженнями при пульсуючому циклі $\tau_0$	70 МПа	Не більше
4	Технологічність	—	Доступність та простота виконання, можливість контролю
5	Коефіцієнт запасу втоми з врахування $K_{np}$	1,5	Не менше

Для визначення факторів, що призводять до руйнування хребтової балки рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 було використано отримані результати аналізу конструктивних особливостей та результати оцінки напружено-деформованого стану. Визначено, що поєднання повздовжніх (від ривків або стиснення) та вертикальних сил (від нерівномірного навантаження) в місці заклепкового з'єднання заднього упору до хребтовою балки є таким, що при постійному пульсуючому навантаженні призводить до

втомного руйнування хребтової балки, а незначна площа з'єднання не розподіляє напруження належним чином, щоб не накопичувались втомні пошкодження.

У зв'язку з цим, розроблені наступні заходи щодо усунення факторів, що призводять до руйнування хребтової балки рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 з врахуванням встановлених вимог, заходи приведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Заходи щодо усунення факторів, що призводять до руйнування хребтової балки рами

№ з/п	Заходи	Очікуваний результат
1	Розробка та зварювання тріщин хребтової балки рами	Усунення наявних тріщин
2	Збільшення площі з'єднання хребтової балки з заднім упором	Зменшення напружень за рахунок більшого розподілення по площі з'єднання
3	Відмова від заклепкового з'єднання	Можливість виконання робіт в умовах депо, де відсутня можливість встановлення заклепок
4	Застосування нового елемента конструкції	Новий елемент конструкції повинен забезпечувати розсіювання напружень за рахунок своєї форми

### 3.3 Визначення оптимального конструкційного рішення щодо удосконалення конструкції рами вагона-хопера для перевезення зерна

Для визначення оптимального конструкційного рішення щодо удосконалення конструкції рами вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 буде застосований метод циклічних ітерацій (послідовного наближення).

Суть цього методу полягає в тому, що шляхом багатьох ітерацій спроектована спочатку імітаційна модель перетворюється в таку, яка відповідає цілям моделювання. Цей метод є методом «проб і помилок», що передбачає послідовні циклічні зміни, у результаті чого отримують модель, яка задовольняє вимогам точності та адекватності. Циклічний ітераційний метод проектування потребує розгляду послідовності процедур прийняття рішень у процесі проектування [69].

Загальну схему такого проектування зображено на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Схема проектування за циклічним ітераційним методом

### 3.3.1 Конструкційне рішення за першим варіантом

Опис конструкційного рішення (модернізації) за першим варіантом приведено нижче в наступних етапах робіт.

1) Необхідно вирізати частину вертикального листа шворневої балки шириною 300 мм зі сторони заклепок в районі яких виникла тріщина, в подальшому цей виріз буде використано для встановлення накладки.

2) Зрізаємо головки заклепок та демонтуємо заклепки.

- 3) Зачистити на хребтовій балці зварний шов, що з'єднував її з частиною вертикального листа шворневої балки, що була вирізана.
- 4) Виконати операції вказані в п. 1) – 3) з протилежної сторони.
- 5) Розробити тріщину, усунути її методом зварювання та зачистити зварний шов усунутої тріщини в рівень з хребтовою балкою.
- 6) Виготовити дві накладки зі сталі 09Г2С за ескізом, що приведений на рис. 3.3.

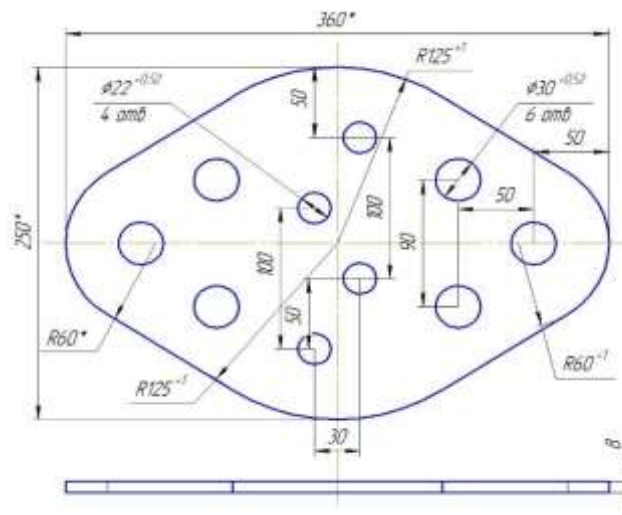


Рисунок 3.3 – Накладка

- 7) Встановити виготовлені накладки на хребтову балку так, щоб осі отворів Ø22 мм співпадали з осями отворів заклепок, що були демонтовані та приварити їх по контуру до хребтової балки. Також додатково приварити накладки до хребтової балки через отвори Ø 30 мм (електрозаклепки).
- 8) Виготовити чотири стрижня з прутка Ø 22 довжиною 424 мм.
- 9) Встановити прутки як показано на рис. 3.4.
- 10) Приварити встановлені прутки з зовні до накладок, а з середини хребтової балки до задніх упорів.
- 11) Встановити вирізані частини вертикальних листів шворневої балки на старі місця та приварити по контуру.

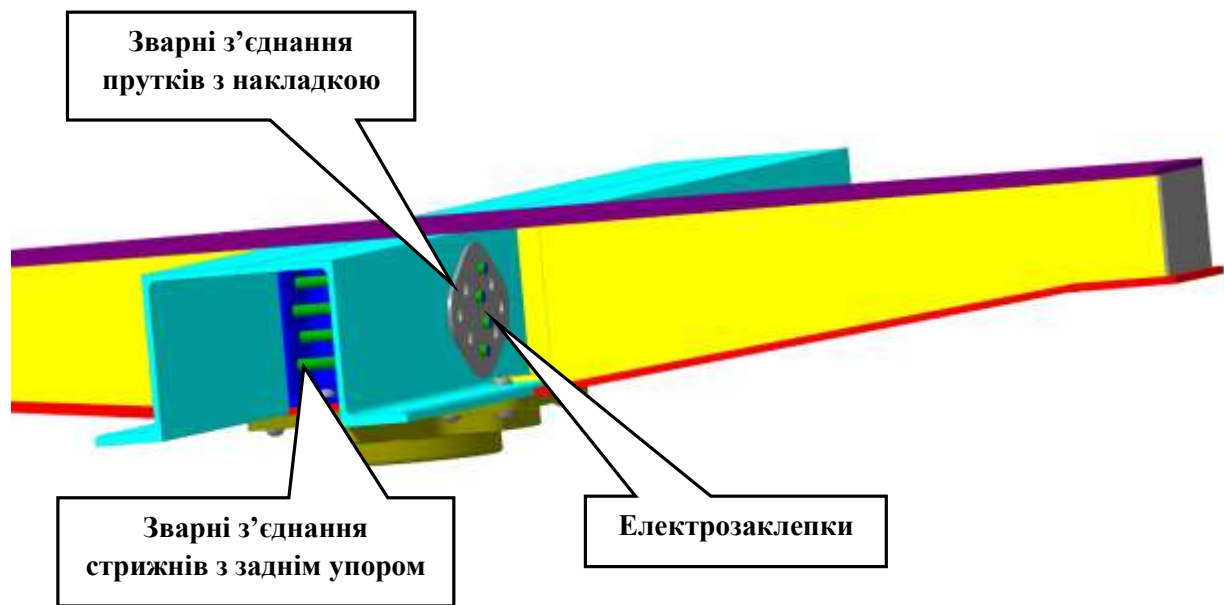


Рисунок 3.4 – Загальний вигляд першого конструкційного рішення

Міцнісні розрахунки першого та решти варіантів модернізації рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 проведено на основі побудованих розрахункових схем з додаванням залишкових напружень в розмірі 20% від границі текучості (у т.ч. в місці зварювання тріщини). Приклад як моделюються залишкові напруження представлено на рис. 3.5. Оскільки в конструкційному рішенні (модернізації) використовуються зварні з'єднання, то критичними будуть дотичні напруження, так як вважається, що зварне з'єднання працює на зріз. Оцінювання міцності всіх конструкційних рішень виконується шляхом порівнювання отриманих напружень допустимими дотичними напруженнями для режиму I  $[\tau]=178$  МПа, а для режиму III  $[\tau]=120$  МПа. Оцінювання можливого накопичення напружень виконується шляхом порівнювання отриманих напружень з границею витривалості за дотичними напруженнями при пульсуючому циклі  $\tau_0=70$  МПа (рис. 3.6).

Модернізація за першим варіантом відповідає вимогам міцності, проте накопичення втомних пошкоджень відбувається вже при звичайній експлуатації в III режимі.

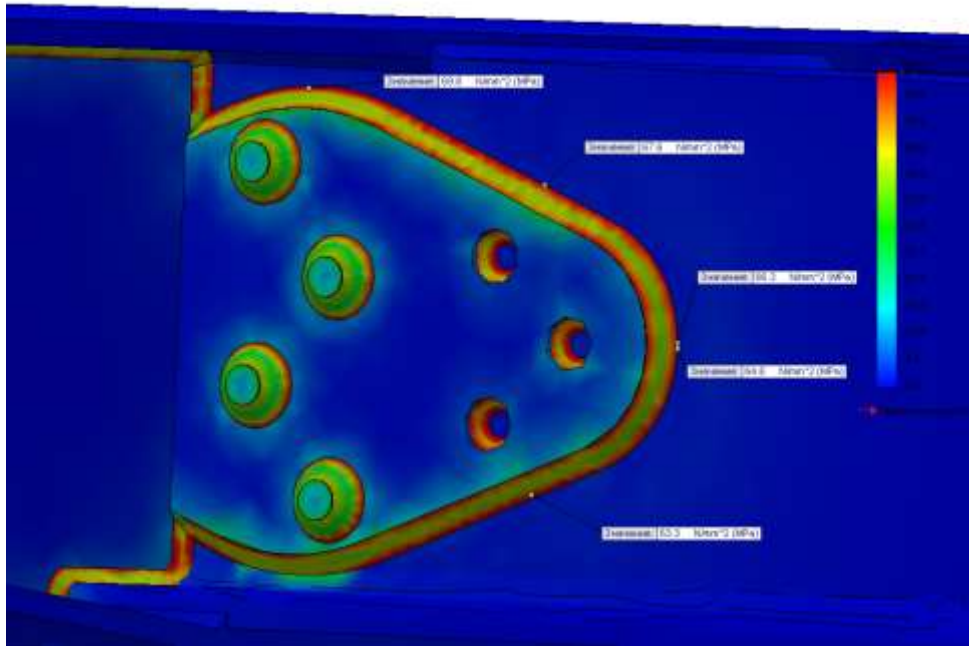


Рисунок 3.5 – Залишкові напруження в розмірі 20% від границі текучості

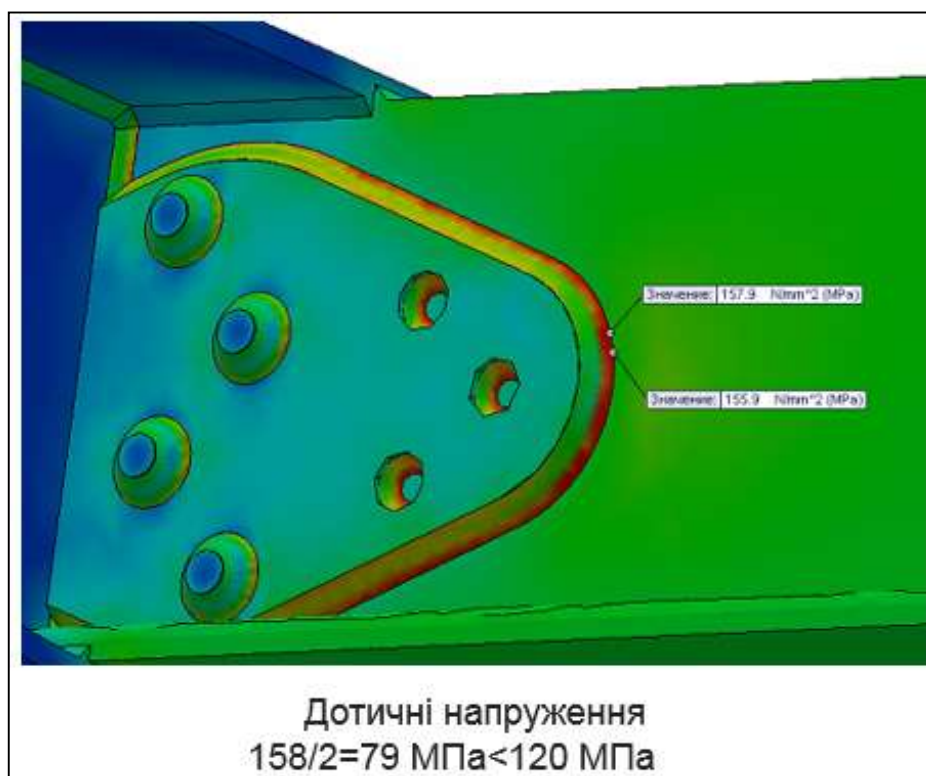


Рисунок 3.6 – Розподіл напружень на хребтовій балці від поздовжніх сил.

Режим III (розтягнення 1,0 МН)

Для конструкційного рішення за першим варіантом були впроваджені заходи щодо усунення факторів, що призводять до руйнування хребтової балки



рами згідно табл. 3.2, але за результатами міцнісних розрахунків встановлено невідповідність пункту 3 вимог до конструкційного рішення згідно табл. 3.1. До переваг цього варіанту модернізації можна віднести застосування нового конструкційного елементу у вигляді накладки, яка разом зі стрижнями дозволяє розподілити напруження в місці виникнення тріщин на хребтовій балці, але цього недостатньо щоб накопичення втомних пошкоджень не відбувалось.

Тому переходимо до проектування другого варіанту модернізації з врахуванням недоліків та переваг першого варіанту.

### 3.3.2 Конструкційне рішення за другим варіантом

Конструкційне рішення щодо удосконалення конструкції рами вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 за другим варіантом полягає в наступних етапах робіт, що приведені нижче.

1) Зрізати головки та демонтувати заклепки в районі виникнення тріщини з обох сторін хребтової балки. Головки заклепок зрізати з внутрішньої сторони хребтової балки, щоб виключити термічний вплив на хребтову балку в районі виникнення тріщини.

2) Відрізати від заднього упору дві частини, як показано на рис. 3.7.

3) Частини відрізаються врівень з вертикальною стінкою упору, а внизу відрізаються до початку радіусного переходу на горизонтальну стінку упору

4) Розробити тріщину та усунути її зварюванням.

5) Зачистити зварний шов усунутої тріщини з внутрішньої сторони врівень з хребтовою балкою.

6) Виготовити дві однакові деталі та встановити їх на місця зрізаних частин упору, як показано на рис. 3.8 та обварити. Деталі приварюються до хребтової балки по її контуру та через електрозаклепки, а до вертикального листа упору через отвори.

Деталь, що пропонується має виготовлятися з того ж матеріалу, що і хребтова балка рами вагона (сталь 09Г2С).

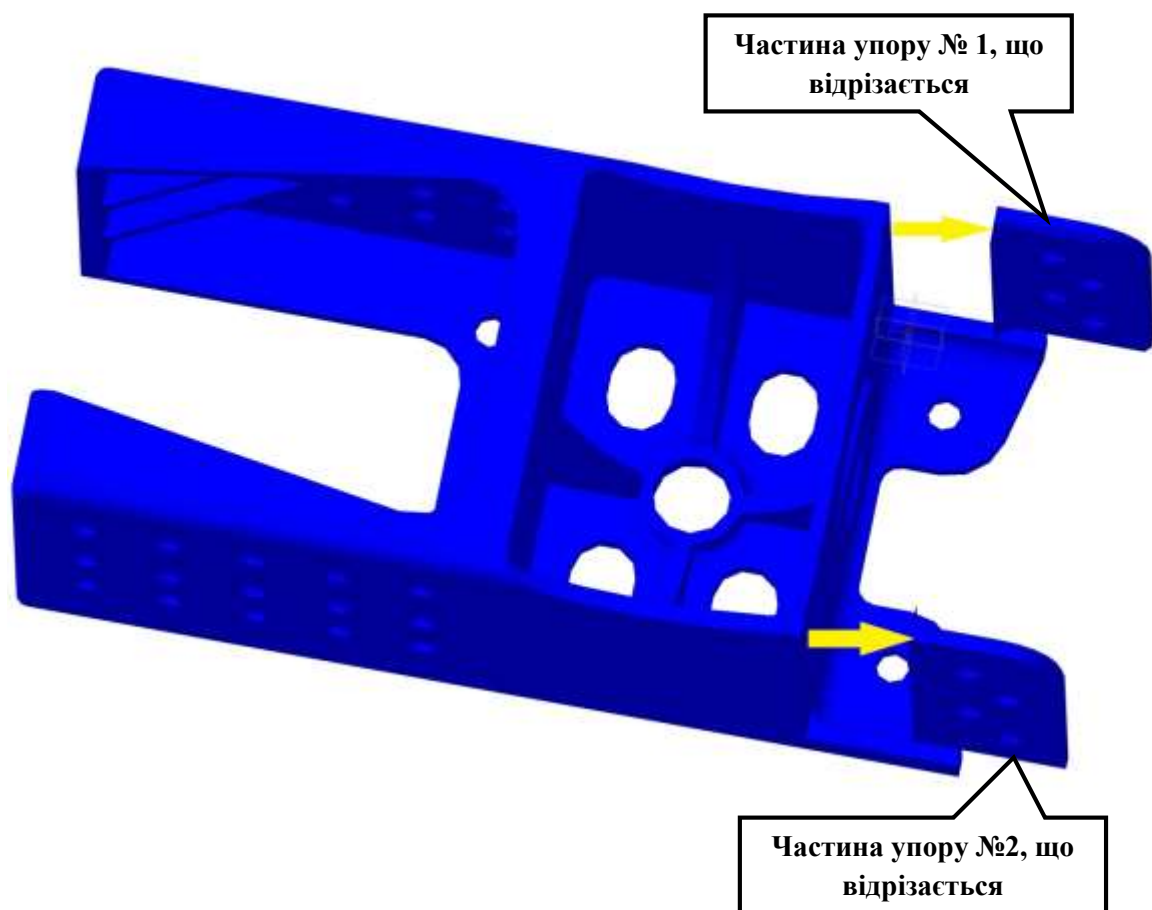


Рисунок 3.7 – Частина заднього упору, що відрізаються

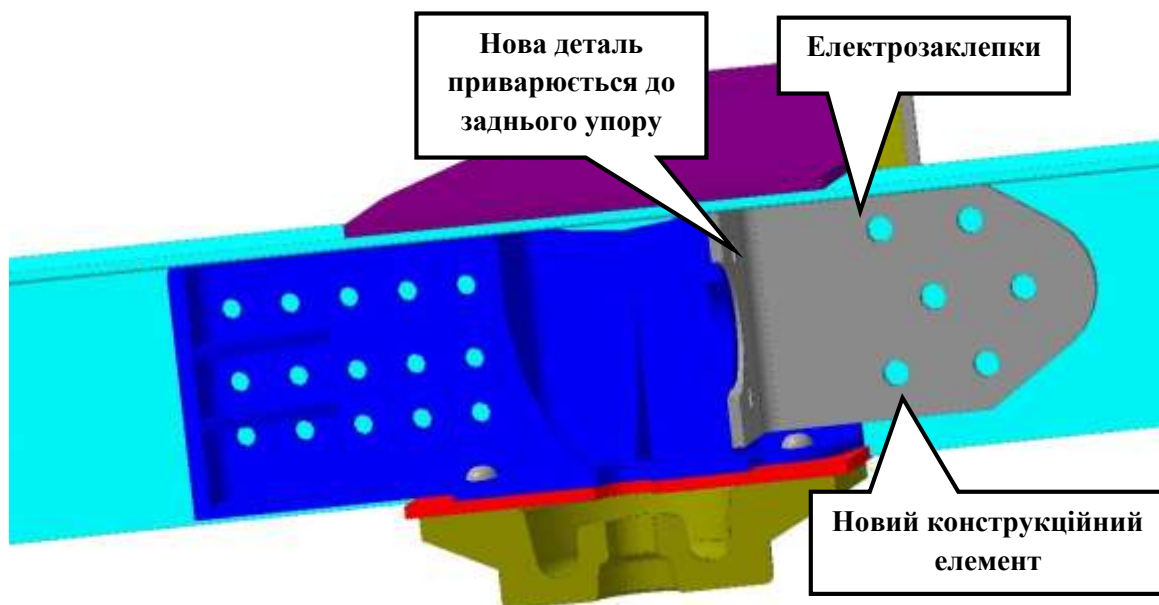


Рисунок 3.8 – Загальний вигляд другого конструкційного рішення

Оцінювання міцності конструкційного рішення за другим варіантом виконується аналогічно першому варіанту. Результати аналізу розподілу напружень наведено на рис. 3.9.

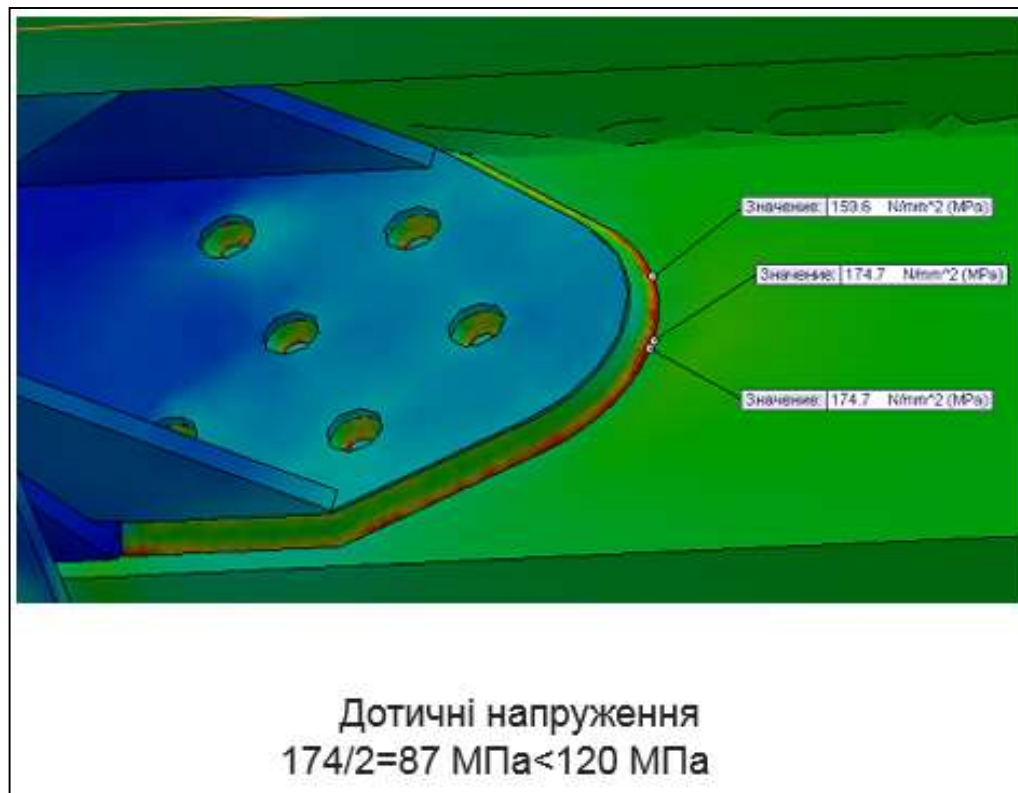


Рисунок 3.9 – Розподіл напружень варіанту 2 на хребтовій балці від поздовжніх сил. Режим III (розтягнення 1,0 МН)

Модернізація за другим варіантом відповідає вимогам міцності згідно пунктів 1-2 табл. 3.1, проте накопичення втомних пошкоджень відбувається вже для III режиму навантажень, що не відповідає вимогам згідно пункту 3 табл. 3.1. Попри це, даний варіант конструкційного рішення має переваги в тому що усунута тріщина хребтової балки не закрита накладкою, що покращує контролепридатність цього місця в майбутньому, усунення тріщини можна виконувати з двох боків стінок хребтової балки, а також слід відзначити зосередженість місць, які мають підвищені напруження (зони зварного з'єднання нової деталі з основним металом хребтової балки). До недоліків можна віднести досить громіздку нову деталь, яка незручна у встановленні.

### 3.3.3 Конструкційне рішення за третім варіантом

В третьому варіанту конструкційного рішення враховуючи переваги та недоліки перших двох варіантів модернізації буде застосовано прийом розсіювання напружень за допомогою зміни поперечного перерізу нового конструкційного елемента (накладки).

Модернізація за третім варіантом полягає в наступних операціях, що приведені нижче.

- 1) Зрізати головки та демонтувати заклепки в районі виникнення тріщини.
- 2) Розробити тріщину та усунути її зварюванням.
- 3) Виготовити дві деталі з поступовою зміною товщини згідно рис. 3.10.

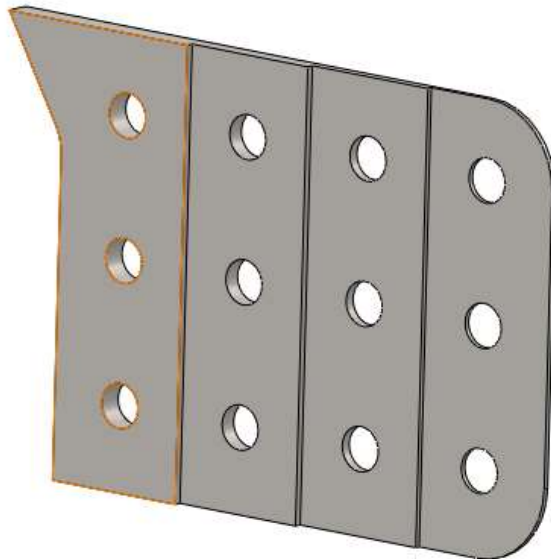


Рисунок 3.10 – Деталь з поступовою зміною товщини

- 3) Розробити краї заднього упору для зварювання механічним способом.
- 4) Встановити виготовлені накладки з поступовою зміною товщини на хребтову балку вагона як показано на рис. 3.11 та приварити її до хребтової балки по контуру і через електрозаклепки та до заднього упору (встик).

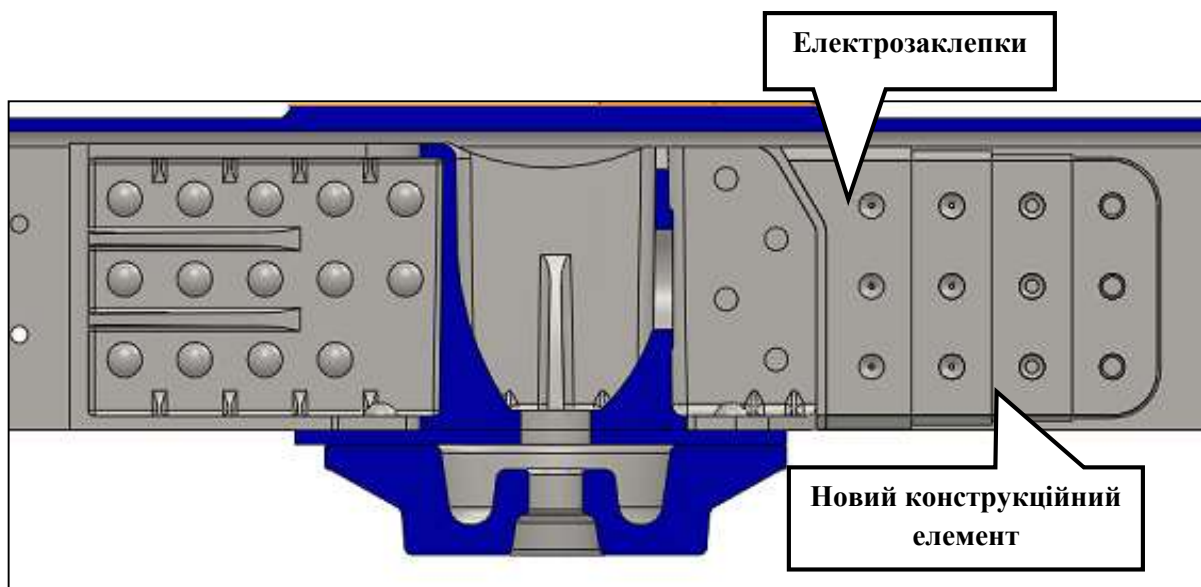


Рисунок 3.11 – Загальний вигляд третього конструкційного рішення

Оцінювання міцності виконується аналогічно як для першого та другого варіантів з врахуванням вимог згідно табл. 3.1. Розподілу напружень третього конструкційного рішення представлено на рис. 3.12.

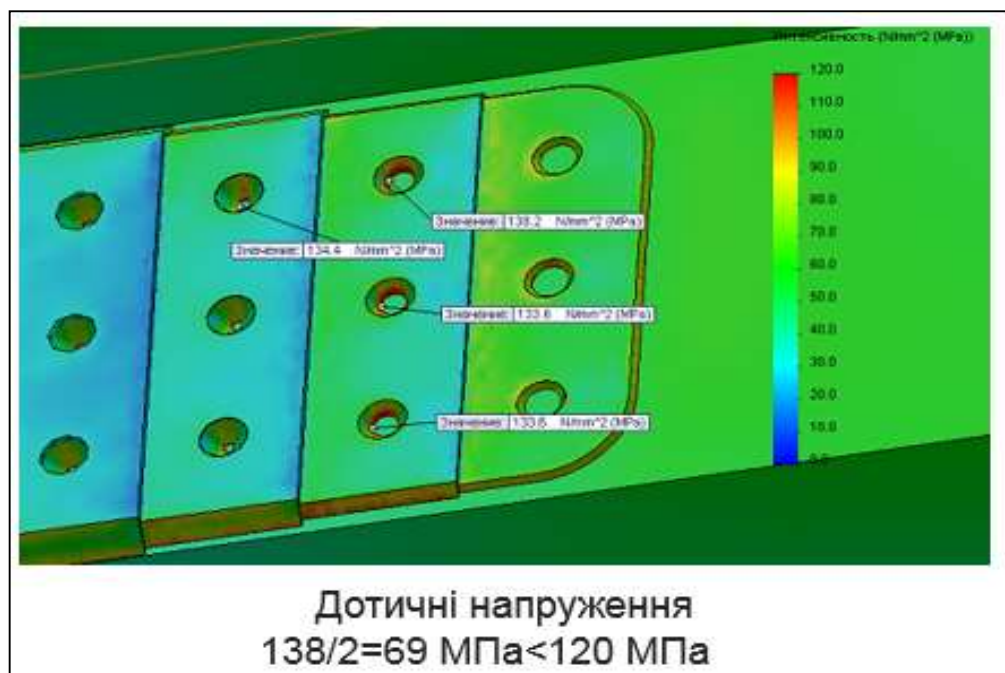


Рисунок 3.12 – Розподіл напружень третього варіанту на хребтовій балці від поздовжніх сил. Режим ІІІ (розтягнення 1,0 МН)

Модернізація за третім варіантом відповідає вимогам міцності, найбільші напруження не перевищують границі витривалості за дотичними напруженнями

для пульсуючого циклу  $69 \text{ МПа} < [70 \text{ МПа}]$ . Прийом з застосуванням накладки змінної товщини дав змогу більш рівномірно розподілити навантаження. Але даний варіант має ряд недоліків, зокрема неможливість усунення тріщини на хребтовій балці з двох сторін вертикальних листів та ступеневий перехід товщини на накладці який при неправильному виготовленні може створювати додаткові концентратори напружень.

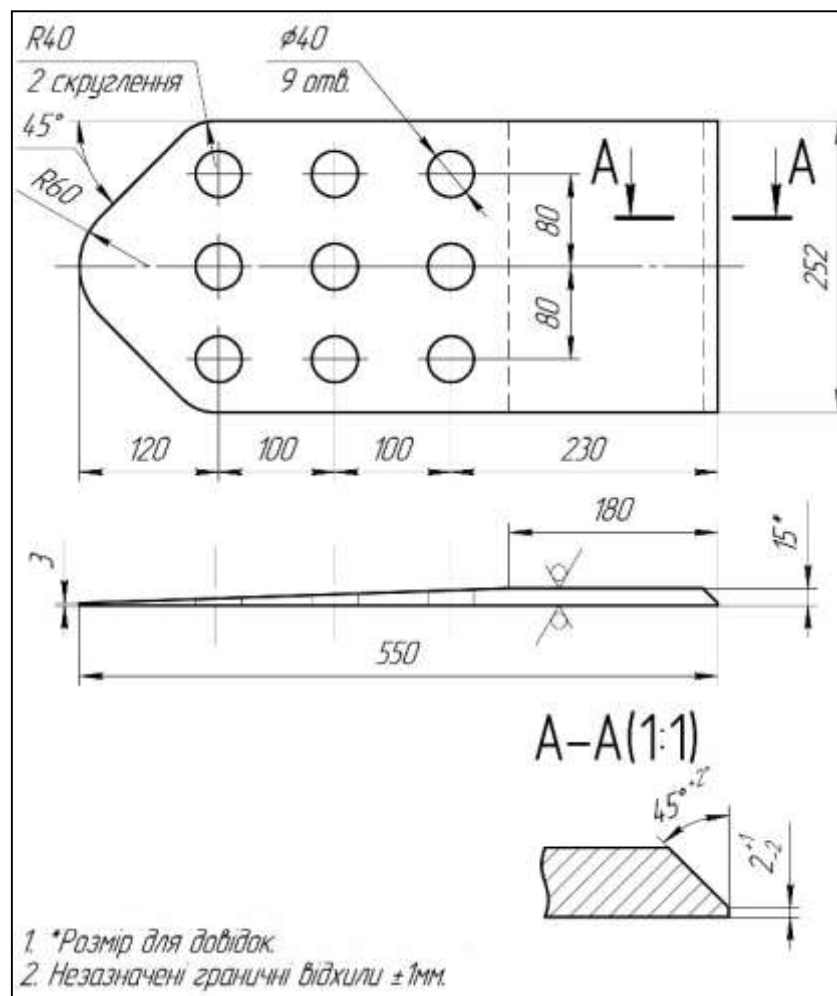
#### 3.3.4 Конструкційне рішення за четвертим варіантом

Розглядаючи результати міцнісних розрахунків запропонованих конструкційних рішень щодо удосконалення конструкції рами вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 необхідно відмітити рішення за варіантом 2 та варіантом 3. Модернізація за варіантом 2 є найбільш жорсткою, найбільші напруження хоч і більші ніж у варіанта 1 та 3 та вони локалізовані в невеликій зоні. Модернізація за варіантом 3 за рахунок поступової зміни товщини накладки та її жорсткості дозволила отримати найменші напруження. Враховуючі, що і варіант 2 і варіант 3 мають свої переваги пропонується об'єднати ці варіанти в одне конструкційне рішення.

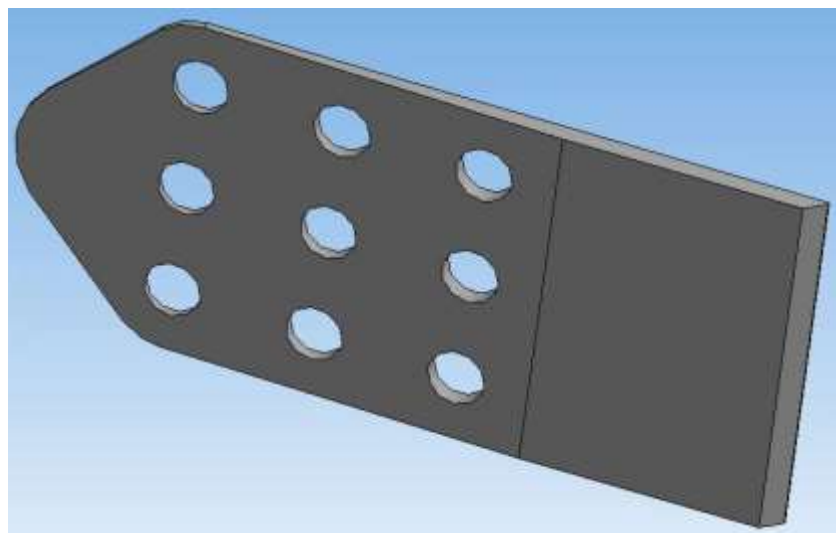
Технологія виконання конструкційного рішення за четвертим варіантом повністю відповідає другому варіанту, окрім конструкції нової деталі (накладки), яка буде мати поступову зміну товщини та приварюватись по контуру до хребтової балки та електрозаклепками, і встик до задньої стінки заднього упору.

Ескіз та 3-D модель нової деталі для четвертого конструкційного рішення приведено на рис. 3.13.

Дане конструкційне рішення має всі переваги попередніх варіантів модернізацій та виключає їх недоліки.



а)



б)

Рисунок 3.13 – Нова деталь для конструкційного рішення за 4 варіантом  
(а – ескіз нової деталі; б – 3-D модель нової деталі)



Загальна вигляд четвертого конструкційного рішення має наступний вигляд (рис. 3.14).

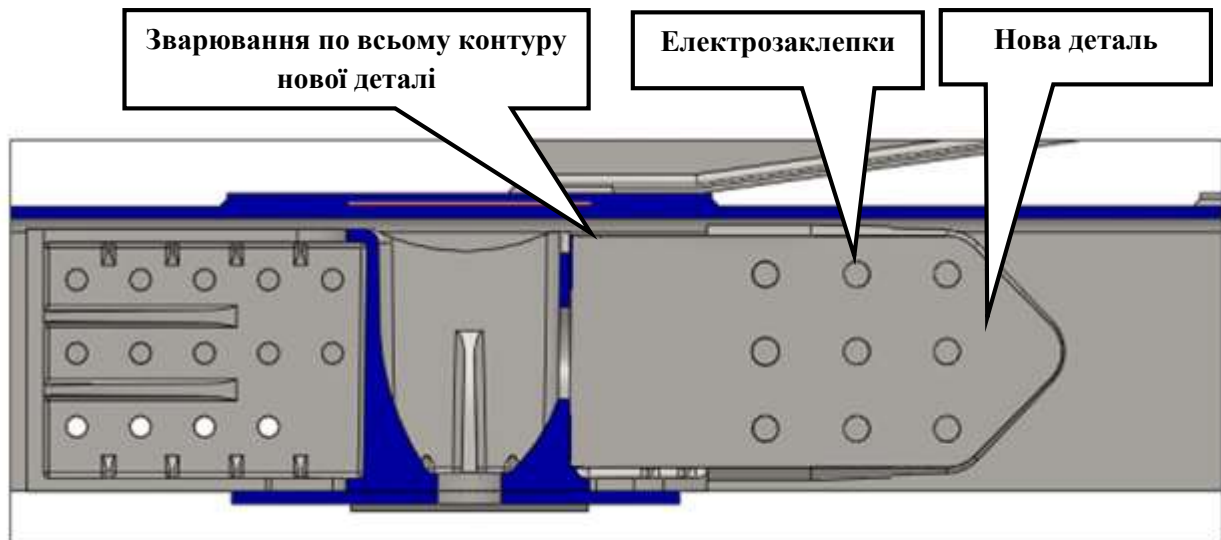


Рисунок 3.14 – Загальний вигляд четвертого конструкційного рішення

При проведенні міцнісних розрахунків як і в попередніх варіантах враховуються залишкові напруження від зварювання в розмірі 20% від границі текучості. Оцінювання міцності виконується шляхом порівнювання отриманих напружень допустимими дотичними напруженнями для режиму I  $[\tau]=178$  МПа, а для режиму III  $[\tau]=120$  МПа. Оцінювання можливого накопичення напружень виконується шляхом порівнювання отриманих напружень з границею витривалості за дотичними напруженнями при пульсуючому циклі  $\tau_0=70$  МПа.

За результатами аналізу епюри розподілу напружень четвертого конструкційного рішення встановлено, що даний варіант відповідає вимогам міцності, а найбільші напруження не перевищують границі витривалості за дотичними напруженнями для пульсуючого циклу  $58 \text{ МПа} < [70 \text{ МПа}]$ . Також було враховано нерівномірність навантаження шляхом перерозподілу вертикальних сил між візками в III розрахунковому режимі на 10%, в такому випадку найбільші напруження також не перевищують границі витривалості за дотичними напруженнями для пульсуючого циклу  $62,3 \text{ МПа} < [70 \text{ МПа}]$ .



Епюра розподілу напружень четвертого конструкційного рішення від поздовжніх сил з врахуванням дії сил від нерівномірного навантаження приведена на рис. 3.15.

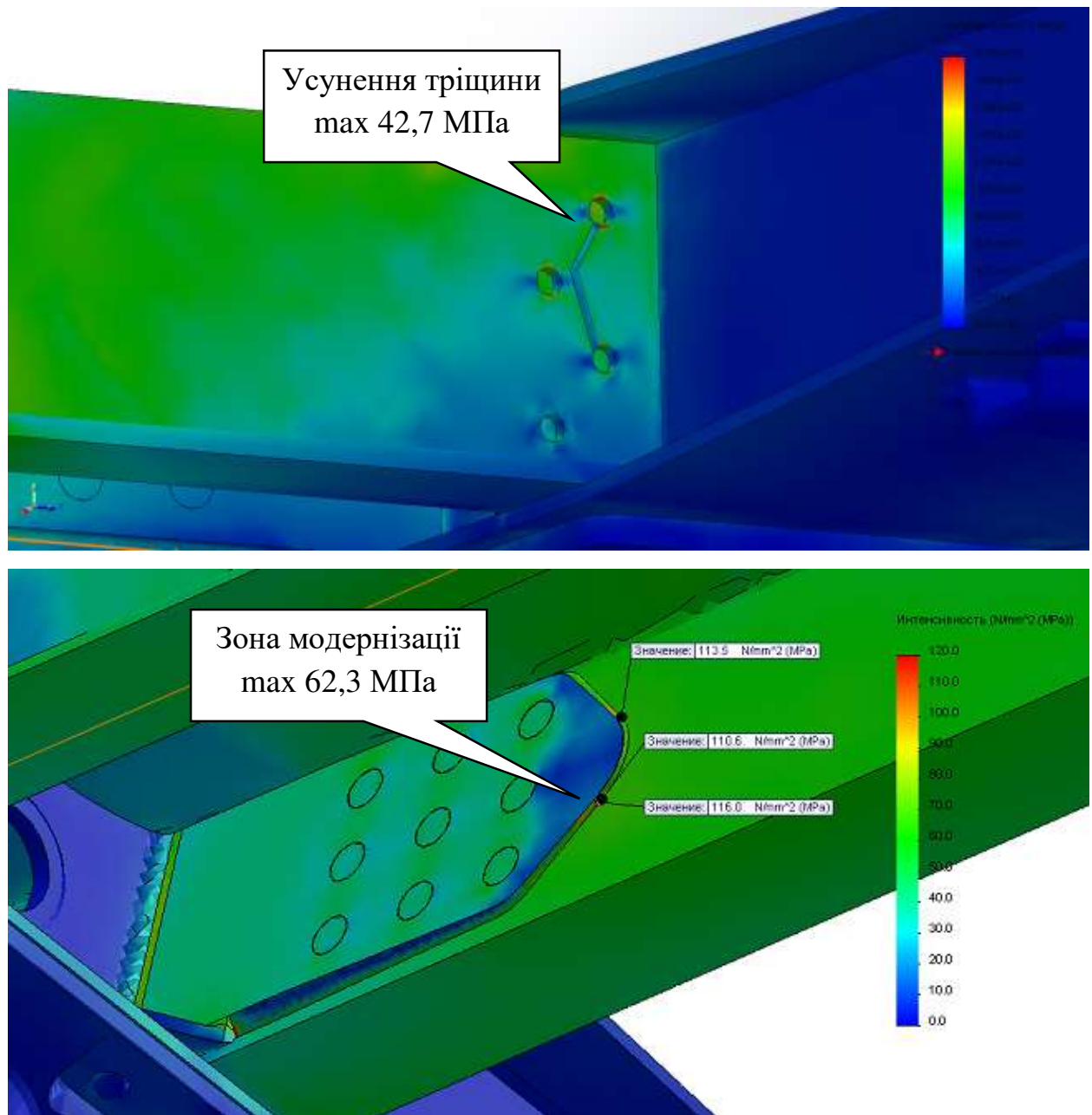
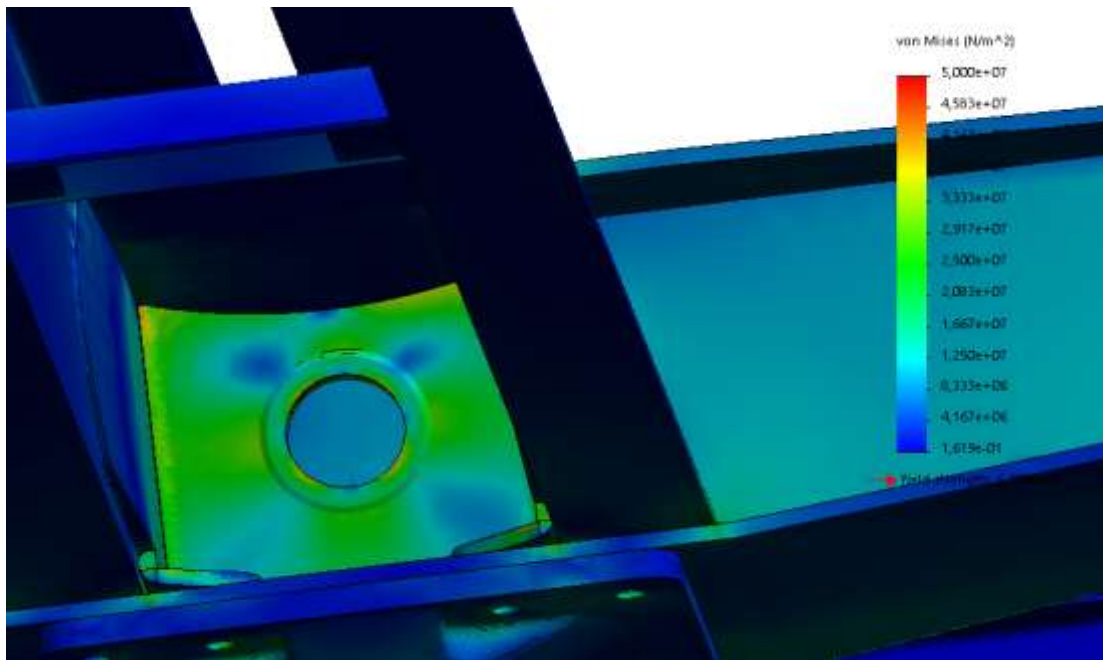


Рисунок 3.15 – Розподіл напружень четвертого конструкційного рішення від поздовжніх сил. Режим III (розтяг 1,0 МН)

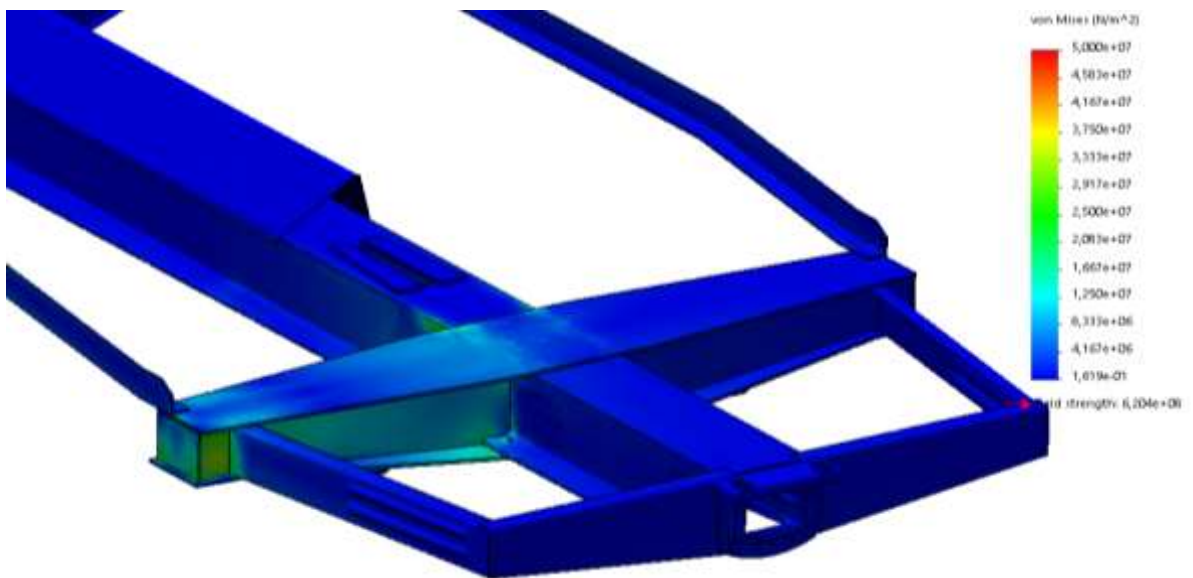
Найбільші напруження, що виникають в зоні усунення тріщини на хребтовій балці рами вагона-хопера складають  $42,7 \text{ МПа} < [70 \text{ МПа}]$ . При цьому, в даному конструкційному рішенні забезпечується можливість усунення тріщини на хребтовій балці з обох боків стінок, доступна повна

контролепридатність місця усунення тріщини на хребтовій балці, дане рішення не потребує заклепкового з'єднання, а зазначить таку модернізацію можна виконати в умовах будь-якого атестованого ВРП.

Також було оцінено напруження, які виникають в рамі вагона-хопера за четвертим конструкційним рішенням в ремонтних режимах (рис. 3.16).



а)



б)

Рисунок 3.16 – Оцінка напружено-деформованого стану рами вагона-хопера за четвертим конструкційним рішенням в ремонтних режимах (звантажений вагон – а; б – порожній вагон)

Для завантаженого вагону – ремонтний режим (підйом за два кінці шворневої балки), максимальні напруження в зоні модернізації складають 51,5 МПа, а для порожнього вагону – ремонтний режим (підйом по діагоналях). максимальні напруження в зоні модернізації складають 40 МПа, при допустимих значеннях  $[\sigma] = 0,9 \cdot \sigma_T = 0,9 \cdot 345 \text{ МПа} = 310,5 \text{ МПа}$ .

Розрахуємо за формулами 3.1 та 3.2 відповідні коефіцієнти запасу опору втомі для прийнятого конструкторського рішення з врахуванням поправочного коефіцієнту щодо нерівномірного навантаження та занесемо результати розрахунків до табл. 3.3.

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

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,e}} \cdot K_{np} \geq [n], \quad (3.2)$$

де:  $\sigma_{a,N}$  - границя витривалості (за амплітудою) натурної деталі за симетричним циклом і встановленим режимом навантажень згідно – 42,7 МПа;

$\sigma_{a,e}$  - розрахункова величина еквівалентної амплітуди динамічного напруження у реальному режимі експлуатаційних випадкових навантажень за проектний строк служби конструкції;

$K_{np}$  – коригуючий коефіцієнт при експлуатації вагона-хопера з нерівномірно розподіленим вантажем.  $K_{np} = 0,85$ ;

$[n]$  – допустимий коефіцієнт запасу опору втомі  $[n] \geq 1,5$ .

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку коефіцієнту запасу опору втомі

№	Елемент несної конструкції вагона	Строк служби, р.	Коеф. запасу опору втомі n	Коеф. запасу опору втомі $n \times K_{np}$	Допустиме значення коеф. запасу опору втомі
1	Зона модернізації хребтової балки	30	2,47	2,10	$[n] \geq 1,5$
2		35	2,33	1,96	
3		37	2,23	1,90	
4		40	2,06	1,75	
5		45	1,76	1,50	
6	Шворенва балка	30	2,59	2,20	
7		35	2,41	2,10	
8		37	2,35	2,00	
9		40	2,10	1,80	
10		45	1,9	1,60	

Під час розрахунку прийнято: коефіцієнт кривої втоми  $m=0,4$ ; коефіцієнт концентрації – 4,5; середнє значення границі витривалості рами – 210 МПа; середньодобовий пробіг вагона – 162 км, проектна середня швидкість – 22,4м/с.

Враховуючи отримані результати розрахунків виконаємо оцінку відповідності розроблених чотирьох конструкційних рішень щодо удосконалення конструкції рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 згідно вимог табл. 3.1 та занесемо результати оцінки в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Оцінка відповідності конструкційних рішень

№ з/п	Показник	Значення та умова	Варіанти конструкційних рішень			
			1	2	3	4
1	Допустимі дотичні напруження для режиму I	178 МПа – не більше	+	+	+	+
2	Допустимі дотичні напруження для режиму III	120 МПа – не більше	+	+	+	+
3	Границя витривалості за дотичними напруженнями при пульсуючому циклі $\tau_{-0}$	70 МПа – не більше	–	–	+	+
4	Технологічність	Доступність та простота виконання, можливість контролю	–	+	–	+
5	Коефіцієнт запасу втоми з врахування $K_{np}$	1,5 – не менше для 45 років	–	–	–	+

Отже, конструкторське рішення за четвертим варіантом відповідає всім вимогам щодо удосконалення конструкції рами вагона-хопера для перевезення

зерна моделі 19-752. Таким, чином обираємо дане конструкторське рішення для подальших експериментальних досліджень.

Згідно прийнятого конструкторського рішення автором було розроблено комплект конструкторської документації та технологічної інструкції НДКТІ.19-752.00.00.000 ТІ (Додаток Б) для модернізації дослідних зразків та отримано патент на корисну модель [70].

### **3.4 Висновки до розділу 3**

Для пошуку оптимального конструкційного рішення щодо удосконалення конструкції рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 розроблено структурну схему досліджень щодо передбачає застосування циклічного ітераційного методу проектування.

Для проектування нового конструкційного рішення щодо удосконалення конструкції рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 визначено заходи щодо усунення факторів, що призводять до руйнування хребтової балки рами.

Автором встановлені вимоги щодо пошуку нового конструкційного рішення щодо удосконалення конструкції рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752: відповідність вимогам міцності за дотичними напруженнями для I та III розрахункового режиму, відповідність вимогам витривалості за дотичними напруженнями при пульсуючому циклі, технологічність конструкційного рішення, відповідність коефіцієнт запасу втоми (не більше 1,5) з врахуванням коригуючого коефіцієнту щодо нерівномірності навантаження вагона.

За результатами розрахунків встановлено, що запропоновані перший, другий та третій варіанти модернізацій рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 відповідають вимогам міцності, але не відповідають вимогам витривалості за дотичними напруженнями при пульсуючому циклі, при цьому другий варіант забезпечував вимоги технологічності. Було проаналізовано переваги та недоліки трьох варіантів

запропонованих модернізацій та на їх основі розроблено четвертий варіант, який передбачає застосування нової деталі у вигляді накладки змінної товщини, а значить і жорсткості для розсіювання напружень.

Четвертий варіант модернізації рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 по результатам розрахунків показав найкращий результат і тому його було прийнято кінцевим. Нормативні режими удару та стиснення в цьому варіанті не впливають на розвиток тріщин в зоні заклепкового з'єднання, а оцінка коефіцієнту запасу втоми з врахуванням коригуючого коефіцієнту, який враховує нерівномірність навантаження задовольняє вимоги ресурсу до 45 років.

При цьому слід зазначити, що заміна поглинальних апаратів вагонів-хоперів для перевезення зерна моделі 19-752 класу Т0 на апарату класу Т1 дасть змогу ще більше покращити несну здатність рами кузова, тому такі рекомендації в подальшому будуть надані для вагоноремонтних підприємств.

## **РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РАМИ ВАГОНА-ХОПЕРА ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНА УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ**

Експериментальні дослідження полягають в проведенні контрольних випробувань дослідного зразка реалізованого конструкторського рішення за четвертим варіантом щодо удосконалення рами кузова вагона-хопера моделі 19-752 згідно вимог [3] з метою підтвердження результатів теоретичних досліджень та визначення залишкового ресурсу враховуючи нерівномірне навантаження вагона. Окрім цього, для оцінки безвідмовності рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 після модернізації проведені експлуатаційні випробування та проаналізовано статистику відмов дослідної партії вагонів з модернізованими рами впродовж 5 років експлуатації. Для оцінки доцільності реалізації модернізації рам вагонів-хоперів для перевезення зерна моделі 19-752 розроблено техніко-економічне обґрунтування.

Контрольні випробування включають в себе скидання з клинів, ударні випробування та розрахунки [71-75]. В ході проведення контрольних випробувань дослідного зразка вагона-хопера моделі 19-752 були застосовані методи визначення реальних напружень в конструкції з застосуванням тензометрії. Тензометрія – це сукупність експериментальних методів визначення напружено-деформованого стану матеріалу елементів конструкції. В нашому випадку буде застосовуватись метод з застосуванням електричних тензометрів (тензорезисторів) [76]. Для оцінки результатів експлуатаційних випробувань дослідної партії вагонів з модернізованими рамами застосовувались статистичні методи оцінювання та обробка результатів відмов в експлуатації методом екстраполяції тренду.

Для проведення експериментальних досліджень розроблено відповідний план, який приведений в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – План проведення експериментальних досліджень

№ з/п	Етап роботи	Очікуваний результат
1	Підготовка дослідного зразка до контрольних випробувань	
1.1	Ідентифікація дослідного зразка	Підтвердження даних дослідного зразка
1.2	Контроль технічного стану дослідного зразка	Підтвердження відсутності дефектів та відповідності товщин несних конструкцій
1.3	Поколісне зважування дослідного зразка	Імітація нерівномірного навантаження
2	Проведення контрольних випробувань	
2.1	Випробування скидання з клинів	Визначення динамічних напружень в елементах рами
2.2	Ударні випробування	Визначення поздовжніх сил та реальних напружень конструкції
2.3	Розрахунок показників ресурсу	Визначення показників ресурсу та порівняння їх з теоретичними дослідженнями
3	Експлуатаційні випробування та аналіз статистичних даних відмов	Підтвердження безвідмовної експлуатації в реальних умовах
4	Техніко-економічне обґрунтування	Визначення економічної доцільності впровадження модернізації

#### 4.1 Підготовка дослідного зразка до контрольних випробувань

Для проведення контрольних випробувань було модернізовано раму кузова на одному вагоні хопері для перевезення зерна моделі 19-752 (дослідний зразок) за розробленим проектом НДКТІ.19-752.00.00.000 ТІ, який мав тріщини в хребтовій балці рами в місці її з'єднання з заднім упором з обох боків.



Загальний вигляд реалізованого конструкційного рішення удосконалення рами вагона-хопера для перевезення зерна представлено на рис. 4.1.



Рисунок 4.1 – Загальний вигляд модернізованої рами кузова

Ідентифікацію дослідного зразка виконано за нормативною документацією, зовнішнім видом та конструкцією вагона, комплектністю й маркуванням перед початком випробувань.

Дослідний зразок був ідентифікований за такими ознаками:

- 1) Найменування – вагон-хопер для перевезення зерна моделі 19-752;
- 2) Позначення об'єкта – Технічні умови ТУ 3-945-76; номер проєкту модернізації НДКТІ.19-752.00.00.000 ТІ;
- 3) Заводський номер – №95818815;
- 4) Виробник – Румунія.
- 5) Термін служби – 30 років.

Для проведення контролю технічного стану дослідного зразка використовувались методи неруйнівного контролю: візуальний, магнітопорошковий та ультразвуковий. Для виявлення тріщин рами вагона використовувались візуальний та магнітопорошковий метод, а для визначення корозійного зносу – ультразвуковий згідно [77-79]. За результатами контролю технічного стану рами вагона не виявлено жодного дефекту несних конструкцій.

На рис. 4.2 приведено загальний вигляд проконтрольованого місця модернізації рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна (дослідного зразка).



Рисунок 4.2 – Проконтрольоване місце модернізації дослідного зразка

Оскільки кліматичні умови експлуатації вагонів-хоперів для перевезення зерна сприяють підвищеній швидкості корозії їх складових елементів, було проведення вимірювання ультразвуковим методом товщин основних елементів рами кузова та порівняння отриманих значень з допустимими згідно [3].

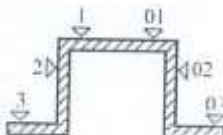
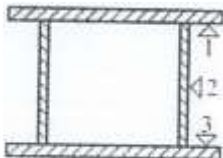
Проведення вимірювань виконувались в кожній точці згідно табл. 4.2 по три рази, після чого розраховувались середні значення. Всі результати вимірювань занесені до табл. 4.2.

Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що швидкість корозії зовнішньої поверхні елементів рами не перевищує 0,05 мм/рік, що не більше допустимого значення [3].

Наступним етапом вагон-хопер для перевезення зерна моделі 19-752 з модернізованою рамою №95618815 для імітації нерівномірного навантаження був звантажений зерном через один люк (нерівномірно), загальна маса за результатами зважування вагона склала 92,1 тонна. Для визначення різниці маси

на візках вагона було проведено поколiсне зважування вагона результати якого неведенi в табл. 4.3.

Таблиця – 4.2 Показники корозії металa вiд номiнальної товщини

Мiсце вимiрювання	Точки Вим- ня	Номiн. Значення,мм	Середнi значення, мм	Корозiя, мм	%
<p>Хребтова балка</p> 	1	10,5	9,1	1,4	13,3
	2	9,0	7,5	1,5	16,6
	3	16,0	14,7	1,3	8,1
	01	10,5	9,0	1,5	14,3
	02	9,0	7,6	1,4	15,5
	03	16,0	14,6	1,4	8,7
<p>Шворнева балка</p> 	1	14,0	12,5	1,5	11,1
	2	8,0	7,1	0,9	11,2
	3	14,0	12,8	1,2	8,5
	1	14,0	12,5	1,5	11,1
	2	8,0	6,5	1,1	12,7
	3	14,0	12,6	1,4	9,3

Таблиця 4.3 – Результати поколiсного зважування дослiдного вагона

Номер колiсної пари (КП)	1		2		3		4	
	лiва	права	лiва	права	лiва	права	лiва	права
Вага, т.	12,65	12,85	12,6	12,7	10,1	10,8	10,0	10,4
Сума ваги на КП, т.	25,5		25,3		20,9		20,4	
Сума ваги на вiзок, т.	50,8				41,3			

Отже, згідно табл.4.3 нерівномірність навантаження дослідного вагона на візках склала 9,5 тон, що в цілому відповідає значенню закладеному в теоретичних розрахунках (10 %).

Загальний вигляд дослідного зразка вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 показано на рис. 4.3.



Рисунок 4.3 – Загальний вигляд дослідного вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752

#### **4.2 Проведення контрольних випробувань та визначення показників для прогнозування ресурсу**

Контрольні випробування та визначення показників ресурсу виконувались по заздалегідь розробленій Програмі та методиці випробувань НДКТІ/НВЦ ВІ 005-17 [80, 81] та включають в себе випробування "скидання з клинів" і ударні (ресурсні випробування). При цьому, застосовувалось наступне обладнання:

- термогігрометр ИВА-6, що використовується для визначення умов навколишнього середовища (вимірювання температури та вологості);
- автоматичний реєстратор на базі контролера CompactRIO-9012, який включає в себе GPS модуль для вимірювання швидкості, аналого-цифровий перетворювач 4-х канальний NI 9237, акселерометр

низькочастотний експериментальний типу UM 15, тензорезистори типу КФ5П1-10-200-А-12. Даний комплект обладнання використовується для визначення величин напружень та прискорень (рис. 4.4) ;

- автозчеп-динамометр, використовується для визначення величин сил (напружень), що діють на дослідний вагон під час ударних випробувань (рис. 4.5);
- персональний комп'ютер (ноутбук).

Для реєстрації та обробки інформації з тензорезисторів використовується спеціальне програмне забезпечення програмно-апаратного реєстратора, яке розроблено в програмному середовищі Lab View [82].

Дане програмне забезпечення окрім функцій запису та передачі даних виконує обробку сигналів від тензорезисторів у вигляді зміни величин опору та встановлює лінійну залежність між деформаціями та механічними напруженнями за формулами Закону Гука.



Рисунок 4.4 – Комплект обладнання використовується для визначення величин напружень та прискорень





Рисунок 4.5 – Автозчеп-динамометр

Все вимірювальне (випробувальне) обладнання, що застосовувалось для проведення випробувань має метрологічну атестацію (свідоцтва про калібрування), а персонал, який був залучений до випробувань є компетентними працівниками акредитованої випробувальної лабораторії філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця».

#### 4.2.1 Випробування скидання з клинів

Визначення динамічних напружень в елементах рами та надресорній балці здійснюється за результатами випробувань «скидання з клинів».

Відповідно до розробленої схеми контрольних точок згідно [80] проводиться установка тензорезисторів на надресорній балці та рамі дослідного вагона-хопера для перевезення зерна.

Під колеса вагона в залежності від досліджуваних видів імітації коливань встановлюються клини, а потім проводиться скидання вагона шляхом його наката на клин за допомогою локомотива.

Розміри клинів, що використовуються для випробувань приведені на рисунку 4.6 (висота 21 мм, довжина 350 мм, ширина 50 мм).

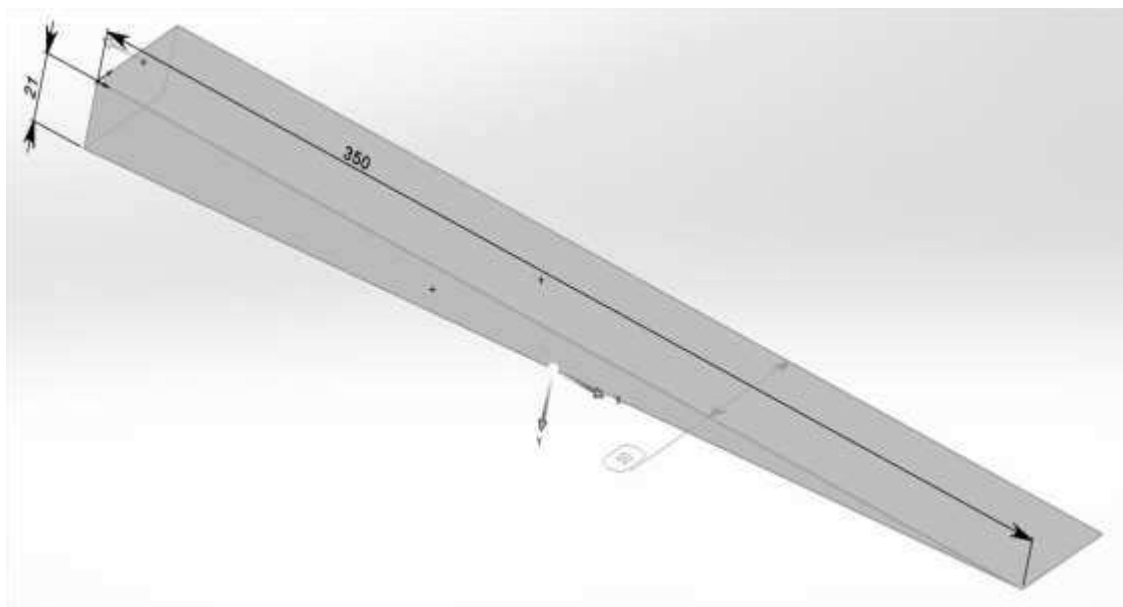


Рисунок 4.6 – Розміри клину для випробувань

Завантажений дослідний вагон, наочується за допомогою маневрового локомотива на клини. Клинн встановлюються на рейки по черзі для імітації відповідних видів коливань:

- під всі колеса вагона (імітація підсакування);
- під колеса одного боку одного візка й іншого боку другого візка (імітація скручування);
- під всі колеса одного візка (імітація галопування);
- під колеса одного боку хопера (імітація бічної хитавиці).

Схема установки клинів на рейки під колісні пари дослідного вагона-хопера для перевезення зерна з метою імітації певних видів коливань під час випробувань приведена в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Схема установки клинів під колеса вагона

№	Вид коливань	Номер колісної пари			
		1	2	3	4
1	Підскакування				
2	Скручування кузова				
3	Галопування				
4	Бокова хитаவிця				

Загальна схема проведення випробувань "скидання з клинів" наведена нижче на рис. 4.7.

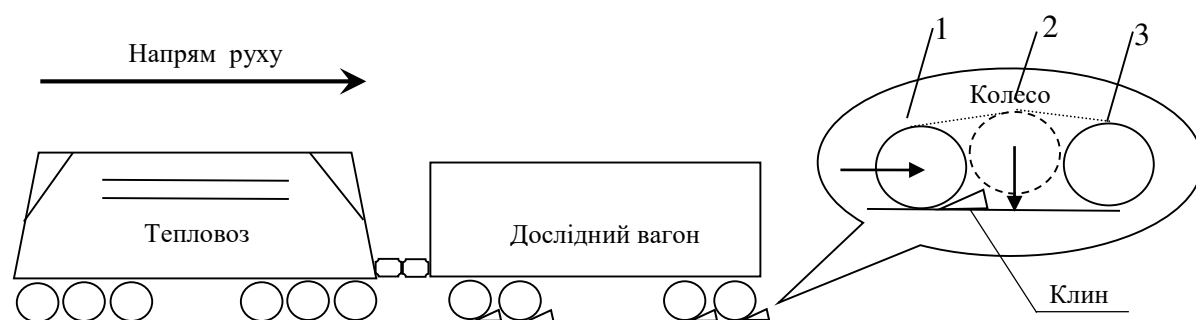


Рисунок 4.7 – Схема проведення випробувань "скидання з клинів"  
(1 – накочування колеса на клин, 2 – падіння колеса з клина на рейку,



### 3 – колесо на рейці)

При випробування «скидання з клинів» локомотив починає штовхати дослідний вагон на заздалегідь встановлені клини на рейках, під час проходження коліс вагона по клинам відбувається їх падіння на рейку, таким чином створюються відповідні коливання вагона, які реєструють комплектом вимірювального обладнання та формуються протоколи вимірювань з врахуванням певної невизначеності згідно [80].

Розроблена загальна тензометрична схема передбачає використання десяти тензорезисторів для випробування «скидання з клинів». Інформація про розміщення тензорезисторів на конструкційних елементах несних конструкцій дослідного вагона приведена в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Розміщення тензорезисторів на дослідному зразку

Номер тензорезистора (каналу)	Найменування конструкційного елементу
1	Надресорна балка
2	Надресорна балка
3	Надресорна балка
4	Шкворнева балка
5	Шкворнева балка
6	Хребтова балка
7	Хребтова балка
8	Хребтова балка
9	Зона модернізації
10	Зона модернізації

Тензорезистори встановлюються на заздалегідь зачищених місцях конструктивних елементів дослідного вагона в напівмостову схему Уїтстона, з одним активним та компенсаційним тензодатчиком. Схема установки тензорезисторів на надресорній балці приведена на рис. 4.8 та 4.9.

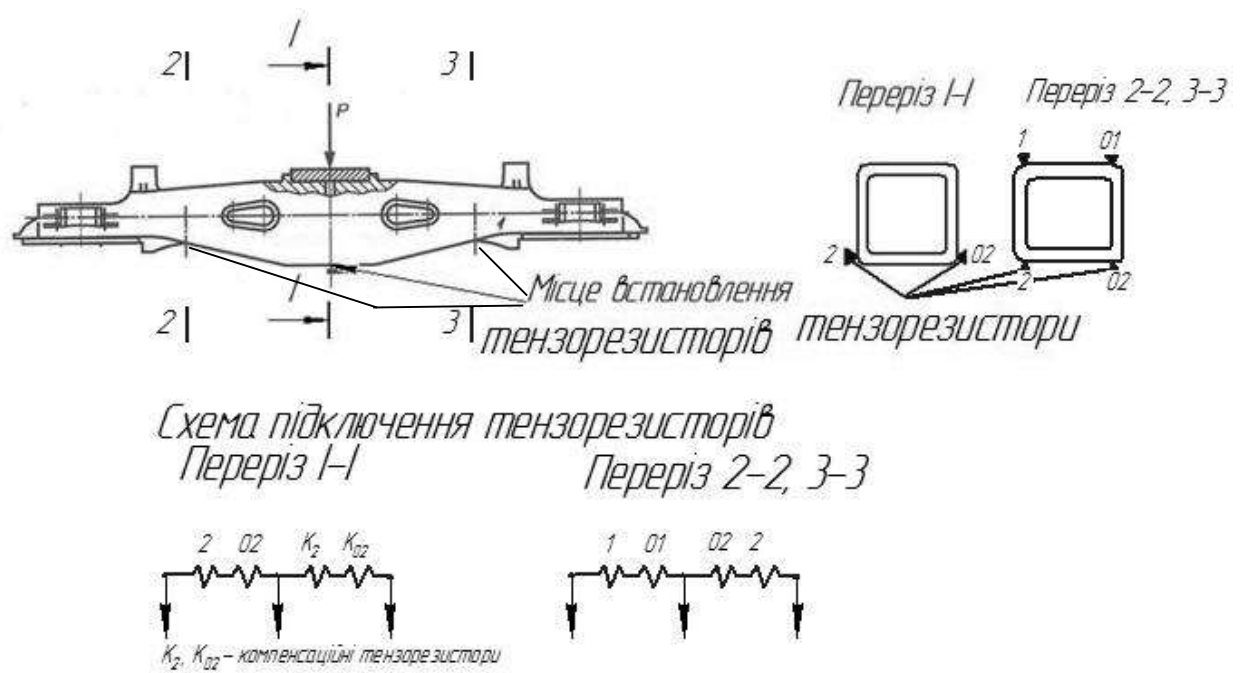


Рисунок 4.8 – Схема розміщення перерізів і установки тензорезисторів на надресорній балці



Рисунок 4.9 – Встановлення тензорезисторів № 1, 2, 3

Далі приведено схему розміщення тензорезисторів на конструкційних елементах рами дослідного вагона (рис. 4.10) та приклад встановлення тензорезисторів №6 та №7 (рис. 4.11).

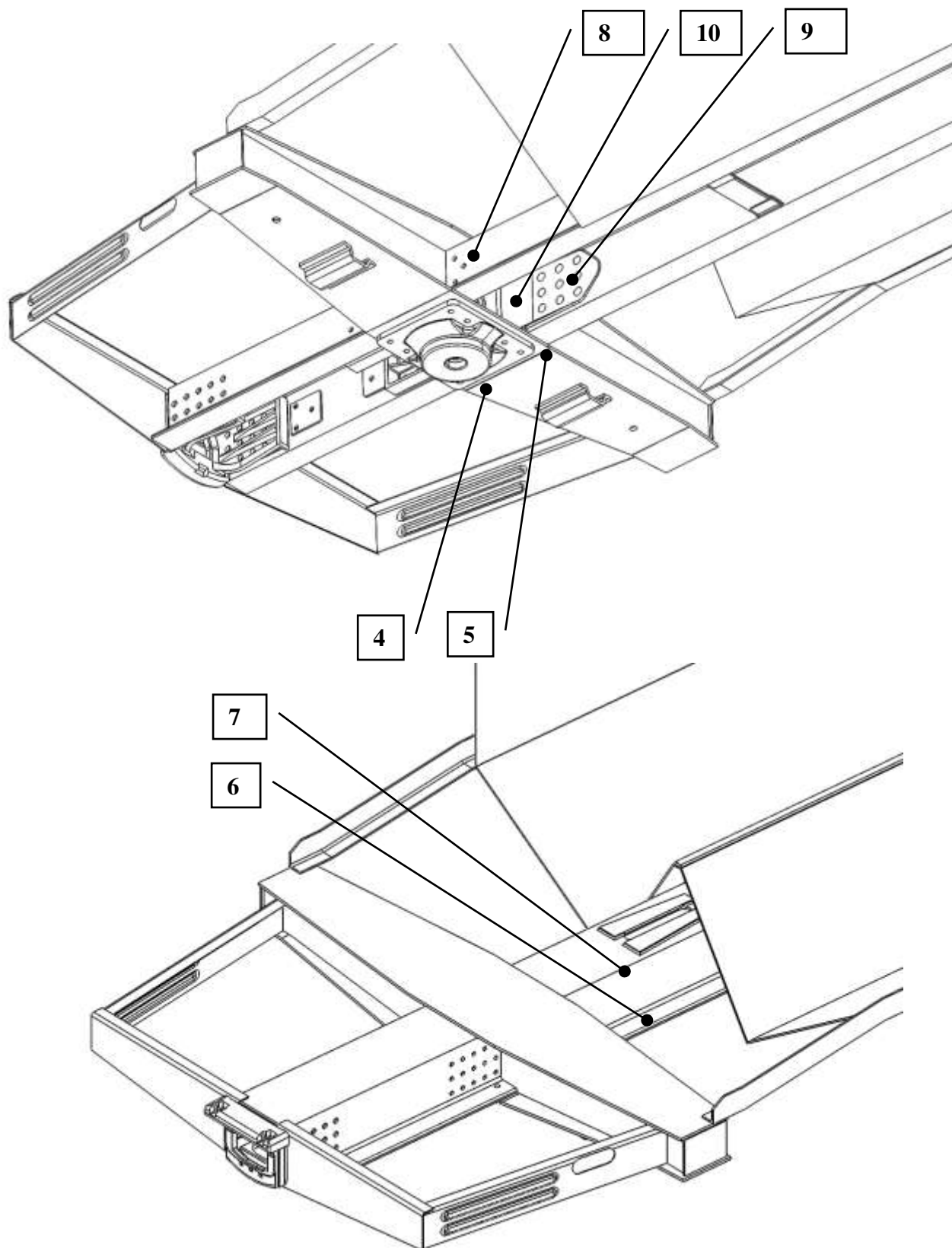


Рисунок 4.10 – Схема розміщення тензорезисторів на рамі вагона



а)

б)

Рисунок 4.11– Встановлення тензорезисторів №6 (а) та №7 (б)

На початку випробувань шляхом підймання та опускання кузова домкратами визначали напруження в надресорній балці від маси вантажу та маси кузова з рамою при нерівномірному завантаженні. Порівнюючи отримані результати напружень (табл. 4.6) з допустимим значеннями межі текучості для сталі 20ГЛ (255 МПа) з якої виготовлена надресорна балка можна зробити висновок, що в статичному стані вплив на надресорну балку нерівномірного навантаження – незначний.

Таблиця 4.6 – Результати напружень в надресорній балці від маси вантажу та маси кузова з рамою при нерівномірному завантаженні

№ тензорезистора (каналу)	1	2	3
Напруження, МПа	42,5	33,8	41,2

Після цього були проведені випробування "скидання вагона з клинів" за схемами згідно табл. 4.4 та рис. 4.7, та визначені всі величини напружень в залежності від виду коливання.

Результати випробувань приведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Результати випробувань по скиданню з клинів

№ з/п	Підскакування, МПа	№ з/п	Скручування перед правий зад лівий, МПа	№ з/п	Скручування перед лівий зад правий, МПа
1	14	1	15	1	11
2	13	2	9	2	8
3	17	3	10	3	11
4	14	4	10	4	11
5	9	5	9	5	9
6	10	6	8	6	8
7	10	7	11	7	13
8	6	8	7	8	4
9	5	9	5	9	4
10	5	10	6	10	3
№ з/п	Галопування, МПа	№ з/п	Бокова хита́виця з ліва, МПа	№ з/п	Бокова хита́виця з права, МПа
1	15	1	10	1	13
2	14	2	10	2	9
3	12	3	9	3	12
4	9	4	11	4	10
5	6	5	10	5	10
6	9	6	8	6	11
7	16	7	12	7	13
8	5	8	3	8	5
9	3	9	3	9	4
10	4	10	5	10	7

#### 4.2.2 Ресурсні випробування на співудар

При проведенні ресурсних випробувань на співудар вимірюються наступні показники:

- швидкість набігання вагона-бойка;
- сила удару в автозчеп;
- кількість циклів до відмови або пошкодження;
- напруження в елементах вагона, які досліджуються.

Для визначення поздовжніх зусиль, що діють на дослідний вагон в момент удару, було застосовано автозчеп-динамометр, обладнаний тензорезисторами і попередньо проградуйований статичним навантаженням на стенді силою до 3,5 МН.

Випробування на співудар проводились на прямій горизонтальній ділянці залізничної колії філії «ДВРЗ» АТ «Укрзалізниця» за допомогою маневрового локомотива згідно [80].

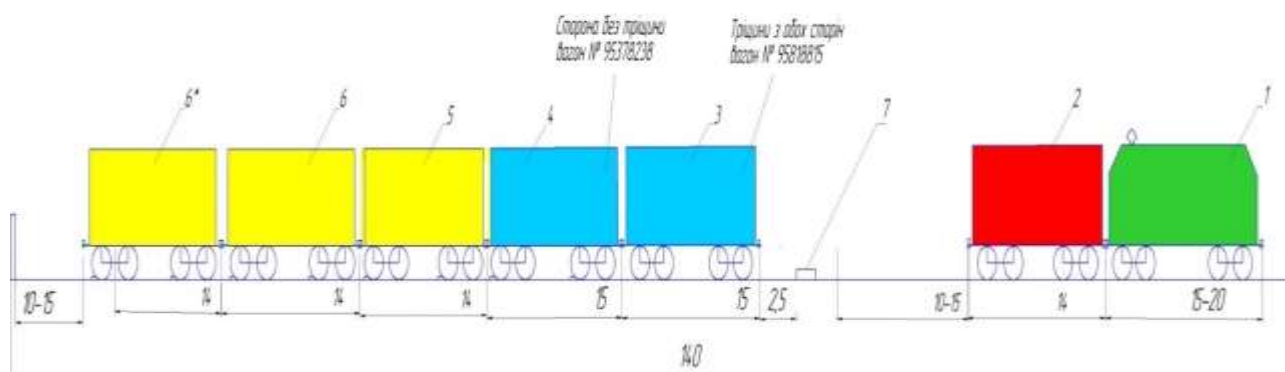
Крім локомотива, використовувалось наступне обладнання:

- вагон-бойок масою 92 т;
- при двохударній схемі використовується ще один вагон-хопер для перевезення зерна моделі 19-752 № 95378238;
- підпірне обладнання з трьох загальмованих вантажних вагонів загальною масою 300т, переміщення яких обмежено рейковими башмаками та з урахуванням вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 №95378238 маса складає 390 т.

Погодні умови: ясно +23° С, вологість 75%. Різниця висот осей автозчепів випробовуваного вагона-хопера для перевезення зерна №95618815 і вагона-бойка становила до 15 мм, вагона-хопера для перевезення зерна №95378238 і вагона-підпора 20 мм і контролювалася лінійкою вимірювальною металевою.

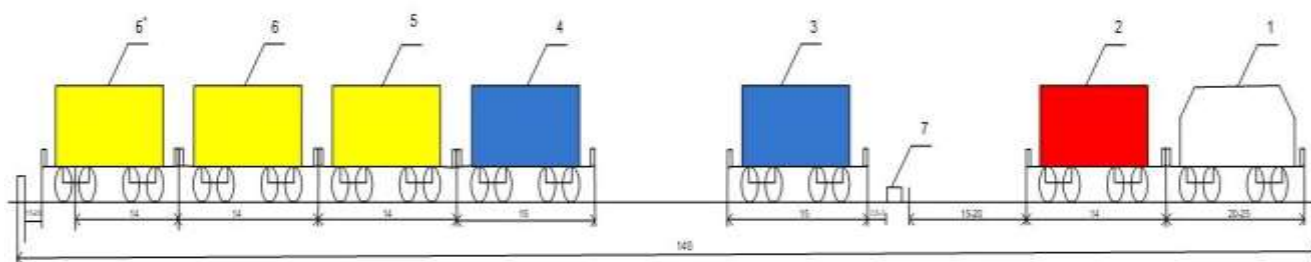
Загальна схема розміщення рухомого складу підчас випробувань представлена на рис. 4.12.

Для прискорення випробувань використовувалась двохударна схема за один хід вагона-бойка, при якій перше співударяння виконується при накочування вагона-бойка на вагон, що випробовується, а друге – при накочуванні вагона, що випробовується, в зчепі з вагоном-бойком на нерухомий підпір (рис. 4.13).



1 – локомотив; 2 – вагон-бойок; 3,4 – вагони хопери; 5,6, 6\* - вагони підпору, 7 – пристрій вимірювання швидкості.

Рисунок 4.12 – Загальна схема розміщення рухомого складу підчас випробувань



1 – локомотив; 2 – вагон-бойок; 3 – вагон-хопер з модернізацією; 4 – вагон-хопер; 5,6, 6\* - вагони підпору, 7 – пристрій вимірювання швидкості.

Рисунок 4.13 – Двохударна схема випробувань

Для розміщення тензорезисторів на конструкційних елементах дослідного вагона хопер для перевезення зерна моделі 19-752 №95618815 при випробуваннях на співудар використовувалась нова схема згідно рис. 4.14. Інформація щодо розміщення тензорезисторів на конструкційних елементах рами дослідного вагона приведена в табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Розміщення тензорезисторів на дослідному зразку

Номер тензорезистора (каналу)	Найменування конструкційного елементу
1	Надресорна балка
2	Надресорна балка
3	Шкворнева балка
4	Шкворнева балка
5	Шкворнева балка
6	Шкворнева балка
7	Хребтова балка
8	Хребтова балка
9	Хребтова балка
10	Хребтова балка
11	Зона модернізації
12	Зона модернізації
13	Зона модернізації
14*	Хребтова балка
15*	Хребтова балка
16	Хребтова балка
17	Хребтова балка

\* - тензорезистори, які розміщені на хребтовій балці з другої сторони для випробувань при двохударній схемі.

Також ці точки визначення напружень в подальшому використовуються для порівняння результатів розрахункової моделі з експериментальними даними з метою оцінки сходимості результатів та адекватності розрахункової моделі, яка враховує додаткові сили від нерівномірно розміщеного вантажу в кузові вагона-хопера для перевезення зерна.



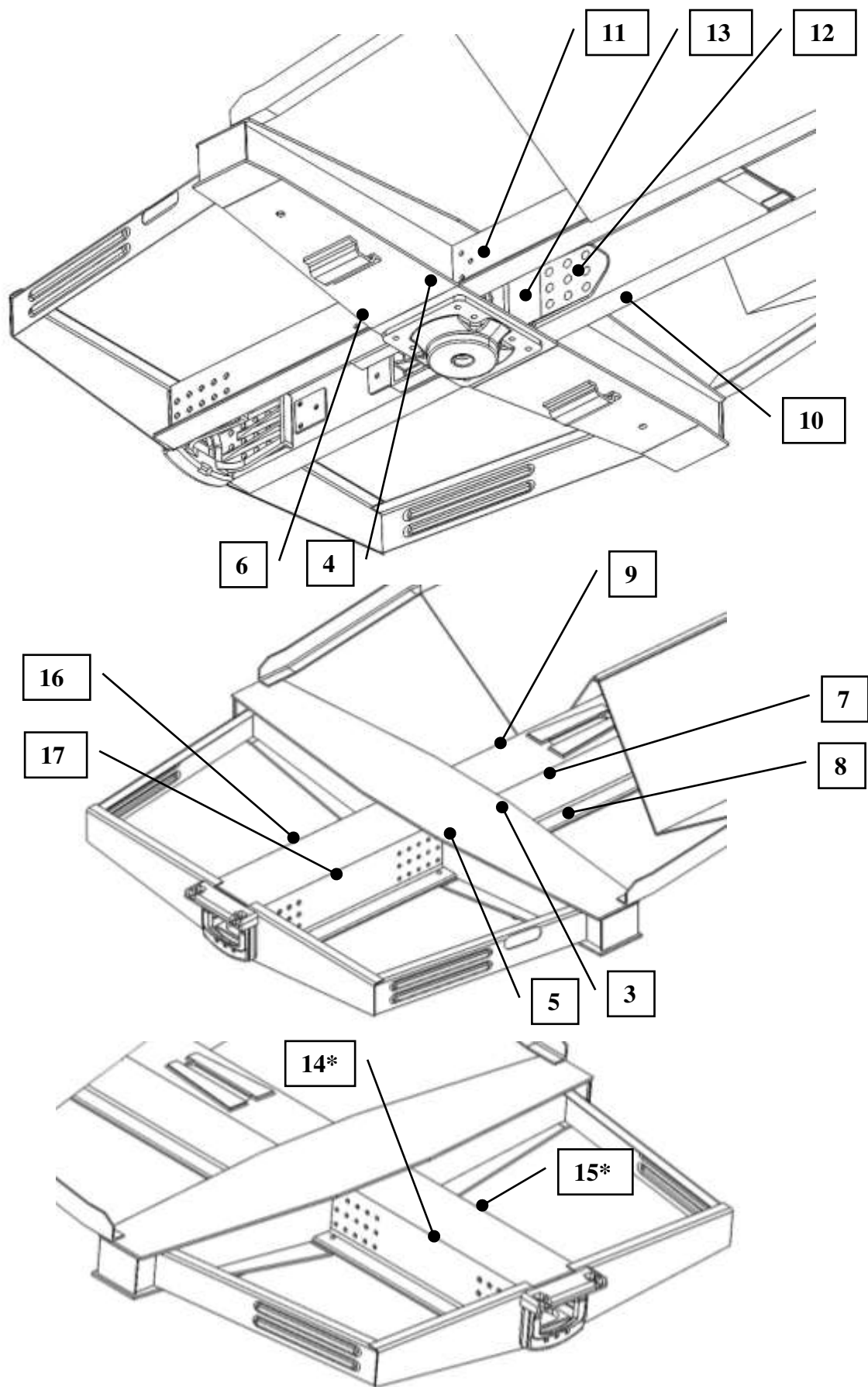


Рисунок 4.14 – Схема розміщення тензорезисторів на рамі вагона

Приведемо приклади встановлення тензорезисторів на конструкційних елементах рами кузова дослідного вагона нижче на рис. 4.15, 4.16.



Рисунок 4.15 – Установка тензорезисторів в зоні модернізації №№ 12, 13



Рисунок 4.16 – Установка тензорезистора №14 на хребтовій балці

Порядок проведення ресурсних випробувань на співудар:

- вагон обладнується спеціальним автозчепом-динамометром, попередньо проградуйованим статичним навантаженням до 3,5 МН;
- установка вагона на ділянку залізничної колії для випробувань, а також пікету для визначення швидкості накочування вагона-бойка;
- випробування на співудар;
- проведене вимірювання напружень, швидкості накочування та сили удару вагона-бойка за допомогою засобів вимірювальної техніки;
- проведений огляд конструкції при ресурсних випробуваннях після кожних 10 ударів на предмет наявності або відсутності тріщин.

Співудари проводили способом накочування вагона-бойка за допомогою локомотива на випробовуваний вагон, який знаходиться в групі загальмованих вагонів підпору. Ресурсні випробування виконані окремими серіями співударів, що за обсягами ушкодження відповідають впливу дій за один рік експлуатації вагона. Після кожної серії співударів проведена перевірка технічного стану вагона та його устаткування.

В якості вихідного (експлуатаційного) спектру навантаження вагонів приймаються статистичні розподіли максимумів поздовжніх сил, які діють на вагон через автозчеп, наведених в [3]. Для розрахунку режимів випробувань на циклічну довговічність несних елементів конструкції дослідного вагона застосовуємо узагальнені розподіли динамічних (ударних) поздовжніх сил, відкориговані шляхом виключення з початкових розподілів сил з квазістатичним характером дії.

Вибір режиму випробувань на ресурс, обробка і оцінка результатів випробувань виконані на основі:

- лінійної гіпотези суми накопичення пошкоджень;
- кривої втоми у напруженнях:

$$\sigma_i^m N_{i=const}, \quad (4.1)$$

де  $N_i$  – кількість циклів коливань з амплітудою  $\sigma_i$ ,  $m$  – показник степені.

Під час підсумовування враховують спектр пошкоджувальних амплітудних динамічних напружень, при цьому використовують гіпотезу лінійного сумування ушкоджень у вигляді:

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = a, \quad (4.2)$$

для несних конструкцій вагонів  $a=1$ .

Під час проведення розрахунків вважаємо, що:

- критерієм відмови несних конструкцій є поява тріщин, яка збільшується, від 10 до 15 мм;
- не враховують асиметрію циклів динамічних напружень, вплив якої на накопичення втомлених пошкоджень реальних вагонних конструкцій незначний.

За даними випробувань обчислювались коефіцієнти запасу опору втомі елементів конструкції вагона. Розрахунки проведені за методикою, викладеною в ПМ [80], ДСТУ 7598-2014 [3], РД 24.050.37-95 [83], ДСТУ ГОСТ 33211-2017 [84].

При цьому прийнято: коефіцієнт кривої втомі  $m=0.4$ , коефіцієнт концентрації 4,5, середнє значення границі витривалості хребтової та шворневої балок 210 МПа, середньодобовий пробіг вагона складає 162 км, проектна середня швидкість – 22,4 м/с.

Розраховують опір втомі з урахуванням коефіцієнта запасу  $n$  за формулою:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,e}} \times K_{np} \geq [n] \quad (4.3)$$

де  $\sigma_{a,N}$  – границя витривалості (за амплітудою) натурної деталі в разі симетричного циклу і сталого режиму навантаження на базі випробувань  $N_0$

(для несних конструкцій вагонів зазвичай вважають, що база випробувань становить  $N_0=10^7$  циклів);

$\sigma_{a,e}$  – розрахункове значення амплітуди динамічного напруження умовно симетричного циклу, зведене до бази  $N_0$ , еквівалентне за пошкоджувальною дією значенню амплітуд у реальному режимі експлуатаційних випадкових напружень протягом проектного терміну служби деталі;

$[n]$  – допустимий коефіцієнт запасу опору втомі ( $n=1,5$ );

$K_{np}$  – коригуючий коефіцієнт при експлуатації вагона-хопера з нерівномірним розподіленням вантажем.  $K_{np}=0,85$ .

Величина еквівалентної наведеної амплітуди динамічних напружень, при розрахунку багатоциклової втоми, визначається за дискретною функцією щільності розподілу амплітуд напружень за формулою:

$$\sigma_{a,e} = \sqrt[m]{\frac{T_k}{N_0} [N_{c1} \sum (\sigma_{aj}^I)^m \times P_j^I + N_{c2} \sum (\sigma_{ak}^{II})^m \times P_k^{II}]} \quad (4.3)$$

де  $m$  - показник ступеня в рівнянні кривої втоми в амплітудах;

$T_k$  – розрахунковий термін експлуатації в роках;

$N_0$  - базове число циклів;

$N_{c1,2}$  - число циклів динамічних напружень, діючих на вагон відповідно через автозчеп та від коливань на ресорному підвішуванні;

$\sigma_{aj}^I$  - амплітуди динамічних напружень в  $j$  діапазонах ударних поздовжніх сил;

$\sigma_{ak}^{II}$  - амплітуди динамічних напружень від коливань на ресорному підвішуванні (в  $k$  діапазонах);

$P_{j,k}$  - частість виникнення амплітуд при відповідних напругах.

При визначенні межі витривалості (по амплітуді) для контрольної зони при симетричному циклі та встановленому режимі навантаження при базовому числі циклів вираховується середнє розрахункове значення порогу витривалості:

$$\sigma_{aN}^- = \frac{\sigma_{-1}^-}{(K_\sigma^-)_k} = \frac{210}{4,5} = 46,6 \text{ МПа}$$

$\sigma_{-1}^-$  – середнє значення порога витривалості гладкого стандартного зразка із матеріала рами при симетричному циклі згину на базі  $N_0$  [3].

$(K_\sigma^-)_k$  – середнє значення коефіцієнта зниження порога витривалості рами по відношенню до порога витривалості гладкого стандартного зразка,  $(K_\sigma^-)_k = 4,5$  [3].

$$\sigma_{aN} = \sigma_{aN}^- (1 - z_p) = 46,6 \cdot (1 - 1,645 \cdot 0,05) = 42,7 \text{ МПа}$$

де  $z_p$  – квантиль розподілення, який відповідає односторонній ймовірності 95%,  $z_p = 1,645$  [3];

$\nu$  – коефіцієнт варіації порогу витривалості деталі [3]:

- для зварних рам і балок з листового і фасонного прокату при автоматичній зварці під слоєм флюса і в середині захисного газу  $\nu = 0,05$ ;

$N_c$  – кількість циклів вертикальних коливань завантаженого вагона, які виникають за його строк служби один рік:

$$N_c = 365 \cdot f_e \frac{L_c \cdot 0,5 \cdot 10^3}{\bar{V}_T} \cdot T_k = 365 \cdot 3,08 \frac{162 \cdot 0,5 \cdot 10^3}{22,4} \cdot 1 = 4065000;$$

$T_k$  – проектний строк служби вагона після модернізації;

$L_c$  – проектний середньодобовий пробіг вагона (приймаємо 162 км за даними ГІОЦ АТ «УЗ»);

$\bar{V}_T$  – проектна середня технічна швидкість руху вагона 22,4 м/с [3];

0,5 – коефіцієнт порожнього пробігу;

$f_e$  – ефективна частота процесу зміни динамічних навантажень, визначається за формулою:

$$f_e = \frac{a}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{f}} = \frac{1,4}{2 \cdot 3,14} \cdot \sqrt{\frac{9,81}{0,05}} = 3,08 \text{ Гц.}$$

Таблиця 4.9 – Нормативна щільність розподілення швидкості руху вагона з конструкційною швидкістю 120 км/год [5].

Діапазон швидкостей, k	Інтервал швидкості руху, $\Delta_v$ м/с	Середня швидкість інтервалу, $V_k$ м/с	Частість швидкостей в діапазоні, $P_k(V)$	$\overline{K_{di}}$	$K_{di}$	$(K_{di})^4 \cdot P_k(V)$
1	0-12,5	6,25	0,03	0,013	0,02	0,000000000857
2	12,5-15,0	13,75	0,07	0,041	0,04	0,00000019
3	15,0-17,5	16,25	0,09	0,059	0,11	0,000001
4	17,5-20,0	18,75	0,12	0,077	0,14	0,000004
5	20,0-22,5	21,25	0,16	0,095	0,17	0,00013
6	22,5-25,0	23,75	0,19	0,113	0,21	0,00036
7	25,0-27,5	26,25	0,16	0,131	0,24	0,00053
8	27,5-30,0	28,75	0,10	0,149	0,28	0,00061
9	30,0-32,5	31,25	0,06	0,167	0,31	0,00055
10	32,5-35,0	33,75	0,02	0,185	0,35	0,0003
Разом	-	-	1	-	-	-

$K_{di}$  – визначається з використанням формул [3].

$$K_{di} = \frac{\overline{K_{di}}}{\omega} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - P(K_{di})}} = \frac{0,185}{1,13} \sqrt{\frac{4}{3,14} \ln \frac{1}{1 - 0,02 \cdot 0,35}} = 0,35$$

де  $\omega$  – параметр розподілу для завантаженого вагона рівний 1,13 [3].

Середнє можливе значення  $\overline{K_{di}}$  визначається за формулами:

- при  $V \geq 15$  м/с

$$\overline{K_{di}} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot b \cdot \frac{V - 15}{f_{ст}} = 0,05 + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot \frac{33,3 - 15}{0,05} = 0,181$$

де  $a$  – коефіцієнт рівний для елементів кузова – 0,5;

$b$  – коефіцієнт який враховує вплив кількості осей  $n$  у візку або групі візків під одним кінцем екіпажу.

$$b = \frac{n+2}{2n}; \quad (4.4)$$

$V$  – розрахункова швидкість руху, м/с;

$f_{ст}$  – статичний прогин ресорного підвішування, м.

Таблиця 4.10 – Розподілення повздовжніх сил при випробуваннях на циклічну довговічність [3].

Інтервал сил, МН	Середня величина інтервалу сил $F_i$ , МН	Циклічна довговічність	
		Число сил за рік	Частість $P_i$
0,1-0,4	0,25	2540	0,126000
0,4-0,8	0,60	5760	0,285000
0,8-1,2	1,00	5660	0,280000
1,2-1,6	1,40	3700	0,183000
1,6-2,0	1,80	1554	0,077000
2,0-2,4	2,20	725	0,036000
2,4-2,8	2,60	202	0,010200
2,8-3,2	3,00	48	0,002400
3,2-3,6	3,40	6	0,000300
3,6-4,0	3,80	2	0,000100
Разом	-	20197	1

Загальна розрахункова кількість циклів протягом розрахункового періоду експлуатації вагона для загальної мережі пробігу визначається за формулою [3]:

$$N_{заг}^{розр} = N_{заг}^{уд} \cdot T_{розр} \cdot K_{реж} \cdot K_{уд}, \quad (4.5)$$



де  $N_{заг}^{уд}$ -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:

- для вантажних вагонів  $N_{заг}^{уд} \approx 20200$  циклів;

$T_{роза}$ - розрахунковий період експлуатації вагона, (1 рік.);

$K_{реж}$ - коефіцієнт, що враховує вплив порожнього пробігу вагона, при оцінці циклічної довговічності несних елементів  $K_{реж}$ , ( для зерновоза  $K_{пор} = 0,5$  );

$$K_{реж} = 1 - K_{пор} \quad (4.6)$$

$K_{уд}$ - 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 вагонів-хоперів для перевезення зерна:

$$N_{зрг}^{розр} = 20200 \cdot 1 \cdot 0,50 \cdot 0,6 \cdot \frac{162}{290} = 3393 \text{ циклів за 1 год,};$$

$N_{уд}$  – розрахункове число зіткнень за один рік експлуатації вагона.

За одноударною схемою і  $F_{экв} = 3,8 \text{ МН}$ ;  $F_{экв}=3,4 \text{ МН}$ ;  $F_{экв}=2,8 \text{ МН}$   $F_{экв}=2,4 \text{ МН}$  базове число циклів з розрахунку на один рік експлуатації складе:

$$\begin{aligned} N_{б.} &= \frac{3393}{3,8^4} \cdot (0,25^4 \cdot 0,1258 + 0,6^4 \cdot 0,2852 + 1^4 \cdot 0,2802 + 1,4^4 \cdot 0,1832 + 1,8^4 \cdot 0,0772 \\ &\quad + 2,2^4 \cdot 0,0359 + 2,6^4 \cdot 0,0208 + 3,0^4 \cdot 0,0023 + 3,4^4 \cdot 0,0003 + 3,7^4 \cdot 0,0001) \\ &= 68 \text{ циклів;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{б.} &= \frac{3393}{3,4^4} \cdot (0,25^4 \cdot 0,1258 + 0,6^4 \cdot 0,2852 + 1^4 \cdot 0,2802 + 1,4^4 \cdot 0,1832 + 1,8^4 \cdot 0,0772 \\ &\quad + 2,2^4 \cdot 0,0359 + 2,6^4 \cdot 0,0208 + 3,0^4 \cdot 0,0023 + 3,4^4 \cdot 0,0003 + 3,7^4 \cdot 0,0001) \\ &= 107 \text{ циклів;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{б.} &= \frac{3393}{2,8^4} \cdot (0,25^4 \cdot 0,1258 + 0,6^4 \cdot 0,2852 + 1^4 \cdot 0,2802 + 1,4^4 \cdot 0,1832 + 1,8^4 \cdot 0,0772 \\ &\quad + 2,2^4 \cdot 0,0359 + 2,6^4 \cdot 0,0208 + 3,0^4 \cdot 0,0023 + 3,4^4 \cdot 0,0003 + 3,7^4 \cdot 0,0001) \\ &= 230 \text{ циклів;} \end{aligned}$$

$$N_{\delta} = \frac{3393}{2,4^4} \cdot (0,25^4 \cdot 0,1258 + 0,6^4 \cdot 0,2852 + 1^4 \cdot 0,2802 + 1,4^4 \cdot 0,1832 + 1,8^4 \cdot 0,0772 + 2,2^4 \cdot 0,0359 + 2,6^4 \cdot 0,0208 + 3,0^4 \cdot 0,0023 + 3,4^4 \cdot 0,0003 + 3,7^4 \cdot 0,0001) = 451 \text{ циклів};$$

При 2-х ударній схемі перше співударяння виконано при накочуванні вагона-бойка на вагон, що випробовується, а друге – при накочуванні вагона, що випробовується в зчепі з вагоном-бойком на вагони підпора. При цій схемі реєструються сили удару на двох автозчехах вагона, що випробовується.

При двох ударній схемі з зусиллям першого удару  $F_1$  і другого удару  $F_2$ , базове число циклів з розрахунку на один рік експлуатації складе:

$$N_{\delta II} = \frac{F_{\text{екв}}^m \cdot N_{\delta}}{F_1^m + F_2^m} \quad (4.7)$$

Таблиця 4.11 – Результати ударних випробувань

№ п/м	Сила (N), МН	Середнє значення сили (N), МН	Кількість ударів, одно ударна схема	Кількість ударів двох ударна схема	Накопичені пошкодження, МН <sup>4</sup>
1	Менше 1	1	4	-	4
2	1,0-1,5	1,25	7	-	17
3	1,5-2,0	1,75	40	-	375
4	2,0-2,5	2,25	70	-	1794
5	2,5-3,0	2,75	60	-	3430
6	3,0-3,5	3,25	93	-	10375
7	Більше 3,5	3,5	53	-	7953
8	3+2,6		-	78	9882
9	3,5+3		-	110	25410
10	3,8+3,2		-	67	20991
	Разом		582	80231	

Фактично під час випробувань було зроблено 582 співудари.

Напрацювання за період проведення ресурсних випробувань порівнювалося з розрахунковим напрацюванням за рік служби зернового. Критерієм напрацювання є сума накопичених пошкоджень, які визначаються за формулою:

$$\sum D = \sum P_i^4 \times n_i,$$

де  $\sum D$  – сума накопичених пошкоджень;

$P_i$  – зусилля співудару;

$n_i$  – кількість співударів з зусиллям  $P_i$ .

Розрахункова сума накопичених пошкоджень за рік експлуатації визначається за формулою:

$$D_p = P_{\text{екв}}^m \times n_6 = 3,25^4 \times 102 = 11379 \text{ МПа}^4$$

Як видно з таблиці, напрацювання накопичених пошкоджень за період ударних ресурсних випробувань складає 80233 МН<sup>4</sup> і при розрахунковій сумі накопичених пошкоджень за рік експлуатації 11379 МН<sup>4</sup> відповідає:

$$T = \frac{\sum D}{D_p} = \frac{80231}{11379} = 7,05 \text{ (років)}$$

Термін служби вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 після проведеної модернізації згідно конструкторської документації НДКТІ.19-752.00.00.000 та технологічної інструкції НДКІ.19-752.00.00.000 ТІ складає щонайменше 7 років.

За даними випробувань обчислювались коефіцієнти запасу опору втомі елементів конструкції вагона з порівнянням теоретичних розрахунків (табл. 4.12). Розрахунки проведені за методикою, викладеною в ПМ [80], ДСТУ 7598-2014 [3], РД 24.050.37-95 [83], ДСТУ ГОСТ 33211-2017 [84]. При цьому прийнято: коефіцієнт кривої втомі  $m = 0,4$ ; коефіцієнт концентрації 4,5; середнє значення границі витривалості хребтової та шворневої балок 210 МПа;

середньодобовий пробіг вагона складає 162 км, проектна середня швидкість – 22,4 м/с.

Таблиця 4.12 – Розраховані значення коефіцієнтів запасу опору втомі

№	Елемент несної конструкції вагона	Строк служби, р.	Коеф. запасу опору втомі $n$ згідно експериментальних даних	Коеф. запасу опору втомі згідно теоретичних досліджень $n \times K_{np}$	Допустиме значення коеф. запасу опору втомі
1	Зона модернізації хребтової балки	30	2,11	2,10	[n] $\geq$ 1,5
2		35	1,98	1,96	
3		37	1,91	1,90	
4		40	1,76*	1,75	
5		45	1,52*	1,50	
6	Шворнева балка	30	2,09	2,20	
7		35	2,12	2,10	
8		37	2,05	2,00	
9		40	1,84*	1,80	
10		45	1,61*	1,60	

\* екстрапольовані значення

Оскільки сходимість експериментальних даних та теоретичних розрахунків становить менше 5%, вважаємо, що значення коефіцієнтів опору втомі для терміну служби 40 та 45 років можна екстрапольовати за наступною діаграмою (рис. 4.17).

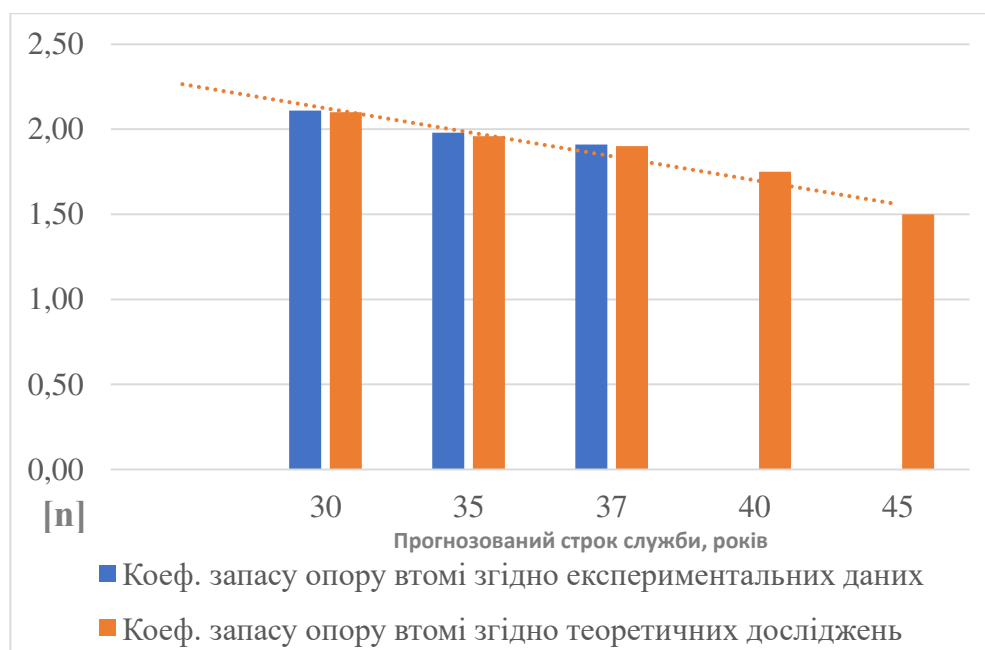


Рисунок 4.17 – Екстрапольовання коефіцієнту запасу опору втомі

Таблиця 4.13 – Результати ресурсних ударних випробувань

	Сила, МН			
	2,5	3,0	3,5	4,0
точка	МАХ, МПа	МАХ, МПа	МАХ, МПа	МАХ, МПа
1	35	57	41	63
2	21	72	34	90
3	55	93	82	186
4	29	28	31	32
5	159	258	265	280
6	161	230	296	308
7	49	123	108	110
8	60	189	103	108
9	68	79	140	103
10	70	58	129	152
11	33	27	77	77
12	28	31	62	64
13	37	67	80	48
14	22	12	39	23
15	41	52	36	31
16	55	95	66	124
17	29	17	10	30

У результаті проведених випробувань вагона-хопера моделі 19-752 №95818815, який був модернізований у відповідності до розробленої конструкторської документації НДКТІ.19-752.00.00.000 ТІ, встановлено, що:

- напруження в несних конструкціях вагона не перевищують допустимих значень згідно [3], а пошкоджень в зоні модернізації рами вагона під час ресурсних випробувань не виявлено;

- під час ресурсних випробувань було зроблено 582 співудари силою від 1 до 3,5 МН і більше, що відповідає терміну служби 7 років, а за даними табл. 4.12 прогнознй ресурс рами складає до 45 років.

Для оцінки адекватності розрахункової моделі оцінки напружено-деформованого стану було проведено порівняльний аналіз напружень теоретичного розрахунку за І режимом (удар) згідно рис. 2.28, 2.50 та результатами випробувань на співудар при силі удару 3,5 МН. Результати занесені до табл. 4.14.

Таблиця 4.14 – Оцінка адекватності розрахункової моделі

Місце визначення напружень (контрольна точка)	Напруження теоретичного дослідження, МПа	Напруження, експериментального дослідження при співударі 3,5 МН, МПа	Розбіжність, %
	З врахуванням зсуву вантажу (зсув)		Зсув
Хребтова балка (14)	35,5	39	9
Хребтова балка (15)	35,5	36	1

Отже, розбіжність результатів для розрахунку з врахуванням зсуву вантажу становить від 1 до 9 відсотків, це дає підстави стверджувати, що використана розрахункова модель оцінки напружено-деформованого стану є адекватною та враховує особливості умова експлуатації вагонів-хоперів для перевезення зерна в частині нерівномірного навантаження. Слід, зазначити, що при порівнянні нормативного розрахунку без врахування зсуву вантажу з експериментальними даними розбіжність результатів збільшується від 22 до 28 відсотків, що підтверджує необхідність врахування впливу дій сил від нерівномірно розміщеного вантажу. Таким чином, з'ясовано, що проведена модернізація покращує несну здатність рами вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 та враховує нерівномірність навантаження вагона.

На основі проведених експериментальних досліджень автором було запропоновано доопрацювати ПМ [80] та розроблено новий програмний документ з врахуванням отриманих результатів досліджень [85] (Додаток В), який передбачає застосування коригуючого коефіцієнту для визначення прогнозування ресурсу вагонів-хоперів для перевезення зерна.

#### 4.3 Експлуатаційні випробування

Для оцінки безвідмовності [2] запропонованого удосконалення конструкції рами кузова вагонів-хоперів моделі 19-752 в експлуатації було проведено модернізацію 10 вагонів (дослідна партія), які мають тріщини в місці заклепкового з'єднання хребтової балки з заднім упором автозчепного пристрою з використанням конструкторської та технологічної документації НДКТІ.19-72.00.00.000 ТІ (табл. 4.14).

Підконтрольна експлуатація дослідної партії вагонів-хоперів для перевезення зерна моделі 19-752 виконувалась згідно розробленої програми та методики випробувань НДКТІ/НВЦ УІ 002-18 [86,87], що додається .

Алгоритм підконтрольної експлуатації дослідної партії вагонів полягав у періодичному проведенні контролю технічного стану несних конструкцій з застосуванням методів неруйнівного контролю [88].

Таблиця 4.14 – Перелік вагонів дослідної партії

№з/п	Номер вагона	Дата побудови	Дата модернізації рами вагона
1	95217642	01.06.1988	12.09.2018
2	95230843	20.06.1983	13.09.2018
3	95362257	18.12.1982	06.09.2018
4	95379244	01.08.1983	29.08.2018
5	95613568	01.07.1987	11.09.2018
6	95617874	01.11.1987	31.08.2018
7	95680419	01.11.1986	05.09.2018
8	95712451	01.12.1987	04.09.2018
9	95756409	01.06.1988	30.08.2018
10	95979266	25.07.1984	28.08.2018

Періодичність проведення оглядів підконтрольної партії вагонів виконувалось в декілька етапів:

перший - при випуску вагонів-зерновозів в експлуатацію після модернізації;

другий - після 1 місяця експлуатації;

третій - після 2 місяців експлуатації;

четвертий - після 3 місяців експлуатації;

п'ятий - після 4 місяців експлуатації.

Для проведення контролю технічного стану сертифікованими фахівцями з неруйнівного контролю згідно [89], спільно з автором було розроблено спеціальну форму карти для контролю зони модернізації, яка є частиною програми та методики випробувань НДКТІ/НВЦ УІ 002-18 [86].

Термін проведення підконтрольної експлуатації склав 4 місяці, при цьому порожній пробіг вагонів – 2 800 км, завантажений пробіг вагонів – 2 600 км.

Після проведення п'яти етапів контролю технічного стану рам кузовів дослідної партії вагонів-хоперів для перевезення зерна моделей 19-752 дефектів не виявлено. На рис. 4.17 приведений процес контролю технічного стану зони модернізації рами кузова дослідної партії вагонів-хоперів.

Після завершення підконтрольної експлуатації, вагони дослідної партії були допущені до постійної експлуатації на коліях АТ «Укрзалізниця». Разом з цим, за відмовами цих вагонів в експлуатації був встановлений контроль, аналізувались статистичні дані згідно довідки ГІОЦ УЗ 2087 [90].

Період аналізу даних становить 7 років (4 роки до модернізації рам вагонів (2015, 2016, 2017, 2018) та 3 роки після модернізації рам вагонів (2019, 2020, 2021).

Під час проведення робіт з контролю технічного стану дослідної партії вагонів-хоперів для перевезення зерна з модернізованими рамами фахівцями з неруйнівного контролю випробувальної лабораторії філії «НДКТІ» застосовувались вимоги згідно [77, 78].





Рисунок 4.17 – Проведення контролю технічного стану

Для оцінки технічного стану рами вагона до модернізації та після, були проаналізовані за періоди:

- 2015 рік (період з 31.12.2014 17:01 по 31.12.2015 17:00);
- 2016 рік (період з 31.12.2015 17:01 по 31.12.2016 17:00);
- 2017 рік (період з 31.12.2016 17:01 по 31.12.2017 17:00);
- 2018 рік (період з 31.12.2017 17:01 по 31.12.2018 17:00);
- 2019 рік (період з 31.12.2018 17:01 по 31.12.2019 17:00);
- 2020 рік (період з 31.12.2019 17:01 по 31.12.2020 17:00);
- 2021 рік (період з 31.12.2020 20:01 по 31.12.2021 20:00).

За класифікатором КЖА 2005 04 [32] були обрані коди несправностей, що відносилися до рами вагона (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 – Несправності рами вагона за КЖА 2005 04

Код	Опис несправності
601	Обрив зварних швів однієї або більше заклепки кріплення балок
602	Вертикальний прогин балок рами більше 100 мм
603	Тріщина у вузлах з'єднання хребтової та шкворневої балок
604	Тріщина ковзуна на шкворневій балці
605	Ослаблення кріплення ковзуна на шкворневій балці
606	Тріщина п'ятника
607	Ослаблення кріплення п'ятника
609	Тріщина, що переходить з горизонтальної на вертикальну полицю балок
610	Повздовжня тріщина у балках рами довжиною більше 300 мм
611	Тріщина в надп'ятниковій плиті (фланці) п'ятника не більше 30 мм
612	Вертикальна/повздовжня нахилена тріщина, яка проходить більше ніж через один отвір для болтів або заклепок
613	Довжина вертикальної/ нахиленої тріщини, на одній стінці більше 100 мм між кінцями тріщини
614	Обрив по зварюванню, розрив накладок
615	Тріщина, злам верхнього/вертикального листа поперечної балки рами
616	Злам/тріщина проміжних балок
617	Злам кріплення фітингового упору
618	Злам/тріщина/обрив розкосів
619	Уширення хребтової балки
620	Згин хребтової балки
621	Тріщина кінцевих балок
622	Злам кінцевих балок
623	Розрив верхнього/вертикального листа поперечної балки рами
624	Злам кріплення ковзуна на шкворневій балці

Зазначені несправності прийняті, як визначальний параметр [91], значення якого визначає працездатність рами вагона-хопера для перевезення зерна поза межами планових видів ремонту.

Таким чином, був здійснений аналіз вказаних довідок ГІОЦ УЗ 2087[90], по несправностям рами вагона, що зазначені у табл. 4.14, відносно вагонів-хоперів для перевезення зерна згідно табл. 4.13. Результати аналізу представлені в табл.4.15.

Таблиця 4.15 – Результати аналізу несправностей рам вагонів

№ вагона	Дата побудови	Кількість несправностей/код несправності							
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Σ
95217642	01.06.1988	1/618							1
95230843	20.06.1983								-
95362257	18.12.1982	1/618			1/621		1/613		3
95379244	01.08.1983	1/618			1/621		1/613		3
95613568	01.07.1987	1/613		1/618					2
95617874	01.11.1987								-
95680419	01.11.1986								-
95712451	01.12.1987		1/621						1
95756409	01.06.1988								-
95979266	25.07.1984								-

З таблиці 4.15 можна побачити, що по обраним зерновозам несправності фіксувалися по трьом кодам: 613 – довжина вертикальної/ нахиленої тріщини, на одній стінці більше 100 мм між кінцями тріщин, 618 – злам/тріщина/обрив розкосів, 621 – тріщина кінцевих балок. Рік 2018 є роком виконання модернізації, але несправності, що вказані для 2018 року відбулися раніше, до виконання модернізацій, тому 2018 рік відноситься до періоду без модернізацій. Роки з модернізаціями – 2019, 2020, 2021 р.р.

З обраних 10-ти зерновозів несправності фіксувалися тільки на п'яти вагонах (50% від загальної кількості). На інших п'яти вагонах не було зафіксовано несправностей не до модернізації, не після неї.

Для п'яти вагонів з несправностями, три вагони мали несправності до модернізації (роки 2015-2018) та два вагони мали несправності як до модернізації так і після (роки 2019-2021). Несправності виникали на вагонах років побудови 1982, 1983, 1987, 1988, тобто як для вагонів з меншим терміном служби, так і для вагонів з більшим терміном служби.

Загальна кількість несправностей та їх частота виникнення у кожному році, що досліджувався представлені в табл. 4.16.

Таблиця 4.16 – Частота виникнення несправності

Рік	Код несправності			$\Sigma$	Частота
	613	618	621		
2015	1	3		4	0,4
2016			1	1	0,1
2017		1		1	0,1
2018			2	2	0,2
2019				0	0
2020	2			2	0,2
2021				0	0
$\Sigma$	3	4	3	-	-
Частота	0,3	0,4	0,3	-	-

Аналізуючи таблицю 4 можна побачити, що частоти мають приблизно однакову частоту виникнення відносно типу 0,3 – 0,4. Не можна стверджувати, що якийсь тип несправності переважає. Загальна частота виникнення у кожному році дослідження представлена на рис. 4.18.

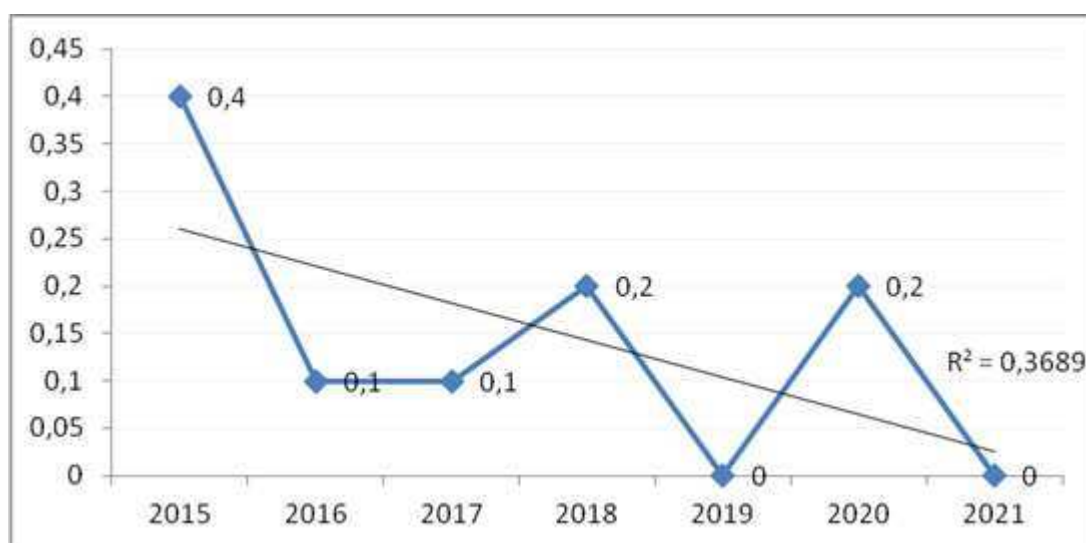


Рисунок 4.18 – Загальна частота виникнення несправності у кожному році дослідження

На рис. 4.18 можна побачити, що загальна кількість несправностей рам вагонів-хоперів для перевезення зерна зменшилася відносно періоду до модернізації (8 випадків до модернізації та 2 випадки після), що є однозначно позитивною динамікою.

Розглядаючи період до модернізації, найбільша кількість несправностей фіксується тільки в 2015 році, далі у 2016-2017 вона знижується і у 2018 знову підвищується проте не до рівня 2015 року. У період після модернізації рам вагонів-хоперів для перевезення зерна загальна кількість несправностей зменшилася, проте зафіксований стрибок випадків у 2020 році до рівня 2018 року (до модернізації). Отримані результати демонструють зменшення загальної кількості несправностей серед вагонів-хоперів для перевезення зерна, що досліджувалися, після модернізації рами. Побудована лінія тренду (рис. 4.18) демонструє, що отриманні дані мають тенденцію до зменшення з часом з довірчою імовірністю 0,368, що є низьким значенням для достовірності апроксимації [91]. Але кількісно відмічається позитивна динаміка щодо зменшення відмов рам кузовів вагонів-хоперів для перевезення зерна моделі 19-752, що свідчить про доцільність застосування конструкторського рішення за проектом НДКТІ.19-752.00.00.000 та підвищення безвідмовності модернізованих вагонів в експлуатації [92].

#### **4.4 Оцінка прогнозного економічного ефекту від практичного впровадження результатів роботи**

Для оцінки прогнозного економічного ефекту від практичного впровадження результатів роботи визначимо орієнтовну економію витрат від модернізації одного вагона-хопера для перевезення зерна керуючись [93-95] з наступних вихідних даних.

##### Вихідні дані:

Вартість нового вагона-хопера для перевезення зерна орієнтовно складає – 1,84 млн. грн.

Строк служби нового вагона – 30 років.

Термін експлуатації вагонів з модернізованими рамами буде продовжено щонайменше на 7 років.

Витрати на модернізацію ( $B_m$ ) однією рами вагона (з двох сторін) складають 28 тис. грн.

Розрахунок:

Вартість вагона в рік ( $B_p$ ) складає:

$$B_p = 1,84 \text{ млн. грн} / 30 \text{ років} = 61,3 \text{ тис. грн.}$$

Економія ( $E$ ) від модернізації одного вагона з урахування затрат на модернізацію складе:

$$E = B_p \times 7 - B_m; \quad (4.4.1)$$

$$E = 61,3 \text{ тис. грн} \times 7 \text{ років} - 28 \text{ тис. грн} = 401,1 \text{ тис. грн.}$$

Дана економія не враховує разові витрати на дослідження ( $B_d$ ), які становлять близько 1,5 млн.грн, оскільки дані витрати слід враховувати при розрахунках потенційного економічного ефекту.

Враховуючи, що робочий парк вагонів-хоперів для перевезення зерна моделі 19-752 на даний час складає близько 6 164 вагонів, прогнозний економічний ефект ( $E_n$ ) від впровадження модернізації може становити:

$$E_n = E \times 6\,164 - 1\,500 \text{ тис. грн.} = 2,47 \text{ млрд. грн.}$$

#### **Висновки до розділу 4**

Для проведення експериментальних досліджень автором розроблений план їх проведення та відповідні програмні документи [80]. Експериментальні дослідження передбачали проведення контрольних випробувань зі «скидання з клинів» та випробування на співудар (ресурсні випробування). Дослідний зразок було нерівномірно завантажено для імітації міжвізкової нерівномірності навантаження в 10%.

За результатами випробування «скидання з клинів» визначено рівні напружень, які виникають при імітації різних видів коливань, дані результати були враховані при розрахунках динамічної складової напружень для визначення показника опору втомі.

За результатами проведених ресурсних випробувань підтверджено можливість подальшої експлуатації рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 що найменше на 7 років. Також за результатами випробувань на співудар розраховані коефіцієнти запасу опору втомі для зони модернізації рами та шворенової балки при 30, 35 та 37 роках експлуатації. Дані результати були порівняні з теоретичними розрахунками коефіцієнтів запасу опору втомі модернізованої рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-7522, які враховують коригуючий коефіцієнт нерівномірності навантаження та отримані результати сходимості, які становлять менше 5%. Враховуючи сходимость результатів методом екстраполяції було визначено коефіцієнти опору втомі для зони модернізації та шворенової балки з розрахунку експлуатації 40 та 45 років, які становлять менше 1,5, що задовольняє вимоги [3].

Таким чином, було підтверджено експериментально доцільність застосування коригуючого коефіцієнту для формули визначення запасу опору втомі (математична модель прогнозування ресурсу) та обґрунтовано ефективність запропонованого конструкційного рішення для удосконалення конструкції рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752. За результатами досліджень автором розроблено удосконалену ПМ (Додаток В).

Для підтвердження безвідмовності запропонованого конструкційного рішення щодо удосконалення конструкції рами кузова вагона моделі 19-752 в експлуатації проведена підконтрольна експлуатація дослідної партії 10 вагонів з модернізованими рамами протягом 4 місяців за авторською програмою та методикою [86]. Результати підконтрольної експлуатації успішні, дефектів рами кузова в ході підконтрольної експлуатації не виявлено.

Також було проаналізовано частоту виникнення відмов рам кузовів дослідної партії вагонів з модернізованими рамами (4 роки до модернізації рам

вагонів та 3 роки після модернізації рам вагонів. Отримані результати демонструють зменшення загальної кількості несправностей серед вагонів, що досліджувалися, після модернізації. Побудована лінія тренду демонструє, що отриманні дані мають тенденцію до зменшення з часом з довірчою імовірністю 0,368, що є низьким значенням для достовірності такої апроксимації. Але кількісно відмічається позитивна динаміка щодо зменшення відмов рам кузовів вагонів-хоперів для перевезення зерна моделі 19-752, що свідчить про доцільність застосування конструкторського рішення за проєктом НДКТІ.19-752.00.00.000 та підвищення безвідмовності модернізованих вагонів в експлуатації.

Виконана оцінка економічного ефекту від впровадження результатів дослідження демонструє доцільність застосування запропонованого конструкторського рішення для удосконалення рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна.



## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують актуальне науково-практичне завдання щодо покращення несної здатності рами вагонів-хоперів для перевезення зерна шляхом удосконалення конструкції та методів розрахунку. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень зроблено наступні висновки.

1 Аналіз наукових публікацій та результати технічного діагностування робочого парку вагонів-хоперів для перевезення зерна підтвердили актуальність теми дисертаційного дослідження. За результатами структурного аналізу особливостей конструкції вагонів-хоперів для перевезення зерна було визначено, що вагони моделі 19-752 та 11-739 в порівнянні з вагонами нового покоління мають значно меншу площу з'єднання хребтової балки з зданім упором і не мають додаткових повздовжніх балок або розкосів в передній частині вагона для розподілення напружень від повздовжніх навантажень, ці виявлені недоліки можуть впливати на несну здатність рами вагона хопера для перевезення зерна моделі 19-752 та 11-739. На підставі аналізу комерційних несправностей, встановлено, що головною особливістю вагонів хоперів для перевезення зерна в експлуатації, яка може впливати на несну здатність є можливість їх експлуатації з нерівномірно розподіленим вантажем. Запропоновано при проведенні подальших теоретичних та експериментальних досліджень враховувати нерівномірність міжвізкового навантаження на рівні 10 % від загальної маси завантаженого вагона. На підставі проведеного аналізу, автором висунуто наступну гіпотезу: відмови несних конструкцій вагонів хоперів для перевезення зерна пов'язані з недосконалою конструкцією місця з'єднання хребтової балки рами з заднім упором та наднормативними напруженнями, які виникають внаслідок їх експлуатації з нерівномірним навантаженням.

2 На підставі результатів аналізу парку вагонів-хоперів для перевезення зерна встановлено, що зерновози моделі 19-752 становлять 95% від всього парку. Методом системного аналізу визначено групи відмов вагонів-хоперів для

перевезення зерна в експлуатації, що мають системний характер і є критичними для забезпечення безперебійного перевізного процесу, а саме: несправності гальмового обладнання вагона (35,8%), несправності кузова вагону (33,8%) та несправності рами вагону (16,7%). Було з'ясовано, що 15% із всіх продіагностованих вагонів-хоперів для перевезення зерна моделі 19-752 мають дефекти в рамах кузовів із них 100% це тріщини хребтових балок в місцях їх з'єднання з заднім упором. Такі тріщини є системними та виникають на перетині призначеного строку служби вагонів (30 років).

3 Для проведення оцінки напружено-деформованого стану рами вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 автором була удосконалена розрахункова модель шляхом уточнення розрахункових схем навантаження для I та III режимів розрахунку, які на відміну від існуючих враховують нерівномірний розподіл вертикальних сил від зміщеного в кузові вантажу. Згідно отриманих результатів можна зробити висновок, що нерівномірне розподілення вантажу впливає на підвищення напружень рами вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 в середньому на 10-15 % (20-40 МПа) та призводить до перевищення напружень за межі допустимих, а саме:

$$\sigma_{I\max (\text{норма})} = 279 \text{ МПа} < \sigma_{I\max (\text{зсув})} = 327 \text{ МПа, при } \sigma_{I\text{доп.}} = 310,5 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{III\max (\text{норма})} = 200 \text{ МПа} < \sigma_{III\max (\text{зсув})} = 221 \text{ МПа, при } \sigma_{I\text{доп.}} = 210 \text{ МПа.}$$

При цьому, встановлено, що сили, які виникають у заклепковому з'єднанні при зміщеному вантажі на одну сторону вагона хопера, приблизно на 7-10% більші за сили, ніж що виникають при рівномірно розподіленому вантажі.

На підставі результатів оцінки накопичення втомних пошкоджень хребтової балки в зоні клепаного з'єднання при умові нерівномірного розміщення вантажу встановлено, що втомні пошкодження накопичуються в при навантаження менше 1,0 МН. При цьому тріщина на хребтовій балці рами кузова буде поширюватися вертикально від нижнього отвору заклепки 151,7 МПа до верхньої 141,9 МПа. Таким чином нерівномірно розміщений вантаж при режимах I (розтяг) та III (розтяг) є причиною виникнення та розвитку втомних тріщин в зоні заклепкового

з'єднання. Такі значні напруження виникають через різку зміну жорсткості з'єднання та обмежену площу заклепкового з'єднання хребтової балки з заднім упором.

В роботі теоретично доведено, що нерівномірне навантаження вагона-хопера для перевезення зерна негативно впливає на зниження коефіцієнта запасу опору втоми та призводить до його критичного зменшення після закінчення нормативного терміну служби, що в свою чергу корелюється з отриманими статистичними даними про відмови. Рама вагонів-хоперів з нерівномірно розміщеним вантажем має коефіцієнт запасу опору втоми в середньому на 15% нижчий ніж у вагонів з рівномірно розміщеним вантажем. На основі теоретичних досліджень автором запропоновано внесення змін до формули визначення показника опору втоми (математична модель визначення ресурсу вантажних вагонів), що полягає у введенні коригуючого коефіцієнту  $K_{нр}=0,85$ , який враховує нерівномірність розміщення вантажу вагонів-хоперів для перевезення зерна.

5 Для проєктування нового конструкційного рішення щодо удосконалення рами вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 автором додатково враховано результати аналізу можливого накопичення напружень шляхом порівнювання дотичних напружень з границею витривалості за дотичними напруженнями при пульсуючому циклі, які уточнюють результати оцінки ресурсу рами вагона-хопера після модернізації. Запропоноване конструкційне рішення, що запроектоване методом циклічної ітерації полягає у застосуванні накладки змінного перерізу та збільшеної площі в місці з'єднання хребтової балки з заднім упором поглинального апарату, дане рішення враховує дію додаткових сил, що виникають при експлуатації з нерівномірним навантаженням кузова та захищене патентом на корисну модель і реалізовано в технічній документації для АТ «Укрзалізниця». При цьому, значення напружень складають в зоні модернізації рами 62,3 МПа, а в місці виникнення тріщин 42,7 МПа, що не перевищують допустимі значення для режиму I  $[\tau]=178$  МПа, для режиму III  $[\tau]=120$  МПа та для пульсуючого циклу  $[70$  МПа], а значення коефіцієнту опору втоми не перевищують 1,5 для подальшої експлуатації до 45 років.

6 За результатами проведених експериментальних досліджень підтверджено можливість подальшої експлуатації вагонів-хоперів для перевезення зерна моделі 19-752 з модернізованими рамами на 7 років. Враховуючи сходимість результатів теоретичних та експериментальних досліджень методом екстраполяції було визначено коефіцієнти опору втомі для зони модернізації та шворневої балки з розрахунку експлуатації 40 та 45 років, які становлять менше 1,5, що задовольняє вимогам ДСТУ 7598 [3]. Таким чином, було підтверджено експериментально доцільність застосування коригуючого коефіцієнту  $K_{нр}$  (0,85) для формули визначення запасу опору втомі (математичної моделі прогнозування ресурсу) та обґрунтовано ефективність запропонованого конструкційного рішення для удосконалення конструкції рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752. Адекватність розрахункової моделі підтверджено результатами експериментальних даних, розбіжність становить менше 9%. За результатами досліджень автором розроблено удосконалену Програму та методику технічного діагностування вагонів-хоперів моделі 19-752, що впроваджено у практичну діяльність.

7 Підтверджено безвідмовність запропонованого конструкційного рішення щодо удосконалення конструкції рами кузова вагона моделі 19-752 в експлуатації шляхом проведення підконтрольної експлуатації дослідної партії 10 вагонів з модернізованими рамами протягом 4 місяців та результатами аналізу відмов рам кузовів дослідної партії вагонів з модернізованими рамами (4 роки до модернізації рам вагонів та 3 роки після модернізації рам вагонів). Отримані результати демонструють зменшення загальної кількості несправностей серед вагонів, що досліджувалися, після модернізації. Прогнозний економічний ефект від впровадження запропонованого конструкторського рішення щодо удосконалення рами вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752 може становити 2,47 млрд. грн. для робочого парку 6 164 вагонів. Результати дисертаційного дослідження впроваджено на вагоноремонтних підприємствах УЗ, в навчальному процесі підготовки студентів Державного університету інфраструктури та технологій, і філії НДКТІ (Додаток А).

## 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](http://10.1.100.16/pls/uzc1dad/vkp.pkg_2066.go).
2. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Київ, 1994. – 74 с.
3. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових та модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2014. 161 с.
4. 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>.
5. ДСТУ 2825-94. Розрахунки та випробування на міцність. Терміни та визначення понять. Київ, 1994. 40 с.
6. ДСТУ 2444-94. Розрахунки та випробування на міцність. Опір втомі. Терміни та визначення. Київ, 1994. 71 с.
7. ДСТУ 2824-94. Розрахунки та випробування на міцність. Види і методи механічних випробувань. Терміни та визначення. Київ, 1994. 31 с.
8. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. Київ, 1994. 24 с.
9. ДСТУ 2442-94. Розрахунки та випробування на міцність. Механіка руйнування. Терміни та визначення. Київ, 1994. 23 с.
10. 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](http://www.dgma.donetsk.ua/metod/texmex/mke/cae_ing.pdf).

11. Кебал, Ю. В. Шатов, В. А. Тьокотєв, О. М. Мурашова Н. Г. Удосконалення конструкції вагона-хопера для перевезення зерна. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту*. Дніпро. 2017. №30. С. 113-122. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpdetut\\_tsit\\_2017\\_30\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpdetut_tsit_2017_30_14).
12. M. Kelrykh and O. Fomin, 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](https://www.metaljournal.com.ua/assets/MMI_2014_6/11-Fomin.pdf).
13. Фомін О.В., Мурашова Н.Г., Воропай В.С., Коваленко В.В. Сучасний стан конструктивної досконалості бункерних вагонів для перевезення зернових та перспективи його розвитку. *Вісник Приазов. Держ. тех. ун. Маріуполь*. 2017. С. 192–201. URL: [https://scholar.google.com.ua/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=ru&user=bmmZwDkAAAAJ&citation\\_for\\_view=bmmZwDkAAAAJ:u-x6o8ySG0sC](https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=bmmZwDkAAAAJ&citation_for_view=bmmZwDkAAAAJ:u-x6o8ySG0sC).
14. Lovska A., Rybin A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision. *Eastern-Europ. J. Enterprise Technol.* Kharkiv. 2016. №3. P. 4–8. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72054>.
15. Myamlin S., Lingaitis L., Dailydka S. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie. *Transport*, Vilnius. 2015. №30. P. 88–92. URL: <https://doi.org/10.3846/16484142.2015.1020565>.
16. Fomin O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. *Metall Mining Industry*, Dnipro. 2015. №1, P. 45–48. URL: [https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI\\_2015\\_1/9%20Fomin.pdf](https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_1/9%20Fomin.pdf).
17. Кара С.В. Покращення показників динаміки та міцності ходової частини вантажних вагонів шляхом конструктивного вдосконалення. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Сєверодонецьк. 2017. № 5(235). С. 55-60. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSUNU\\_2017\\_5\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSUNU_2017_5_14).

18. Фоміна А.М. Удосконалення конструкцій вантажних вагонів шляхом розроблення їх мультифункціональних складових: дис. доктора філософії: 05.22.07. Сєверодонецьк. 2021. 201 с.

19. Фомин А.В., Федосов-Никонов Д.В. Научно-практическое исследование прочности рамы длиннобазной платформы. *Вестник науки и образования*. 2018 №10 (46), С. 8–15. URL: [https://www.researchgate.net/publication/337480932\\_NAUCNO-PRAKTICESKOE\\_ISSLEDOVANIE\\_PROCNOSTI\\_RAMY\\_DLINNOBAZNOJ\\_P\\_LATFORMY](https://www.researchgate.net/publication/337480932_NAUCNO-PRAKTICESKOE_ISSLEDOVANIE_PROCNOSTI_RAMY_DLINNOBAZNOJ_P_LATFORMY).

20. Хозя П.О. Проблемні питання експлуатації бункерних вагонів-хоперів для перевезення зерна. *Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад»*. Кременчук. 2019. №18. С. 4–25. URL: [https://ukrndiv.com.ua/wp-content/uploads/2020/02/rrS18\\_compressed.pdf](https://ukrndiv.com.ua/wp-content/uploads/2020/02/rrS18_compressed.pdf).

21. 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>.

22. Правила експлуатації власних вантажних вагонів. Затв. наказом Мінінфраструктури України 29.01.2015. Київ, 2015. 11 С. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0168-15#Text>.

23. СТП 04-010:2018. Стандарт підприємства. Вагони вантажні. Система технічного обслуговування та ремонту за технічним станом. Київ, 2019. 29 с.

24 ЦВ-0043 Інструкція з технічного обслуговування вантажних вагонів в експлуатації, Київ, 2008. 196 с.

25. СТП 04-021:2020 Вагони вантажні залізниць колії 1520 мм. Правила з технічного обслуговування з відчепленням. Київ, 2020. 33 с.

26. СТП 04-032:2020. Вагони вантажні. Настанова з деповського ремонту. Київ, 2020. 159 с.

27. СТП 04-016:2018. Вагони вантажні залізничного транспорту колії 1520 (1524) мм. Настанова з капітального ремонту. Київ, 2018. 183 с.

28. СТП 04-020:2018. Вагони вантажні та контейнери. Правила ремонту при зварюванні та наплавленні. Київ, 2018. 247 с.
29. СТП 04-102:2021. Вагони вантажні. Технічне обслуговування. Правила з підготовки вантажних вагонів до перевезень. Київ, 2021. 58 с.
30. ЦВ-0063. Правила виключення вантажних вагонів із інвентарного парку. Київ, 2005. 38 с.
31. Довідка ГПОЦ УЗ 2020 ВУ. Виконані ремонти за обраними критеріями. URL: <http://10.1.100.7>.
32. Класифікатор. Основні несправності вантажних вагонів (КЖА 2005 04). Москва. 2004. 16 с.
33. Петренко В. О., Гордієнко Т. М. Експлуатаційні відмови вагонів-хоперів для перевезення зерна. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2020. №1 С. 40-49. URL: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2020-134-1-40-49>.
34. Петренко В.О., Іщенко В.М. Аналіз відмов вагонів-хоперів для перевезення зерна. *Збірник тез II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Виклики та перспективи розвитку транспортної інфраструктури України» (3 – 5 квітня 2024 року)*. м. Київ. С. 665 – 666. URL: <https://duit.edu.ua/research-activities/conferences/all-ukrainian-scientific-practical-conferences/>.
35. Петренко В.О. Застосування методів неруйнівного контролю при проведенні робіт з продовження строку служби несучих конструкцій рухомого складу залізничного транспорту. Системний аналіз результатів. *78 Міжнародна науково-практична конференція "Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту" (17 – 18 травня 2018 року)*. м. Дніпро. С. 62-63. URL: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/10501>.
36. ПМ.НДКТІ 001-2016 Вагони-хопери криті для зерна, що вичерпали призначений заводом-виробником термін служби. Програма та методика технічного діагностування. Київ: НДКТІ, 2016. 38 с.
37. Недужа Л.О., Швець А.О. Теоретичні та експериментальні дослідження міцнісних якостей хребтової балки вантажного вагона. *Наука та прогрес*



транспорт. Вісник ДНУЗТ. Дніпро. 2018. №1. С. 131-147. URL: <https://doi.org/10.15802/stp2018/123457>.

38. Нормы для расчёта и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – Москва:ВНИИЖТ, 1996. 352с.

39. Сахарова А. С., Альтенбах И. Метод конечных элементов в механике твердых тел. К.: Вища школа, 1982. 480 с.

41. Weber M., Verma G. SolidWorks Simulation 2017 Black Book. CAD/CAM/CAE Works, 2016. 362 p.

42. 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>

43. Shih R.H., Schilling P.J. Parametric Modeling with SOLIDWORKS 2022. / R.H. Shih, P.J. Schilling. – SDC Publications, 2022. 600 p.

44. Planchard D.C. SOLIDWORKS 2020 Quick Start. / D.C. Planchard. – SDC Publications, 2020. – 280 p.

45. Tran P. SOLIDWORKS 2024 Basic Tools: Getting Started with Parts, Assemblies and Drawings. / P. Tran. – SDC Publications, 2024. – 706 p.

46. 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>.

47. Петренко В. О., Буліч Д. І. Дослідження можливостей відновлення хребтової балки вантажних вагонів в районі шворневого вузла на основі вагона-зерновоза моделі 19-752. Залізничний транспорт України. Київ. 2018. №4. С. 27-36. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU\\_2018\\_4\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2018_4_6).

48. Петренко В.О. Проект модернізації хребтових балок вагонів-зерновозів моделі 19-752 для продовження їх терміну служби. II Міжнародна конференція RAIL EXPO "Вагонобудування та ремонт рухомого складу в Україні" (16 – 18

жовтня 2018 року). м. Київ. URL: <https://railexproua.com/vahonobuduvannia-17-10-2018>.

49. 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>.

50. Петренко В.О. Обґрунтування ефективності модернізації рами вагона-зерновоза шляхом теоретично-експериментальних досліджень. *Збірник тез Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, молодих вчених та викладачів (4 – 6 квітня 2023 року)*. м. Київ. С. 564 – 565. URL: <https://duit.edu.ua/research-activities/conferences/all-ukrainian-scientific-practical-conferences>.

51. Прокопенко П.М., Петренко В.О., Кара С.В. Дослідження причин виникнення дефектів в базовій конструкції вагона-зерновоза після тривалої експлуатації. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2023. № 3, С. 49-60. URL: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2023-148-3-49-60>.

52. Петренко В.О., Яценко Л.Ф. Дослідження заклепкового з'єднання хребтової балки із заднім упором поглинаючого апарату вагона – зерновоза. 82 *Міжнародна науково-практична конференція "Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту"*, (20-21 квітня 2023). м. Дніпро С. 298 – 299. URL: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/16951>.

53. Блохин Е.П., Горобец В.Л., Кулешов В.П., Саввин Ю.И. О модели сопротивления усталости несущих конструкций тягового подвижного состава для оценки их остаточного ресурса. *Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. Володимира Даля*. Сєвєродонецьк. 2000. №10. С. 31-42. URL: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/83ab542c-241c-4cd5-968d-eade322c751c/content>.

54.. Батюшин І.Є, Грищенко С.Г., Дьомін Р.Ю., Дьомін Ю.В., Черняк Г.Ю. Сучасні підходи до нормативних оцінок міцності несучих елементів екіпажних

частин, динамічних якостей локомотивів та їх дії на колію. Локомотив-Інформ. Харків. 2010. № 2. С. 24-27.

55. Кара С.В., Петренко В.О., Прокопенко П.М., Гордієнко Т.М. Дослідження несучих конструкцій тепловозів серії ЧМЕЗ та визначення можливості продовження терміну їх експлуатації. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2019. №3. С. 9 – 13. URL: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2019-131-2-09-13>.

56. Алямовский А.А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006/2007. Инженерный анализ методом конечных элементов. Москва, 2007. 784 с.

57. Дьомін Р. Ю., Черняк Г. Ю. До оцінки втомної довговічності несучих конструкцій екіпажної частини локомотивів. *Залізничний транспорт України*. 2010. №1. С. 38-40. URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?I21DBN=JRN&P21DBN=JRN&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=I=&S21COLORTERMS=0&S21STR=%D0%9615098](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=JRN&P21DBN=JRN&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=I=&S21COLORTERMS=0&S21STR=%D0%9615098).

58. Uhl T. Identification of loads in mechanical structures. *Computer assisted Mechanics and Engineering Sciences*. 2002. № 1. P. 151-160.

59. Мороз В.І. Основи розрахунків на міцність. Конспект лекцій. Харків: УкрДАЗТ, 2012. – 127 с. URL: <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/6045/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9.pdf>.

60. Петренко В.О., Кельріх М. Б., Прокопенко П. М., Кара С. В. Оцінка несівної здатності модернізованої рами вагона-зерновоза. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2022. № 3. С. 4-10. URL: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2022-144-3-04-10>.

61. Petrenko V. O., Ishchenko V. M. Strengthening Riveted Joints of the Grain Rail Car Backstop. *Strength of Materials*. 2023. Vol. 55, № 6,. 1192-1200. URL: <https://doi.org/10.1007/s11223-024-00609-9>.

62. Петренко В. О., Серняєв О. Г., Браславець Ю. В. Нові підходи до ремонту зварюванням рухомого складу залізниць України. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2017. №4. С. 58-67. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU\\_2017\\_4\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2017_4_10).

63. Петренко В. О., Серняєв О. Г., Браславець Ю. В. Усунення дефектів несучих конструкцій тягового рухомого складу залізничного транспорту методом зварювання згідно діючих правил ремонту. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2016. №3 – 4. С. 88-93. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU\\_2016\\_3-4\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2016_3-4_15).

64. 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>.

65. Горбунов М.І., Ноженко О.С., Кара С.В., Кравченко К.О., Кравченко К.О., Макарова В.Д. Обґрунтування технічних рішень щодо підвищення міцності візка вантажного вагона. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. Сєверодонецьк. 2015. № 1 (218). С. 200-203. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSUNU\\_2015\\_1\\_44](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSUNU_2015_1_44).

66. Кара С.В. Підвищення міцності та покращення показників динаміки елементів ходової частини вантажних вагонів шляхом конструктивного вдосконалення: Дис. канд. техн. наук. Сєверодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2018. 146 с.

67. Патент України на корисну модель № 131586, МПК (2006): B61D7/00, B61D 17/00, Критий вагон-хопер для перевезення зерна. Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Цимбалюк А.В., Фоміна А.М. Бюл.№ 2/2019.

68. Дьомін Р.Ю. Контролепридатність при технічному діагностуванні несучих конструкцій тягового рухомого складу з метою подовження призначеного терміну служби. Восьма науково-практична конференція

"Перспективи впровадження технічних засобів безпеки руху на залізницях України". Миргород. №2-4. 2008. С. 28–29.

69. Казак І.О. Сучасні методи проектування. Конспект лекцій з кредитного модуля для студ. денної форми навчання освітньо-кваліфікаційного рівня спеціаліст, магістр зі спеціальності 131 «Прикладна механіка». НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Київ. 2017. 65 с. URL: [https://cpsm.kpi.ua/Doc/konsp\\_suchasni\\_metodi.pdf](https://cpsm.kpi.ua/Doc/konsp_suchasni_metodi.pdf).

70. Патент України на корисну модель №135500 (51) МПК (2006) B61D 17/00 B61D 17/04 (2006.01). Спосіб підвищення конструкційної міцності хребтової балки вантажного вагона. Зайцев В.О.; Петренко В.О.; Браславець Ю.В.; Кара С.В.; Прокопенко П.М.; Кошель О.О.; Яценко Л.Ф.; публ. 10.07.2019, Бюл. № 13. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=259991>.

71. Кара С.В., Петренко В.О., Прокопенко П.М. Проведення періодичних контрольних випробувань вантажних вагонів з метою підвищення ефективності їх використання. *Science, society, education: topical issues and development prospects. Abstracts of VII International Scientific and Practical Conference (Kharkiv, Ukraine 7-9 June 2020)*. Р. 328-330.

72. 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.

73. 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://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU\\_2018\\_4\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2018_4_7).

74. 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>.

75. 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>.

76. Мехеда В.А. Тензометрический метод измерения деформаций: учеб. Пособие. Изд-во Самар. Самара. 2011. 56 с.

77. ДСТУ EN 13018:2017. Неруйнівний контроль. Візуальний контроль. Загальні принципи. Київ, 2017. 8 с.

78. ДСТУ EN ISO 9934-1:2018. Неруйнівний контроль. Магнітопорошковий контроль. Частина 1. Загальні вимоги. Київ, 2018. 24 с.

79. ДСТУ EN ISO 16810:2016. Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Загальні вимоги. Київ, 2016. 20 с.

80. ПМ.НДКТІ 001-2016 Вагон-хопер модернізований критий для зерна. Програма та методика контрольних випробувань. Київ. НДКТІ. 2017. 24 с.

81. Науковий твір. Програма та методика ресурсних випробувань вагона-хопера модернізованого для зерна. Кара С.В., Малишко І.В., Коломієць О.П., Ігнатенко В.С., Бідун О.М., Петренко В.О. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір від 10 серпня 2020 №98806.

82. Kehtarnavaz N., Mahotra S. Digital Signal Processing Laboratory: LabVIEW-Based FPGA Implementation. BrownWalker Press, 2010. 468 p.

83. РД.24.050.37.95 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества». Москва. 1995. 86 с.

84. ДСТУ ГОСТ 33211:2017 «Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей». Москва. 2017. 58 с.

85. ПМ.НДКТІ.УК 004-2022 Криті хопери для зерна, що вичерпали призначений заводом-виробником термін служби. Програма та методика технічного діагностування (контроль технічного стану та контрольні випробування). Київ. НДКТІ. 2022. 46 с.

86. НДКТІ/НВЦ УІ 002-18. Модернізований вагон-хопер для перевезення зерна моделі 19-752. Програма та методика підконтрольної експлуатації (Експлуатаційні випробування). Київ. 2018. 18 с.

87. Науковий твір. Програма та методика експлуатаційних випробувань модернізованого вагона-хопера моделі 19-752. Малишко І.В., Коломієць О.П., Ігнатенко В.С., Прокопенко П.М., Бідун О.М., Петренко В.О., Кошель О.О., Буліч Д.І. Свідectvo про реєстрацію авторського права на твір від 10 серпня 2020 №98821.

88. Петренко В. О., Буліч Д. І. Оцінка стану несучих конструкцій вантажних вагонів з продовженням терміном строку служби. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2017. №1. С. 48-52. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU\\_2017\\_1\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2017_1_10).

89. ДСТУ EN ISO 9712:2014. Неруйнівний контроль. Кваліфікація та сертифікація персоналу неруйнівного контролю. Київ, 2014. 39 с.

90. Довідка ГІОЦ УЗ 2087 ВУ. Кількість вантажних вагонів (всіх та вагонів України у тому числі), які відчеплювалися по кожній несправності до поточного ремонту на залізницях УЗ. URL: <http://10.1.100.9>.

91. ДСТУ 3433-96 Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення. Київ, 1996. 46 с.

92. Петренко В.О. Аналіз відмов модернізованих рам вагонів для перевезення зерна моделі 19-752. *Збірника наукових праць "Рухомий склад"*. Кременчук. № 25. С. 144-151. URL: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2022-25-144-152>.

93. Фомін О.В., Стукало А.В. Оцінка ефективності використання вантажних вагонів удосконалених конструкцій з урахуванням мультиплікативного ефекту для економіки України. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту*. Київ. №35. 2016. С. 130-141. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpdetut\\_eiu\\_2016\\_35\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpdetut_eiu_2016_35_16).

94. Мартинов І. Е., Калабухін Ю. Є., Равлюк В. Г., Тимофєєва Т. О. Впровадження інновацій у сферу вагоноремонтного підприємства та їх економічна ефективність. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів. УкрДАЗТ. Кафедра «Вагони». Харків. 2013. 38 с.

95. Пилипенко О.В., Демченко М.А. Економіка вагонного господарства в умовах реформування залізничного транспорту. Методичні вказівки та завдання до виконання курсової роботи для студентів спеціальності «Вагони та вагонне господарство». ДЕТУТ. Київ. 2013. 34 с.



## ДОДАТОК А. Акти впровадження

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор філії «НДКТІ»

АТ «Укрзалізниця»



Валентин ПУСТОВГАР

«10»

03

2025 року

### АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи

Петренка Вячеслава Олександровича

на тему: «Покращення несної здатності рами вагонів-хоперів для перевезення зерна шляхом удосконалення конструкції та методів розрахунку»

Цим актом підтверджується, що у філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» акціонерного товариства «Українська залізниця» впроваджені результати досліджень проведених Петренком В.О., які увійшли до його дисертації, представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за темою «Покращення несної здатності рами вагонів-хоперів для перевезення зерна шляхом удосконалення конструкції та методів розрахунку».

#### 1. Вид впровадження результатів

Удосконалення розрахункової моделі рами вагон-хопера для перевезення зерна, шляхом впровадження додаткових режимів навантаження, які враховують сили від нерівномірного завантаження вагона.

Розробка уточнених за результатами досліджень програмних документів: програми та методики технічного діагностування вагонів-хоперів для перевезення зерна з метою продовження строку експлуатації; програми та методики ресурсних випробувань вагона-хопера модернізованого для зерна (Свідectvo про реєстрацію авторського права на твір від 10 серпня 2020 №98806), програма та методики експлуатаційних випробувань модернізованого вагона-хопера моделі 19-752 (Свідectvo про реєстрацію авторського права на твір від 10 серпня 2020 №98821).

Проектування нових конструкційних рішень для вантажних вагонів з застосуванням результатів аналізу можливого накопичення напружень шляхом порівнювання нормальних та дотичних напружень з границею витривалості за дотичними напруженнями при пульсуючому циклі.

#### 2. Форма впровадження результатів

1. Розрахункова модель рами вагон-хопера для перевезення зерна використовується інженерами філії "НДКТІ" для уточнення карт контролю технічного стану вагонів-зерновозів при їх технічному діагностуванні з метою продовження терміну експлуатації;

2. Програма та методика технічного діагностування вагонів-хоперів для перевезення зерна з метою продовження строку експлуатації; програма та методика ресурсних випробувань вагона-хопера модернізованого для зерна; програма та методики експлуатаційних випробувань модернізованого вагона-хопера моделі 19-752.

3. Результати аналізу можливого накопичення напружень шляхом порівнювання нормальних та дотичних напружень з границею витривалості за дотичними напруженнями при пульсуючому циклі використовуються для проєктування модернізацій рухомого складу залізничного транспорту в АТ "Укрзалізниця"

### **3. Новизна отриманих результатів**

Вперше науково обґрунтовано застосування в математичній моделі прогнозування ресурсу несних конструкцій вантажних вагонів додаткового коригуючого коефіцієнту, який враховує нерівномірність завантаження вагона-хопера для перевезення зерна з метою покращення несної здатності його рами.

### **4. Соціальний та науково-технічний ефект**

Впровадження результатів досліджень дисертації в процес технічного діагностування та експлуатації вагонів-хоперів для перевезення зерна за межами призначеного строку служби, дозволяє підтримувати необхідний рівень безпеки їх несних конструкцій до 45 років з врахуванням особливостей експлуатації таких вагонів, зокрема у випадку їх нерівномірного завантаження.

Застосування уточненої розрахункової моделі рами кузова вагона-хопера для перевезення зерна дає можливість отримувати більш точні результати міцнісних розрахунків та підвищувати якість контролю технічного стану для технічного діагностування відповідного рухомого складу за межами призначеного строку служби.

Створення нових технічних рішень для несних конструкцій вантажних вагонів з врахуванням результатів аналізу можливого накопичення напружень шляхом порівнювання нормальних та дотичних напружень з границею витривалості за дотичними напруженнями при пульсуючому циклі дає змогу отримувати більш точну кореляцію результатів теоретичних та експериментальних досліджень, що якісно підвищує рівень впровадження нових конструкційних рішень для модернізації рухомого складу.

Начальник  
Науково-впроваджувального центру  
(випробувальної лабораторії)  
філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця»



Володимир ПОВИСШИЙ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор філії

«УЗ ВАГОН-СЕРВІС»

АТ «Укрзалізниця»

 Д. ГЛУЩЕНКО

2025 року

**АКТ**

**про використання результатів дисертаційної роботи  
Петренка Вячеслава Олександровича  
на тему: «Покращення несної здатності рами вагонів-хоперів для перевезення  
зерна шляхом удосконалення конструкції та методів розрахунку»**

Цей акт підтверджує, що у філії «УЗ ВАГОН-СЕРВІС» Акціонерного товариства «Українська залізниця» впроваджені результати науково-дослідної роботи проведеної Петренком В.О., які увійшли до його дисертації «Покращення несної здатності рами вагонів-хоперів для перевезення зерна шляхом удосконалення конструкції та методів розрахунку», при ремонті та модернізації вагонів-зерновозів моделі 19-752 з метою забезпечення їх подальшої експлуатації.

**1. Вид впровадження результатів**

Проект модернізації НДКТІ.19-752.00.00.000 ТІ, який розроблено на підставі запропонованого автором конструкційного рішення "Спосіб підвищення конструкційної міцності хребтової балки вантажного вагона" Патент України на корисну модель №135500.

**2. Форма впровадження результатів**

При ремонті вагонів-хоперів для перевезення зерна моделі 19-752 впроваджено проект модернізації НДКТІ.19-752.00.00.000 ТІ, який розроблено за результатами дисертаційного дослідження в рамках науково-дослідної роботи Плану науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт та розроблення нормативної документації АТ "Укрзалізниця".

**3. Новизна отриманих результатів**

В дисертаційній роботі запропоновано нове конструкційне рішення щодо удосконалення рами вагона-хопера для перевезення зерна моделі 19-752, яке розроблено на підставі теоретичних та експериментальних досліджень, що враховують особливості експлуатації цього виду рухомого складу, зокрема можливість їх експлуатації, які враховують випадки нерівномірно розподіленого вантажу до 10%.

**4. Соціальний та науково-технічний ефект**

Результати цього дослідження дозволяють виконувати модернізацію рам вагонів-хоперів для перевезення зерна моделі 19-752 з покращенням їх несної здатності, що забезпечує можливість подальшої безпечної експлуатації вагонів-зерновозів моделі 19-752 за межами призначеного строку служби.

Виконавець

  
14.03.2025



**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Директор Київського інституту  
залізничного транспорту  
Державного університету  
інфраструктури та технологій



Володимир ТВЕРДОМЕД  
«16» 03 2025 року

**АКТ**

**про використання результатів дисертаційної роботи  
Петренка Вячеслава Олександровича  
на тему: «Покращення несної здатності рами вагонів-хоперів для перевезення  
зерна шляхом удосконалення конструкції та методів розрахунку»**

Цей акт складено про те, що в навчальному процесі Державного університету інфраструктури та технологій кафедрою «Вагони та вагонне господарство» використовуються матеріали дисертації Петренка В.О. «Покращення несної здатності рами вагонів-хоперів для перевезення зерна шляхом удосконалення конструкції та методів розрахунку».

**1. Вид впровадження результатів**

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. Аналіз відмов парку вагонів-хоперів для перевезення зерна.
2. Порівняльний аналіз особливостей конструкції вагонів-хоперів для перевезення зерна.
3. Особливості розрахунків несних конструкцій вагона-хопера для перевезення зерна.
4. Програма та методика технічного діагностування вагонів-хоперів для перевезення зерна за межами призначеного строку служби.

**3. Новизна отриманих результатів**

Удосконалено I та III розрахункові режими (ДСТУ 7598) шляхом врахування розподілення сил, що діють при нерівномірному звантаженні вагона.

**4. Соціальний та науково-технічний ефект**

Впровадження результатів дисертаційного дослідження дисертації в навчальному процесі дозволяє студентам ознайомитись: з актуальними даними щодо відмов вагонів-хоперів для перевезення зерна в експлуатації; конструктивними особливостями вагонів-зерновозів нового покоління та старої конструкції, процесом проведення інженерних розрахунків несних конструкцій, сучасними підходами до проведення технічного діагностування та випробувань.

Виконавець роботи

Вячеслав ПЕТРЕНКО

Завідувач кафедри вагонів  
та вагонного господарства, к.т.н., доц.

Вадим ІЩЕНКО



НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ТА КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ФІЛІЯ

вул. І. Федорова, 39, м. Київ, 03038, тел. (44) 465-38-10,  
факс (44) 528-93-01, ndkti@uz.gov.ua

АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО  
«УКРАЇНСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ»  
АТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ»

uz.gov.ua

10.03.2025

№ 34/01

### Довідка

про використання результатів досліджень філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» в дисертаційній роботі Петренка Вячеслава Олександровича

В дисертаційній роботі на здобуття наукового ступеню доктор філософії Петренка Вячеслава Олександровича «Покращення несної здатності рами вагонів хоперів для перевезення зерна шляхом удосконалення конструкції та методів розрахунку» використовуються результати досліджень, які були проведені у філії «Науково-дослідний та дослідно-конструкторський інститут залізничного транспорту» Акціонерного товариства «Укрзалізниця» (далі – НДКТІ). Дані дослідження були проведені в рамках науково-дослідної роботи за темою: «Розробка проекту модернізації вагонів-зерновозів моделі 19-752 з відновленням несучої спроможності рами кузова» в три етапи (реєстр. №0121U114408) згідно з планом Науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт та розроблення нормативної документації АТ «Укрзалізниця» за безпосередньої участі автора дисертаційної роботи.

Філія «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» не заперечує щодо використання Петренком Вячеславом Олександровичем зазначених результатів досліджень проведених у філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» в своїй дисертаційній роботі за темою «Покращення несної здатності рами вагонів хоперів для перевезення зерна шляхом удосконалення конструкції та методів розрахунку».

Директор філії



Валентин ПУСТОВГАР

Заступник директора

Діана ШВАРЦ



201454
Випробування
70234
Інспектування

**ДОДАТОК Б. Технологічна інструкція. Модернізація вагонів-зерновозів  
моделі 19-752 з відновленням несучої спроможності рами кузова**

		ДСТУ ГОСТ 3.1105:2014		Форма І	
				1	
		Модернізація вагонів-зерновозів моделі 19-752 з відновленням несучої спроможності рами кузова			
		<b>ФІЛІЯ «НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ТА КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ» ПАТ «УКРАЇНСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ»</b>			
		<b>ПОГОДЖЕНО</b> Департаменту вагонного господарства ПАТ «Укрзалізниця»  «30» 08 2017 р.		<b>ЗАТВЕРДЖЕНО</b> Заступник директора філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця»   І.Є. Батюшин «08» 08 2017 р.	
<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ІНСТРУКЦІЯ</b> <b>МОДЕРНІЗАЦІЯ ВАГОНІВ-ЗЕРНОВОЗІВ</b> <b>МОДЕЛІ 19-752 З ВІДНОВЛЕННЯМ НЕСУЧОЇ</b> <b>СПРОМОЖНОСТІ РАМИ КУЗОВА</b>					
НДКТІ.19-752.00.00.000 ТІ					
		<b>ПОГОДЖЕНО</b> Начальник СП «Київське ПКТБ РС» філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця»   О.А. Білоус «20» 08 2017 р.		<b>РОЗРОБЛЕНО</b> Начальник управління надійності філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця»  В.О. Петренко «22» 08 2017 р.	
				Провідний інженер відділу зварювання та ремонту філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця»  Ю.В. Браславець «21» 08 2017 р.	
ТА					



## ЗМІСТ

	Арк.
1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ .....	3
2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РЕМОНТУ ТА МОДЕРНІЗАЦІЇ ХРЕБТОВОЇ БАЛКИ, ЩО МАЄ ТРІЩИНИ В ЗОНІ КЛЕПАЛЬНОГО З'ЄДНАННЯ ЗАДНЬОГО УПОРУ .....	4
3 ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ .....	11
4 ВИМОГИ ДО ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ .....	12
5 ВИМОГИ ДО ПЕРСОНАЛУ .....	15
6 ВИМОГИ ДО ОБЛАДНАННЯ .....	16
7 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ .....	17
8 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ .....	20
ДОДАТОК А – Комплект конструкторської документації НДКТІ.19-752.00.00.000. Модернізація вагонів-зерновозів моделі 19-752 з відновленням несучої спроможності рами кузова .....	25

Дубл.

Взам.

Праведн.

Розроб.

Браславець Ю.В.

21.08

Перев.

Серняев О.Г.

22.08

Н. контр.

Кузьмінов В.В.

22.08

ТІ

## 1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Ця технологічна інструкція (далі – ТІ) поширюється на вагонів-зерновозів моделі 19-752, що експлуатуються в межах залізниць України і зазнали тріщин хребтової балки в зоні клепаального з'єднання заднього упору (рисунок 1).

1.2 Ця ТІ установлює порядок та вимоги до проведення ремонту та модернізації вагонів-зерновозів моделі 19-752, що зазнали тріщин хребтової балки в зоні клепаального з'єднання заднього упору.

1.3 Керуватися цією ТІ повинні вагоноремонтні підприємства, які отримали дозвіл встановленим порядком.



Рисунок 1 – Місце виникнення тріщин в хребтових балках вагонів-зерновозів моделі 19-752, що підлягають модернізації згідно цієї ТІ

ТІ

Дубл.  
Взам.  
Гравіт.



## 2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РЕМОНТУ ТА МОДЕРНІЗАЦІЇ ХРЕБТОВОЇ БАЛКИ, ЩО МАЄ ТРІЩИНИ В ЗОНІ КЛЕПАЛЬНОГО З'ЄДНАННЯ ЗАДНЬОГО УПОРУ

2.1 Виготовити накладки згідно кресленика НДКТІ.19-752.00.00.001 (рисунок 2) із розрахунку чотири накладки на один вагон-зерновоз.

**Примітка** - Марка сталі вказана в кресленику НДКТІ.19-752.00.00.001 може бути змінена за погодженням з Замовником.

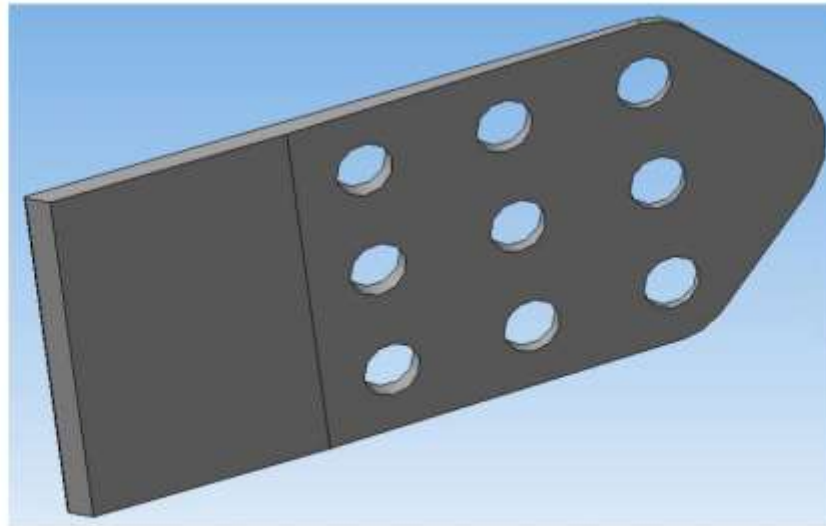


Рисунок 2 - Накладка

2.2 Вагон-зерновоз моделі 19-752 з тріщинами хребтової балки в зоні клепаального з'єднання заднього упору перемістити в цех, кузов підняти, візки викотити.

2.3 Зрізати головки та демонтувати чотири заклепки, що з'єднують задні частини задніх упорів з хребтовою балкою в місці виникнення тріщини (рисунок 3). Демонтувати заклепки в усіх подібних місцях, навіть там де не виявлено тріщини. Загальна кількість заклепок, що демонтується – 16 шт. на вагон (по чотири в кожному місці).

ПІ

Дубл.  
Взам.  
Гриводн.

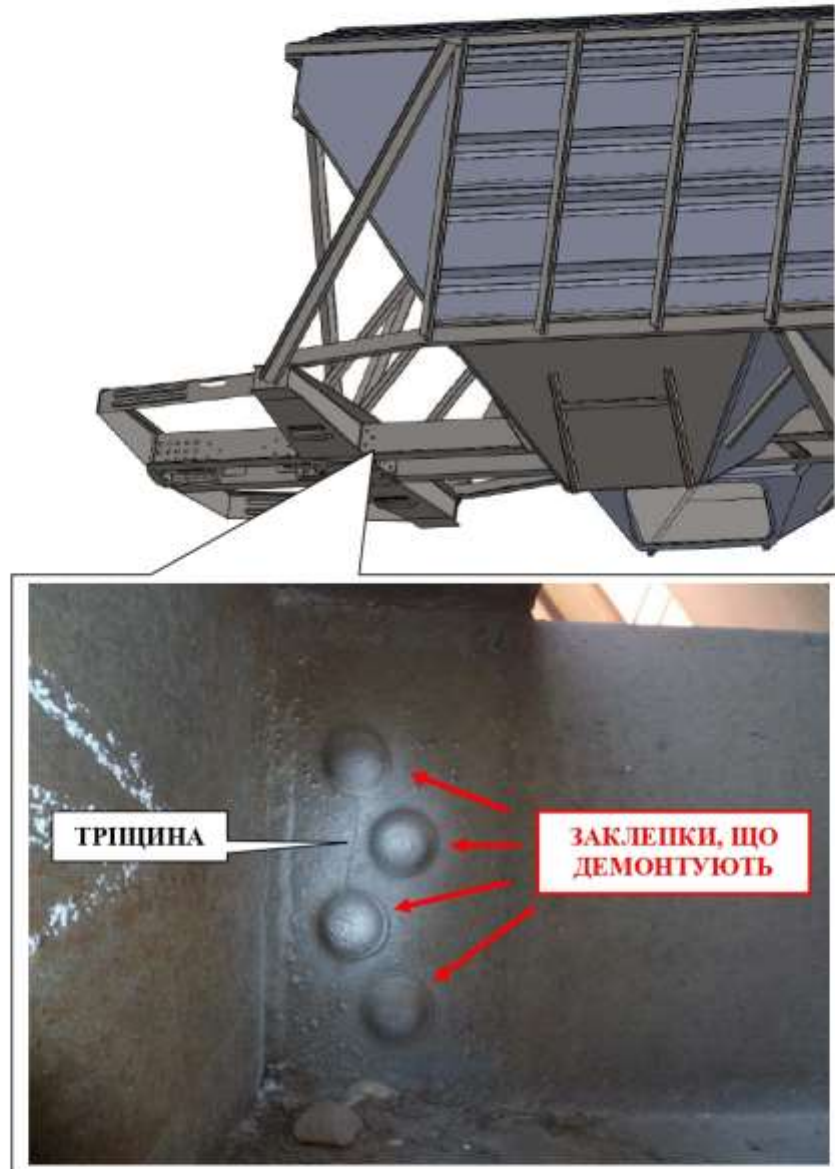


Рисунок 3 – Заклепки, що демонтують під час модернізації

Дубл.  
Взам.  
Гравіюв.

ПІ

2.4 Відрізати від задніх упорів дві частини згідно рисунку 4, як найменше пошкоджуючи метал хребтової балки. Відрізання частин задніх упорів виконувати за допомогою газополуменового або електродугового різання.

Кромки різу задніх упорів після закінчення різання повинні пройти механічну обробку згідно вимог рисунку 4.

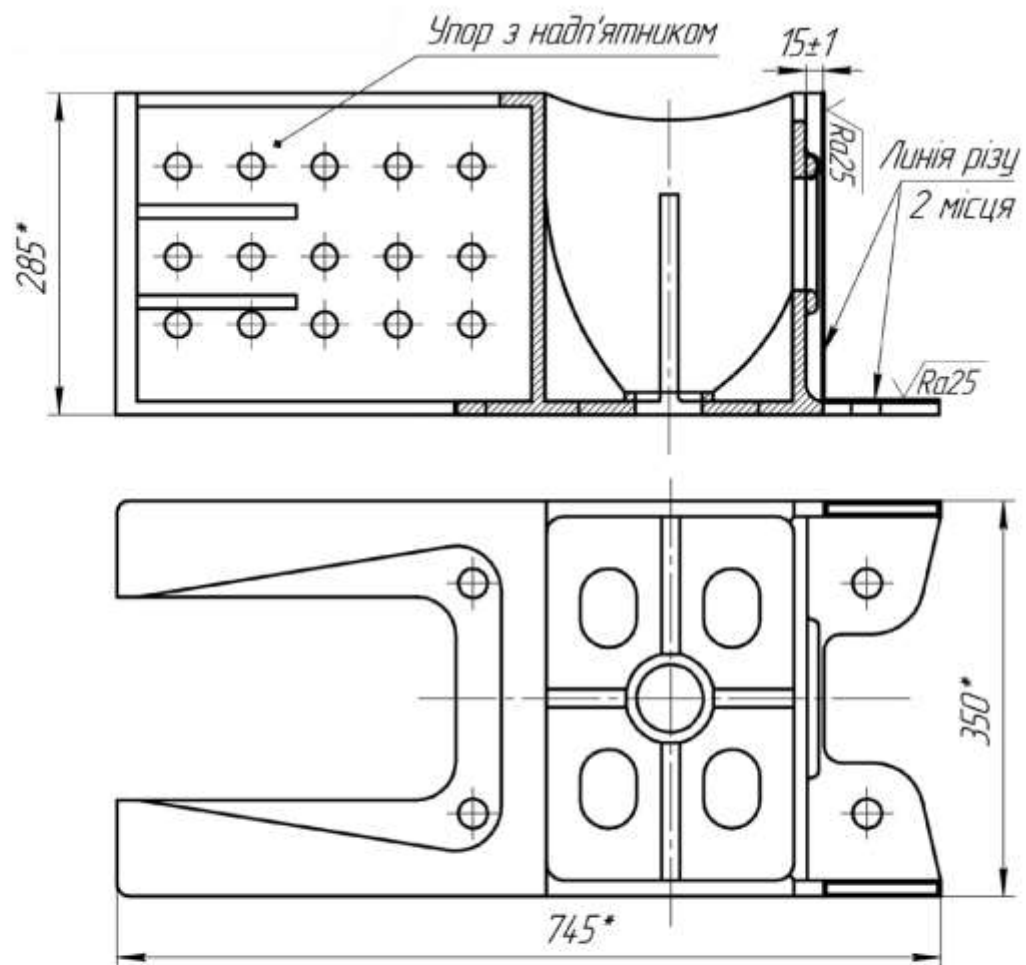


Рисунок 4 – Ескіз заднього упора з відрізнаними частинами

Дубл.  
Взам.  
Гравірун.

ПІ

## 2.5 Усунення тріщин хребтової балки зварюванням

2.5.1 Місця розташування тріщин в хребтовій балці (рисунок 1) повинні бути очищені від бруду, іржі, окалини, фарби, мастил та інших забруднень.

2.5.2 Застосувати до тріщин капілярний або магнітопорошковий методи неруйнівного контролю для визначення геометрії тріщин та їх кінців.

2.5.3 Кінці тріщин, що не закінчуються в отворі під заклепку засвердлити свердлом діаметром (8 – 10) мм. Засвердлення виконувати таким чином, щоб центр отвору співпав з кінцем тріщини або був на (3 – 5) мм далі від тріщини. Засвердлені отвори кінців тріщин для кращого провару роззенкувати на  $(1/2 - 1/3)$  товщини стінки.

2.5.4 Виконати візуальний контроль засвердлених кінців тріщин. Переконалися, що тріщини не поширюються далі засвердлених отворів.

2.5.5 Виконати розробку тріщин під зварювання. Розробку тріщин провести механічним способом або електродуговим різанням. Форма розробки тріщин наведена на рисунку 5.

**Примітка** - Розробку тріщин газополуменевим способом заборонено.

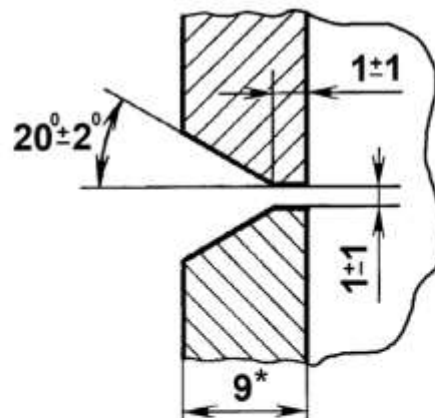


Рисунок 5 - Форма розробки тріщин під зварювання

2.5.6 Усунути розроблені тріщини в хребтовій балці за допомогою зварювання. Зварювання розроблених тріщин виконувати напівавтоматичним зварюванням у середовищі CO<sub>2</sub> електродним дротом діаметром 1,2 мм швом С17 згідно ГОСТ 14771. Режими зварювання наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Режими зварювання тріщин

Марка електродного дроту	Діаметр електродного дроту, мм	Струм зварювання, А	Напруга дуги, В	Витрати газової суміші, л/хв
Св-08Г2С	1,2	150 - 180	28	11

2.5.7 Зачистити зварні шви усунутих тріщин з внутрішньої сторони хребтової балки врівень з основним металом вертикальної стінки.

## 2.6 Встановлення накладок

2.6.1 Зачистити вертикальні стінки хребтової балки і задні упори до металевого блиску на ширину по  $20 \pm 2$  мм в усі сторони від місця постановки накладок.

2.6.2 Зачистити накладки НДКТІ.19-752.00.00.001 по зовнішньому контуру до металевого блиску на ширину  $20 \pm 2$  мм.

2.6.3 Зачищення виконувати кутовою шліфувальною машинкою або щіткою металевою.

2.6.4 Встановити чотири накладки НДКТІ.19-752.00.00.001 на хребтову балку згідно кресленка НДКТІ.19-752.00.00.000 СК і прихватити електродуговим зварюванням (рисунок 6). Місцеві зазори між накладками й вертикальними стінками хребтової балки допускають не більше 0,5 мм.

ПІ

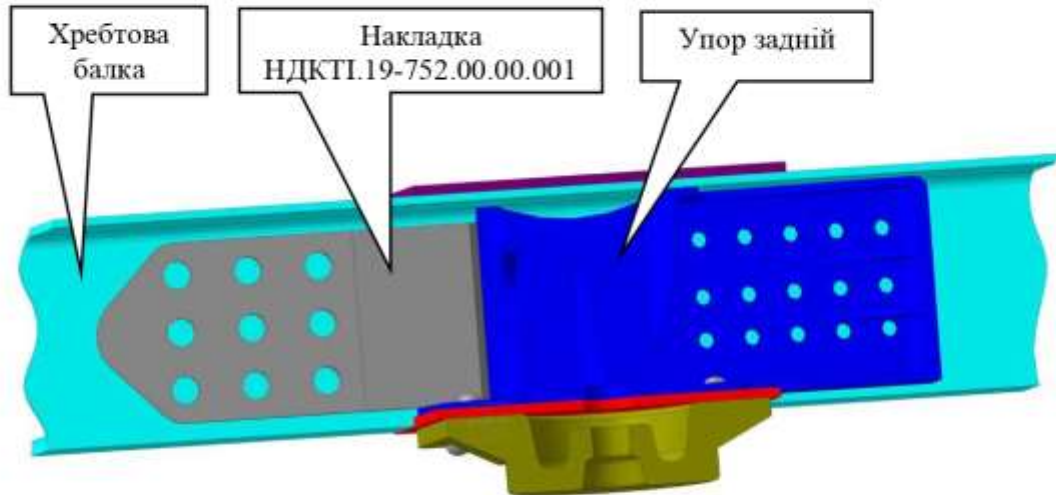


Рисунок 6 – Встановлення накладок на хребтову балку

2.6.5 Перед зварюванням нагріти газовим різакон накладку НДКТІ.19-752.00.00.001 по контуру спільно з хребтовою балкою та заднім упором. Нагрівання виконувати до температури 180 – 200 °С.

Контроль температури поверхні деталей у зоні підігріву виконувати пірометром, термопарою або термоолівцем з дотриманням вимог до експлуатування приладу.

2.6.6 Приварити послідовно чотири накладки НДКТІ.19-752.00.00.001 до хребтової балки і задніх упорів згідно кресленика НДКТІ.19-752.00.00.000 СК.

Зварювання виконувати напівавтоматичним зварюванням у середовищі CO<sub>2</sub> електродним дротом діаметром 1,2 мм згідно ГОСТ 14771. Режими зварювання наведено в таблиці 2.

Дубл.  
Взам.  
Гриводн.

ТІ

Таблиця 2 - Режими зварювання накладки

Марка електродного дроту	Діаметр електродного дроту, мм	Струм зварювання, А	Напруга дуги, В	Витрати газової суміші, л/хв
Св-08Г2С	1,2	180 - 220	28	11

2.6.7 Після закінчення зварювальних робіт зварні шви, які виконані під час модернізації та їх пришовні зони треба зачистити від шлаку та бризок.

2.6.8 Якість зварних швів, які виконані під час модернізації та їх пришовних зон після охолодження, потрібно перевірити неруйнівними методами контролю згідно вимог пункту 4.7 цієї ТІ.

2.6.9 Зовнішня поверхня накладок НДКТІ.19-752.00.00.001, зварні шви, які виконані під час модернізації та їх пришовні зони потрібно заґрунтувати. Ґрунтування треба виконувати після проведення неруйнівного контролю. Поверхні перед ґрунтуванням треба висушити, очистити від іржі, окалини та нанесених під час неруйнівного контролю матеріалів.

ТІ

Дубл.

Взам.

Грунт.



### 3 ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ

3.1 Матеріали, що застосовують під час модернізації, мають бути відповідні до чинних Державних стандартів України.

3.2 Матеріали, що застосовують під час модернізації, повинні пройти вхідний контроль згідно з ГОСТ 24297 і бути відповідні до марок і типів, що зазначені в конструкторській документації та мати сертифікат якості.

3.3 Якість сталі, що використовують під час модернізації, встановлюють на основі сертифікатів підприємства-виробника металу. Пакування, маркування і документація мають бути згідно ДСТУ 2651/ГОСТ 380, ДСТУ 3058 (ГОСТ 7566). У разі відсутності супровідної документації якість матеріалів треба підтверджувати аналізом (випробуванням) у лабораторії підприємства, яке виконує модернізацію.

3.4 Зварювальні матеріали, що використовують при модернізації повинні мати документи, що підтверджують якість. Пакування, маркування і документація мають бути згідно з ДСТУ EN ISO 544. Застосування матеріалів без наявності необхідної підтверджуючої документації не дозволено.

3.5 Сталь, що використовують під час модернізації, потрібно зберігати в закритих складах або під навісами згідно з вимогами на цей матеріал.

3.6 Зварювальні матеріали, що використовують під час модернізації треба зберігати в закритому, сухому приміщенні згідно з вимогами на цей матеріал.



#### 4 ВИМОГИ ДО ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ

4.1 Накладки, що встановлюють під час модернізації та прилеглі до них поверхні хребтової балки та задніх упорів потрібно зачистити на ширину не менше 20 мм з обох сторін від кромки накладки. Зачищення треба виконувати до повного усунення іржі, окалини, ґрату, бризок, фарби, мастил та інших забруднень.

4.2 Зачищення кромки під зварювання виконувати механічним способом (кутовою шліфувальною машинкою, металевою щіткою, наждачним крутом тощо), знежирення – ацетоном або іншими розчинами з обтиральним матеріалом із бавовняної, безворсової тканини.

4.3 Зварювальні роботи треба виконувати у закритих приміщеннях при температурі не нижче плюс 5 °C і відсутності протягів.

4.4 Зварювання виконувати при попередньому підігріві поверхні накладок, хребтової балки та задніх упорів у зоні зварювання (газовим полум'ям або іншими джерелами тепла) на відстані  $50 \pm 5$  мм по обидві сторони від майбутнього зварного шва до температури плюс 180 – 200 °C.

4.5 При перевищенні, під час зварювання, температури металу в зоні зварювання (20 мм по обидві сторони від зварного шва) вище плюс 400 °C, зварювання треба тимчасово припинити і розпочати після охолодження металу в зоні зварювання до температури плюс 180-200 °C.

Контроль температури поверхні деталей у смузі підігріву виконувати пірометром, термопарою з дотриманням вимог до експлуатування приладу, або термоолівцем.

4.6 Під час зварювання потрібно дотримуватись таких вимог:

- режими зварювання перевіряти на пробних пластинах товщиною  $t=15$  мм, з матеріалу того ж типу, що й деталі, які зварюють;

ТІ

- після виконання кожного проходу зварник повинен змінити напрямок руху електрода на протилежний до попереднього. Збудження дуги треба виконувати, відступивши по ходу зварювання на 10–15 мм від початку зварного шва. Потім рухатись до початку шва і продовжити зварювання до накладення потрібного валика;

- кожний наступний наплавлений валик повинен перекривати попередній на 1/3 його ширини. Потрібно щоб крайні валики посилення шва перекривали на (2 – 4) мм зварювальні кромки.

- у випадку обриву дуги, перед поновленням зварювання, збудження дуги відновлюють на раніше виконаному шві на відстані 10–20 мм від кратеру цього шва;

- після закінчення зварювальних робіт зварні шви, які виконані під час модернізації та їх пришовні зони повинні бути зачищені від шлаку та бризок;

- зварні шви, які виконані під час модернізації повинні мати клеймо зварника, що їх виконував.

#### 4.7 Вимоги до перевірки якості зварних з'єднань

4.7.1 Готові зварні з'єднання, виконані під час модернізації після їх охолодження, підлягають перевірці якості застосовуючи такі методи неруйнівного контролю:

- візуальний метод згідно ДСТУ EN 13018, ДСТУ ISO 17637, ДСТУ ISO 17635;

- магнітопорошковий метод згідно ДСТУ EN ISO 9934-1 (EN ISO 9934-1:2015, IDT; ISO 9934-1:2015, IDT), ДСТУ EN ISO 23278, ДСТУ EN ISO 17638;

- ультразвуковий метод згідно з ДСТУ EN ISO 11666, ДСТУ EN ISO 17640.

ПІ

4.7.2 За результатами неруйнівного контролю зварних з'єднань складають протоколи неруйнівного контролю. Протоколи складають окремо по кожному застосованому виду неруйнівного контролю і зберігають на підприємстві, яке виконувало модернізацію.

4.7.3 Визначення дефектів у зварних з'єднаннях виконувати відповідно до ДСТУ EN ISO 6520-1 (EN ISO 6520-1:2007, IDT; ISO 6520-1:2007, IDT).

4.7.4 У зварних з'єднаннях не допускаються такі дефекти:

- тріщини всіх видів і напрямків, розміщені в металі шва, по лінії сплавлення і в пришовній зоні основного металу, в тому числі мікротріщини;

- непровари у зварних швах, які розміщені в корені шва або по перерізу зварного з'єднання;

- подрізи основного металу, пори, шлакові та інші включення, розміри яких перевищують допустимі значення, зазначені в нормативній документації;

- напливи;

- несплавлення;

- незаварені кратери і пропали;

- свищі.

4.7.5 Якість зварних з'єднань вважають незадовільною, якщо в них при будь-якому виді контролю будуть виявлені внутрішні або зовнішні дефекти, які виходять за межі норм, передбачених нормативною документацією.

4.7.6 Дефектні відрізки зварних швів, що виявленні при всіх видах контролювання, повинні бути видалені механічним способом, знову заварені та перевірені згідно вимог цієї ТІ.

ТІ

Дубл.

Взам.

Група 01.

## 5 ВИМОГИ ДО ПЕРСОНАЛУ

5.1 До зварювання допускають зварників, які витримали теоретичні і практичні випробування відповідно до ДСТУ EN ISO 9606-1 (EN ISO 9606-1:2013, IDT; ISO 9606-1:2013, IDT), ДСТУ ISO 14732, СОУ 35.2-00017584-030-1 і мають посвідчення встановленого зразку.

5.2 Керівництво та контроль за дотриманням технології і якості зварювальних робіт під час модернізації вагонів повинен здійснювати інженерно-технічний персонал, який знає технологію ремонту та модернізації, положення стандартів, технологічні процеси та іншу чинну нормативну документацію на зварювання цього виробу.

5.3 Неруйнівний контроль зварних з'єднань повинні виконувати фахівці з неруйнівного контролю, які мають належну професійну підготовку, кваліфікацію та сертифіковані відповідно до ДСТУ EN ISO 9712 і мають сертифікат і посвідчення встановленого зразку.

Дубл.

Взам.

Гранд.

ПІ

## 6 ВИМОГИ ДО ОБЛАДНАННЯ

6.1 Зварювальне обладнання повинно бути у справному стані згідно ДСТУ 2750 (ГОСТ 21694) та забезпечено контрольно-вимірювальними приладами, які дозволяють забезпечити режими та надійність роботи, задані цією ТІ.

6.2 Коливання напруги мережі живлення, до якої підключено зварювальне обладнання, не повинно перевищувати 5% від номіналу.

6.3 Обладнання з неруйнівного контролю підлягає періодичній повірці відповідно до міжповірочних інтервалів, які наведені в настанові щодо експлуатування на відповідний прилад.

ТІ

Дубл.  
Взам.  
Грандон.

## 7 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ

### 7.1 Вимоги безпеки до організації виробництва

7.1.1 Технологічний процес та обладнання під час ремонту та модернізації вагонів повинні відповідати вимогам ДСТУ 2456, ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.3.002, ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.3.020.

7.1.2 Опалення, вентиляція та кондиціювання повітря у виробничих приміщеннях повинні відповідати вимогам ДБН В.2.5-67.

7.1.3 Організація вантажно-розвантажувальних робіт повинна відповідати вимогам ГОСТ 12.3.009, роботи повинні бути механізовані відповідно до вимог НПАОП 63.21-1.22.

Будова, утримання, огляд і експлуатування підйомних механізмів та знімних вантажозахоплювальних пристосувань повинні відповідати вимогам чинної нормативної документації.

7.1.4 Рівень освітленості на робочих місцях повинен відповідати вимогам ДБН В.2.5-28.

7.1.5 Вимоги безпеки під час обробки металів різанням повинні відповідати ГОСТ 12.3.025.

7.1.6 Вимоги безпеки під час термічної обробки металів повинні відповідати ГОСТ 12.3.004.

### 7.2 Вимоги безпеки до зварювальних робіт

7.2.1 Під час виконання зварювальних робіт забезпечення оптимальних умов праці повинні виконувати відповідно до вимог ДСТУ 2456, ГОСТ 12.1.005, ГОСТ 12.1.007, ГОСТ 12.3.003, ГОСТ 12.4.123, НАПБ А.01.001, НАПБ В.01.010 (ЦУО-0038), ДСН 3.3.6.042.

ТІ

Дубл.

Взам.

Група 01.

7.2.2 Виробничі приміщення повинні бути обладнані загальною обмінною припливно-витяжною і місцевою вентиляцією відповідно до вимог ДБН В.2.5-67.

### 7.3 Вимоги безпеки до персоналу

7.3.1 Працівників, які задіяні в процесі ремонту та модернізації вагонів повинні забезпечувати спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту згідно з вимогами НПАОП 0.00-4.01.

7.3.2 До проведення робіт з ремонту та модернізації вагонів допускають працівників, які пройшли навчання, інструктаж та перевірку знань з питань охорони праці згідно з НПАОП 0.00-4.12.

7.3.3 Спецодяг для зварників повинен надійно захищати їх від бризок металу, вологи, шкідливих випромінювань та інших факторів виробничого середовища і задовольняти вимогам ГОСТ 12.4.010, ГОСТ 12.4.013, ГОСТ 12.4.045.

7.3.4 Для захисту працюючих зварників від випромінювання зварювальної дуги у видимому, інфрачервоному (ІЧ) і ультрафіолетовому (УФ) діапазонах спектру потрібно використовувати щитки зварювальника згідно з ГОСТ 12.4.035.

### 7.4 Вимоги електробезпеки

7.4.1 Електрообладнання, що використовують під час ремонту та модернізації вагонів, повинно відповідати вимогам ПУЕ, ГОСТ 12.1.030, ГОСТ 12.2.007.0.

7.4.2 Організація безпечного експлуатування електрообладнання повинна відповідати вимогам ДСТУ 7237, НПАОП 40.1-1.21.

ПІ

Дубл.  
Взам.  
Група 01.

7.4.3 Зварювальні роботи повинні виконувати з дотриманням «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів», ДСТУ 7237, НПАОП 40.1-21, НАПБ А.01.001.

7.4.4 До роботи з електрообладнанням, що використовують під час ремонту та модернізації вагонів допускають тільки спеціально навчений персонал, який має посвідчення та групу з електробезпеки не нижче III згідно з НПАОП 0.00-4.12.

#### **7.5 Вимоги безпеки до обладнання**

7.5.1 Вимоги безпеки до електрозварювального обладнання згідно з ГОСТ 12.2.007.8, термічного – згідно з ГОСТ 12.2.007.9.

7.5.2 Вимоги безпеки під час роботи з ручним електро- і пневмоінструментом, ковальсько-пресовим обладнанням згідно з вимогами ДСТУ EN 60745-1, ГОСТ 12.2.010, ГОСТ 12.2.017, НПАОП 0.00-1.71.

#### **7.6 Вимоги пожежної безпеки**

7.6.1 Проведення ремонту рами візка повинно бути забезпечено протипожежними заходами згідно з вимогам ГОСТ 12.1.004, НАПБ А.01.001, НАПБ В.01.010.

Дубл.  
Взам.  
Грандн.

ПІ



## 8 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

ДСТУ 2456-94 Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки

ДСТУ 2651:2005/ГОСТ 380-2005 Сталь вуглецева звичайної якості. Марки

ДСТУ 2750-94 (ГОСТ 21694-94) Устаткування зварювальне механічне.

Загальні технічні умови

ДСТУ 3058-95 (ГОСТ 7566-94). Металопродукція. Приймання, маркування, пакування, транспортування та зберігання

ДСТУ 7237:2011 Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту

ДСТУ ISO 17635:2015 (ISO 17635:2010, IDT) Неруйнівний контроль зварних з'єднань. Загальні правила для металів

ДСТУ ISO 17637:2003 Неруйнівний контроль зварних швів. Візуальний контроль з'єднань, виконаних зварюванням плавленням (ISO 17637:2003, IDT)

ДСТУ EN 13018:2005 Неруйнівний контроль. Контроль візуальний. Загальні вимоги (EN 13018:2001, IDT)

ДСТУ EN 60745-1:2014 Інструмент ручний електромеханічний. Вимоги щодо безпеки. Частина 1. Загальні вимоги

ДСТУ EN ISO 544:2015 (EN ISO 544:2011, IDT; ISO 544:2011, IDT) Матеріали зварювальні. Технічні умови постачання присадних матеріалів і флюсів. Тип продукції, розміри, допуски та маркування

ДСТУ EN ISO 6520-1:2015 (EN ISO 6520-1:2007, IDT; ISO 6520-1:2007, IDT) Зварювання та споріднені процеси. Класифікація геометричних дефектів у металевих матеріалах. Частина 1. Зварювання плавленням

ДСТУ EN ISO 9606-1:2015 (EN ISO 9606-1:2013, IDT; ISO 9606-1:2013, IDT)

Кваліфікаційні випробування зварників. Зварювання плавленням. Частина 1. Сталі

ТІ

Дубл.

Взам.

Гранд.

			ДСТУ ГОСТ 3.1105:2014		Форма 5а
					21
			ДСТУ EN ISO 9712:2014 Неруйнівний контроль. Кваліфікація та сертифікація персоналу неруйнівного контролю (EN ISO 9712:2012, IDT)		
			ДСТУ EN ISO 9934-1:2015 (EN ISO 9934-1:2015, IDT; ISO 9934-1:2015, IDT)		
			Неруйнівний контроль. Магнітопорошковий контроль. Частина 1. Загальні вимоги		
			ДСТУ EN ISO 11666:2014 Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Рівні приймання (EN ISO 11666:2010, IDT)		
			ДСТУ EN ISO 14732:2014 Персонал зварювального виробництва. Атестаційне випробовування операторів автоматичного зварювання плавленням та наладчиків контактного зварювання металевих матеріалів (EN ISO 14732:2013, IDT)		
			ДСТУ EN ISO 17638:2014 Неруйнівний контроль зварних швів. Магнітопорошковий контроль (EN ISO 17638:2009, IDT)		
			ДСТУ EN ISO 17640:2014 Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Способи, рівні контролю і оцінювання (EN ISO 17640:2010, IDT)		
			ДСТУ EN ISO 23277:2014 Контроль неруйнівний зварних швів. Капілярний контроль. Рівні приймання (EN ISO 23277:2009, IDT)		
			ДСТУ EN ISO 23278:2014 Неруйнівний контроль зварних швів. Магнітопорошковий контроль зварних швів. Рівні приймання (EN ISO 23278:2009, IDT)		
			ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования		
Дубл.	Взам.	Гриводн.	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны		
			ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности		
			ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление		
			ПІ		







**ДОДАТОК А**  
**(обов'язковий)**

**Комплект конструкторської документації**  
**НДКТЛ.19-752.00.00.000. Модернізація вагонів-зерновозів**  
**моделі 19-752 з відновленням несучої спроможності рами кузова**

Дубл.  
Взам.  
Гравірун.

ПІ

[illegible]

Лист застос.	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">НДК ТІ.19-752.00.00.001</div> <div style="float: right;">√Ra25(√1)</div>			
Добір. №				
Підп. і дата	<p>1. *Розмір для довідок. 2. Незазначені граничні відхили ±1мм.</p>			
Взам. інв. №	Інв. № дубл.	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">НДК ТІ.19-752.00.00.001</div>		
Підп. і дата	Зм.	Арк.	№ док.	Підп.
Інв. № прайм	Розроб.	Болгарина О.В.	21.08	[Signature]
	Перев.	Брославец Ю.В.	21.08	[Signature]
	Т.контр.	Кузьміна В.В.	22.08	[Signature]
	Н.контр.			
	Затв.	Серняев О.Г.	22.08	[Signature]
Лист		Б-ПН-НО-15х2000х6000 ГОСТ 19903-74 09Г2С-7-10 ГОСТ 5520-79		
Накладка		Лист	Маса	Масштаб
Аркцш		Аркцш	10,26	1:10
НДК ТІ 43		Формат А4		



THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY

\_\_\_\_\_

1987

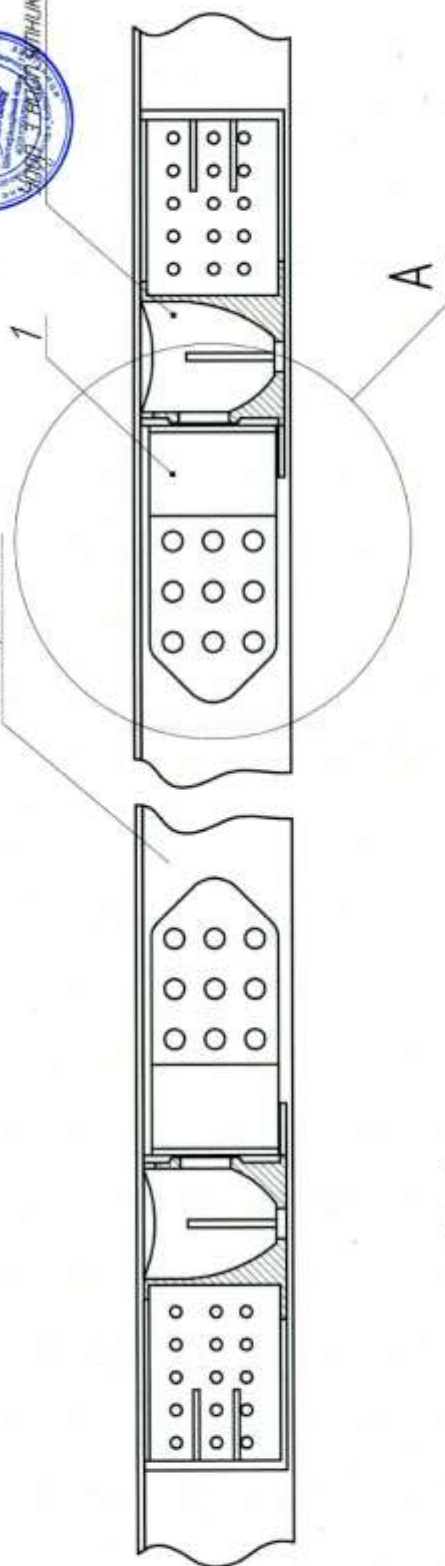
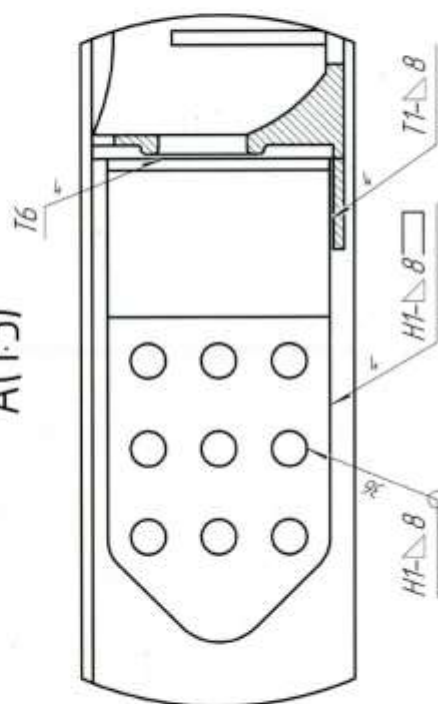
[illegible]

DATE / TIME

2000 4 2



Балка хрестина

 $A(1:5)$ 

1. Для збору даних використовувати дріт GB-0812C по ГОСТ 2246-70.
2. З'єднати шти згідно ГОСТ 14771-76.

Экз.	Акт	№ докум.	Дата	Дата	НДКТ 19-752.00.00.000 СК
Разработ	Бюджетная ЦБ	1	19.05.19	19.05.19	Модернизация базового оборудования модели 19-752 с дальнейшим нанесением стеновых материалов лакокрасочного покрытия на красильный
Перев	Бюджетная ЦБ	1	19.05.19	19.05.19	
Г. контро.	Бюджетная ЦБ	1	19.05.19	19.05.19	
Исполн.	Специализ. ЦБ	1	19.05.19	19.05.19	

**ДОДАТОК В. Криті хопери для зерна, що вичерпали призначений заводом-виробником термін служби. Програма та методика технічного діагностування**



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:**

 Департаменту  
вагонного господарства  
АТ «Укрзалізниця»

« 11 » 07 2022 р.

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

Директор філії «НДКТІ»  
АТ «Укрзалізниця»

 Іван ОСТАПЧЕНКО

« 12 » 07 2022 р.

**КРИТІ ХОПЕРИ ДЛЯ ЗЕРНА, ЩО ВИЧЕРПАЛИ  
ПРИЗНАЧЕНИЙ ЗАВОДОМ-ВИРОБНИКОМ ТЕРМІН  
СЛУЖБИ**

Програма та методика технічного діагностування  
(контроль технічного стану та контрольні випробування)

**ПМ.НДКТІ.УК 004-2022**

**Погоджено:**

Перший заступник директора  
філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця»


 Вячеслав ПЕТРЕНКО  
« 06 » 07 2022 р.

Начальник Науково-  
впроваджувального центру  
філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця»

 Володимир ПОВИСШИЙ  
« 06 » 07 2022 р.

**Розроблено:**

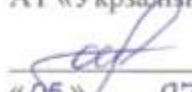
Заступник начальника Науково-  
впроваджувального центру  
філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця»

 Олексій КОШЕЛЬ  
« 05 » 07 2022 р.

Начальник Управління  
інжинірингу філії «НДКТІ»  
АТ «Укрзалізниця», к.т.н.

 Сергій КАРА  
« 05 » 07 2022 р.

Начальник Управління контролю  
технічного стану філії «НДКТІ»  
АТ «Укрзалізниця»

 Олег ШПАКОВИЧ  
« 05 » 07 2022 р.

Київ 2022

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ГАЛУЗЬ ВИКОРИСТАННЯ.....	5
2. ОБ'ЄКТИ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ЇХ ВІДБІР.....	5
3. КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ВАГОНІВ-ЗЕРНОВОЗІВ.....	7
3.1 Мета і завдання .....	7
3.2 Характеристики, що визначаються.....	7
3.3 Методи КТС .....	8
3.4 Умови проведення КТС.....	8
3.5 Засоби КТС.....	8
3.6 Послідовність виконання КТС.....	9
3.7 Методика проведення КТС.....	9
3.8 Обробка даних та оформлення результатів .....	13
4. КОНТРОЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ ВАГОНІВ-ЗЕРНОВОЗІВ.....	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 .....	28
5. ВИМОГИ ДО ПЕРСОНАЛУ.....	29
6. РОЗПОДІЛ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ І ЗВІТНІСТЬ.....	29
7. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ.....	30
Додаток А Форма технічного рішення на продовження служби експлуатації вагона-зерновоза.....	32
Додаток Б Форма карти контролю технічного стану вагона-зерновоза моделі – 11-739 (товаринометрія).....	35
Додаток В Форма карти контролю технічного стану вагона-зерновоза моделі – 19-752 (товаринометрія).....	37
Додаток Г Форма карти контролю технічного стану вагона-зерновоза (загальна на інші моделі) (товаринометрія).....	39
Додаток Д Форма карти контролю технічного стану вагона-зерновоза (несправності та дефекти несучих конструкцій).....	41
Перелік посилань.....	43
Аркуш реєстрації змін.....	45

## ВСТУП

За останні роки відбулося значне старіння експлуатаційного парку вантажних вагонів, в т. ч. критих вагонів хоперів для зерна (далі - вагони-зерновози). Експлуатація вагонів-зерновозів 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-зерновозів, які відслужили призначений строк 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-зерновозів після довготривалої експлуатації протягом строку, який перевищує призначений, передбачається проведення їх технічне діагностування: дослідження технічного стану несучих 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 колес 1520 мм (несамоходных)» [6].

## **1 ГАЛУЗЬ ВИКОРИСТАННЯ**

1.1 ПМ застосовується при проведенні технічного діагностування (контроль технічного стану і контрольні випробування) вагонів-зерновозів, які відпрацювали призначений заводом-виробником строк служби.

1.2 Роботи виконуються Науково-впроваджувальним центром філії «НДКТІ» (далі – НВЦ).

1.3 Ця ПМ не поширюється на змінні вузли вагонів-зерновозів, 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-зерновози моделей: 11-739, 19-752 відповідно до [4] з вичерпаними призначенням заводом-виробником строком служби.

2.2 Вагон-зерновоз призначений для перевезення зерна, а також комбікормів, круп, висівків насипом, що вимагають захисту від атмосферних опадів.

2.3 Вагон суцільнометалевий, саморозвантажний, бункерного типу. Рама, бічні і торцеві стіни і дах утворюють кузов вагона. Вагон має шість розвантажувальних бункерів, по три з кожного боку, з механізмами для відкривання і закривання розвантажувальних люків.

Рама вагона-зерновоза складається з хребтової, двох бічних, двох кінцевих, двох шворневих і двох середніх балок. Хребтова балка зварена з двох Z-подібних профілів, виготовлених з низьколегованої сталі марки 09Г2Д. У консольної частини хребтова балка посилена розеткою і упорами автозчепу. Кінцеві балки зварені з листів 4 мм з Г-подібною формою поперечного



перерізу. Шворневі балки коробчатого перетину з двох вертикальних (8 мм) і двох горизонтальних (14 мм) листів. Кожна середня балка складається з вертикального і нижнього листа і є сполучною ланкою між бункерами.

Бічні стіни виконані з гофрованих металевих листів товщиною 4 мм, підкріплені для жорсткості десятьма стійками, верхньою та нижньою обв'язками. Стійки виготовлені з двотавра № 10, верхня обв'язка - з гнутого спеціального профілю товщиною 6 мм, а нижня - з прокатного кута 125x80x10 мм. Для більшої жорсткості кожна стіна пов'язана з рамою двома похилими швелерами № 14. Бункери виконані з листів з низьколегованої сталі марки 09Г2Д, товщиною 5 мм у формі усіченої піраміди і мають розвантажувальні кришки люків. Кожні дві протилежні бункера забезпечені одним важільним механізмом розвантаження з приводним штурвалом. Механізм розвантаження забезпечує попарне відкривання і закривання кришок люків бункерів, а також дозволяє дозувати висипання зерна або припиняти розвантаження в будь-який момент часу. Він складається з гвинтового приводу зі штурвалом, укріпленого на кронштейні, і системи шарнірно пов'язаних між собою важелів і тяги з розпівками, з'єднаними попарно з кришками люків.

Основні технічні характеристики вагонів-зерновозів наведені в Таблиці 1.

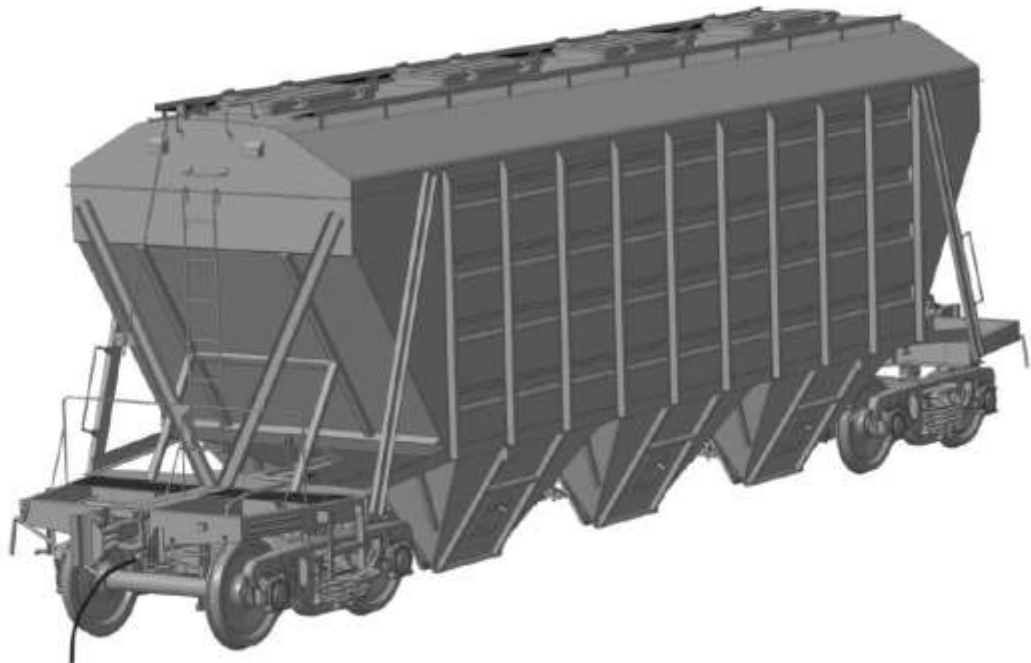


Рис. 1 – Зовнішній вигляд вагона-зерновоза моделі 19-752

Таблиця 1 – Основні характеристики об'єктів технічного діагностування

№ з/п	Номінальні показники	Моделі вагонів	
		11-739	19-752
1	Вантажопідйомність, т	65	70
2	Тара вагона (мінімальна/максимальна), т	21,3/22,7	21,3/23,5
3	Об'єм, м <sup>3</sup>	93	94
4	База вагона, мм	10 500	10500
5	Довжина вагона (по осях автозчепів/по кінцевим балкам), мм	14 720/ 13 500	14 720/ 13 500
6	Ширина максимальна, мм	3 250	3 240
7	Висота від рівня головки рейки, мм	4 653	4 565
8	Кількість осей, шт.	4	4
9	Завод-виробник (назва, код)	КВБЗ (27)	КВБЗ/Румунія (27/6714)
10	Нормативний строк служби, років	30	30
11	Роки виробництва	1975-1982	1982-...

2.4 У процесі технічного діагностування вагонів-зерновозів відбираються зразки для проведення контрольних випробувань, які очищаються власником від бруду та іржі. Відбирається не менш одного зразка кожної з моделей (типів) наявних в експлуатації вагонів. Зразок по можливості повинен мати найбільший наробіток (строк служби, пробіг), максимальні характерні пошкодження, що допускаються, мінімальні товщини основних несучих елементів. Комплектація вагонів, що представляються 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-зерновозів, що підлягають технічному діагностуванню з встановленням величини нового строку експлуатації.

### **3. КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НЕСУЧИХ КОНТРУКЦІЙ ВАГОНІВ-ЗЕРНОВОЗІВ**

#### **3.1 Мета та завдання**

3.1.1 Метою контролю технічного стану (далі – КТС) несучих конструкцій є визначення можливості подальшої експлуатації вагонів-зерновозів після закінчення їх нормативного строку служби, а також встановлення величини продовження строку експлуатації й призначення необхідного виду та обсягу ремонту.

3.1.2 При КТС визначається технічний стан несучих конструкцій кожного вагона який підлягає технічному діагностуванню.

3.1.3 Завданнями КТС вагонів-зерновозів є виявлення пошкоджень несучих конструкцій отриманих у результаті експлуатації, механічного або корозійного зносу, залишкових деформацій, тріщин, а також контроль товщини елементів несучих 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-зерновозів 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» [8], 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-зерновозів 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-зерновозів 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**

3.4.1 КТС вагонів-зерновозів 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-зерновозів (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°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-зерновозів проводиться в наступній послідовності:

- одержання заявки від замовника;

- аналіз технічних характеристик вагона;

- встановлення фактичних даних вагона (тип, модель, рік побудови, завод-виробник) [5];

- вимірювання товщини НМК вагона, огляд вагона на предмет наявності дефектів, заповнення Карт контролю технічного стану НМК вагонів-зерновозів (далі – Карта контролю) Додаток Б, В, Г [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. При необхідності проводиться обстукування й контрольний демонтаж роз'ємних з'єднань. 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-зерновоза, при огляді НМК вагона на станційних або під'їзних коліях, контролепридатність хребтової балки забезпечується тільки в її консольних частинах та в міжбункерній зоні.

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-зерновозів, є поява тріщин у місцях з'єднання профілів (тріщин у зварних швах) і в місцях концентрації напружень (зумовлено конструктивними особливостями вагона 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 несучих 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-зерновоза ультразвуковим методом необхідно підготувати поверхню елемента конструкції. Поверхня конструкції в місці вимірювання, повинна бути очищена від забруднень, старого лако-фарбового покриття, іржі, окалини до металевому блиску. В місці встановлення акустичного перетворювача ультразвукового товщиноміра на поверхню елемента металоконструкції повинен бути нанесений шар контактного мастила.

Таблиця 2 – Зони найбільш ймовірного виникнення тріщин

Зона виникнення тріщин	Тип тріщини	Примітка
1. Нижня полиця зета хребтової балки	поперечна	-
2. Вертикальна стінка зета хребтової балки: - в районі зварного з'єднання з шворневою балкою; - в місцях заклепкового з'єднання з заднім і передніми упорами автозчепного пристрою.	поздовжня поперечна	-
3. З'єднання шворневої балки з хребтовою балкою	поздовжня	по зварному шву
4. Вертикальний лист поперечної балки	поперечна	-
5. Лобовий (вертикальний) лист кінцевої балки в районі встановлення переднього упору автозчепного пристрою	поперечна, поздовжня	-

3.7.7 Для вимірювання товщини елемента НМК 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-зерновозів 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 Карті 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-зерновоза, вид і дата попередніх ремонтів, технічний стан, технічні можливості того чи іншого виду ремонту щодо усунення виявлених пошкоджень.

3.8.3 Вагони-зерновози, 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-зерновозів, 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-зерновозів 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-ЗЕРНОВОЗІВ**

##### **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-зерновоза, які відповідають [1, 3, 6] заданим умовам експлуатації, визначення його



залишкового ресурсу. Під час контрольних випробувань визначають показники міцності та опору втоми 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 несучих конструкціях вагона при прикладанні нормативних ударних сил через автозчепне обладнання.

4.2.5 Завданням ресурсних випробувань є визначення циклічної довговічності несучих 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 несучих 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 тензорезисторів на надресорній балці візка та рамі вагона-зерновоза. Під колеса вагона в залежності від досліджуваних частот власних коливань встановлюються відповідні клини, після чого проводиться скидання вагона шляхом його накату на клин.

4.4.2 Для визначення поздовжніх зусиль, що діють на випробовуваний вагон в момент удару, застосовується автозчеп-динамометр, обладнаний



тензорезисторами і попередньо проградуєваний 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 чотирьох або більше 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 вагон-зерновоз; 4,5,6\* – вагони підпори;



б) Двохударна схема випробувань

1 – локомотив; 2 – вагон-бойок; 3 – дослідний вагон-зерновоз; 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-зерновоза 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:

- тензорезистори;
- 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 6х0,22 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 тензорезисторами й попередньо проградуїований 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 повинні бути калібровані у встановленому порядку.

#### **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-зерновоз накочується на клини за допомогою локомотива. Схеми встановлення клинів мають моделювати коливання: підскакування, бокової хитавиці, галопування, скручування вагона.

4.7.2 Проведення типових 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 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.

Співударі вантажних вагонів при типових випробуваннях проводять за швидкостями, які вказані в таблиці 3.

Таблиця 3 – Рекомендована кількість співударів вагона-зерновоза 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.

#### **4.8 Методика проведення контрольних випробувань**

4.8.1 Загальний порядок підготовки вагона-зерновоза до випробувань і методика їх проведення повинна відповідати вимогам умов [1, 2, 6].

4.8.2 При підготовці дослідного вагона-зерновоза до випробувань проводиться:

- підбір тензорезисторів;
- розмітка й зачищення місць встановлення тензорезисторів. Місця встановлення тензорезисторів встановлюються окремо в рамках кожного випробування з урахуванням рекомендованих зон, що представлені на схемах (рис. 5, 6, 7). Для уточнення схеми встановлення тензорезисторів рекомендується виконувати нормативні розрахунки на міцність, враховувати досвід проведення попередніх випробувань та типові місця руйнувань НМК;
- наклеювання тензорезисторів. Допускається коректування схем розміщення датчиків у процесі підготовки дослідного зразка, без зниження якості проведення випробувань;
- перевірка працездатності засобів вимірювальної техніки.

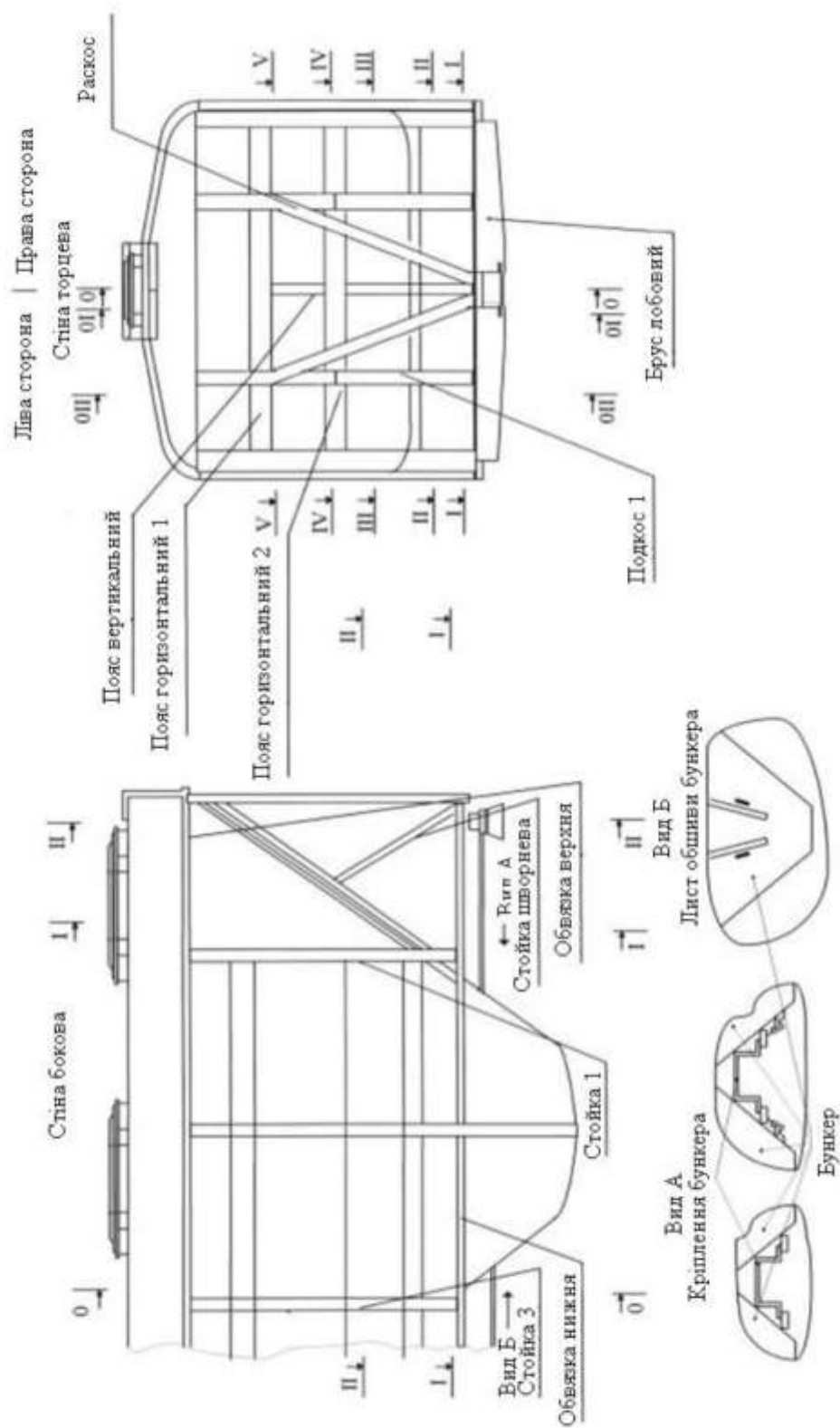


Рис. 5 – Схема розташування тензорезисторів на кузові вагона-зерновоза

4.8.3 При проведенні випробувань скиданням з клинів під колеса вагона-зерновоза 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 хитаючої).

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.

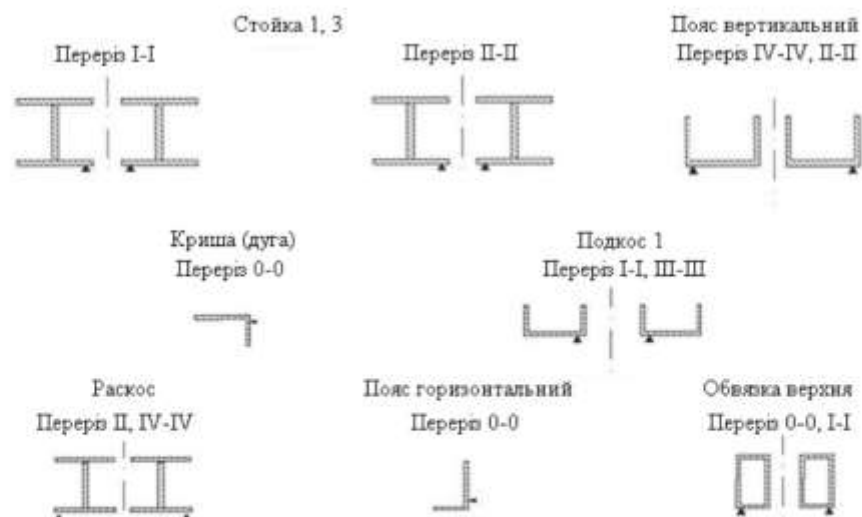


Рис. 6 – Схема розташування тензорезисторів на кузові вагона-зерновоза

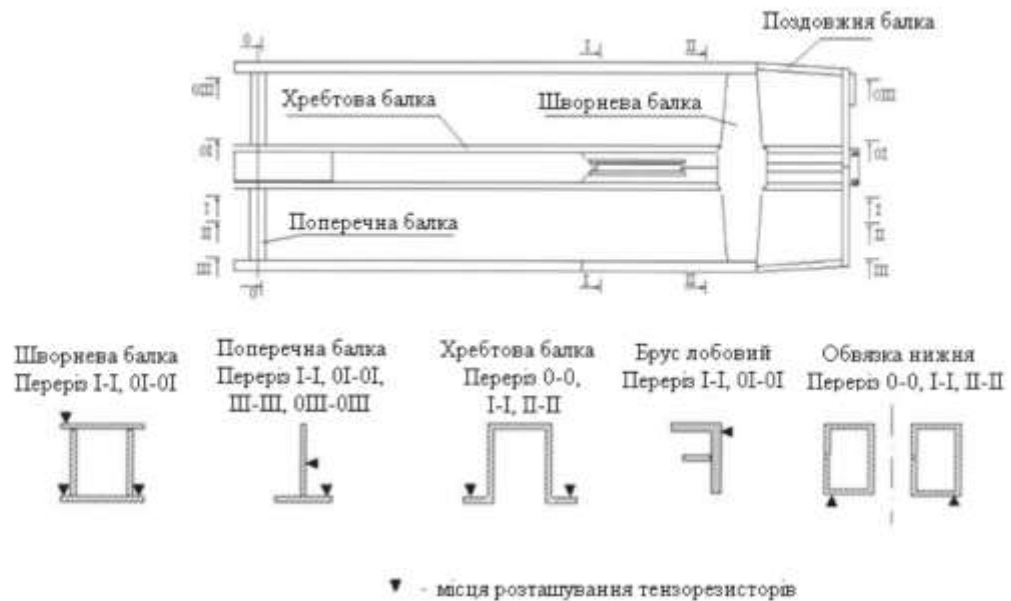


Рис. 7 – Схема розташування тензорезисторів на кузові кузова вагона-зерновоза

4.8.5 Вибір режиму випробувань на ресурс, обробка і оцінка результатів випробувань виконується на основі:

- лінійної гіпотези суми пошкоджень;
- кривої втоми у напруженнях:  $\sigma_i^{mt} N_{i=const}$ , де  $N_i$  – кількість циклів коливань з амплітудою  $\sigma_i$ ,  $m$  – показник степені.

4.8.6 При визначенні залишкового строку служби вагона-зерновоза враховується вертикальне та поздовжнє динамічні навантаження, які виникають в процесі експлуатації. Розрахунок здійснюється за формулою:

$$T_p = \frac{\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]}\right)^m \cdot N_0}{N_{cr} \cdot \sum_j (\sigma_{aj}^I)^m \cdot P_j^I + N_{ch} \cdot \sum_k (\sigma_{aj}^{II})^m \cdot P_k^{II}} \quad (1)$$

де  $T_p$  - розрахунковий залишковий строк служби 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,  $N_0 = 10^7$ ;



$N_{cl} N_{ell}$  – 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  $\sigma_{aj}$ .

$$\sigma_{aN} = \sigma_{aN}^- (1 - z_p v), \quad (2)$$

де  $z_p$  – квантиль розподілення, відповідаючий односторонній ймовірності 95 %,  $z_p = 1,645$ ;

$v$  – 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  $v = 0,05$ ;

- також при напівавтоматичному і ручній зварці  $v = 0,07$ ;

$\sigma_{aN}^-$  – середнє розрахункове значення порогу витривалості рами:

$$\sigma_{aN}^- = \frac{\sigma_{-1}}{(K_\sigma)_k}, \quad (3)$$

$\sigma_{-1}$  – 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 служби один рік:

$$N_c = 365 \cdot f_c \frac{L_c \cdot K_{пп} \cdot 10^3}{\bar{V}_T} \cdot T_k, \quad (4)$$

$T_k$  – розрахунковий строк служби вагона;

$L_c$  – проектний середньодобовий пробіг вагона;

$\bar{V}_T$  – проектна середня технічна швидкість руху вагона;

$K_{пп}$  – коефіцієнт порожнього пробігу;

$f_c$  – ефективна частота процесу зміни динамічних навантажень, визначається за результатами скидання з клинів.

Таблиця 4 – Нормативна щільність розподілення швидкості руху вагона-зерновоза з конструкційною швидкістю 120 км/год.



Діапазон швидкостей, $k$	Інтервал швидкості руху, $\Delta_v$ 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 кількості 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-зерновоза для загальної мережі пробігу визначається за формулою:

$$N_{заг}^{розр} = N_{заг}^{уд} \cdot T_{розр} \cdot K_{реж} \cdot K_{уд}, \quad (9)$$

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 несучих 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 заклепкового з'єднання 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 служби вагона-зерновоза:

$$T = \frac{\sum D}{D_p}. \quad (13)$$

4.8.12 Для оцінки показників опору втомі були враховані напруження несучих конструкцій вагону під час випробувань:

- сил, що виникають під час руху вагону під час коливань підскакування, скручування кузова, галопування та бокової хитаючі;

- сили взаємодії між вагонами, вагоном з локомотивом, гальмування, співударів.

Оцінку  $n$  – запасу опори втомі проведено згідно [11] наступним чином.

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,e}} \times K_{np} \geq [n] \quad (14)$$

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;

$K_{np}$  – коригуючий коефіцієнт при експлуатації вагона-хопера з нерівномірно розподіленим вантажем.  $K_{np}=0,85$ ;

$[n]$  - 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  $\sigma_{-1}$  - 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.

$$m = \frac{A}{(K_s)_k}, \quad (18)$$

де  $A$ – коефіцієнт згідно [12],

$(K_s)_k$  – 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,

$$T_P = B \cdot T_K \quad (20)$$

$$\vartheta_e = \frac{a}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{f_{CT}}} \quad (21)$$

$B$  – 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.

$$B = 365 \frac{10^3 \overline{L_C}}{V} \quad (22)$$

$\overline{L_C}$  – середньодобовий пробіг некупейного пасажирського вагону;

$\overline{V}$  – середня швидкість.

Допускається визначення коефіцієнту запасу опору втомі за результатами випробувань на співудар у відповідності до [1, 3, 6].

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

4.9.2 Результати контрольних випробувань оформляються 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-зерновозів 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-зерновозів, яким проводиться технічне діагностування і встановлюється величина нового строку експлуатації.

6.3 Порядок документообігу при встановленні нового призначеного строку експлуатації вагонів-зерновозів 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-зерновозів, 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.



#### **Додаток А**

Форма технічного рішення щодо продовження строку  
експлуатації вагонів-зерновозів

ПОГОДЖЕНО  
Представник АТ «Укрзалізниця»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Керівник спеціалізованої організації

М.П. \_\_\_\_\_  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

М.П. \_\_\_\_\_  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 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)  
на підставі обстеження \_\_\_\_\_ технічного стану, технічного діагностування, яке проведено  
фахівцем спеціалізованої організації \_\_\_\_\_  
(повне найменування спеціалізованої організації)  
на коліях \_\_\_\_\_  
(власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ)  
та результатів проведених випробувань \_\_\_\_\_  
(тип колій, власник)  
(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 рішенням 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

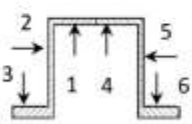
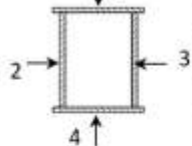
Ім'я ПРІЗВИЩЕ

**Додаток Б**

Форма карти контролю технічного стану вагона-зерновоза  
моделі – 11-739 (*товщинометрія*)

№ вагона-зерновоза

--	--	--	--	--	--	--	--

Модель 11-739			Позначення місць вимірювання	Точки вим-ня	Номін. зн-ня, мм	Фактичні значення, мм			Середнє значення, мм
						1	2	3	
Огляд виконали (П.І.Б., підпис):			<div>Хребтова балка</div> 	1	10,5				
				2	9,0				
Дата та час огляду				3	16,0				
Місце огляду (станція)				4	10,5				
Приписка вагону (філія, підрозділ)				5	9,0				
Завод-виробник				6	16,0				
КВБЗ (27)			<div>Шворнева балка</div> 	1	14,0				
Дата виробництва				2	8,0				
				3	8,0				
<u>Останні проведені ремонти</u>				4	14,0				
Деповський ремонт (Дата)				1	14,0				
				2	8,0				
Капітальний ремонт (Дата)				3	8,0				
				4	14,0				
<u>Технічне рішення</u>			Обв'язка кузова	1	10,0				
ДР	КР	Викл		1	10,0				
Умови проведення технічного діагностування			Стійка торцевої стіни	1	4,0				
Ультразвуковий товщиномір _____				1	4,0				
Люксметр _____			Стійка шворнева	1	4,9				
Термогігрометр _____				2	8,1				
				1	4,9				
Додаткове обладнання _____				2	8,1				
			Стійка проміжна *	1	4,5				
Освітленість	Вологість	Температура		1	4,5				
люкс	%	°C	Обшивка бічної стіни	1	3,0				
ПРИМІТКИ:				1	3,0				
			Обшивка торцевої стіни	1	4,0				
				1	4,0				

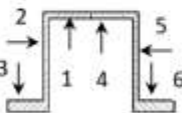
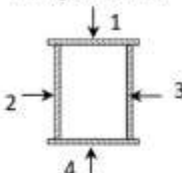
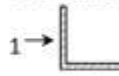

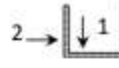



\* Під час побудови даної моделі, двутаврові проміжні стійки на окремих вагонах були замінені на коритоподібні. В такому разі технічний стан стійок визначати візуально-оптичним методом без замірів товщини металу.

### **Додаток В**

Форма карти контролю технічного стану вагона-зерновоза  
моделі – 19-752 (*тобацинометрія*)

№ вагона-зерновоза

--	--	--	--	--	--	--	--

Модель 19-752			Позначення місць вимірювання	Точки вим-ня	Номін. зн-ня, мм	Фактичні значення, мм			Середнє значення, мм
						1	2	3	
Огляд виконали (П.І.Б., підпис):			<div>Хребтова балка</div> 	1	13,0/10,5				
				2	12,0/9,0				
Дата та час огляду				3	20,5/16,0				
Місце огляду (станція)				4	13,0/10,5				
Приписка вагону (філія, підрозділ)				5	12,0/9,0				
Завод-виробник (код)				6	20,5/16,0				
Дата виробництва			<div>Шворнева балка</div> 	1	14,0				
				2	8,0				
				3	8,0				
<u>Останні проведені ремонти</u>				4	14,0				
Деповський ремонт (Дата)				1	14,0				
				2	8,0				
Капітальний ремонт (Дата)				3	8,0				
				4	14,0				
<u>Технічне рішення</u>			<div>Обв'язка середня</div> 	1	10,0				
ДР	КР	Викл		1	10,0				
Умови проведення технічного діагностування			<div>Стійка торцевої стіни</div> 	1	4,0				
Ультразвуковий товщиномір _____				1	4,0				
Люксметр _____			<div>Стійка шворнева</div> 	1	4,9				
Термогірометр _____				2	8,1				
				1	4,9				
Додаткове обладнання _____				2	8,1				
			<div>Стійка проміжна *</div> 	1	4,5				
Освітленість	Вологість	Температура		1	4,5				
люкс	%	°C	<div>Обшивка бічної стіни</div> 	1	3,0				
Примітки:				1	3,0				
			<div>Обшивка торцевої стіни</div> 	1	4,0				
				1	4,0				

\* Під час побудови заводом 27 даної моделі, двутаврові проміжні стійки на окремих вагонах були замінені на коригоподібні. В такому разі технічний стан стійок визначати візуально-оптичним методом без замірів товщини металу.

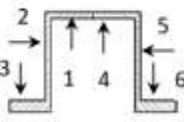
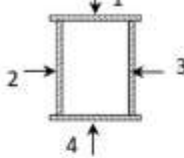

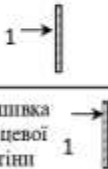
#### **Додаток Г**

Форма карти контролю технічного стану вагона-зерновоза  
(загальна на всі інші моделі)  
*(товаринометрія)*



№ вагона-зерновоза

--	--	--	--	--	--	--	--

Модель			Позначення місць вимірювання	Точки вим-ня	Номін. зн-ня, мм	Фактичні значення, мм			Середнє значення, мм
						1	2	3	
Огляд виконали (П.І.Б., підпис):			<div>Хребтова балка</div> 	1	13,0/10,5				
				2	12,0/9,0				
Дата та час огляду				3	20,5/16,0				
Місце огляду (станція)				4	13,0/10,5				
Приписка вагону (філія, підрозділ)				5	12,0/9,0				
Завод-виробник (код)				6	20,5/16,0				
Дата виробництва			<div>Шворнева балка</div> 	1	14,0				
<u>Останні проведені ремонти</u>				2	8,0				
				3	8,0				
				4	14,0				
				1	14,0				
Деповський ремонт (Дата)				2	8,0				
Капітальний ремонт (Дата)				3	8,0				
				4	14,0				
<u>Технічне рішення</u>									
ДР	КР	Викл	<div>Обв'язка середня</div> 	1	10,0				
				1	10,0				
Умови проведення технічного діагностування			Стійка торцевої стіни	1	4,0				
Ультразвуковий товщиномір _____				1	4,0				
Люксметр _____			Стійка шворнева	1	4,9				
Термогігрометр _____				2	8,1				
				1	4,9				
				2	8,1				
Додаткове обладнання _____			Стійка проміжна *	1	4,5				
				1	4,5				
Освітленість	Вологість	Температура	Обшивка бічної стіни	1	3,0				
люкс	%	°C		1	3,0				
Примітки:			<div>Обшивка торцевої стіни</div> 	1	4,0				
				1	4,0				

**Додаток Д**

Форма карти контролю технічного стану вагона-зерновоза  
*(несправності та дефекти несучих конструкцій)*

**Карта контролю технічного стану вагона-зерновоза**  
(несправності та дефекти несучих конструкцій)

--	--	--	--	--	--	--	--

№ з/п	Елемент рами та кузова вагона	Код та назва дефекту	Код виявленого дефекту <sup>1,2</sup> та кількість/Не виявлено
1	Вертикальна стінка хребтової балки	1.1 – Деформація; 1.2 – Тріщина	
	Вертикальна стінка хребтової балки в місці заклепкового з'єднання хребтової балки з переднім упором автозцепного пристрою	1.3 – Деформація; 1.4 – Тріщина	
	Заклепкове з'єднання хребтової балки з переднім упором автозцепного пристрою	1.5 – Відсутність заклепок (шт.); 1.6 – Послаблення заклепок (шт.)	
	Вертикальна стінка хребтової балки в місці заклепкового з'єднання хребтової балки з заднім упором автозцепного пристрою	1.7 – Деформація; 1.8 – Тріщина	
	Заклепкове з'єднання хребтової балки з заднім упором автозцепного пристрою	1.9 – Відсутність заклепок (шт.); 1.10 – Послаблення заклепок (шт.)	
	Нижня полиця хребтової балки	1.11 – Деформація; 1.12 – Тріщина	
	Верхня полиця хребтової балки	1.13 – Деформація; 1.14 – Тріщина	
2	Зварне з'єднання хребтової балки з шворневою балкою	2.1 – Тріщина; 2.2 – Обрив	
3	Зварне з'єднання хребтової балки з поперечною балкою	3.1 – Тріщина; 3.2 – Обрив	
4	Вертикальний лист шворневої балки	4.1 – Тріщина; 4.2 – Деформація; 4.3 – Наскрізна корозія; 4.4 – Корозія	
	Нижній лист шворневої балки	4.5 – Тріщина; 4.6 – Деформація	
	Верхній лист шворневої балки	4.7 – Тріщина; 4.8 – Деформація	
5	Вертикальний лист поперечної балки	5.1 – Тріщина; 5.2 – Деформація	
6	Зварне з'єднання ударної розетки переднього упора автозцепного пристрою з хребтовою балкою	6.1 – Тріщина; 6.2 – Обрив	
	Зварне з'єднання ударної розетки переднього упора автозцепного пристрою з кінцевою балкою	6.3 – Тріщина; 6.4 – Обрив	
7	Шворнева стійка	7.1 – Тріщина; 7.2 – Деформація	
	Зварне з'єднання шворневої стійки з шворневою балкою	7.3 – Тріщина; 7.4 – Обрив	
	Зварне з'єднання шворневої стійки з обшивкою кузова	7.5 – Тріщина; 7.6 – Обрив	
8	Проміжна стійка	8.1 – Тріщина; 8.2 – Деформація	
	Зварне з'єднання проміжної стійки з нижньою обв'язкою кузова	8.3 – Тріщина; 8.4 – Обрив	
	Зварне з'єднання проміжної стійки з верхньою обв'язкою кузова	8.5 – Тріщина; 8.6 – Обрив	
9	Сійка торцевої стінки	9.1 – Тріщина; 9.2 – Деформація	
	Зварне з'єднання торцевої стійки з шворневою балкою	9.3 – Тріщина; 9.4 – Обрив	
	Зварне з'єднання торцевої стійки з обшивкою кузова	9.5 – Тріщина; 9.6 – Обрив	
10	Обшивка кузова бічної стінки	10.1 – Тріщина; 10.2 – Деформація; 10.3 – Наскрізна корозія	
	Обшивка кузова торцевої стінки	10.4 – Тріщина; 10.5 – Деформація; 10.6 – Наскрізна корозія	
	Обшивка даху кузова	10.7 – Тріщина; 10.8 – Деформація; 10.9 – Наскрізна корозія	
11	Нижня обв'язка кузова	11.1 – Тріщина; 11.2 – Деформація	
12	Інше		

**Примітка:**

**1** - У випадку двох і більше дефектів на одному елементі НК вказувати літеру «МД» (наприклад – 4.1 МД);

**2** - У випадку виявлення декількох однакових за конструкцією дефектних елементів НК вказувати літеру «М» (наприклад – 8.1 М).

## 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 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.

Аркуш реєстрації змін

[illegible]

## Аркуш ознайомлення

[illegible]



**ДОДАТОК Г. Програма та методика підконтрольної експлуатації.  
Модернізований вагон-хопер для перевезення зерна моделі 19-752**







ТТ1454  
ДСТУ ISO/IEC 17025

**ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «УКРАЇНСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ»**  
**ФІЛІЯ «НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ТА КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»**  
**НАУКОВО-ВПРОВАДЖУВАЛЬНИЙ ЦЕНТР**  
Управління інжинірингу  
**Атестат акредитації від 15.02.2018р. №ТТ1454**

<p><b>ПОГОДЖЕНО</b> Департамент розвитку і технічної політики ПАТ «Укрзалізниця»  « 16 » 08 2018 р.</p>	<p><b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b> Директор філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця»  В. О. Зайцев « 17 » 08 2018 р.</p>
--	--

**ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПІДКОНТРОЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**  
**Модернізований вагон-хопер для перевезення зерна моделі 19-752**  
**(Експлуатаційні випробування)**  
**НДКТІ/НВЦ УТ 002-18**

<p><b>ПОГОДЖЕНО</b> Департамент безпеки руху ПАТ «Укрзалізниця»  « 16 » 08 2018 р.</p>	<p><b>РОЗРОБЛЕНО</b> Пачальник відділення надійності філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця»  В.О. Петренко « 7 » 08 2018 р.</p>
<p><b>ПОГОДЖЕНО</b> Філія «Центр транспортної логістики» ПАТ «Укрзалізниця»  « 16 » 08 2018 р.</p>	<p>динаміки та міцності філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця»  С.В. Кара « 7 » 08 2018 р.</p>
<p><b>ПОГОДЖЕНО</b> Департамент вагонного господарства ПАТ «Укрзалізниця»  « 15 » 08 2018 р.</p>	<p>Провідний інженер НДВ динаміки та міцності філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця»  П.М. Прокопенко « 7 » 08 2018 р.</p>

Київ – 2018



## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Галузь застосування.....	4
2 Мета і завдання підконтрольної експлуатації .....	4
3 Об'єкт підконтрольної експлуатації .....	4
4 Порядок організації та проведення підконтрольної експлуатації.....	8
5 Методика проведення огляду вагонів підконтрольної партії.....	10
6 Аналіз і оформлення результатів оглядів і контролю технічного стану вагонів підконтрольної партії .....	11
7 Вимоги до техніки безпеки.....	11
Список використаних джерел.....	13
Додаток А Акт періодичного огляду підконтрольної партії вагонів-хоперів для перевезення зерна моделі 19-752.....	14
Додаток Б Карта огляду технічного стану вагона.....	16
Додаток В Перелік вагонів підконтрольної групи.....	18

					НДКТИ/НВЦ УІ 002-18	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

## ВСТУП

Під час проведення технічного діагностування вагонів-зерновозів моделі 19-752 визначилась тенденція виявлення однотипних тріщин [1].

Пошкодження в рамах кузовів вагонів-зерновозів моделі 19-752 з назначеним терміном служби, що минув, виникають в хребтовій балці в районі клепаного з'єднання її із заднім упором автозчепного пристрою. Найбільші повздовжні навантаження задній упор сприймає безпосередньо від корпусу поглинального апарата, які через клепане з'єднання передаються на хребтову балку. Саме від отворів в хребтовій балці під клепане з'єднання з частиною заднього упору виникають тріщини.

Згідно результатів міцнісних розрахунків було визначено раціональний та ефективний проект модернізації рами кузова вагона-зерновоза моделі 19-752. У відповідності до розробленої конструкторської НДКТИ.19-752.00.00.000 та технологічної документації НДКТИ.19-752.00.00.000 ТІ [3] була виконана модернізація дослідного зразка. За результатами проведених контрольних випробувань дослідного зразка вагона-зерновоза (Протокол контрольних випробувань вагона-хопера модернізованого критого для зерна НДКТИ/НВЦ ВІ 011-2017 [2]) було встановлено, що:

- Напруження в несучих конструкціях модернізованого вагона з терміном служби, що минув, не перевищують допустимих значень, які передбачені (ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних) [4] та ДСТУ ГОСТ 33211-2017 «Вагони вантажні. Вимоги до міцності і динамічних якостей» [5]);

- Пошкоджень в зоні модернізації рами вагона у вигляді деформацій, тріщин, розривів за основним металом та зварними швами не виявлено.

Положення програми та методики підконтрольної експлуатації розроблені з урахуванням вимог: [3, 4, 5], ДСТУ ГОСТ 15.902:2017 «Система розроблення та постановлення продукції на виробництво. Залізничний рухомий склад. Порядок розроблення та постановлення на виробництво [6].

					НДКТИ/НВЦ УІ 002-18	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

## **1. Галузь застосування**

1.1 ПМ встановлює: мету, послідовність, методи і порядок проведення підконтрольної експлуатації вагонів після модернізації рами кузова за проектом НДКТИ.19-752.00.00.000 ТІ.

1.2 Підконтрольна експлуатація буде виконуватися Науково-впроваджувальним центром філії «НДКТІ» ПАТ «Українська залізниця», який акредитований НААУ (атестат про акредитацію № 2Т1454 від 15 лютого 2018 р.), за участю представників підприємств ПАТ «Укрзалізниця» та балансоутримувача (філія «Центр транспортної логістики» ПАТ «Укрзалізниця» (далі ЦТЛ)).

1.3 Підконтрольна експлуатація буде проводитися на коліях загального користування ПАТ «Укрзалізниця».

## **2. Мета підконтрольної експлуатації**

2.1. Головною метою підконтрольної експлуатації партії вагонів-зерновозів із установчої серії у кількості 10 шт. є експериментальне підтвердження ефективності виконаної модернізації рами кузова за проектом НДКТИ.19-752.00.00.000.

## **3. Об'єкти підконтрольної експлуатації**

3.1. Об'єктами підконтрольної експлуатації є вагони-зерновози моделі 19-752 модернізовані за проектом НДКТИ.19-752.00.00.000 згідно розробленої конструкторської та технологічної документації [3], які пройшли капітальний або деповський ремонт.

3.2. Вагон-зерновоз представлений на рисунку 1. Основні технічні характеристики наведені у таблиці 1.

					НДКТИ/НВЦ УІ 002-18	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

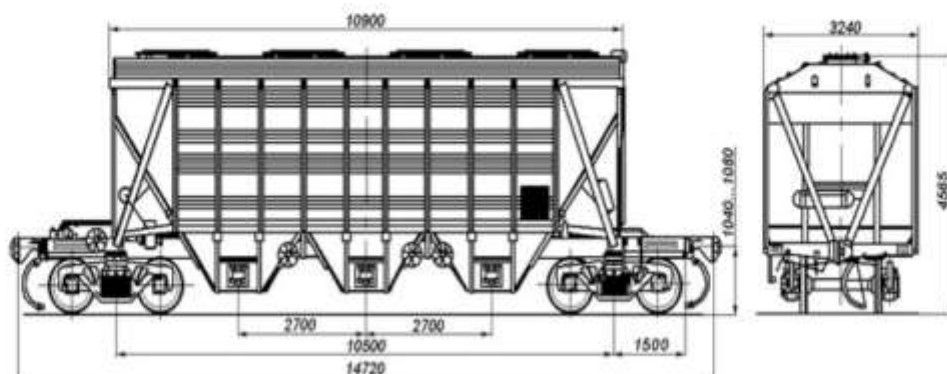


Рисунок 1 – Вагон-хопер для перевезення зерна моделі 19-752

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики [7]:

Тип вагона	4-вісний критий хопер для перевезення зерна моделі 19-752
Кількість осей	4
Маса тари вагона	21,3–23.0 т *
Вантажопідємність	70.0 т
Об'єм кузова	94.0 м <sup>3</sup>
База вагона	10500 мм
Габарит	1-BM
Довжина по осях автозчепу	14720 мм
Довжина по рамі	13500 мм
Максимальне розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейку	230,3 кН (23,48 тс)

\* Збільшення маси тари вагону з модернізацією складає менше 40 кг.

					НДКТИ/НВЦ УІ 002-18	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		5

3.3. Модернізація вагон-зерновоза полягає у попередньому відрізненні частин заднього упору (рисунок 2) та приварюванні посилюючих накладок в зонах виникнення тріщин в клепаному з'єднанні заднього упору з хребтовою балкою (рисунок 3, 4, 5).

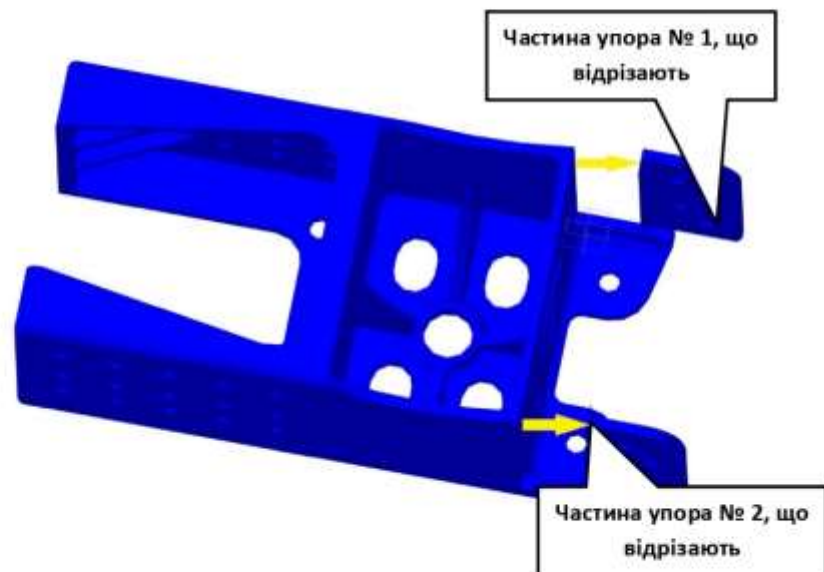


Рисунок 2 – Частини заднього упора, що відрізають

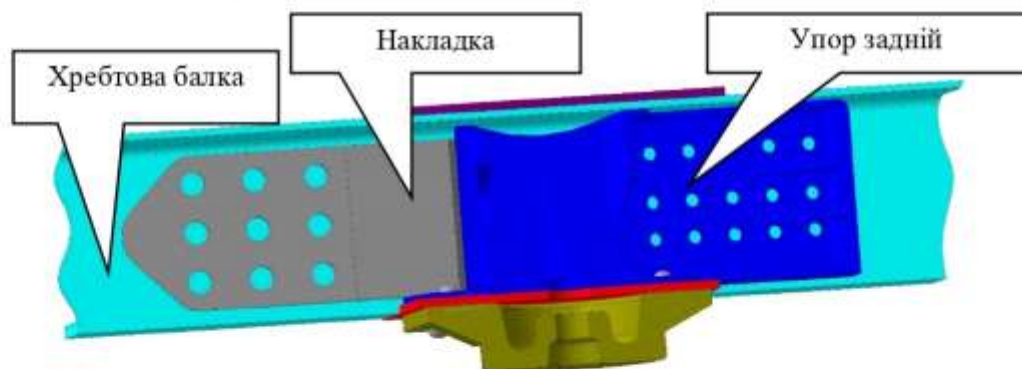


Рисунок 3 – Посилення рами вагона-зерновоза

					НДКТИ/НВЦ УІ 002-18	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6



Рисунок 4 – Модернізація рами вагона-зерновоза



Рисунок 5 – Встановлена деталь на хребтову балку

					НДКТИ/НВЦ УІ 002-18	Арх.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

#### 4. Порядок організації і проведення підконтрольної експлуатації

##### 4.1. Порядок організації підконтрольної експлуатації

4.1.1. Для проведення підконтрольної експлуатації з числа модернізованих вагонів-зерновозів установочної серії формується підконтрольна група вагонів та створюється робоча група фахівців (представники НВЦ філії «НДКТІ», філії «ЦТЛ» та спеціалістів вагонного господарства) для проведення періодичних оглядів і контролю технічного стану (далі – фахівці), наказом по філії «НДКТІ» назначається керівник випробувань.

4.1.2. Філія «ЦТЛ» переводить вагони підконтрольної партії на систему ремонту з урахуванням фактично виконаного обсягу робіт та проводить контроль і облік інформації про завантаження вагонів для визначення коефіцієнта порожнього пробігу вагона і середнього статистичного навантаження в підконтрольній експлуатації та надає інформацію філії «НДКТІ» по кожному вагону.

4.1.3. Підставою для початку проведення підконтрольної експлуатації вагонів є розпорядження (наказ) ПАТ «Укрзалізниця», яке розробляється філією «НДКТІ» за участю філії «ЦТЛ». У розпорядженні вказується кількість вагонів-зерновозів, які направляються в підконтрольну експлуатацію, їх номери, маршрути проходження та періодичність проведення оглядів.

4.2. Перед відправкою модернізованих вагонів-зерновозів установочної серії фахівцями проводиться попередній огляд і контроль технічного стану вагона-зерновоза (згідно п.4.3.3).

4.2.1. Після досягнення вагонами-зерновозами підконтрольної групи часу, відповідного встановленої періодичності проведення оглядів вагони-зерновози направляються в ПТО або інше підприємство вагонного господарства, що має технологічну можливість проведення огляду та контролю технічного стану вагонів-зерновозів (далі – ПТО).

					НДКТІ/НВЦ УІ 002-18	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



#### 4.3. Порядок проведення підконтрольної експлуатації.

4.3.1. Термін підконтрольної експлуатації партії вагонів-зерновозів для підтвердження ефективності виконаної модернізації рами вагона-зерновоза встановлюється 4 місяці після проведення модернізації з можливістю продовження до 1 року.

4.3.2. Періодичність проведення оглядів вагонів-зерновозів підконтрольної групи виконується в декілька етапів:

- перший - при випуску вагонів-зерновозів в експлуатацію після модернізації;
- другий - після 1 місяця експлуатації;
- третій - після 2 місяців експлуатації;
- четвертий - після 3 місяців експлуатації;
- п'ятий - після 4 місяців експлуатації.

Вагон-зерновоз з установчої серії, який пройшов ремонт та модернізацію, допускається до експлуатаційних випробувань.

4.3.3. В процесі підконтрольної експлуатації контроль технічного стану вагонів-зерновозів проводиться фахівцями філії «НДКТІ» 3 рази на 4 місяці (першому, третьому і п'ятому етапах) разом з представниками вагонного господарства, відповідно до карти контролю технічного стану (додаток Б) з оформленням акту (додаток А) програми та методики НДКТІ/НВЦ УІ 002-18 підконтрольної експлуатації. Контроль технічного стану проводиться з підйомкою вагона-зерновоза та викочуванням візків.

4.3.4. Огляд вагонів-зерновозів виконується представниками вагонного господарства на другому і четвертому етапах з візуальною перевіркою конструкції на цілісність з оформленням акту (додаток А). При цьому підйомка вагона-зерновоза з викочуванням візків не є обов'язковою.

4.3.5. У разі виявлення під час підконтрольної експлуатації оглядачами або приладами контролю пошкоджених вагонів-зерновозів проводиться позачерговий огляд. Вагони-зерновози вилучаються з експлуатації до приїзду

					НДКТІ/НВЦ УІ 002-18	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



фахівців філії «НДКТІ».

За результатами огляду фахівцями приймається рішення про заміну частин, які вийшли з ладу або про ремонт пошкоджених елементів вагона-зерновоза.

4.3.6. Після 4-х місяців підконтрольної експлуатації приймальна комісія у складі філії «НДКТІ», філії «ЦТЛ» та представників Департаменту вагонного господарства приймає рішення щодо подовження підконтрольної експлуатації, припинення або завершення.

4.3.7. Після закінчення підконтрольної експлуатації вагонів-зерновозів оформляється підсумковий протокол, який містить рекомендації щодо їх подальшої експлуатації.

4.3.8. Вимірювальні інструменти, які використовуються при огляді вагонів-зерновозів повинні бути повірені/калібровані. Засоби неруйнівного контролю сертифіковані та фахівці неруйнівного контролю атестовані.

## **5. Методика проведення огляду вагонів-зерновозів підконтрольної партії**

5.1. Вагони-зерновози подаються на ділянку колії ПТО або іншого підприємства вагонного господарства яке визначає ЦВ. Фахівці НВЦ філії «НДКТІ» здійснюють послідовний огляд усіх підконтрольних вагонів з підйомкою кузова та викочуванням візків (етапи 3, 5).

5.2. У процесі контролю технічного стану вагонів також використовуються:

- дефектоскопи магнітні;
- комплект для візуально-оптичного контролю «Луч»;
- інший спеціальний вимірювальний інструмент.

5.2. При контролі технічного стану особливу увагу приділяють виявленню тріщин, відривів та інших дефектів у зварних з'єднаннях в зоні модернізації, а також по всьому кузову: лобових листів, вертикальних листів шворневої балки з вертикальною стінкою хребтової балки, бокових стійок кузова.

					НДКТІ/НВЦ УІ 002-18	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

## **6. Аналіз і оформлення результатів оглядів і контролю технічного стану вагонів підконтрольної партії**

6.1. Оцінка результатів підконтрольної експлуатації, оглядів і контролю технічного стану вагонів підконтрольної партії здійснюється комісією, до якої входять фахівці НВЦ філії «НДКТІ», філії «ЦТЛ» та представники вагонного господарства.

6.2. Філією «НДКТІ» в процесі проведення підконтрольної експлуатації підконтрольної партії вагонів складають протокол з інформацією про відмови несучих конструкцій.

6.3. По закінченню підконтрольної експлуатації складається протокол з висновками про можливу безпечну експлуатацію, при необхідності продовження підконтрольної експлуатації, рекомендації по впровадженню даної модернізації в серійне виробництво за рішенням приймальної комісії.

## **7. Вимоги до техніки безпеки**

7.1. Під час підготовки і проведення підконтрольної експлуатації необхідно забезпечити дотримання вимог охорони праці (стандартів, правил, інструкцій, положень тощо), що діють на залізничному транспорті.

7.2. Роботи з підготовки і проведення підконтрольної експлуатації необхідно виконувати під безпосереднім керівництвом і контролем призначеного розпорядженням (наказом) філії «НДКТІ» керівника роботи. Усі фахівці перед початком роботи повинні пройти цільовий інструктаж з питань охорони праці з реєстрацією інструктажу в спеціальному журналі під підпис.

7.3. Забезпечення необхідних умов безпеки покладають на керівника роботи з підконтрольної експлуатації.

7.4. Робітники, зайняті в роботах з проведення підконтрольної експлуатації, повинні бути забезпечені відповідними спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту та зв'язку [9].

					НДКТІ/НВЦ УІ 002-18	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

7.6. Фахівці мають ознайомитися з експлуатаційною документацією і виконувати вимоги безпеки по обслуговуванню і використанню засобів, які використовуються при виконанні випробувань [10].

7.7. Відповідальність за безпеку проведення робіт з огляду вагонів підконтрольної партії фахівцями філії «НДКТІ» покладається на керівника роботи.

7.8. Матеріали і обладнання, що застосовуються, має відповідати [11].

					НДКТІ/НВЦ УІ 002-18	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

### Список використаних джерел

1. Програма й методика технічного діагностування (контроль технічного стану й контрольних випробувань) «Вагони-хопери криті для зерна, що вичерпали призначений заводом-виробником термін служби» ПМ.НДКТІ 001-2016;
2. Протокол контрольних випробувань вагона-хопера модернізованого критого для зерна НДКТІ/НВЦ ВІ 011-2017;
3. Технологічна інструкція «Модернізація вагонів-хоперів моделі 19-752 з відновленням несучої спроможності рами кузова» НДКТІ.19-752.00.00.000 ТІ, конструкторська документація НДКТІ.19-752.00.00.000;
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 і динамічним якостям»;
6. ДСТУ ГОСТ 15.902:2017 «Система розроблення та постановлення продукції на виробництво. Залізничний рухомий склад. Порядок розроблення та постановлення на виробництво»;
7. Справочник «Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм» 002И-2009 ПКБ ЦВ.
8. НПАОП 60.1-1.48-00 Правила безпеки для працівників залізничного транспорту на електрифікованих лініях;
9. НПАОП 63.21-1.24-03 Правила охорони праці під час технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів та рефрижераторного рухомого складу;
10. НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів;
11. ДсанП і Н 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин.

					НДКТІ/НВЦ УІ 002-18	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

**Акт періодичного огляду вагонів підконтрольної партії модернізованих  
вагонів зерновозів моделі 19-752**

**АКТ**

Періодичного огляду модернізованих вагонів-зерновозів моделі 19-752 «\_\_»  
\_\_\_\_\_ 201\_ р. ПТО \_\_\_\_\_.

У відповідності до \_\_\_\_\_  
(найменування організацій-розпорядчого документа)

від «\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_ р. №\_\_ комісія в складі:

\_\_\_\_\_  
(П.І.П., посада)

\_\_\_\_\_  
(П.І.П., посада)

\_\_\_\_\_  
(П.І.П., посада)

\_\_\_\_\_  
(П.І.П., посада)

На коліях \_\_\_\_\_ провела періодичний огляд та контроль  
технічних параметрів підконтрольної групи вагонів \_\_\_\_\_ з числа  
підконтрольної партії.

Номера вагонів підконтрольної групи, дата їх побудови та величина  
пробігу на момент огляду наведена в додатку В.

Контроль технічних параметрів показав (привести перелік виконаних при  
огляді та контролі технічних параметрів вагонів, аналіз отриманих значень,  
вказати виявлені несправності):

---

---

---

За результатами огляду вагонів комісія приймає рішення *(причини виникнення несправності та необхідність проведення ремонту несправного(их) вагона(ів))*:

---

---

Комісія рекомендує *( рекомендації про продовження підконтрольної експлуатації, її призупинки або дострокового припинення)*:

---

---

---

---

Додатки:

Б – карта контролю технічного стану.

В – перелік вагонів підконтрольної групи.

Підписи членів комісії:

\_\_\_\_\_  
( \_\_\_\_\_ )  
(П. І. П., посада)

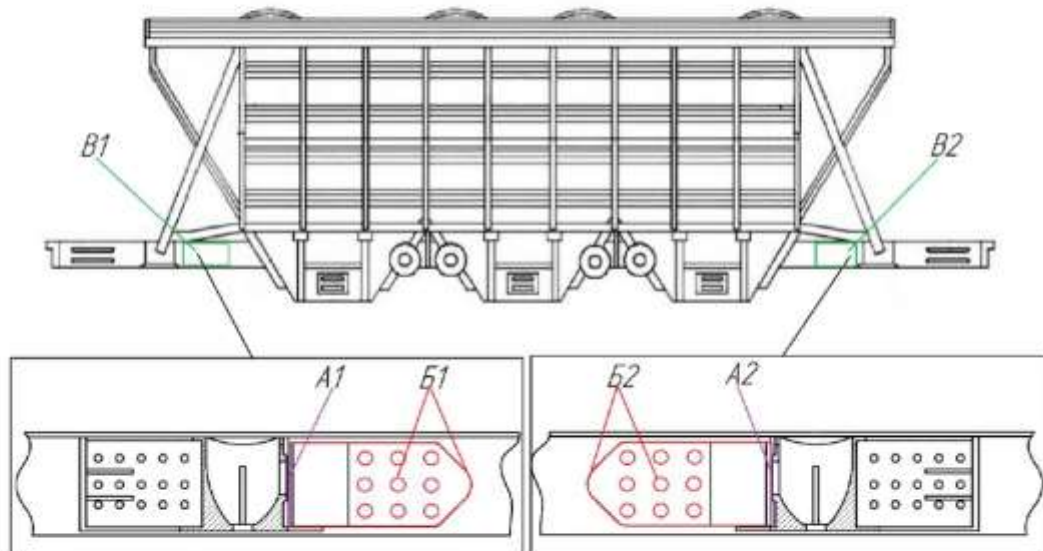
\_\_\_\_\_  
( \_\_\_\_\_ )  
(П. І. П., посада)

\_\_\_\_\_  
( \_\_\_\_\_ )  
(П. І. П., посада)

\_\_\_\_\_  
( \_\_\_\_\_ )  
(П. І. П., посада)

КАРТА КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ (КТС) № \_\_\_\_\_ ВІД «\_\_\_\_\_»  
 \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. рами кузова \_\_\_\_\_ вагона № \_\_\_\_\_ при  
 проведенні технічного обслуговування вагонів підконтрольної серії

**Схема розташування місць контролю рами кузова вагона моделі 19-752**



*Місце з'єднання заднього упору з хребтовою балкою (з  
 внутрішньої сторони хребтової балки)*

**Позначення місць контролю технічного стану рам візків:**

Умовне позначення місця	Місце контролю	Вид контролю	
		VT	MT
Рама кузова			
A1; A2	Місця зварних з'єднань заднього упору з посилюючою накладкою (з правої та лівої сторін).	+	(+)*
B1; B2	Зварний шов посилюючої накладки по контуру та електрозаклепки.	+	(+)*
B1; B2	Місце клепаного з'єднання заднього упору з хребтовою балкою	+	(+)*

**Примітки:**

1) VT – візуально-оптичний контроль; MT – магнітопорошковий контроль

2) (+)\* - виконується якщо при проведенні візуально-оптичного контролю виникла підозра наявності дефекту

**Результати неруйнівного контролю:**

Вид контролю	Результат
Візуально-оптичний контроль (VT)	
Магнітопорошковий контроль (MT)	

**Примітка:** В графі «Результат» заповнюється:

**Дефектів не виявлено** – не виявлено тріщину відповідним видом неруйнівного контролю;

**\_\_ \_; L = \_\_ мм** - виявлено тріщину (умовне позначення місця де виявлено тріщину; орієнтовна довжина в міліметрах)

**Відомості про прилади використанні при виконанні контролю технічного стану:**

Тип приладу	Заводський номер чи номер сертифікату	Дата наступної повірки чи термін придатності

**Контроль технічного стану виконували:**

П.І.Б. фахівців з неруйнівного контролю, які проводили контроль технічного стану	Підпис

**Співробітник, що супроводжував проведення контролю технічного стану:**

\_\_\_\_\_  
(Посада) (Підпис) (П.І.Б.)

Первинні данні (фотокартки та результати замірів) знаходяться в \_\_\_\_\_:

\_\_\_\_\_  
(Керівник організації, що виконувала КТС) (Підпис) (П.І.Б.)



**Перелік вагонів-зерновозів, які підлягають підконтрольній експлуатації**

Номер вагона	Дата побудови	Дата виконання модернізації

Підписи:

\_\_\_\_\_  
( \_\_\_\_\_ )  
(П. І. П., посада)

\_\_\_\_\_  
( \_\_\_\_\_ )  
(П. І. П., посада)

## ДОДАТОК Д. 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. Petrenko V. O., Ishchenko V. M. Strengthening Riveted Joints of the Grain Rail Car Backstop. *Strength of Materials*. 2023. Vol. 55, № 6. 1192-1200. URL: <https://doi.org/10.1007/s11223-024-00609-9> (стаття у виданні квартилю Q4 проіндексована в базі даних Scopus/Web of Science).

2. Петренко В.О. Аналіз відмов модернізованих рам вагонів для перевезення зерна моделі 19-752. *Збірника наукових праць "Рухомий склад"*. Кременчук. № 25. С. 144-151. URL: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2022-25-144-152> (наукове фахове видання України).

3. Петренко В.О., Кельріх М. Б., Прокопенко П. М., Кара С. В. Оцінка несівної здатності модернізованої рами вагона-зерновоза. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2022. № 3. С. 4-10. URL: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2022-144-3-04-10> (наукове фахове видання України).

4. Прокопенко П.М., Петренко В.О., Кара С.В. Дослідження причин виникнення дефектів в базовій конструкції вагона-зерновоза після тривалої експлуатації. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2023. № 3, С. 49-60. URL: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2023-148-3-49-60> (наукове фахове видання України).

5. Петренко В. О., Гордієнко Т. М. Експлуатаційні відмови вагонів-хоперів для перевезення зерна. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2020. №1 С. 40-49. URL: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2020-134-1-40-49>. (наукове фахове видання України).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Петренко В.О., Яценко Л.Ф. Дослідження заклепкового з'єднання хребтової балки із заднім упором поглинаючого апарату вагона – зерновоза. 82 *Міжнародна науково-практична конференція "Проблеми та перспективи*

розвитку залізничного транспорту", (20-21 квітня 2023). м. Дніпро С. 298 – 299.  
URL: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/16951>.

7. Кара С.В., Петренко В.О., Прокопенко П.М. Проведення періодичних контрольних випробувань вантажних вагонів з метою підвищення ефективності їх використання. *Science, society, education: topical issues and development prospects. Abstracts of VII International Scientific and Practical Conference (Kharkiv, Ukraine 7-9 June 2020)*. P. 328-330. URL: [https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2020/06/SCIENCE-SOCIETY-EDUCATION\\_TOPICAL-ISSUES-AND-DEVELOPMENT-PROSPECTS\\_7-9.06.20.pdf](https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2020/06/SCIENCE-SOCIETY-EDUCATION_TOPICAL-ISSUES-AND-DEVELOPMENT-PROSPECTS_7-9.06.20.pdf).

8. Kara S., Petrenko V., Fomin O., Prokopenko P. Diagnostic modules for railway freight cars load-bearing structures. *Proceedings of XI International Scientific and Practical Conference. "Actual trends of modern scientific research". Munich, Germany 6-8 June 2021*. С.174-179. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/06/ACTUAL-TRENDS-OF-MODERN-SCIENTIFIC-RESEARCH-6-8.06.2021.pdf>.

9. Петренко В.О. Обґрунтування ефективності модернізації рами вагона-зерновоза шляхом теоретично-експериментальних досліджень. *Збірник тез Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, молодих вчених та викладачів (4 – 6 квітня 2023 року)*. м. Київ. С. 564 – 565.  
URL: <https://duit.edu.ua/research-activities/conferences/all-ukrainian-scientific-practical-conferences/>

10. Петренко В.О., Іщенко В.М. Аналіз відмов вагонів-хоперів для перевезення зерна. *Збірник тез II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Виклики та перспективи розвитку транспортної інфраструктури України» (3 – 5 квітня 2024 року)*. м. Київ. С. 665 – 666. URL: <https://duit.edu.ua/research-activities/conferences/all-ukrainian-scientific-practical-conferences/>

11. Петренко В.О. Проєкт модернізації хребтових балок вагонів-зерновозів моделі 19-752 для продовження їх терміну служби. *II Міжнародна конференція RAIL EXPO "Вагонобудування та ремонт рухомого складу в Україні" (16 – 18*

жовтня 2018 року). м. Київ. URL: <https://railexpoua.com/vahonobuduvannia-17-10-2018/>

12. Петренко В.О. Застосування методів неруйнівного контролю при проведенні робіт з продовження строку служби несучих конструкцій рухомого складу залізничного транспорту. Системний аналіз результатів. 78 Міжнародна науково-практична конференція "Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (17 – 18 травня 2018 року). м. Дніпро. С. 62-63. URL: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/10501>

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

13. Кара С.В., Петренко В.О., Прокопенко П.М., Гордієнко Т.М. Дослідження несучих конструкцій тепловозів серії ЧМЕЗ та визначення можливості продовження терміну їх експлуатації. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2019. №3. С. 9 – 13. URL: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2019-131-2-09-13>.

14. Петренко В. О., Серняєв О. Г., Браславець Ю. В. Усунення дефектів несучих конструкцій тягового рухомого складу залізничного транспорту методом зварювання згідно діючих правил ремонту. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2016. №3 – 4. С. 88-93. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU\\_2016\\_3-4\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2016_3-4_15).

15. Петренко В. О., Буліч Д. І. Оцінка стану несучих конструкцій вантажних вагонів з продовженим терміном строку служби. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2017. №1. С. 48-52. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU\\_2017\\_1\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2017_1_10).

16. Петренко В. О., Серняєв О. Г., Браславець Ю. В. Нові підходи до ремонту зварюванням рухомого складу залізниць України. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2017. №4. С. 58-67. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU\\_2017\\_4\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2017_4_10).

17. Петренко В. О., Буліч Д. І. Дослідження можливостей відновлення хребтової балки вантажних вагонів в районі шворневого вузла на основі вагона-

зерновоза моделі 19-752. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2018. №4. С. 27-36. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU\\_2018\\_4\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2018_4_6)

18. Патент України на корисну модель №135500 (51) МПК (2006) B61D 17/00 B61D 17/04 (2006.01). Спосіб підвищення конструкційної міцності хребтової балки вантажного вагона. Зайцев В.О.; Петренко В.О.; Браславець Ю.В.; Кара С.В.; Прокопенко П.М.; Кошель О.О.; Яценко Л.Ф.; публ. 10.07.2019, Бюл. № 13. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=259991>

19. Науковий твір. Програма та методика ресурсних випробувань вагона-хопера модернізованого для зерна. Кара С.В., Малишко І.В., Коломієць О.П., Ігнатенко В.С., Бідун О.М., Петренко В.О. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір від 10 серпня 2020 №98806.

20. Науковий твір. Програма та методика експлуатаційних випробувань модернізованого вагона-хопера моделі 19-752. Малишко І.В., Коломієць О.П., Ігнатенко В.С., Прокопенко П.М., Бідун О.М., Петренко В.О., Кошель О.О., Буліч Д.І. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір від 10 серпня 2020 №98821.