

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля  
Міністерство освіти і науки України

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

ФОМІНА АННА МИКОЛАЇВНА

УДК 629.4.02.001.76

## ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ШЛЯХОМ  
РОЗРОБЛЕННЯ ЇХ МУЛЬТИФУНКЦІОНАЛЬНИХ СКЛАДОВИХ

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

\_\_\_\_\_ А.М. Фоміна

Науковий керівник –  
Горбунов Микола Іванович  
доктор технічних наук,  
професор

## АНОТАЦІЯ

Фоміна А.М. Удосконалення конструкцій вантажних вагонів шляхом розроблення їх мультифункціональних складових – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт». – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Сєверодонецьк, 2021.

На основі аналізу світових тенденцій розвитку транспортних засобів з'ясовано, що перспективним напрямком їх конструктивного удосконалення є впровадження в складові інноваційних принципів функціонування. Сказане підтверджується визначенням відповідних трендів у різного рівня стратегіях та програмах розвитку транспорту. При цьому особливої актуальності та важливості набувають питання щодо вирішення відповідних завдань для несівних систем засобів транспорту. Серед засобів залізничного транспорту, при розвитку зазначеного напрямку, слід виключну увагу приділити вантажним вагонам, конструкції яких переважно представляють собою загальнонесівні механічні системи. З урахуванням того, що вагон є зручним прикладом для вирішення відповідних загальнотранспортних науково-технічних проблем (тому що він взаємодіє з іншими видами транспорту за рахунок їх інтеперабельності та інтермодальності), можна стверджувати, що отримані наукові напрацювання будуть корисними і для вирішення подібних завдань для інших засобів транспортного машинобудування.

Мета роботи полягає у вирішенні наукового завдання – наукове обґрунтування доцільності розроблення та впровадження мультифункціональних складових вантажних вагонів для поліпшення їх техніко-економічних показників на основі створення та використання в їх конструкціях інноваційних принципів функціонування за умов забезпечення безпеки руху. Впровадження інноваційних принципів функціонування як основи мультифункціональних складових вантажних вагонів дозволить

покращити їх роботу по сприйняттю та перерозподілу експлуатаційних навантажень та суттєво зменшити обсяги негативного накопичення напружень, і як наслідок скоротити різні види пошкоджень.

Наукова новизна цінність дисертаційного дослідження полягає в наступному.

Вперше:

- науково обґрунтовано доцільність розроблення та впровадження мультифункціональних складових вантажних вагонів з метою поліпшення їх техніко-економічних та експлуатаційних показників, що на відміну від традиційного підходу до їх створення дозволяє генерувати їх структурно – параметричні конструктиви зі збільшеною кількістю корисних функцій. Зокрема запропоновано ряд удосконалень концептуального рівня для несівних конструктивів: відкритих та критих вагонів, вагонів-цистерн. Впровадження яких дозволить суттєво зменшити витрати на їх виготовлення та експлуатацію при забезпеченні умов безпеки руху, та створювати їх зразки нового покоління;

- розроблено узагальнюючий універсальний математичний запис (включає визначені: головний критерій пошуку – сумарний вектор дії корисного попередньо-напруженого і/або деформованого стану; сформовано область допустимих показників, шляхом виділення границь змін їх основних техніко-економічних та експлуатаційних показників; та визначені змінні параметри: величини та напрямки корисних попередніх напружень, величини та напрямки корисних попередніх деформацій) процедури реалізації корисного попередньо-напруженого і/або деформованого стану в складові вагонних конструкцій. Використання такого запису дозволить визначати оптимальні характеристики для відповідних елементів.

Дістали подальшого розвитку структурно-функціональні конструктивні описи вантажних вагонів за рахунок сформованого блочного-ієрархічного описання місць впровадження мультифункціональних складових в їх несівні системи. Застосування такого описання є ґрунтовним фундаментом для виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з метою суттєвого покращення конструктивної досконалості та функціональності вагонів.

Удосконалено фонд конструктивних виконань окремих складових та загальних конструкцій вантажних вагонів за рахунок розроблення їх мультифункціональних (пружно-дисипативних, нежорстких шарнірних, мультиматеріальних, корисно попередньо-напружених і / або деформованих) концептуальних відображень, що створює наукові передумови для проведення відповідних процедур аналізу та синтезу.

До основних практичних рішень дисертаційної роботи можна віднести:

- отримані результати аналізу міцності за розрахунковими режимами базової та перспективних конструкцій вантажних вагонів;
- запропоновані способи (корисно попередньо-напружений і / або деформований, пружно-дисипативний, нежорсткий шарнірний, мультиматеріальний) зменшення виникаючих напружень в конструкціях вантажних вагонів при їх експлуатації;
- розроблені адекватні скінчено-елементні моделі перспективних конструкцій вантажних вагонів, які можуть бути використанні при проведенні відповідних теоретично-експериментальних досліджень;
- розроблені та запатентовані інноваційні конструкції вантажних вагонів (патенти України: № 129970, № 129971, № 129972, №122862, № 214487, № 130206, № 130207, № 130258, № 131586, №131587, № 134401, №134983, № 134986, №135562, № 139756, № 142162, № 142163);
- положення та рекомендації дисертаційної роботи прийняті до розгляду і впровадження на філії «Панютинський вагоноремонтний завод» АТ «Укрзалізниця», а також використовуються у навчальному процесі Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля при підготовці фахівців спеціальності 273 – «Залізничний транспорт», що підтверджується відповідними документами (Додаток А).

**Ключові слова:** залізничний транспорт, рухомий склад залізниць, вантажні вагони, мультифункціональні складові.

## ABSTRACT

Fomina A.M. Improvement of constructions of freight wagons by developing their multifunctional components.– Qualifying scientific work on the rights of manuscript.

Thesis for a Doctor of Philosophy Degree in Specialty 273 «Railway transport»; Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, 2021.

Based on the analysis of world trends in the development of vehicles, it was found that a promising area for their constructive improvement is the introduction of innovative principles of operation. This is confirmed by the definition of relevant trends in various levels of strategies and programs for transport development. At the same time, the issues of solving the relevant tasks for non-seeded vehicle systems become especially relevant and important. Among the means of railway transport, in the development of this direction, special attention should be paid to freight wagons, the designs of which are mainly general mechanical systems. Given that the car is a convenient example for solving the relevant general transport scientific and technical problems (because it interacts with other modes of transport due to their interoperability and intermodality), it can be argued that the scientific findings will be useful for similar tasks for others. means of transport engineering.

The purpose of the work is to solve the scientific problem – scientific substantiation of the feasibility of developing and implementing multifunctional components of freight wagons to improve their technical and economic performance based on the creation and use in their designs of innovative principles of operation under traffic safety. The introduction of innovative principles of operation as the basis of multifunctional components of freight wagons will improve their performance in the perception and redistribution of operating loads and significantly reduce the negative accumulation of stress, and as a result reduce various types of damage.

The scientific novelty of the value of the dissertation research is as follows.

For the first time:

- scientifically substantiated the feasibility of development and implementation of multifunctional components of freight wagons in order to improve their technical, economic and operational performance, which in contrast to the traditional approach to their creation allows to generate their structural - parametric designs with increased useful functions. In particular, a number of conceptual level improvements for non-seeded structures have been proposed: open and covered wagons, tank wagons. The introduction of which will significantly reduce the cost of their manufacture and operation while ensuring traffic safety conditions, and create their new generation models;

- developed a generalized universal mathematical record (includes defined: the main search criterion – the total vector of useful pre-stressed and / or deformed state; formed a range of allowable indicators by highlighting the limits of changes in their main technical, economic and operational indicators; magnitude and direction of useful pre-stresses, magnitudes and direction of useful pre-deformations) procedures for the implementation of useful pre-stressed and / or deformed state in the components of car structures. Using such a record will determine the optimal characteristics for the respective elements.

Structural and functional constructive descriptions of freight wagons were further developed due to the formed block-hierarchical description of places of introduction of multifunctional components in their non-sowing systems. The application of such a description is a solid foundation for the implementation of research and development work in order to significantly improve the design perfection and functionality of wagons.

The fund of constructive executions of separate components and general constructions of freight wagons has been improved due to the development of their multifunctional (elastic-dissipative, non-rigid hinged, multi-material, useful pre-stressed and / or deformed) conceptual mappings, which creates scientific preconditions for analysis and preconditions for analysis and preconditions.

The main practical solutions of the dissertation include:

- the results of strength analysis according to the calculated modes of basic and advanced designs of freight wagons;

- the proposed methods (useful pre-stressed and /or deformed, elastic-dissipative, non-rigid hinged, multi-material) reduction of emerging stresses in the structures of freight wagons during their operation;

- adequate finite-element models of perspective designs of freight wagons are developed, which can be used in carrying out the corresponding theoretical and experimental researches;

- developed and patented innovative designs of freight wagons (patents of Ukraine: № 129970, № 129971, № 129972, № 122862, № 214487, № 130206, № 130207, № 130258, № 131586, № 131587, № 1344086, № 134983 , № 135562, № 139756, № 142162, № 142163);

- provisions and recommendations of the dissertation are accepted for consideration and implementation at the branch "Panyutyn Wagons Repair Plant" JSC "Ukrzaliznytsia", and are also used in the educational process of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University in training specialists 273 – "Railway Transport", which is confirmed by relevant documents .

**Keywords:** railway transport, railway rolling stock, freight wagons, multifunctional components.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

### Основні наукові результати дисертації опубліковані в наступних наукових працях:

1. Fomin, Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, and Vladimir Hauser. "Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry." Communications-Scientific letters of the University of Zilina 21, no. 1 (2019): 28-34.

<https://doi.org/10.26552/com.C.2019.1.28-34> (*періодичне іноземне (словацьке) наукове видання, яке проіндексоване у базі даних Scopus та віднесене до другого квартилю – Q 2*)

2. Фомін, О.В. Експериментальне оцінювання показників якості руху вагона-платформи в умовах експлуатації / О.В. Фомін, П.М. Прокопенко, А.М. Фоміна // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології». – Київ: ДУІТ, 2018. – Вип. 32-33. – С. 135-146 (*наукове фахове видання України*)

3. Фомін, О.В. Математичне моделювання процесу термічної правки балки хребтової вантажних вагонів-платформ / Фомін О.В., Логвіненко О.А., Бурлуцький О.В, Шелест Д.А., Фоміна А.М. // Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Сєверодонецьк: СНУ ім. В.Даля, 2019. – № 3(251) – С. 186-190 (*наукове фахове видання України*)

4. Фомін О.В. Контрольні випробування вантажного вагона з метою оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Бурлуцький О.В., Фоміна А.М. // «Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». Том 30 (69) Ч. 2 № 3, 2019 – С. 177-182 DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/31> (*наукове фахове видання України*)

#### **Наукові праці апробаційного характеру:**

5. Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Alyona Lovskaya, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina and Vladimír Hauser Research of the strength of the bearing structure of the flat wagon body from round pipes during transportation on the railway ferry// MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 235. 00003 (DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823500003>) (*матеріали міжнародної науково-практичної конференції, видання проіндексоване у базі даних Scopus*).



6. Фомін О.В., Математичні моделі варіації характеристик пятен нагріву при термічній правці верхніх обв'язувань піввагонів // Фомін О.В., Бурлуцький О.В., Горбунов М.І., Логвіненко О.А., Фоміна А.М. // Логістичне управління та безпека руху на транспорті: Збірник наукових праць за матеріалами Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих вчених, Сєверодонецьк-Лиман, 5-7 жовтня 2017 року – Сєверодонецьк: вид-во Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2017. –С. 180 – 184
7. Фомін, О.В., Ключові аспекти ідеології створення перспективних конструкцій рухомого складу / О.В. Фомін, М.І. Горбунов, А.М. Фоміна // Тези LXXIV-ої наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2018. – 298 с.
8. Фомин, А.В. Экспериментальная оценка показателей качества движения вагонов в составе поезда / А.В. Фомин, П.Н. Прокопенко, А.Н. Фомина // РЕСПУБЛИКАНСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МОЛОДЕЖЬ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ» (с международным участием, «Академия «Болашак», Казахстан, 2019
9. Фомін, О.В. Технічне оцінювання залишкової несівної здатності металоконструкцій напіввагона / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Фоміна А.М. // Транспортні системи та технології: проблеми та перспективи розвитку. Тези доповідей Регіональної науково-практичної конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених, аспірантів і учнів 12 квітня 2019 року [Електронний ресурс] / – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019 – С.24–26.
10. Фомін, О.В. Ключові особливості методики проведення експлуатаційних динамічних випробувань легковагового вантажного вагона / Фомін О.В. , Горбунов М.І. , Прокопенко П.М., Фоміна А.М. // Тези LXXV-ої наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2019. – 298

11. Фомін, О.В. Теоретичне оцінювання залишкового ресурсу вагопвірного вагона / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Сова С.С., Фоміна А.М. // Транспортні технології та безпека дорожнього руху. Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції, Запоріжжя, 14–15 квітня 2020 р. [Електронний ресурс] / Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. С. 47-49

**Додатково відображають наукові результати дисертації:**

12. Фомін, О.В. Удосконалення несучої конструкції вагона-хопера з метою конструктивної протидії виникненню пошкоджень / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Фоміна А.М., Омельченко В.О. // Вісник сертифікації залізничного транспорту, - м. Дніпро: ДП «ДОСЗТ», 2019. – № 02/54 (12/2019). – С. 5-16

13. Патент України на корисну модель № 129970, МПК (B61D 5/06 (2006.01)) Залізнична цистерна / Горбунов М.І., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Кара С.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № u201804499; заявка 24.04.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22/2018.

14. Патент України на корисну модель № 129971, МПК (B61D 5/06 (2006.01)) Залізнична цистерна / Горбунов М.І., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Кара С.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № u201804500; заявка 24.04.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22/2018.

15. Патент України на корисну модель № 129972, МПК (B61D 5/06 (2006.01)) Залізнична цистерна / Горбунов М.І., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Кара С.В., Фоміна А.М., Лебедев В.С. (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № u201804502; заявка 24.04.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22/2018.

16. Патент України на корисну модель №122862, МПК (2017.01) B21D 1/00 B61D 3/00 Спосіб термічної правки обв'язування верхнього піввагона // Фомін О.В., Горбунов М.І., Бурлуцький О.В., Логвіненко О.А., Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u 2017 08878; заявка 05.09.2017; публ. 25.01.2018, Бюл.№ 2

17. Патент України на корисну модель № 214487 МПК (2018.01) B61D 17/00 /Спосіб виготовлення зварювальної конструкції надп'ятника піввагона// Фомін О.В., Бурлуцький О.В., Логвіненко О.А., Горбунов М.І., Фоміна А.М. (Україна); власник: автори. – № а2017 10934; заявка 09.11.2017; публ. 10.04.2018, Бюл.№ 7.
18. Патент України на корисну модель № 130206, МПК (2018.01) B61D 17/00 (2018.01) B61D 3/00 Кришка люка універсального піввагона / Горбунов М.І., Кара С.В., Фомін О.В., Коваленко В.В., Ловська А.О., Фоміна А.М. (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № и 2018 06586; заявка 11.06.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22.
19. Патент України на корисну модель № 130207, МПК (2018.01) B61D 17/00 B61D 17/16 (2018.01) B61D 3/00 Кришка люка універсального піввагона / Горбунов М.І., Кара С.В., Фомін О.В., Коваленко В.В., Ловська А.О., Фоміна А.М. (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № и 2018 06587; заявка 11.06.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22.
20. Патент України на корисну модель № 130258, МПК (2018.01) B61D 3/00, Піввагон глуходонний // Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Цимбалюк А.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № и 2018 07212; заявка 26.06.2018 ; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22
21. Патент України на корисну модель № 131586, МПК (2006): B61D 7/00, B61D 17/00, Критий вагон-хопер для перевезення зерна // Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Цимбалюк А.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № и 2018 07208; заявка 26.06.2018; публ. 25.01.2019, Бюл.№ 2/2019
22. Патент України на корисну модель №131587, МПК (2016) B61D 7/00, B61F 1/14 (2006.01) Критий вагон-хопер для перевезення мінеральних добрив // Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Цимбалюк А.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № и 2018 07209; заявка 26.06.2018; публ. 25.01.2019, Бюл.№ 2/2019
23. Патент України на корисну модель № 134401, МПК (2006), B61D 3/00, Піввагон глуходонний// Фомін О.В., Прокопенко П.М., Обуховський В.В.,

Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u2018 12990; заявка 27.12.2018; публ. 10.05.2019, Бюл. № 9

24. Патент України на корисну модель №134983, МПК В61D 3/08 (2006.01) Універсальний вагон-платформа // Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u 201900302; заявка 11.01.2019; публ. 10.06.2019, Бюл. № 11

25. Патент України на корисну модель № 134986, МПК (2006) В61D 7/00 В61D 17/00, Критий вагон-хопер для перевезення зерна // Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u 201900306; заявка 11.01.2019; публ. 10.06.2019, Бюл. № 11

26. Патент України на корисну модель №135562, МПК (2006): В61D 7/00, В61D 17/00, Критий вагон-хопер для перевезення мінеральних добрив // Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u 201900308; заявка 11.01.2019; публ. 10.07.2019, Бюл. № 13.

27. Патент України на корисну модель № 139756, МПК 5/06 (2006.01) Залізнична цистерна // Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u 2019 00309; заявка 11.01.2019 ; публ. 27.01.2020, Бюл.№ 2.

28. Патент України на корисну модель № 142162 МПК (2020.01) В61D 3/00 В61D 3/18 (2006.01) 4-х вісний думпкар // Фомін О.В., Скляренко І.Ю., Левченко О.В., Фоміна А.М., Прокопенко П.М. (Україна); власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № u 2019 07841; заявка 11.07.2019; публ. 25.05.2020, Бюл.№ 10

29. Патент України на корисну модель № 142163, МПК (2020.01) В61D 3/00 В61D 3/18 (2006.01) Універсальний критий вагон // Фомін О.В., Скляренко І.Ю., Скок П.А., Фоміна А.М., Прокопенко П.М. (Україна); власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № u 2019 07842; заявка 26.03.2019 ; 25.05.2020, Бюл.№ 10

## ЗМІСТ

|   |  |    |
|---|--|----|
|   | ВСТУП.....   | 16 |
| 1 | КОНСТРУКТИВНИЙ АНАЛІЗ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ.....   | 24 |
|   | 1.1 Аналіз конструкцій сучасного парку вантажних вагонів ...   | 24 |
|   | 1.1.1 Конструктивний аналіз відкритих вагонів .....  | 24 |
|   | 1.1.2 Конструктивний аналіз критих вагонів.....  | 48 |
|   | 1.1.3 Конструктивний аналіз вагонів-цистерн.....   |    |
|   | 1.2 Формалізоване описання потенційних місць впровадження<br>мультифункціональних складових у вагонні<br>конструкції.....  | 63 |
|   | Висновки до розділу 1.....   | 76 |
| 2 | НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СТВОРЕННЯ<br>МУЛЬТИФУНКЦІОНАЛЬНИХ СКЛАДОВИХ<br>ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ.....  | 78 |
|   | 2.1 Теоретичні аспекти створення мультифункціональних<br>складових вантажних вагонів.....  | 78 |
|   | 2.2 Узагальнюючий універсальний математичний запис<br>процедури реалізації корисного попередньо-напруженого<br>і / або деформованого стану в складові вагонних конструкцій | 85 |
|   | 2.3 Теоретичні аспекти створення корисно попередньо<br>напружених і/або деформованих мультифункціональних<br>складових вантажних вагонів.....                              | 90 |
|   | 2.4 Мультифункціональні корисно попередньо напружені<br>і / або деформовані концепти вантажних вагонів.....  | 97 |
|   | 2.4.1 Мультифункціональний корисно попередньо<br>напружений і / або деформований концепт критого вагона-<br>хопера для перевезення цементу.....                            | 97 |
|   | 2.4.2 Мультифункціональний корисно попередньо<br>напружений і/або деформований концепт окатишевозу.....  | 99 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 2.5   | Мультифункціональні пружно-дисипативні концепти вантажних вагонів.....   | 100 |
| 2.5.1 | Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-платформи з листових ресор.....  | 100 |
| 2.5.2 | Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-хопера для перевезення зерна з листових ресор.....                                       | 102 |
| 2.5.3 | Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив з листових ресор.....                          | 103 |
| 2.5.4 | Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт напіввагона глуходонного з листових ресор.....  | 105 |
| 2.5.5 | Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт універсального критого вагона зі стійками з демпфуючими властивостями.....                      | 106 |
| 2.5.6 | Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт універсального вагона-хопера для перевезення зерна зі стійками з демпфуючими властивостями..... | 108 |
| 2.5.7 | Концепт залізничної цистерни з опорами у вигляді листових ресор.....   | 109 |
| 2.5.8 | Концепт залізничної цистерни з опорами у вигляді тарілчастих пружин.....   | 110 |
| 2.6   | Мультифункціональні нежорсткі шарнірні концепти вантажних вагонів.....   | 111 |
| 2.6.1 | Мультифункціональний шарнірний концепт 4-х вісного думпкара.....   | 111 |
| 2.6.2 | Мультифункціональний шарнірний концепт вагона-хопера для перевезення зерна.....  | 112 |
| 2.6.3 | Мультифункціональний шарнірний концепт вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив.....   | 114 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 2.6.4 | Мультифункціональний шарнірний концепт універсального вагона-платформи.....                                      | 115 |
| 2.6.5 | Мультифункціональний шарнірний концепт універсального критого вагона.....  | 116 |
| 2.6.6 | Мультифункціональний шарнірний концепт напіввагону глуходонного.....   | 119 |
| 2.6.7 | Мультифункціональний шарнірний концепт залізничної цистерни.....   | 121 |
| 2.7   | Мультиматеріальні концепти вантажних вагонів.....  | 123 |
| 2.7.1 | Мультиматеріальний концепт критого вагона.....   | 123 |
| 2.7.2 | Мультиматеріальний концепт залізничної цистерни.....   | 124 |
| 2.7.3 | Залізнична цистерна з мультиматеріальним концептом опор.....   | 126 |
|       | Висновки до розділу 2.....   | 127 |
| 3     | ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ МУЛЬТИФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОНЦЕПТІВ СКЛАДОВИХ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ.....                   | 129 |
| 3.1   | Комплексний розрахунок запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону.....                           | 129 |
| 3.2   | Експериментальні дослідження конструкції напіввагонів  | 163 |
| 3.3   | Економічна оцінка ефективності використання запропонованих рішень.....   | 168 |
|       | Висновки до розділу 3.....   | 175 |
|       | ВИСНОВКИ.....  | 176 |
|       | СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....  | 179 |
|       | ДОДАТОК А АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА КОПІЇ ОТРИМАНИХ ПАТЕНТІВ.....   | 195 |
|       | ДОДАТОК Б СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ..... | 197 |

## ВСТУП

Результати аналізу світових та державних тенденцій розвитку засобів транспорту засвідчили, що перспективним напрямком удосконалення їх конструкцій є впровадження в складові інноваційних принципів функціонування. Відповідні тренди визначені у різного рівня стратегіях та програмах розвитку транспорту. Особливої важливості при цьому набуває вирішення відповідних питань для несівних систем транспортних засобів. Серед засобів залізничного транспорту, при розвитку зазначеного напрямку, слід виключну увагу приділити вантажним вагонам, конструкції яких переважно представляють собою загальнонесівні механічні системи.

### **Актуальність теми.**

Забезпечення ефективного функціонування залізничних вантажних внутрішніх та транзитних перевезень України є однією з вирішальних умов сталої та успішної роботи економіки країни [27, 49, 128, 53-55]. Нині загальний український парк вантажних вагонів включає біля 200 тис. їх одиниць різної форми власності. При цьому він більше ніж на три чверті сформований із морально ( моделі 70-х років минулого століття) та фізично (використовуються на грані та понад призначений термін експлуатації) застарілих вагонів. Зазначене негативно впливає на безпеку при вантажоперевезеннях та конкурентоздатність залізничного транспорту. Це неминуче призводить до зниження ефективності функціонування залізничного транспорту, яка безпосередньо залежить від функціональної досконалості вантажних вагонів. З урахування вищесказаного можна вважати, що науковий напрямок досліджень з удосконалення конструкцій вантажних вагонів шляхом впровадження в їх складові мультифункціональних елементів слід вважати актуальним, а результати його розв'язання важливими та своєчасними.

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

Дисертаційна робота виконана відповідно з Законом України «Про



пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» Статтею 4 а також відповідно з діючими Державними програмами і концепціями: Стратегічні пріоритетні напрями інноваційної діяльності на 2011-2021 роки; Shift2Rail рамкова програма Європейського Союзу з фінансування досліджень та інновацій «HORIZON 2020»; проект Rail route 2050: The Sustainable Backbone of the Single European Transport Area; Угода про асоціацію між Україною та Європейським Союзом в частині співробітництва в галузі транспорту; 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.

Наукові результати дисертаційної роботи отримані здобувачем при виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт: «Створення багатофункціональних наукомістких методів енергетичного управління інженерією поверхонь контакту «колесо-рейка» для забезпечення еколого-ефективної передачі потужності» (№ держ. реєстрації 0117U000561); «Фундаментальні основи створення адекватно-спрямованого напружено-деформованого стану мульти-функціональних модулів вагоноконструкцій з можливостями перспективного широкого машинобудівного застосування» (№ держ. реєстрації 0119U100437); «Теорія та практика системного підходу створення новітнього рухомого складу залізниць мультифункціональним управлінням термомеханічною навантаженістю «колесо-колодка-рейка» для підвищення безпеки, енерго- та ресурсозаощадження» (№ держ. реєстрації 0120U102220).

### **Мета і задачі дослідження.**

Мета роботи полягає у вирішенні наукового завдання – наукове обґрунтування доцільності розроблення та впровадження мультифункціональних складових вантажних вагонів для поліпшення їх техніко-економічних показників на основі створення та використання в їх конструкціях інноваційних принципів функціонування за умов забезпечення безпеки руху. Впровадження інноваційних принципів функціонування як основи мультифункціональних складових вантажних вагонів дозволить покращити їх роботу по сприйняттю та перерозподілу експлуатаційних навантажень та суттєво зменшити обсяги негативного накопичення напружень, і як наслідок скоротити різні види пошкоджень.

Для досягнення зазначеної мети був поставлений та вирішений ряд **науково-прикладних задач**, серед яких можна виділити:

- дослідження та аналіз сучасних конструкцій сучасних вантажних вагонів;
- формування блочного-ієрархічного описання місць впровадження мультифункціональних складових в несівні системи вантажних вагонів;
- наукове обґрунтування доцільності розроблення та впровадження мультифункціональних складових вантажних вагонів;
- розроблення узагальнюючого універсального математичного запису процедури реалізації корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану в складові вагонних конструкцій;
- розроблення та патентування мультифункціональних корисно попередньо-напружених і / або деформованих концептуальних відображень конструктивних виконань окремих складових та загальних конструкцій вантажних вагонів;
- розроблення та патентування мультифункціональних пружно-дисипативних концептуальних відображень конструктивних виконань окремих складових та загальних конструкцій вантажних вагонів;

- розроблення та патентування мультифункціональних нежорстких шарнірних концептуальних відображень конструктивних виконань окремих складових та загальних конструкцій вантажних вагонів;

- розроблення та патентування мультифункціональних мультиматеріальних концептуальних відображень конструктивних виконань окремих складових та загальних конструкцій вантажних вагонів;

- розроблення практичного мультифункціонального концепту сучасного напіввагону;

- оцінка економічного ефекту від впровадження запропонованих технічних рішень.

**Об'єкт дослідження** – процеси функціонування конструктивних складових вантажних вагонів.

**Предмет дослідження** – принципи, закономірності, концептуальні відображення та описання сприйняття і перерозподілу навантажень мультифункціональними вагонними складовими: корисно попередньо напруженими і/або деформованими, шарнірними (не жорстко з'єднаними), пружними.

**Методи дослідження.**

При виконанні дисертаційного дослідження використовувались такі теорії та методи: теорія розвитку технічних систем та вирішення винахідницьких задач; методи системного підходу, теорія оптимізації; методи динаміки і міцності машин; теорія багаторівневих ієрархічних систем, методи морфологічного та функціонально аналізу; методи математичного та комп'ютерного моделювання; метод скінченних елементів; метод математичного планування експерименту; сучасні методи експериментальних досліджень рухомого складу.

**Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, які захищаються** дисертаційної роботи обумовлені виваженою та обґрунтованою постановкою мети та завдань, коректними та виваженими допущеннями, використанням класичних та загальноприйнятих теоретичних та експериментальних методів дослідження транспортних

механічних систем, сучасними методами отримання та обробки результатів, коректними та виваженими допущеннями, достовірність результатів підтверджується адекватністю розроблених моделей, до того ж отримані висновки та рекомендації не суперечать вже відомим.

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

#### **Вперше:**

- науково обґрунтовано доцільність розроблення та впровадження мультифункціональних складових вантажних вагонів з метою поліпшення їх техніко-економічних та експлуатаційних показників, що на відміну від традиційного підходу до їх створення дозволяє генерувати їх структурно – параметричні конструктиви зі збільшеною кількістю корисних функцій. Зокрема запропоновано ряд удосконалень концептуального рівня для несівних конструктивів: відкритих та критих вагонів, вагонів-цистерн. Впровадження яких дозволить суттєво зменшити витрати на їх виготовлення та експлуатацію при забезпеченні умов безпеки руху, та створювати їх зразки нового покоління;

- розроблено узагальнюючий універсальний математичний запис (включає визначені: головний критерій пошуку – сумарний вектор дії корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану; сформовано область допустимих показників, шляхом виділення границь змін їх основних техніко-економічних та експлуатаційних показників; та визначені змінні параметри: величини та напрямки корисних попередніх напружень, величини та напрямки корисних попередніх деформацій) процедури реалізації корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану в складові вагонних конструкцій. Використання такого запису дозволить визначати оптимальні характеристики для відповідних елементів.

**Дістали подальшого розвитку** структурно-функціональні конструктивні описи вантажних вагонів за рахунок сформованого блочного-ієрархічного описання місць впровадження мультифункціональних складових в їх несівні системи. Застосування такого описання є ґрунтовним

фундаментом для виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з метою суттєвого покращення конструктивної досконалості та функціональності вагонів.

**Удосконалено** фонд конструктивних виконань окремих складових та загальних конструкцій вантажних вагонів за рахунок розроблення їх мультифункціональних (корисно попередньо-напружений і / або деформований, пружно-дисипативний, нежорсткий шарнірний, мультиматеріальний) концептуальних відображень, що створює наукові передумови для проведення відповідних процедур аналізу та синтезу.

До основних практичних результатів дисертації можна віднести:

- отримані результати аналізу міцності за розрахунковими режимами базової та перспективних конструкцій вантажних вагонів;
- запропоновані способи (пружно-дисипативних, нежорстких шарнірних, мультиматеріальних, корисно попередньо-напружених і / або деформованих) зменшення виникаючих напружень в конструкціях вантажних вагонів при їх експлуатації;
- розроблені адекватні скінчено-елементні моделі перспективних конструкцій вантажних вагонів, які можуть бути використанні при проведенні відповідних теоретично-експериментальних досліджень;
- розроблені та запатентовані інноваційні конструкції вантажних вагонів (патенти України: № 129970, № 129971, № 129972, №122862, № 214487, № 130206, № 130207, № 130258, № 131586, №131587, № 134401, №134983, № 134986, №135562, № 139756, № 142162, № 142163);
- положення та рекомендації дисертаційної роботи прийняті до розгляду і впровадження на філії «Панютинський вагоноремонтний завод» ПАТ «Укрзалізниця», а також використовуються у навчальному процесі Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля при підготовці фахівців спеціальності 273 – «Залізничний транспорт», що підтверджується відповідними документами.

### **Особистий внесок здобувача.**

Результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримано особисто автором або за його безпосередньої участі (Додаток Б). У наукових роботах, опублікованих у співавторстві дисертанту належать:

[1, 5, 12, 18- 26, 28, 29] – запропоновані мультифункціональні рішення, щодо удосконалення несівних складових конструкцій;

[2, 4, 8-11] – теоретичні основи та результати натурального оцінювання мультифункціональних удосконалень конструкцій;

[3, 6, 16, 17] – запропоновані рішення та отриманні результати щодо технологічних особливостей впровадження мультифункціональних елементів;

[7] – ключові аспекти ідеології створення мультифункціональних конструкцій рухомого складу;

[13-15, 27] – запропоновані мультифункціональні рішення щодо удосконалення елементів опорних та несівних систем вагонів – цистерн.

### **Апробація результатів дисертації.**

Основні результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та отримали схвалення на 7 конференціях: Всеукраїнська науково-практична конференція студентів та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті», Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2017 р. (Україна, Сєвєродонецьк-Лиман); LXXIV-а наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, Національний транспортний університет, 2018 р. (Україна, Київ); 10th Year of International Scientific Conference «Horizons of Railway Transport 2018», 2018p. (Slovakia, Strecno); Республиканская научно-практическая конференция «Молодежь и глобальные проблемы современности» «Экспериментальная оценка показателей качества движения вагонов в составе поезда», «Академия «Болашак», 2019 р. (Казахстан, м. Алматы); Регіональна науково-практична конференція серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених, аспірантів і учнів «Транспортні

системи та технології: проблеми та перспективи розвитку», Національний університет «Запорізька політехніка», 2019 р. (Україна, Запоріжжя); LXXV-а наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, Національний транспортний університет, 2019 р. (Україна, Київ); Всеукраїнська науково-практична конференція «Транспортні технології та безпека дорожнього руху», Національний університет «Запорізька політехніка», 2020 р. (Україна, Запоріжжя).

У повному обсязі результати дисертаційної роботи доповідались і були схвалені на розширеному засіданні кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля за участю рецензентів. Сказане підтверджено висновком про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації.

### **Публікації.**

Основні положення дисертаційної роботи і результати досліджень опубліковані у 29 наукових публікаціях, з них: 1 стаття опублікована у періодичному виданні Словаччини (країна Європейського Союзу), яке проіндексоване у базі даних Scopus та віднесене до другого квартилю (Q 2), 3 статті у наукових фахових виданнях України, 8 праць апробаційного характеру (1 з них у матеріалах міжнародної науково-практичної конференції, у виданні яке проіндексоване у базі даних Scopus), 18 наукових праць, які додатково відображають наукові результати дисертації, з них 17 патентів України на корисну модель, які вказані у списку опублікованих праць за темою дисертації.

## РОЗДІЛ 1

### КОНСТРУКТИВНИЙ АНАЛІЗ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

#### 1.1 Аналіз конструкцій сучасного парку вантажних вагонів

##### 1.1.1 Конструктивний аналіз відкритих вагонів

Проблемам та завданням з удосконалення конструкцій вантажних вагонів з метою поліпшення їх техніко-економічних показників [8, 9, 62-68], присвячена значна кількість праць науково-прикладного характеру. Значений вклад в розвиток такого наукового напрямку зробили: Боднар Б.Є., Бубнов В.М., Голубенко О.Л., Головка В.Ф., Горбенко А.П., Горбунов М.І., Донченко А.В., Дьомін Ю.В., Кельріх М.Б., Кузміч Л.Д., Лазарян В.А., Мартинов І.Е., Маслієв В.Г., Мороз В.І., Мямлін С.В., Панченко С.В., Пасько В.В., Путятю А.В., Радзіховського А.О., Рейдемейстера Г.В., Сафронов О.М., Сапронова С.Ю., Сенька В.І., Серпіка І.Н., Ткаченко В.П., Устич П.А., Шадур Д.А., Черняк Г.Ю. та інші. При цьому питанням поліпшення їх техніко-економічних показників шляхом впровадження мультифункціональних складових не було приділено достатню увагу.

Відкриті вагони призначені для перевезення кам'яного вугілля, руди, лісу, прокату металу, а також інших сипких і штучних вантажів, що не вимагають захисту від дій атмосферного середовища [74-76]. Кузов відкритого вагона [21, 30, 57-61, 63-69] не має даху, що забезпечує зручність використання різноманітних ефективних засобів механізації (мостові крани, вагоноперекидачі і ін.) при його завантаженні і вивантаженні. Найбільш поширений тип універсального напіввагона [40-46] має кузов 1 (Рисунок 1.1, а) з розвантажувальними люками в підлозі, кришки 2 яких відкриваються, утворюючи похилі площини.



Сипкий вантаж 3 самостійно вивантажується по обидві сторони, а при необхідності – в один бік від залізничної колії. У закритому положенні кришки утворюють горизонтальну підлогу, що дозволяє транспортувати вантажі широкої номенклатури. Такі конструкції кузовів піввагонів можуть мати торцеві двері або глухі торцеві стіни. Слід зазначити, що кузова з глухими торцевими стінами на цей час набули найбільшого поширення серед різних виконань конструкцій напіввагонів.

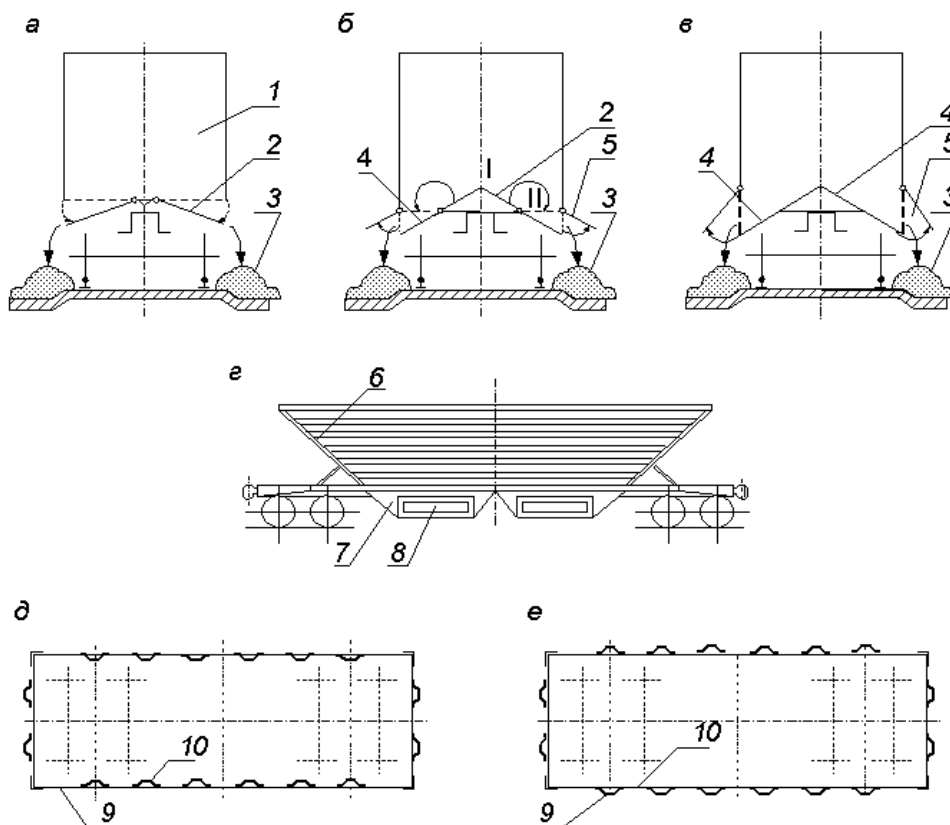


Рисунок 1.1 – Конструктивні схеми кузовів напіввагонів:  
 а - з розвантажувальними люками в підлозі; б - з трансформованою системою підлоги і люками в стінах бокових;  
 в - з не трансформованою двоскатною підлогою; г - типу хопер;  
 д - із зовнішнім розташуванням обшивки стін відносно стійок; е - з внутрішнім розташуванням обшивки стін відносно стійок;  
 1 - кузов; 2, 5, 8 - кришка люка; 3 - сипкий вантаж; 4 - двоскатна підлога; б - стіна торцева; 7 - бункер; 9 - обшивка; 10 - стійка

Раціональною конструктивною схемою кузова напіввагона є варіант з трансформованою системою підлоги і люками в бокових стінах (рисунок 1.1, б). Перед завантаженням сипкого вантажу кришки 5 відкидаються – положення I, утворюючи спільно з похилими частинами

двоскатну підлогу. Для вивантаження з кузова сипкого вантажу бічні кришки люків 2 відкривають і вантаж 3 самостійно висипається. Перед завантаженням штучних і довгомірних вантажів кришки 2 встановлюють в положення II, утворюючи плоску підлогу.

Кузов спеціалізованого напіввагона для сипких вантажів може проектуватися і з нетрансформованою двоскатною підлогою 4 (рисунок 1.1, в). Кришки, що відкидаються, 5 розвантажувальних люків в бокових стінах забезпечують вивантаження сипкого вантажу 3 на обидві сторони.

В експлуатації знайшли також застосування напіввагони з конструкцією кузова типу хопер (рисунок 1.1, г), які призначені для перевезення сипких вантажів, що не вимагають захисту від атмосферних опадів. Стіни торцеві 6 такого кузова нахилені у бік бункерних пристроїв 7, розвантажувальні люки яких обладнані кришками 8. Існують конструкції люків, що забезпечують вивантаження вантажу на обидві сторони від шляху і в міжрейковий простір.

На напрямках з великим об'ємом перевезень руди і вугілля використовуються замкнуті маршрути, що формуються із спеціалізованих напіввагонів з глухим кузовом (без розвантажувальних люків і торцевих дверей). Такі конструкції напіввагонів розраховані на розвантаження за допомогою вагоноперекидачів.

Щоб краще використовувати об'єм в заданому габариті рухомого складу, кузова можуть проектуватися із зовнішнім розташуванням обшивки 9 стін відносно стійок 10 (рисунок 1.1, д). В порівнянні з внутрішнім розташуванням обшивки 9 відносно стійок 10 (рисунок 1.1, е), це забезпечує збільшення об'єму кузова і статичного навантаження вагону при тих же зовнішніх розмірах, але негативно впливає на процес розвантаження та очищення кузова.

Основним представниками вітчизняних відкритих вагонів є напіввагони моделі 12-753 (рисунок 1.2), 12-757 (рисунок 1.3), 12-1000 (рисунок 1.4) виробником яких є Крюковський вагонобудівний завод.

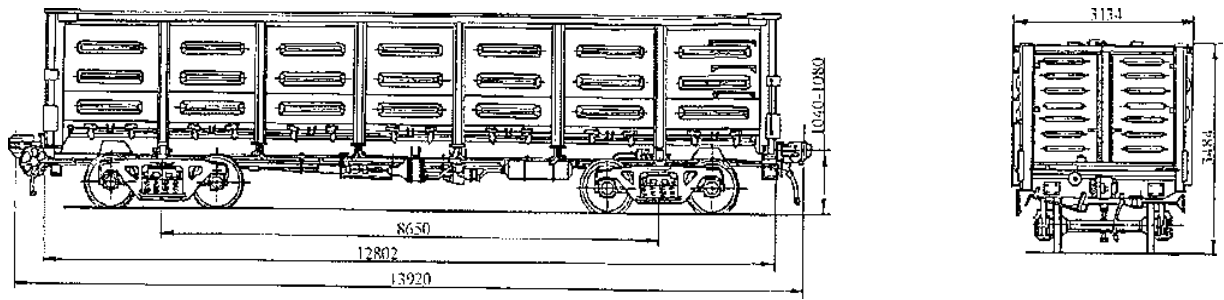


Рисунок 1.2 – Чотиривісний напіввагон, модель 12-753

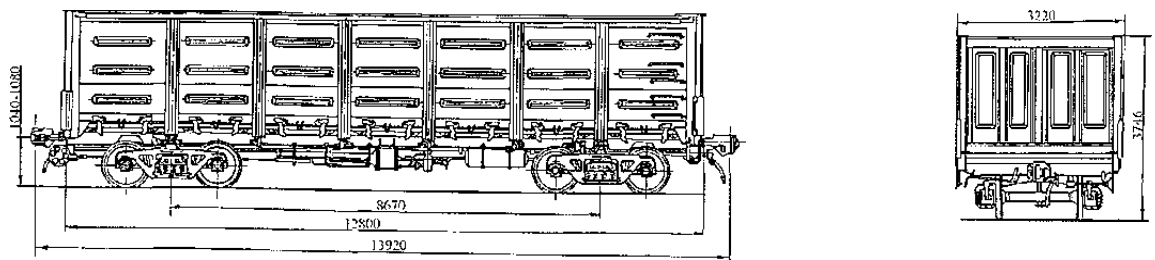


Рисунок 1.3 – Чотиривісний напіввагон, модель 12-757

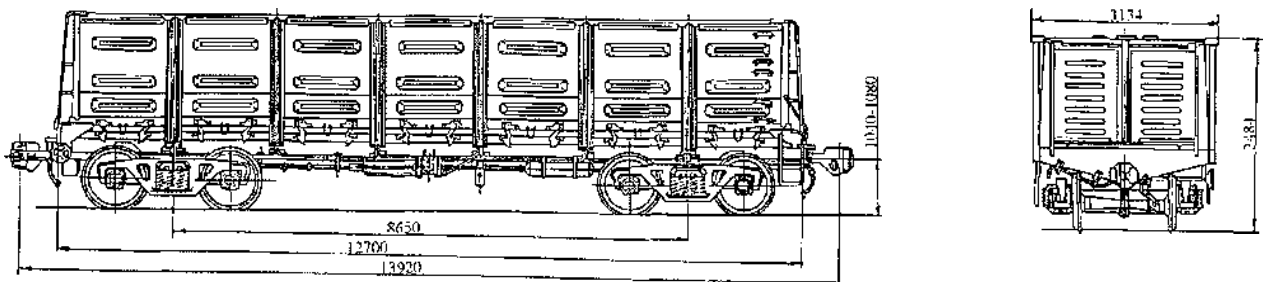


Рисунок 1.4 – Чотиривісний напіввагон, модель 12-1000

Універсальний чотиривісний напіввагон моделей 12-753 та 12-119, які будувалися відповідно Крюковським та Уральським вагонобудівними заводами, спроектовані по габариту 0-ВМ і призначені для експлуатації по залізницях колії 1520 мм.

Кузова цих напіввагонів суцільнометалеві, виконані з типових профілів і відрізняються лише конструкцією торцевих стін, кінцевих балок рам, кутових стояків бокових стін, торсіонних механізмів.

Напіввагони обладнані підніжками і поручнями, необхідними для безпечної роботи складачів вагонів, а також зовнішніми і внутрішніми

драбинами, розташованими по діагоналі на бокових стінах з внутрішнього і зовнішнього боків кузова.

Для навішування поїзних сигналів кузова забезпечені крон-штейнами, а для ув'язки і кріплення вантажу зовні і всередині кузова обладнані скобами і кільцями. Для можливості перевезення лісоматеріалів з "шапкою" передбачені скоби для встановлення лісових стояків. Для підтягування вагона за допомогою лебідки на зовнішній стороні кузова приварені спеціальні пристосування.

Кузов напіввагона моделі 12-753 (рисунок 1.5) суцільнометалевий, з чотирнадцятьма розвантажувальними люками в підлозі та двостулковими торцевими дверима.



Рисунок 1.5 – Напіввагон моделі 12-753

Він складається з рами 13 (рисунок 1.6), двох бокових 1 і двох торцевих стін 2, а також підлоги, утвореної кришками люків. Торцеві двері навішуються трьома петлями 4 на кронштейни кутових стояків бокових стін і при необхідності відкриваються всередину.

Ліва стулка фіксується в закритому положенні нижнім замком 6 у вигляді закидачки, а права - верхнім клиновим замком 8.

Зовнішні сходи 3 і поручень 5 встановлені для зручності обслуговування вагона в експлуатації.

Для додання необхідної міцності кріпленню кутових стоек до кінцевих балок рами і нижніх об'язок стін місця їх з'єднання посилені накладками 9,

10, 11 і 12. Місця з'єднання проміжних стоек з поперечними балками рами також посилені накладками 14.

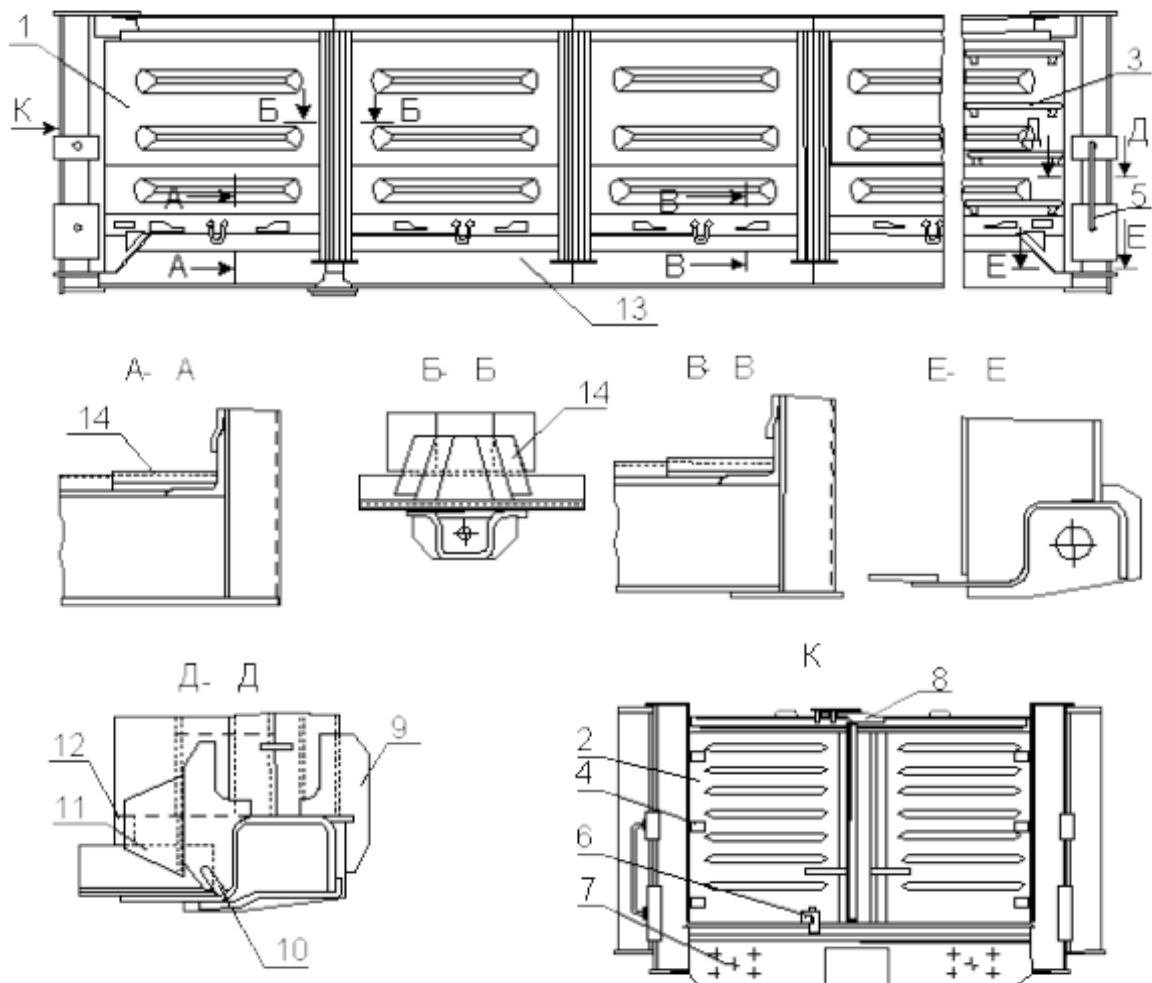


Рисунок 1.6 – Кузов універсального напіввагона моделі 12-753

На кінцевих балках рами передбачені посадочні місця 7 для постановки буферних стаканів на випадок зчеплення з вагонами, обладнаними гвинтовою стяжкою.

Рама утворена хребтовою 7, двома кінцевими 2, двома шворневими та проміжними поперечними 11 балками (рисунок 1.7).

Хребтова балка зварена з двох Z-образних профілів 8 № 31, перекритим двотавром 10 № 19, який призначений для кріплення петель 1 і навішування на них кришок люків. В консольній частини хребтової балки встановлені передні та задні упори автозчепів.

Передні упори виконані разом з ударною розеткою 17. У зоні розміщення поглинаючих апаратів знизу до хребтової балки кріпляться підтримуючі планки 14, а в зоні задніх упорів - підсилюючі накладки 12. Для кріплення гальмівного циліндра на хребтовій балці встановлені кронштейни 12.

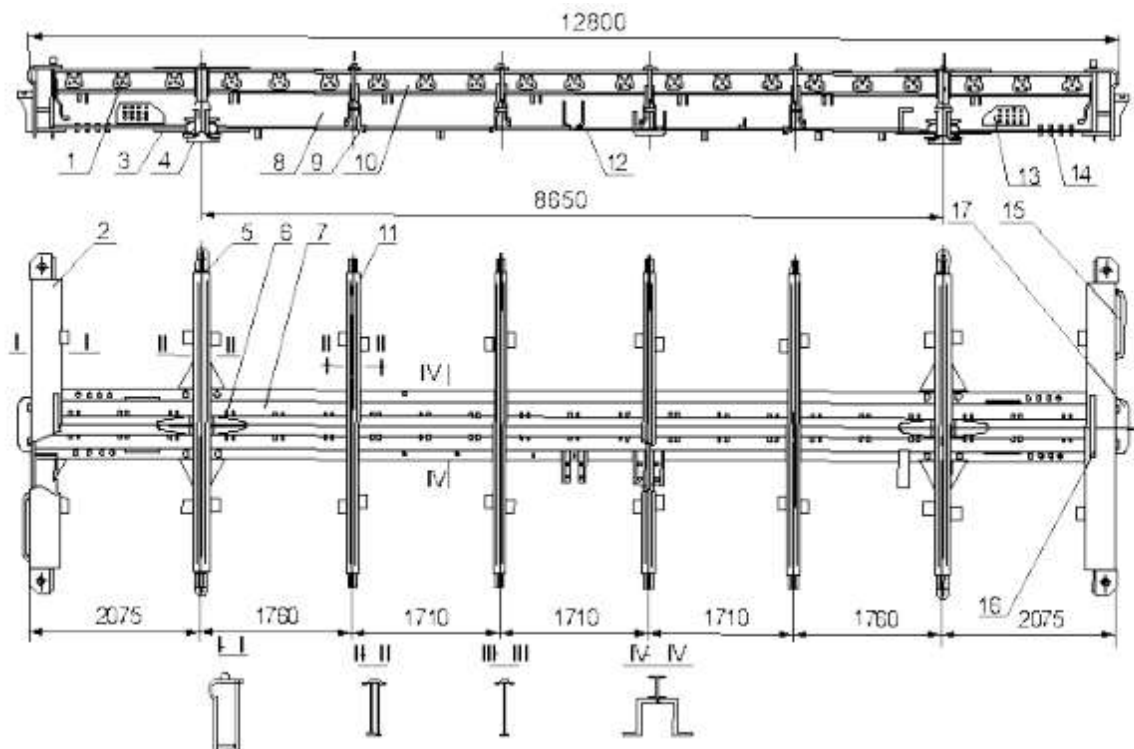


Рисунок 1.7 – Рама універсального напіввагона моделі 12-753

Кінцеві балки 2 рами значно посилені, так як на них передбачені посадочні місця для можливого встановлення буферних комплектів, через які передаються значні ударні навантаження.

Кінцева балка 2 складається з Г-подібного елемента, нижнього горизонтального листа, опорної планки для кутової стойки скороченого вертикального листа.

Лобовий вертикальний лист на всій своїй довжині має виштамповку глибиною 50 мм, що дозволила збільшити внутрішню довжину кузова і його об'єм без зміни довжини вагона по осях зчеплення автотзчепів. У зонах постановки буферних стаканів балка додатково посилена накладками і ребрами.

З'єднання лобового вертикального і горизонтального листів посилено смугою 50×10 мм, а місце примикання нижнього листа до хребтової балки - косинкою. Із зовнішнього боку на лобовому листі укріплені поручень 15 і кронштейн стоянкового гальма.

Зверху на кінцевий балці приварений поріг 16, який служить упором дверей, перешкоджаючи відкриванню їх назовні кузова.

Шворнева балка 5 має замкнутий коробчастий переріз. Вона зварена з двох вертикальних листів товщиною 8 мм, верхнього листа з опуклим гофром (10 мм) і нижнього гладкого листа 3 (12 мм).

Місце перерізу шворневої і хребтової балок посилено надп'ятніковою коробкою і накладками 6. У цій зоні до нижнього горизонтального листу шворневої балки приклепаний п'ятник 4, а на відстані 762 мм від повздовжньої осі вагона - ковзуни. Поперечні балки 11 виконані зварними двотаврового перерізу. Вони складаються з вертикального листа товщиною 7 мм, верхнього гофрованого листа (8 мм) і нижнього гладкого листа (12 мм).

Гофри на верхніх листах шворневих і поперечних балок необхідні для забезпечення перевезення довгомірних вантажів: точки контакту будуть підняті над рівнем кришок люків і вантажі будуть спиратися саме на гофри. Таким чином буде попереджена деформація кришок люків. Шворневі та проміжні поперечні балки мають змінну висоту по довжині для забезпечення їх рівної міцності. До всіх поперечних балок приварені кронштейни 9 для обпирання на них кришок люків у відкритому положенні.

Бокова стіна кузова (рисунок 1.8) суцільнометалева. Верхня обв'язка 7 складається з двох холоднокатаних профілів товщиною 6 і 7 мм і має форму замкненої коробки, а нижня обв'язка 12 виконана з прокатного кутового профілю 160×100×10 мм.

Кутові стояки 3 виконані зі спеціального профілю корито-подібного перерізу товщиною 8 мм, а шворневі і проміжні 11 - з Ω-подібного профілю товщиною 9-13 мм.

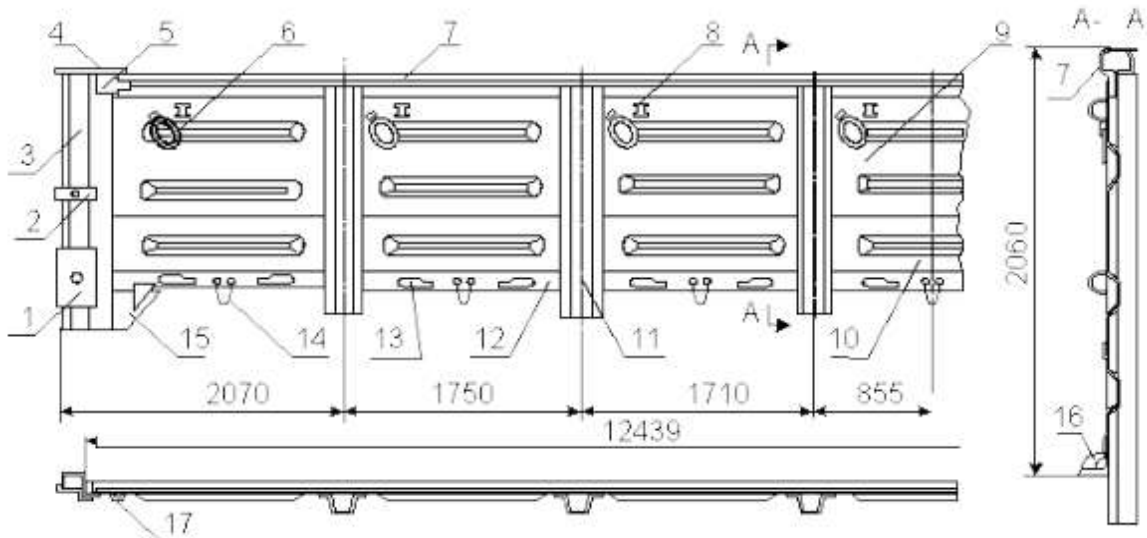


Рисунок 1.8 – Бокова стіна універсального напіввагона моделі 12-753

Кутові стойки пов'язані з верхньою обв'язкою накладками 4 і 5, а з нижньою обв'язкою - косинкою 15. Для кріплення поручня і додання основним профілям кутового стояка більшої жорсткості вона по висоті з'єднана накладками 1 і 2. Обшивка стіни складається з верхнього листа 9 товщиною 4 мм і нижнього листа 10 товщиною 5 мм. Для додання їм необхідної жорсткості листи виготовлені із поздовжніми гофрами глибиною 40 мм.

Для ув'язки і кріплення вантажу всередині кузова бокові стіни обладнані ув'язочними кільцями 6 і скобами 16, а для установки лісових стояків - скобами 8. Для підтягування вагона за допомогою лебідки передбачені скоби 17.

На нижній обв'язці стін закріплені планки 13, необхідні для розміщення в них секторів запорів кришок люків і скоби 14, за допомогою яких кришки підтягуються ломом.

Торцеві стіни кузова виконані у вигляді двостулкових дверей (рисунок 1.9), стулки яких навішуються шарнірно на трьох петлях на кронштейни кутових стояків бокових стін і відкриваються всередину.



Кожна із стулук дверей складається з каркаса і металевої обшивки 9 завтовшки 5 мм. Каркас зварений з верхньої 1, нижньої 8, бокових 7 і середньої 2 або 6 обв'язок.

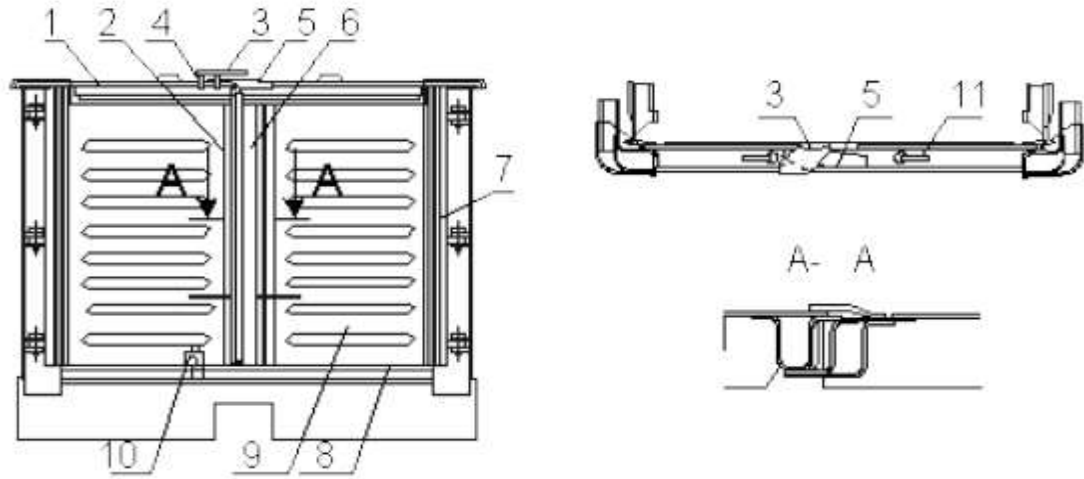


Рисунок 1.9– Торцева стіна універсального напіввагона моделі 12-753

Верхня обв'язка 1 виконана у формі коробки з гнучого П-подібного профілю та гладкого листа, а середні 2 і 6 - з гнутих  $\Omega$ -і Z-подібних профілів (розріз А-А).

Бокові і нижні обв'язки виготовлені з куточків. У закритому положенні двері утримують верхній і нижній запори. Нижній запор 10 у вигляді закидачки розташований на лівій стулці.

Якщо двері закриті, закидачка заходить за поріг і не дозволяє стулці відкриватися. Права стулка утримується в закритому положенні за допомогою верхнього запору.

Цей запор складається з клину 5, укріпленого на верхній обв'язці правої стулки, прямого клину 4 і планки 3, які приварені до верхньої обв'язки лівої стулки дверей.

Для фіксації у відкритому положенні на стулках дверей передбачені спеціальні скоби, що обертаються.

Стулки торцевих дверей також обладнані скобами для лісових стояків.

Рама і підкріплюючі елементи кузова виготовлені з низько-легованої сталі 09Г2Д, а обшивка - зі сталі 10ХНДП.

Кришки люків (рисунок 1.11), що утворюють підлогу кузова, призначені для вивантаження сипкого вантажу з вагона при відкритому положенні.

Кришки виготовлені з металевих гофрованих листів 2 товщиною 5 мм, підкріплені елементами жорсткості. До підкріплювальних елементів кришок відносяться: бокові 7, передня 8 і середня 6 балки, а також підсилююча планка 3.

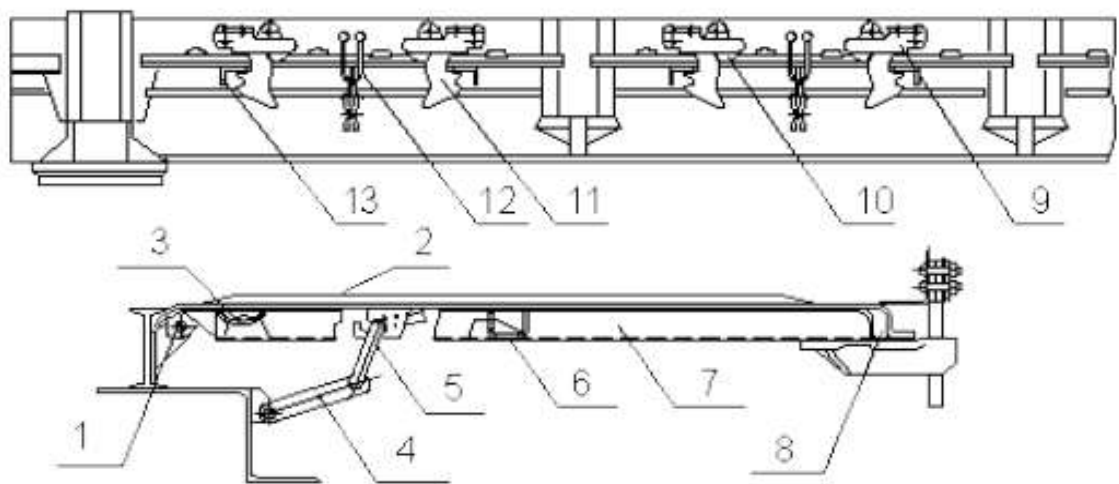


Рисунок 1.11 – Кришка люка універсального напіввагона моделі 12-753

Для полегшення закривання кришок кожна з них забезпечена торсійним пристроєм. Кришки до хребтової балки шарнірно кріпляться за допомогою трьох петель 1.

Запор кришки люка складається з закидачки 11, сектора 10 і планки 9.

Закидачка має два зуба: при закриванні кришки спочатку закидачку ставлять на нижній зуб, а потім через скобу 12 кришку підтягують ломом так, щоб запірні кронштейни 13 захоплювалися верхнім основним зубом закидки. Сектор 10 служить для фіксації закидки 11 в закритому положенні та попередження самовільного відкривання закидачки 11, а отже, кришки люка.

Торсіон 5 являє собою пружний стрижень з відігнутими кінцями. Одним кінцем він шарнірно закріплений в кришці, а іншим з'єднаний з важелем 4, що хитається, а також шарнірно пов'язаним з хребтової балкою.

При відкритті заборів кришка під дією маси вантажу падає вниз і закручує торсіон, в результаті чого в ньому з'являються пружні напруження, а на кінцях - сили реакції, які прагнуть підняти кришку в горизонтальне положення.

Після вивантаження вантажу ці сили полегшують підйом і закривання кришки люка. Вантаж через відкриті люки вивантажується з кузова по обидві сторони самопливом.

Чотиривісний універсальний напіввагон моделі 12-783 (рисунок 1.11) призначений для перевезення сипких вантажів, у тому числі з м'яких шматків, а також штучних і штабельних вантажів, що не потребують захисту від атмосферних опадів, по всій мережі залізниць України, держав-учасниць Ради Співдружності по залізничному транспорту колії 1520 мм і по залізницях європейських країн колії 1435 мм (при підкочуванні відповідних колісних пар і переобладнаній для цієї мети гальмівної важільної передачі).



Рисунок 1.11 – Загальний вигляд універсального напіввагона моделі 12-783

Напіввагон (рисунок 1.12) складається з наступних частин: кузова 1, люкових пристроїв для розвантаження 2, автоматичного гальма 3,

стоянкового гальма 4, автозчепних пристроїв 5 та ходової частини, що складається з двох візків 6.

Напіввагон може бути обладнаний двома кодovими бортовими датчиками, встановленими на нижній обв'язці по діагоналі.

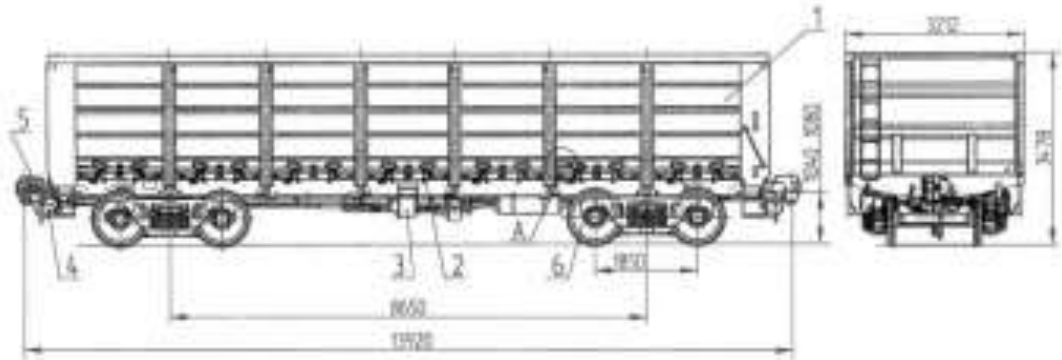


Рисунок 1.12 – Основні конструктивні елементи універсального напіввагона моделі 12-783

Кузов (рисунок 1.13) включає в себе дві бокові стіни 1, дві торцеві стіни 2, раму 3. На торцевих стінах кузова зовні встановлені сходи 4.

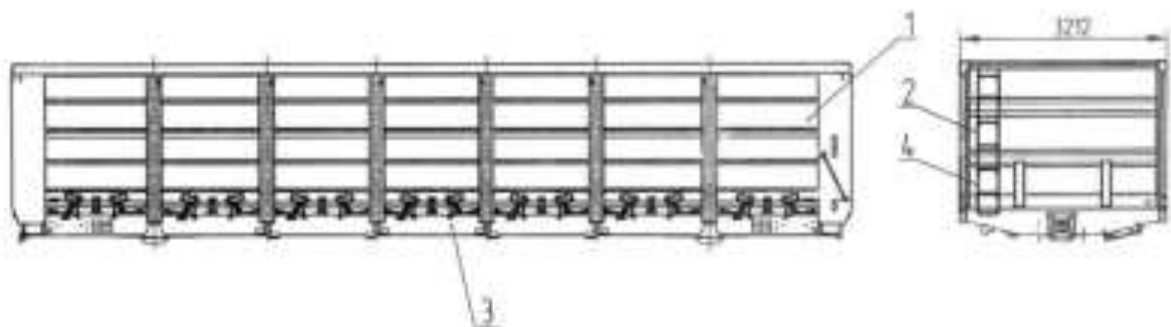


Рисунок 1.13 – Кузов універсального напіввагона моделі 12-783

Бокова стіна кузова (рисунок 1.14) складається з каркаса і обшивки 5.

Каркас включає верхню 1 і нижню обв'язки 2, проміжні стойки 4 і з'єднувальні накладки 3.

Верхня обв'язка виконана з профілю прямокутного перерізу  $140 \times 110 \times 7$  мм. Нижня обв'язка являє собою гарячекатаний кутовий профіль  $160 \times 100 \times 10$

мм. Проміжні стояки виконані з прокату вагонного стояка, в нижній частині яких вварені планки, які посилюють стояки і з'єднують стіни з проміжними балками рами.

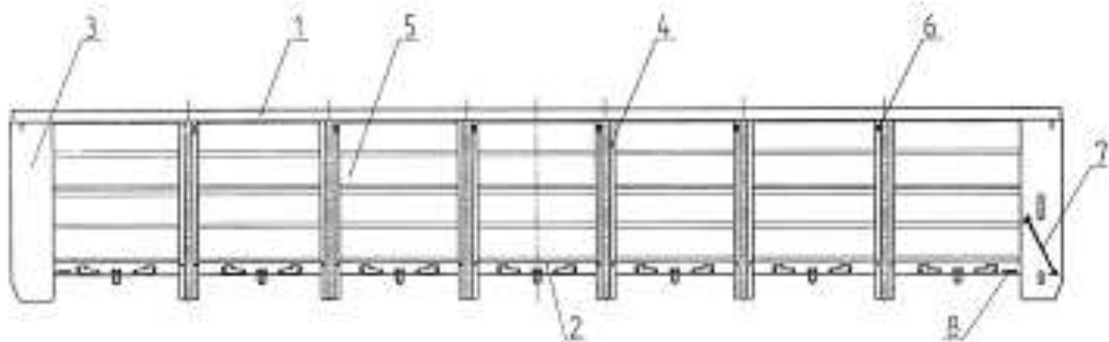


Рисунок 1.14 – Бокова стіна кузова універсального напіввагона моделі 12-783

Обшивка бокової стіни складається з двох гарячекатаних гофрованих листів товщиною 4 мм, зварених внахлест.

На зовнішній стороні бокової стіни кріпляться поручень складача 7, ув'язувальні скоби 6 і тягові кронштейни 8.

На внутрішній стороні бокової стіни (рисунок 1.15) у верхній частині розташовані скоби лісових стояків 1, ув'язувальні скоби верхні і середні 2, які розраховані на навантаження 15 кН і 25 кН відповідно. Нижні ув'язувальні кільця 3 розміщені на нижній обв'язці і здатні сприймати інерційні навантаження до 150 кН.

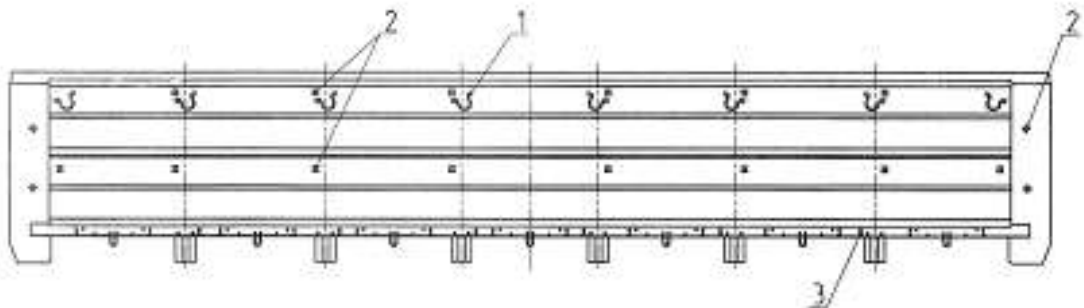


Рисунок 1.15 – Внутрішня поверхня бокової стіни кузова універсального напіввагона моделі 12-783

Торцева стіна кузова універсального напіввагона моделі 12-783 (рисунок 1.16) складається з верхньої обв'язки 1, двох бокових стояків 3.

Стіна підкріплена елементами жорсткості - двома поясами 4, виконаними з прокату вагонної стояка, двома вертикальними стояками 5, а також обшивою 2. Верхня обв'язка виконана з двох швелерів № 12 і армує верхню кромку листа обшиви. Бокові стояки виконані з швелера № 12, вертикальні стойки омега-подібного перерізу виготовлені з листового прокату.

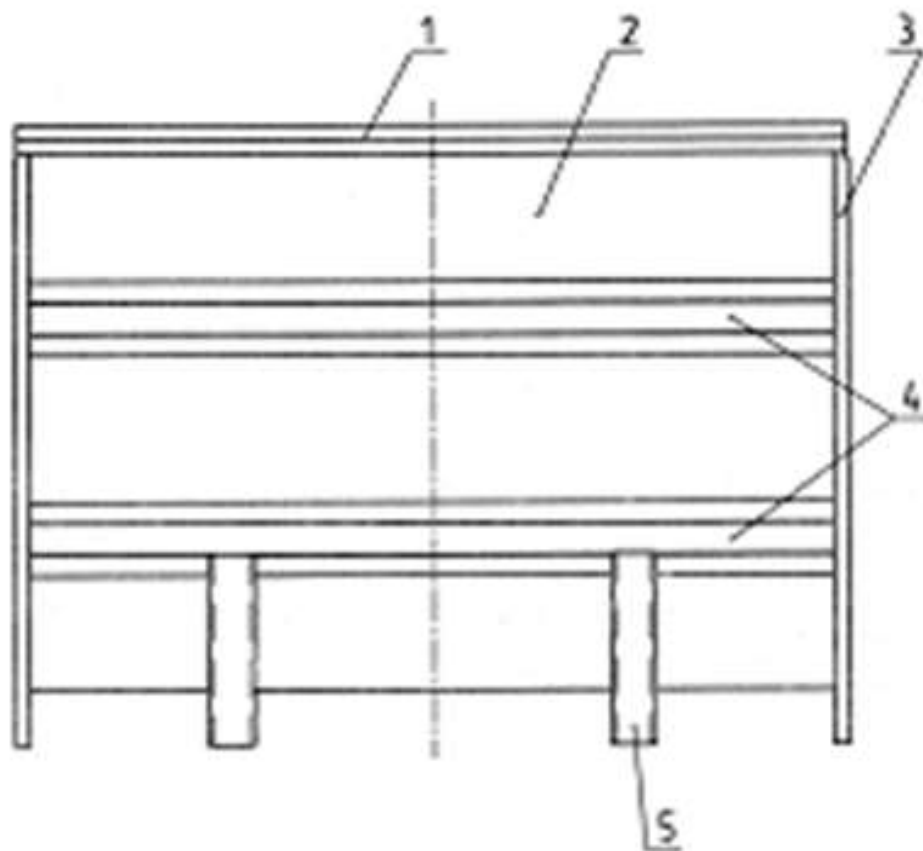


Рисунок 1.16 – Торцева стіна кузова універсального напіввагона моделі 12-783

На внутрішній стороні торцевої стіни (рисунок 1.17) розташовані скоби лісових стояків 1, поручні-ступені 2, ув'язувальні скоби 3.

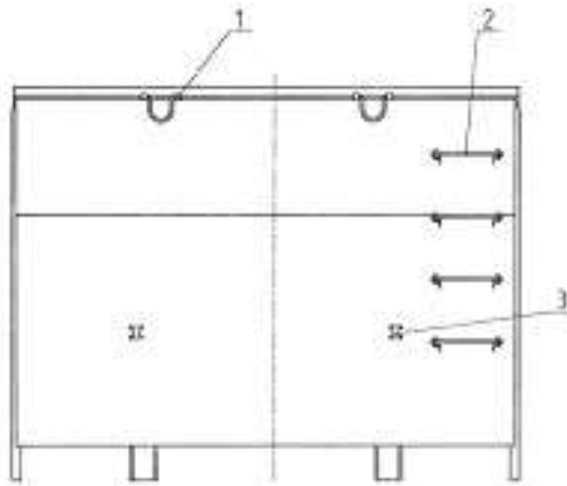


Рисунок 1.17 – Внутрішня сторона торцевої стіни кузова напіввагона моделі 12-783

Рама (рисунок 1.18) є несучим елементом напіввагона і складається з хребтової балки 1, двох кінцевих балок 2, двох шворневих балок 3 і чотирьох проміжних балок 4.

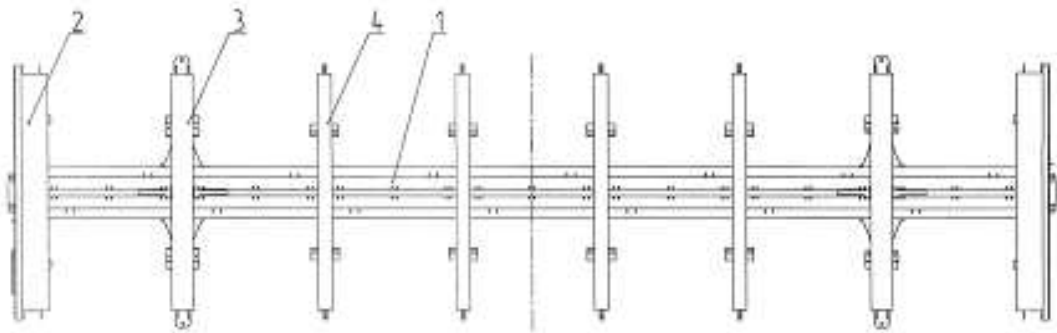


Рисунок 1.18 – Рама універсального напіввагона моделі 12-783

На рамі встановлюються кришки люків з механізмами підйому і замикання, автозчепний пристрій, автоматичне та стоянкове гальмо.

Для встановлення на візки рама обладнана двома п'ятниками і чотирма ковзунами.

Хребтова балка 1 складається з трьох гарячекатаних профілів: двох зетових № 31 та спеціального двотавра висотою 190 мм, зварених між собою. До двотавра прикріплені державки кришок люків. В консольній частини хребтової балки встановлюються передні і задні упори автозчепу клепаної конструкції. У зоні розташування шворневих балок і п'ятників уварені надп'ятники. У місцях з'єднання проміжних балок з хребтовою через щілини в зетах пропущені чотири нижніх листи, над якими уварені діафрагми.

Кінцева балка 2 зварної конструкції складається з лобового листа, верхнього листа, двох задніх листів і чотирьох діафрагм.

До задніх листів приварені упори кришок люків і планки, що оберігають візки від засипання дрібними фракціями вантажів при розвантаженні напіввагона через люки в підлозі. На одній з кінцевих балок встановлюється поручень складача вагонів, на другий приварений фіксатор стоянкового гальма.

Шворнева балка 3 зварної конструкції коробчастого перерізу змінної жорсткості складається з верхнього, чотирьох вертикальних і нижнього листів.

Приварені до вертикальних листів планки та до нижнього листа приставки оберігають візок від засипання дрібними фракціями вантажів при розвантаженні через люки.

На шворневій балці встановлені два ковзуни і штампований п'ятник, якими кузов напіввагона спирається на візки. П'ятник приклепаний до нижнього листа шворневої балки, полкам зетів і до плити надп'ятника. До нижнього листа приварюються ковзуни.

Проміжна балка 4 складається з верхнього, двох вертикальних та двох нижніх листів. До вертикальних листів приварюються упори кришок люків.

Люковий пристрій складається з 14 кришок люків для розвантаження, механізму підйому люків (торсіони) і механізму замикання.

Кришки люків в закритому положенні разом з елементами рами утворюють підлогу вагона.



Кришка люка (рисунок 1.19) складається з каркаса, листа 1 і запірних кронштейнів 7.

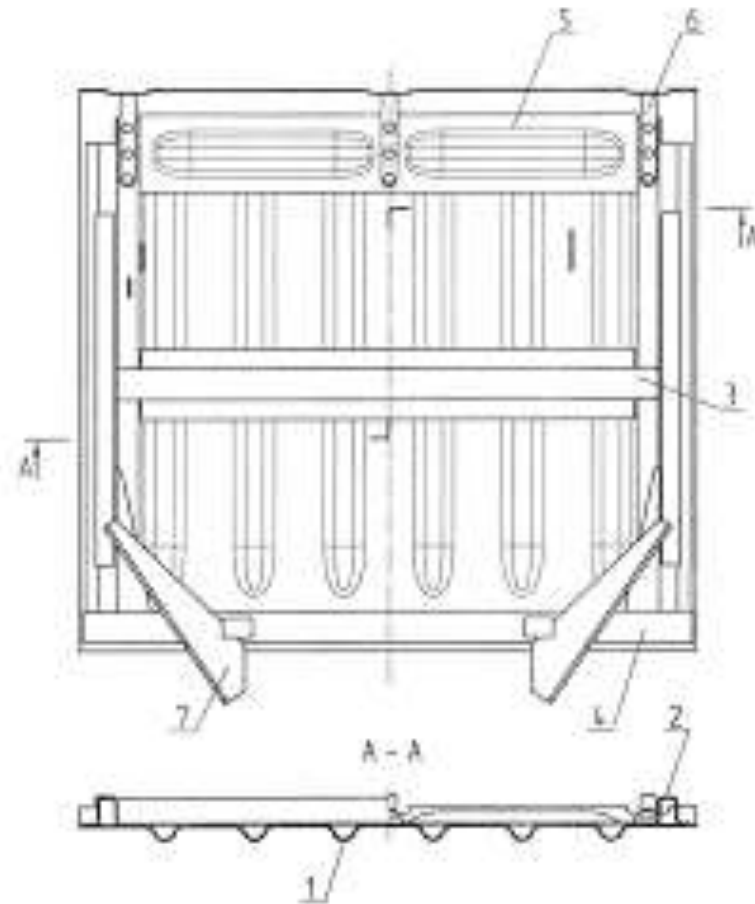


Рисунок 1.19 – Кришка люка універсального напіввагона моделі 12-783

Каркас кришки включає бокову 2, середню 3 та передню 4 обв'язки, а також посилюючу планку 5.

Петлями 6 кришка люка навішується на державки, розташовані на рамі. Для кріплення застосовуються осі, шайби, шплінти.

Механізм запирання кришки люка (рисунок 1.20 складається з закидачок 2, шарнірно підвішених на нижній обв'язці бокової стіни за допомогою скоб 1 і 6, болтів і гайок 9 та 8.

Сектори 3 і 5 обертаються на болтах 10, втулках 12 і утримують закидачки від мимовільного відкривання.

Механізм запирання кришки люка може бути обладнаний пружинними кільцями 14 (рисунок 1.20, варіант Б), які додатково закривають кришки люків.

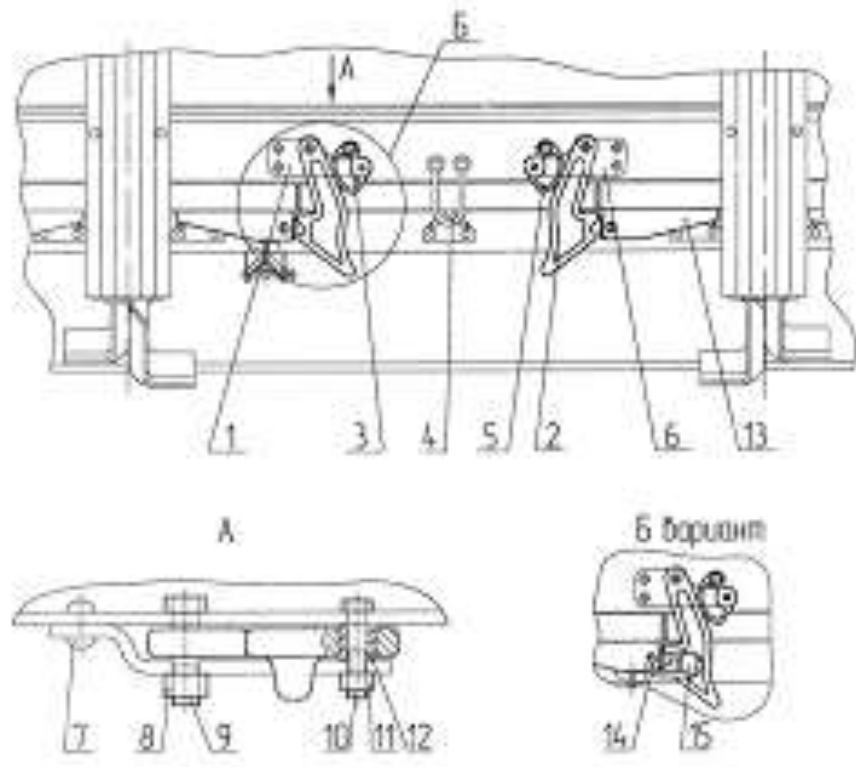


Рисунок 1.19 – Механізм запирання кришок люків

Для закриття кільця 14 необхідно накинути його розрізаною частиною на упор 15 закидачки, ввести всередину кільця між кронштейном 13 та упором 15 ломик діаметром 20 мм та довжиною 500 мм, притиснути верхній кінець ломака до верхньої гілки кільця і, натискаючи на нижній кінець ролика, натягнути нижню частину кільця 14 на упор 15.

Для відкривання необхідно ввести у кільце з внутрішньої сторони ломик, притиснути верхній кінець роликом до верхньої частини кільця та, натискаючи на верхній кінець ролика, стягнути нижню частину з упору.

Торсійний механізм (рисунок 1.21) служить для полегшення підйому кришки люка. Його силовим елементом є торсіон 2, що накопичує енергію при опусканні кришки люка і віддає енергію при підйомі.

Торсіон встановлений на кришці в опорах 1 і 8 і шарнірно з'єднаний з важелем 3. Важіль шарнірно підвішений до хребтової балці за допомогою вушок 7, осі 4, шайби 5 і шплінта 5.

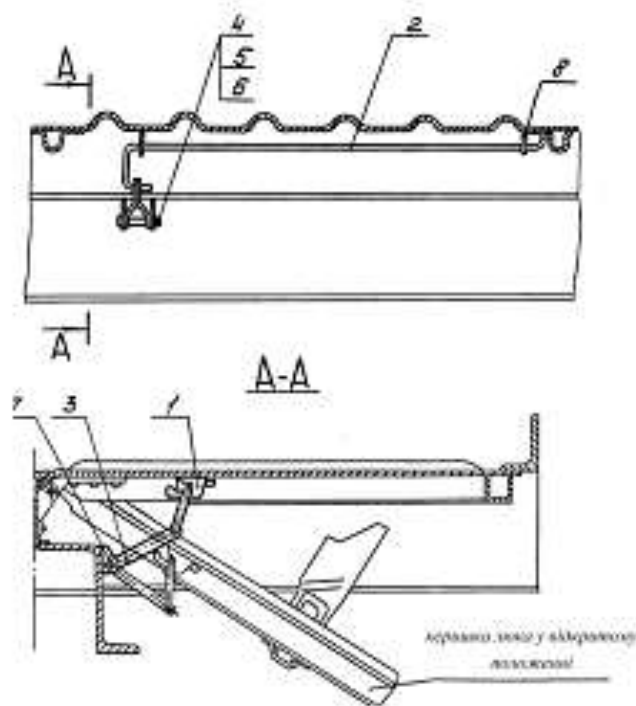


Рисунок 1.21 – Торсійний механізм

ПАТ "КрВБЗ" випускається напіввагон моделі 12-791 з напівциліндричним глухим дном (рисунок 1.22).



Рисунок 1.22 – Загальний вигляд напіввагона моделі 12-791

Вагон призначений для перевезення сипких вантажів, (у тому числі з мілких шматків), що не вимагають захисту від атмосферних опадів, по мережі залізниць України та країн СНД з шириною колії 1520 мм із

забезпеченням можливості механізації вантажно-розвантажувальних робіт і використання вагоноперекидачів.

Кузов (рисунок 1.23) виконаний глухим, з округленими поверхнями в кутах з'єднання рами 1 з боковими 2 і торцевими 3 стінами.

Бокова стіна 2 кузова складається з каркаса і обшиви 8. Каркас включає верхню 4 і нижню 5 обв'язки, вертикальні стояки 6, а також чотири поздовжні балки 7 - по дві на краях.

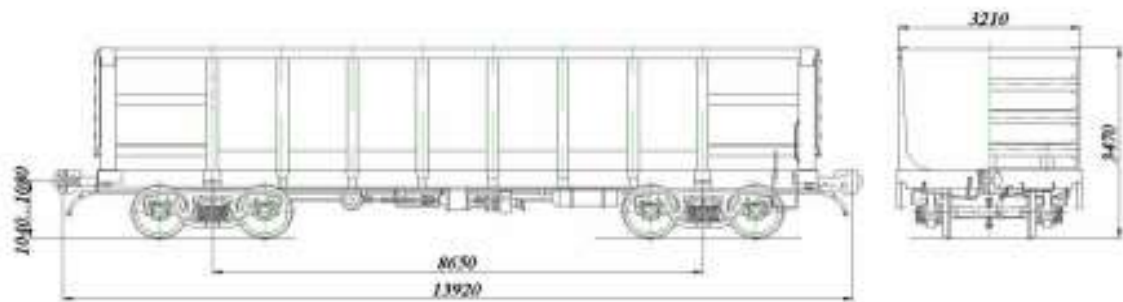


Рисунок 1.23 – Кузов напіввагона моделі 12-791

Верхня обв'язка 4 замкнутого профілю складається з швелера № 18, перекритого листом, з ввареними косинками навпроти кожного вертикального стояка 6. Нижня обв'язка 5 являє собою гнучий радіусом 450 мм лист товщиною 8 мм. Вертикальні стояки 6 П-образні зварні та мають змінний переріз по висоті. Поздовжні балки 7 виконані з швелера № 18, обшива 8 - з листів завтовшки 4 мм.

Торцева стіна 3 складається з двох кутових стояків 9, трьох горизонтальних поясів 10, верхньої 11 та нижньої 12 обв'язок, трьох вертикальних стояків 14, а також обшиви 13. Верхня обв'язка 11 виготовлена із швелера № 18 та армує верхню кромку листа 13. Горизонтальні пояси 10 і вертикальні стояки 14 виконані з швелера № 22. Нижня обв'язка 12 виготовлена із швелера № 10.

Кутова стойка коробчастого перерізу, зварний та має змінний переріз по висоті.

Рама напіввагона (рисунок 1.24) складається з хребтової балки 1, двох кінцевих балок 2, двох шворневих балок 3 і шести проміжних балок 4.

Паралельно хребтовій балці 1 встановлені поздовжні балочки 6 для обпирання настилу підлоги 5.

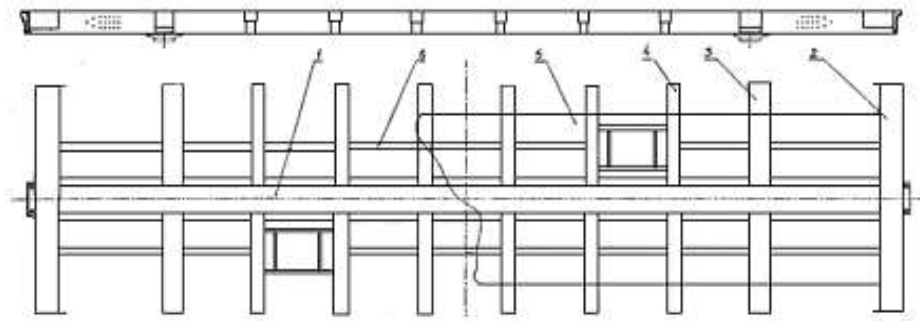


Рисунок 1.24 – Рама напіввагона моделі 12-791

Хребтова балка 1 виконана у двох варіантах. У першому варіанті вона складається з двох гарячекатаних зетових (N 31) профілів, по кінцях яких встановлені передній і задній упори, приклепані до вертикальних полок зетів, а також зварної надп'ятникової коробки. У місцях встановлення проміжних балок 4 між зетами вварюють діафрагми.

У другому варіанті замість зетів застосовується конструкція коробчастого перерізу, зварена з листів, по кінцях якої в нижньому листі є вирізи для встановлення передніх і задніх упорів, а також надп'ятникової коробки.

Проміжна балка 4 зварна, змінної жорсткості двотаврового перерізу складається з вертикального і нижнього листів, а також накладки.

Шворнева балка 3 зварної конструкції коробчастого перерізу змінної жорсткості складається з верхнього, вертикальних і нижніх листів. До нижнього листа приварюються ковзуни. П'ятник приклепаний до нижнього листу шворневої балки, полок зетів і до плити надп'ятника.

Кінцева балка 2 зварної конструкції коробчастого перерізу складається з лобового, двох нижніх і двох вертикальних листів.

Підлога 5 рами виконана з гладкого листа в середній частині і штампованих листів циліндричної форми у вузлах з'єднання з боковими та торцевими стінами.

Чотирирівний універсальний напіввагон моделі 12-9745 (рисунок 1.25) призначений для перевезення вантажів, у тому числі з м'яких шматків, а також штучних і штабельних вантажів, що не потребують захисту від атмосферних опадів. Вагон може експлуатуватися по всій мережі залізниць України, держав учасниць Ради Співдружності з залізничного транспорту колії 1520 мм з можливістю розвантаження сипких вантажів через люки в підлозі та на вагоноперекидачах.



Рисунок 1.25 – Загальний вид універсального напіввагона моделі 12-9745

Конструкторська документація на даний напіввагон розроблена структурним підрозділом "Київське проектно-конструкторське та технологічне бюро рухомого складу АТ "Укрзалізниця". Вагон виготовляється на філіях публічного акціонерного товариства "Українська залізниця": "Дарницькій вагоноремонтний завод", "Стрийський вагоноремонтний завод", а також "Панютинський вагоноремонтний завод".

Кузов напіввагона має класичну схему для напіввагонів та складається з рами, двох бокових та двох торцевих стін. Торцеві стіни кузова глухі.

Бокова стіна кузова (рисунок 1.26) складається з каркасу та обшивки 5. Каркас містить в собі верхню 1 і нижню 2 обв'язки, вертикальні стояки 4 та з'єднувальні накладки 3. Верхня обв'язка складається з двох кутників перерізом  $100 \times 100 \times 10$  мм. Нижня обв'язка складається з кутової прокатної сталі  $160 \times 100 \times 10$  мм.

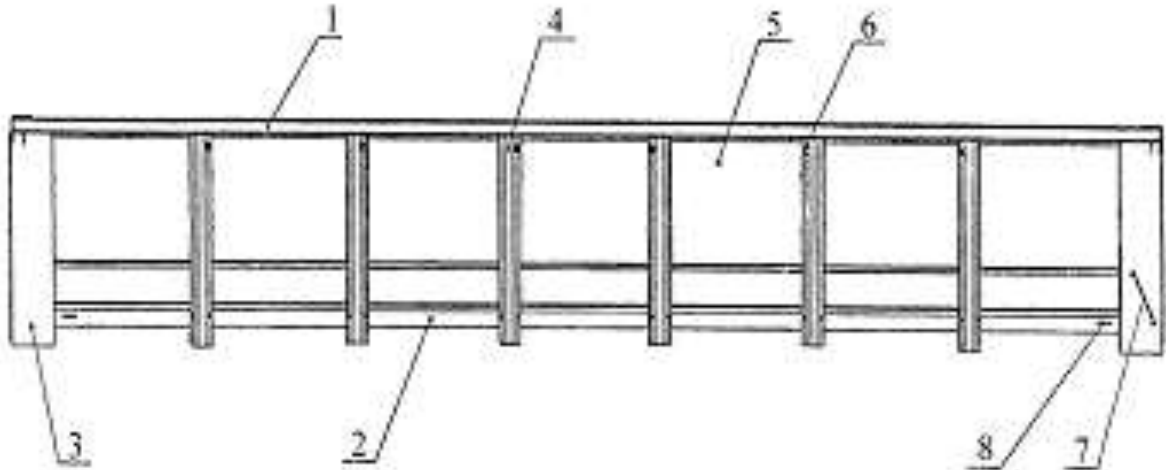


Рисунок 1.26 – Бокова стіна універсального напіввагона моделі 12-9745

Стояки виконані з профільного прокату, у їх нижній частині вварені планки, що є підсиленням стояків і з'єднувальним елементом стояка з поперечними балками рами.

Обшивка бокової стіни складається з двох листів: верхнього - товщиною 4мм і нижнього товщиною - 5мм. Обшивка бокової стіни напіввагона моделі 12-9745 на відміну від існуючих є гладкою (гофри відсутні). Це сприяє повному видаленню сипучих вантажів при механізованому розвантаженні або на вагоноперекидачі.

Підлога утворена чотирнадцятьма розвантажувальними люками, що забезпечують розвантаження сипучого вантажу на обидва боки вагона. Конструкція рами та кришок люків не має принципових відмінностей з попередніми моделями напіввагонів.

### 1.1.2 Конструктивний аналіз критих вагонів

Критими вагонами [21, 30, 57-61, 72-79, 121-123 ] називають вагони, що мають захист вантажу від будь-якого атмосферного впливу в яких кузов закритий з усіх сторін. Дані вагони призначені для забезпечення збереження вантажу, що перевозиться при несприятливих погодних умовах, для захисту від крадіжок і пошкоджень.

Криті вагони використовуються для перевезення штучних і тарно-штучних вантажів, насипних (завантаження таких вантажів здійснюється через люки, які є в деяких моделях вагонів), пакетованих вантажів, верстатів, машин і інших цінних вантажів, що вимагають захисту від атмосферного впливу, механічних пошкоджень і інших зовнішніх чинників. В конструкціях кузовів критих вагонів можна виділити раму, бічні і торцеві стіни, дах, двері та люки для завантаження і вивантаження вантажів. За призначенням (за вантажами, що перевозяться) криті вагони поділяються на два типи: універсальні і спеціалізовані.

Особливістю кузовів універсальних критих вагонів є наявність зсувних дверей 1 рисунок 1.27, а, вентиляційних люків 3 рисунок 1.27, а, в бічних стінах і завантажувальних люків 2 на рисунок 1.27, а, в даху. У таких вагонах наявність даху перешкоджає верхньому завантаженню з використанням кранів і інших подібних підйомно-транспортних механізмів, а розміри дверного отвору обмежують фронт робіт при навантаження і вивантаження вантажів авто- або електронавантажувачем.

Для прискорення вантажно-розвантажувальних робіт та підвищення продуктивності праці, а також для більш ефективного використання підйомно-транспортної техніки при проведенні вантажно-розвантажувальних операцій йдуть розробки критих вагонів зі знімним дахом, але в реальному житті такі вагони широкого поширення не отримали. Деякі вже існуючі моделі критих вагонів теоретично (в якості опції, що замовляється покупцем вагона при його будівництві на заводі-виробнику) можуть мати знімний дах,



але на практиці, знову ж таки, такий спосіб навантаження і такі вагони застосовуються вкрай рідко, наприклад, це модель вагона 11-280 виробництва ВАТ «Алтайвагон».

Для прискорення вантажно-розвантажувальних робіт в даху критого вагона можуть бути встановлені люки 4 на рисунок 1.27, б по всій довжині кузова, що дозволить завантажувати вагони сипучим вантажем під час руху вагонів під завантажувальним бункером 5 на рисунок 1.27, б. У цьому випадку між кузовами повинні бути передбачені спеціальні відкидні фартушки 9 для запобігання масового прокидання вантажу в міжвагонні простір, попадання вантажу на автозчеплення і шляхи 6 на рисунок 1.27, б.

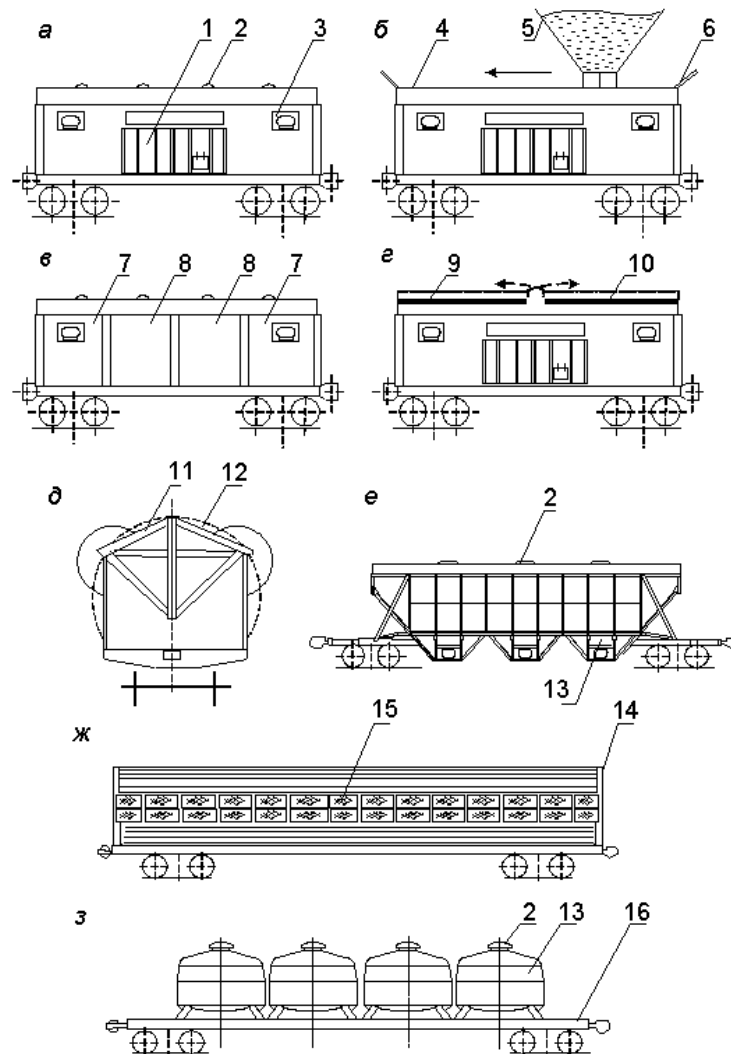


Рисунок 1.27 – Кузова критих вагонів

Для більш ефективного використання авто- і електронавантажувачів у вантажно-розвантажувальних роботах тарно-штучних, пакетованих вантажів

та інших подібних вантажів, кузова можуть бути обладнані стінами із розсувними панелями 7 і 8 на рисунок 1.27, в. Зсунувши, наприклад, панелі 7 і 8 вправо, за допомогою навантажувача можливо проводити (з бічної платформи) вантажно-розвантажувальні роботи в лівій стороні кузова вагона, а потім, повторюючи операції, в правій стороні кузова.

Для забезпечення можливості використання кранів і інших підйомно-транспортних механізмів при навантаженні і вивантаженні великогабаритних та великовагових вантажів кузов може бути оснащений розсувним (рисунок 1.27, г) або розкритим (рисунок 1.27, д) дахом. При такій конструктивній схемі частина даху 9 на рисунок 1.27, г зсувається вправо, розташовуючись над іншою частиною я 10 на рисунок 1.27, г. Після завантаження вантажу в лівій частині кузова обидві частини даху зсуваються вліво і проводиться завантаження або вивантаження в правій частині кузова вагона. При варіанті кузова з розкривається дахом поздовжні частини 11 і 12 посилення 11 і 12 на рисунок 1.27, д розташовуються уздовж бічних стін.

Основні технічні характеристики сучасних вагонів критих вагонів представлені в Таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Основні технічні характеристики сучасних вагонів критих вагонів

| Модель  | 19-7053      | 19-7053-01   | 19-7053-02   | 19-7053-03   | 19-7053-04  |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Вантажопідйомність, не більше, т                                      | 76,0         | 70,5         | 70,5         | 71           | 76,5        |
| Об'єм кузова, м <sup>3</sup>  | 116          | 116          | 116          | 124          | 124         |
| Маса тари, не більше, т   | 24,0         | 23,5         | 23,5         | 23,0         | 23,5        |
| Розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейки, кН(тс) | 245,2 (25,0) | 230,5 (23,5) | 230,5 (23,5) | 230,5 (23,5) | 245,25 (25) |
| База вагона, мм   | 10 500       | 10 500       | 10 500       | 10 500       | 10 500      |
| Довжина вагона по осям автотцеплень, мм                               | 14 720       | 14 720       | 14 720       | 14 720       | 14 720      |
| Габарит по ГОСТ 9238  | 1-Т          | 1-Т          | 1-Т          | 1-Т          | 1-Т         |
| Кількість люків:  |              |              |              |              |             |
| - завантажувальних  | 5            | 5            | 5            | 5            | 5           |
| - розвантажувальних   | 3            | 3            | 3            | 3            | 3           |
| Візок   | 18-7033      | 18-7020      | 18-7055      | 18-7055      | 18-7033     |
| Конструкційна швидкість, км/год                                       | 120          | 120          | 120          | 120          | 120         |
| Міжремонтний пробіг, км   | 500 000      | 500 000      | 210 000      | 210 000      | 500 000     |
| Строк служби, років   | 32           | 30           | 30           | 30           | 32          |

До спеціалізованих критих вагонів належать вагони для перевезення худоби і птиці, легкових автомобілів, холоднокатаної сталі в рулонах, гранульованих полімерів, борошна, а також конструкції бункерного типу (хопер) для перевезення зерна, цементу і мінеральних добрив.

Вагон моделі 19-7016 виробництва ПАТ «КВБЗ» (рисунок 1.28) призначений для безтарного перевезення нетоксичних і неотруйних, корозійно-неактивних сипких вантажів, що не залежуються, та потребують захисту від атмосферних опадів, з гравітаційним навантаженням через верхні люки і розвантаженням в міжрейковий простір через нижні люки на спеціальних навантажувальних і розвантажувальних пристроях, на залізницях колії 1520 мм.

До складу вагона (рисунок 1.29) входять кузов 1, рама 2 (з опорами для підйому кузова), дах 3 із завантажувальними люками, бункери 4, розвантажувальний пристрій 5, автоматичне гальмо 6, стоянкове гальмо 7, автозчепний пристрій 8, двовісні візки 9, а також обладнання для установки запірно-пломбувальних пристроїв на завантажувальних і розвантажувальних люках.



Рисунок 1.28 – Загальний вид вагона моделі 19-7016  
для перевезення сипких вантажів

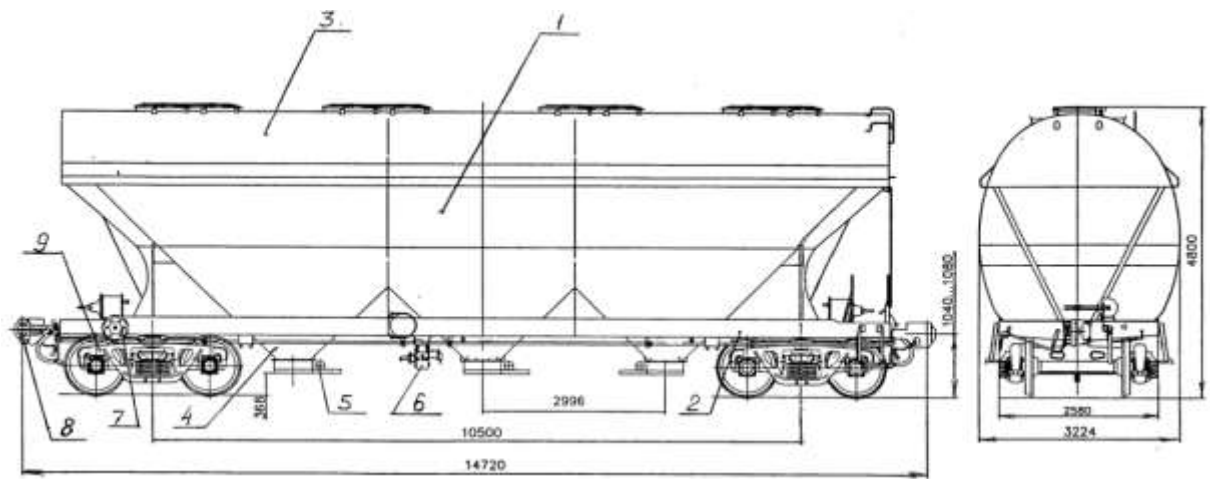


Рисунок 1.29 – Основні конструктивні елементи вагона моделі 19-7016

Кузов вагону (рисунок 1.30) являє собою суцільнометалеву зварну конструкцію, яка утворена боковими стінами 1, торцевими стінами 2 та внутрішніми перегородками 3. Бокові стіни мають дугоподібний профіль, верхня об'язка 4 - С- образний перетин.

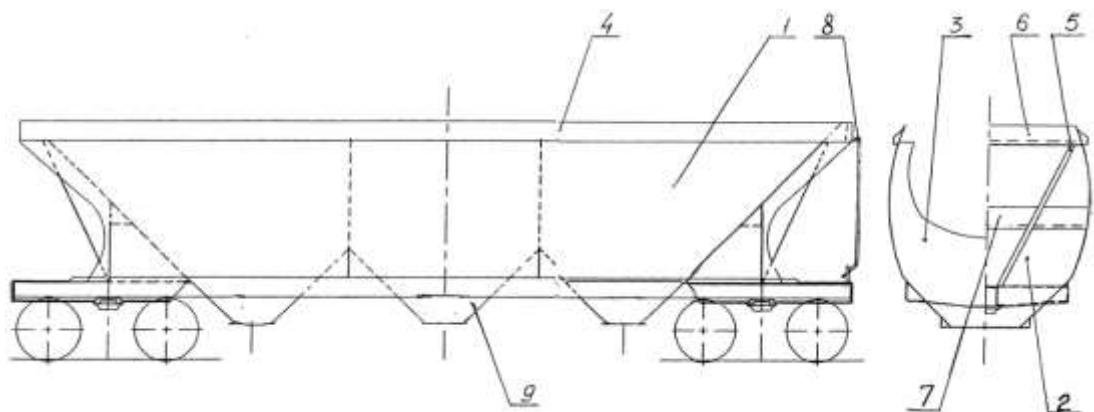


Рисунок 1.30 – Кузов вагона моделі 19-7016

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 (рисунок 1.31) 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 Z-профілю. Кінцеві частини хребтових балок обладнані передніми і задніми упорами, об'єднаними з надп'ятниками.

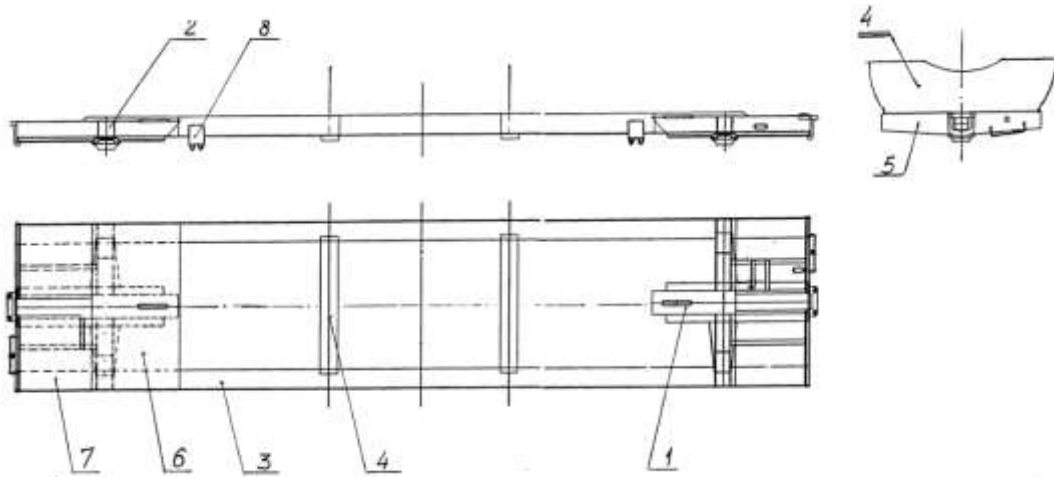


Рисунок 1.31 – Рама вагона моделі 19-7016

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. 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.

Вагони моделі 19-7053 виробництва ПАТ «КВБЗ» (рисунок 1.32): 19-7053-01, 19-7053-02 призначені для безтарного перевезення зерна та

аналогічних харчових продуктів, а також інших нетоксичних, неотруйних сипких вантажів, що не залежуються та потребують захисту від атмосферних опадів, по залізницях колії 1520 мм, із завантаженням через верхні люки і гравітаційним розвантаженням у міжрейковій простір через нижні люки на спеціальних навантажувальних і розвантажувальних пристроях.

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



Рисунок 1.32 – Загальний вид вагона-хопера моделі 19-7053  
для перевезення зерна

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 (рисунок 1.33) 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.

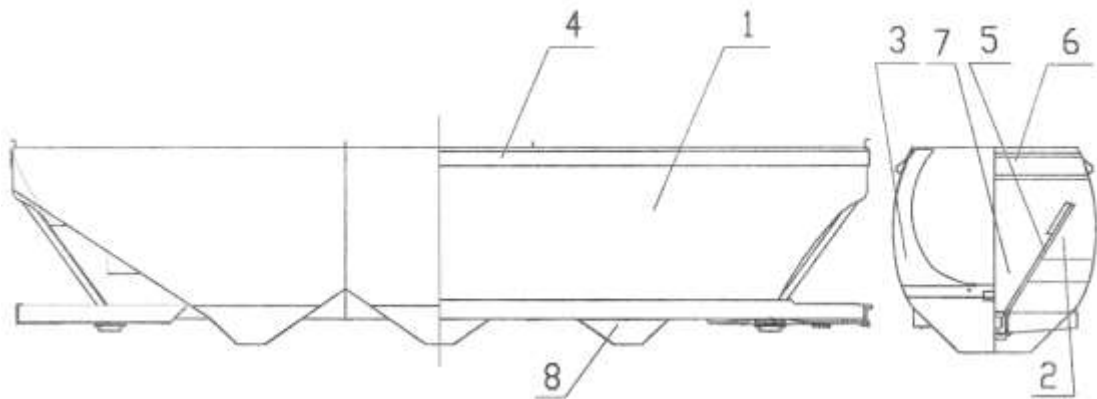


Рисунок 1.33 – Кузов вагона-хопера моделі 19-7053

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 згідно 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 вагонів (рисунок 1.34) 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 Z-профілю. Кінцеві частини хребтових балок обладнані литими передніми упорами і задніми упором, об'єднаними з надп'ятниками.

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.

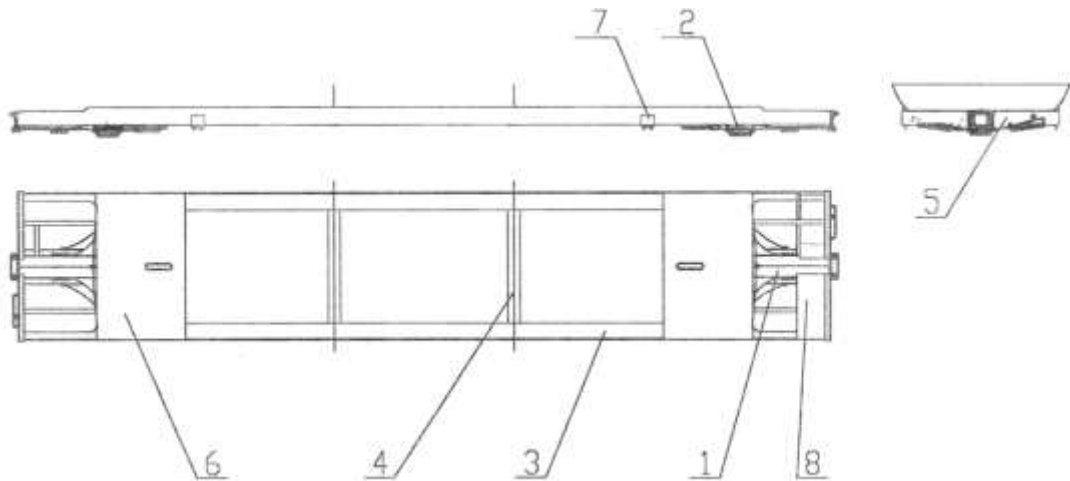


Рисунок 1.34 – Рама вагона-хопера моделі 19-7053

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 зі сталі 09Г2С. На лобових листах кріпляться розчіплювальні важелі з кронштейнами, поручні складача і скоби сигнального ліхтаря.

З боку перехідної площадки на консольній частини 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.

ЗАТ «Завод металоконструкцій» (м. Енгельс, Російська Федерація) для безтарного перевезення зерна та інших харчових сипких вантажів виготовляються вагони-хопери бункерного типу для перевозки зерна (рисунок 1.35) моделі 19-6869 (навантаження на вісь 230 кН) і 19-6870 (навантаження на вісь 245кН). Ці вагони не мають принципових конструктивних відмінностей.



Рисунок 1.35 – Загальний вигляд вагона-хопера моделі 19-6870 для перевезення зерна

Кузов вагона (рисунок 1.36) являє собою суцільнометалеву зварену конструкцію, що включає в себе раму 1, дві бокові стіни 2, дві торцеві стіни 3, дах 4, шість бункерів з розвантажувальними люками 5, вісьма підкосами 7 і двома діафрагмами 9.

Бокові стіни з'єднуються з внутрішніми діафрагмами, рамою і торцевими стінами, а через верхню обв'язку з дахом вагона. Також всередині кузова встановлюються підкоси, які додатково з'єднують між собою бокові стіни, раму і діафрагми.

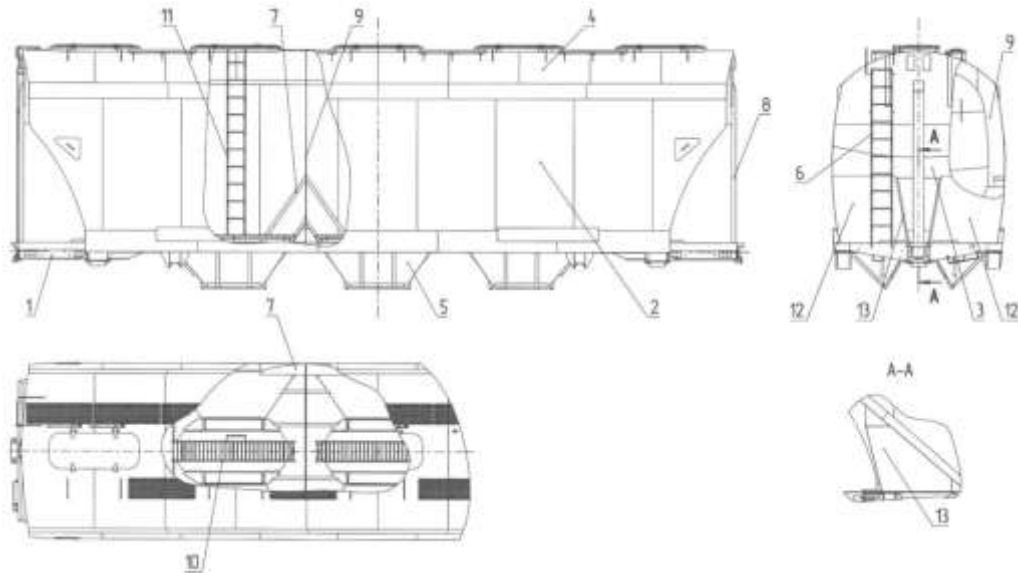


Рисунок 1.36 – Кузов вагона-хопера моделі 19-6870

Торцеві стіни з'єднуються по контуру з боковими стінами, рамою, дахом, бункерами і додатково пов'язані з рамою вертикальними стояками 8. Для підвищення жорсткості кузова торцева стіна додатково підкріплюється стінками 12 і ребрами 13.

Кузов всередині оснащений трапом 10, що проходить уздовж поздовжньої осі вагона над бункерами, що полегшує умови праці при обслуговуванні вагона.

Для забезпечення підйому на дах і спуску всередину вагона через люковий проріз, вагон обладнаний зовнішніми 6 і внутрішніми драбинами 11, розташованої в другому люку з боку перехідного площадки.

Рама вагона (рисунок 1.37) являє собою суцільнометалеву зварну конструкцію і складається з двох хребтових консолей 1, двох шворневих балок 2; двох кінцевих балок 3; двох бокових обв'язок 4; чотирьох кінцевих обв'язок 13. Хребтові консолі виконані з Z-профілю (матеріал сталь 345-09Г2С або 345-09Г2Д) в перетині зі шворневої балкою і косинками 17 хребтова консоль утворює шворневий вузол, який закривається підсилюючим листом 6.

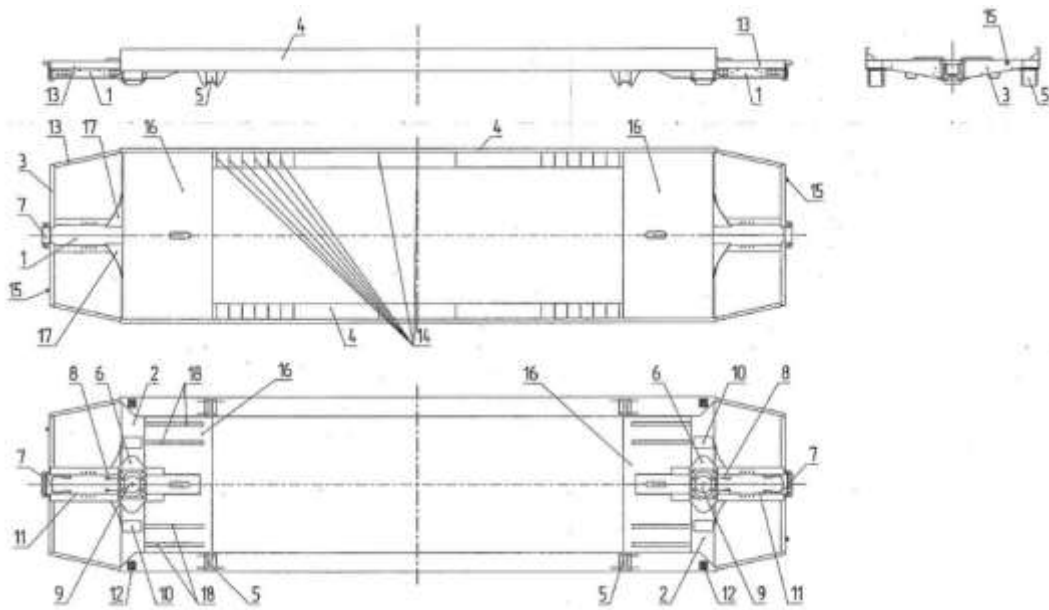


Рисунок 1.37– Рама вагона-хопера моделі 19-6870

Для установки ударно-тягового устаткування й передачі поздовжніх розтягуючих і стискуючих зусиль у шворневому вузлі розміщується об'єднана виливка надп'ятикової коробки із заднім упором автозчепу 8.

У зоні перетину хребтової балки з кінцевими балкою розміщується передній упор 7 і планки проти стирання 11, приклепані до вертикальних стінок хребтової консолі.

Шворнева балка 2 має коробчастий перетин і складається з нижніх листів, які підходять з двох сторін до нижньої полиці хребтової консолі (лист 10 мм, матеріал сталь 325-09Г2С), вертикальних листів (лист 8 мм, матеріал сталь 345-09Г2С) і двох діафрагм між ними. Верхній лист 16 (лист 6 мм, матеріал сталь 345-09Г2С) з'єднує між собою бокові обв'язки, шворневу і хребтову консоль. На верхній лист в упор до вертикальних листів шворневих балок встановлюються поздовжні балки 18, виконані у вигляді гнутого профілю прямокутного перетину.

Для установки на візки рама обладнана двома штампованими п'ятниками 9 з діаметром 350 мм і висотою 110 мм і чотирма кониками 10. П'ятники кріпляться до рами за допомогою заклепувального з'єднання. Кінцева балка 3 являє собою конструкцію з гнутого профілю. На кінцевій балці розміщена скоба 15 для навішування поїзних сигналів.

Бокова обв'язка 4 рами являє собою гнучий швелер з полицями різної довжини (лист 6 мм, матеріал сталь 345-09Г2С). Поздовжні стінки бункерів спираються на нижню полицю бокової обв'язки 4, а також ребра 14, встановлені в ній. У зоні перетину шворневої балки і бокової обв'язки для виключення прослизання домкратів при підніманні вагона, встановлені плити 12 для обпирання домкратів. Кінцева обв'язка 13 виконана у вигляді гнучого швелера. Для підняття завантаженого кузова в порту на боковій обв'язці встановлюються кронштейни 5.

Вагон-хопер моделі 19-3058 для перевезення зерна (рисунок 1.38) виготовляється Брянським машинобудівним заводом, який входить до складу ЗАТ «Трансмашхолдінг».



Рисунок 1.38 – Загальний вигляд вагона-хопера моделі 19-3058 для перевезення зерна

Кузов вагона суцільнометалевий, зварної конструкції. Конструкція кузова забезпечує захист вантажу від атмосферних опадів, а також повне завантаження і вивантаження вантажу. На рамі кузова розміщуються автозчепні пристрої та гальмівне обладнання.

Вивантаження вантажу здійснюється в міжрейковий простір через три розвантажувальні люки, розташовані у нижній частині кузова.

Кузов вагона (рисунок 1.39) складається з рами з бункерами 1, двох бокових стін 2, двох торцевих стін 3 і даху 4. Рама вагона складається з двох консольних балок 1, двох шворневих балок 2, чотирьох кінцевих балок 3, шести поперечних балок 4, двох бокових балок 5, чотирьох кінцевих обв'язок 6, чотирьох розкосів 7.

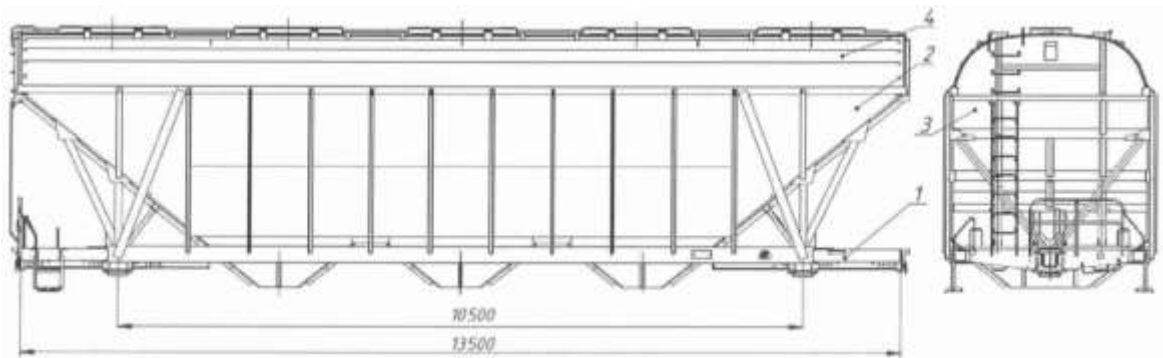


Рисунок 1.39 – Кузов вагона-хопера моделі 19-3058

Рама вагона (рисунок 1.40) сприймає всі види навантажень. Консольні балки виконані з двох зетів № 31 з низьколегованої сталі 09Г2С або 09Г2СД, 10Г2Б, 10Г2БД, 12Г2Ф, 12Г2ФД. На кінцевих частинах консольних балок встановлені передні і задні упори автозчепного пристрою, планки проти стирання.

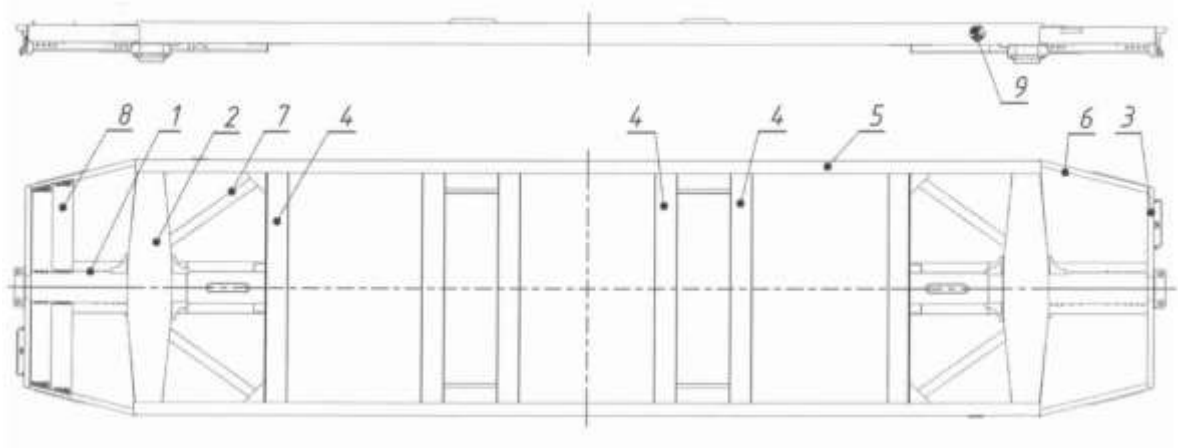


Рисунок 1.40 – Рама вагона-хопера моделі 19-3058

Шворнева балка має коробчастий переріз, утворений верхнім, нижнім і вертикальними листами і виконана у вигляді бруса змінного перетину. До горизонтальної поверхні нижнього листа шворневої балки кріпляться ковзуні. Кінцеві балки виконані з листа товщиною 4 мм у вигляді швелера змінного перетину.

Поперечні балки трикутного перерізу виконані з листа 12 мм (дві крайні) і 6 мм (чотири між бункерами). Бокові балки виконані з зварної труби  $250 \times 150 \times 7$  мм.

Кінцеві обв'язки виконані з листа товщиною 4 мм у вигляді швелера.

На одному кінці рами приварені просічні настили 8 для перехідної площадки.

У просторі між шворневими і боковими балками розташовані три бункери. Бункера вагона складаються з нахилених під кутом  $40^\circ$  листів товщиною 5 мм з низьколегованої сталі марки 09Г2С з вертикальними підкріплювальними елементами у вигляді швелера. У бункерах вагона мають розвантажувальні люки, що забезпечують вивантаження вантажу в міжрейковий простір.

Вагони-хопери для перевезення зерна нового покоління мають конструкцію, що обмежує навантаження на задій 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. Така особливість конструктиву вагонів-зерновозів нового покоління забезпечує рівномірний розподіл повздовжніх навантажень на задньому та передніх упорах, а шворневий вузол окремо забезпечує розподіл вертикальних навантажень.

### 1.1.3 Конструктивний аналіз вагонів-цистерн

Цистерни [21, 30, 57-61, 121-123 ] призначені для перевезення рідин: нафти і продуктів її переробки, хімічно-активних і агресивних рідких речовин (кислоти, луги та ін. Складні речовини), скрапленого газу (пропан-бутан, кисень),

Розрізняють цистерни за типом: загального призначення - для перевезення нафтопродуктів, спеціальні - для певних видів вантажів. За конструкцією: рамні та без рамні.

Котел вагона-цистерни може бути призначений для перевезення вантажу без надлишкового тиску (нафтопродукти, вода, хімічні речовини, цемент) або під тиском (зріджені гази).

Кузов вагона-цистерни являє собою котел циліндричної форми, закритий з боків еліптичними днищами. Котли цистерни мають пристрої для навантаження і розвантаження, вид яких залежить від вантажу, що перевозиться.

Універсальні цистерни поділяються на цистерни для перевезення світлих (бензин, гас, нафта і т.п.) і темних (нафта, мінеральні масла і т.п.) наливних вантажів.

Котли спеціальних цистерн можуть мати тепло-ізоляційне покриття або обладнання для розігріву вантажу продукту, а також прилади для контролю за його станом. У деяких цистернах внутрішня порожнину котла поділяється на кілька секцій.

У цистернах, у яких котел укладається на раму, що сприймає подовжні навантаження, що виникають в поїзді, котел в передачі цих навантажень до інших вагонах поїзда не бере.

У вагона-цистерни безрамної конструкції котел є несівною конструкцією, сприймає і передає подовжні тягові і ударні зусилля, виконуючи функції рами.

Для підвищення міцності і жорсткості котлів вагонів-цистерн великого діаметру і довжини циліндрична обичайка котла підкріплюється кільцями-шпангоутами, які можуть бути встановлені на зовнішній поверхні або всередині ємності.

Чотиривісних цистерна вантажопідйомністю 60 т споруди Маріупольського заводу моделі 15-1443 (рисунок 1.41) має котел з корисною ємністю 71,7 м<sup>3</sup> повної ємністю 73,1 м<sup>3</sup> і з внутрішнім діаметром 3,0 м.

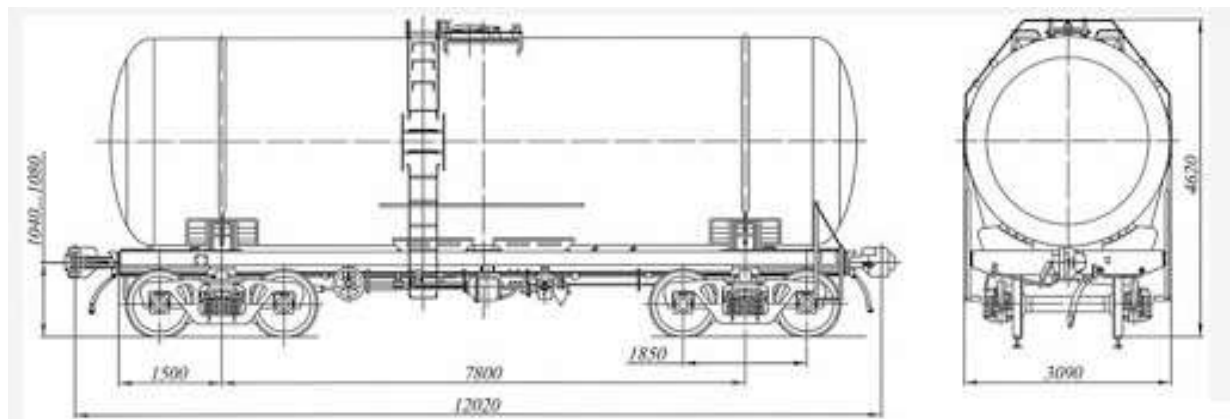


Рисунок 1.41 – Вагон-цистерна моделі 15-1443

Кріплення котла на рамі проводиться в середній та кінцевій його частинах. До крайніх опор котел притягнутий стяжними хомутами, призначеними для запобігання вертикальних і поперечних його переміщень щодо рами.

Особливістю конструкції рами цистерни моделі 15-1443 є відсутність бічних поздовжніх балок, наявність потужних кінцевих балок і полегшених поздовжніх бічних балок лише по кінцях рами. Відсутні також проміжні поперечні балки. Внаслідок цього маса тари цистерни зменшилася на 1,4 т. При такій конструкції сили, що діють на цистерну, сприймаються котлом, жорсткість якого значно вище жорсткості поздовжніх бічних балок, і потім через крайні його опори передаються на візки.

В останні роки на Маріупольському вагонобудівних заводах будуються 4-вісні цистерни зі збільшеною базою (7,8 м замість 7,12 м) і укороченими консолями (1,5 м замість 1,84 м), що покращує динамічні якості цистерни,



особливо в горизонтальній площині, і підвищити безпеку руху вантажних поїздів, в яких є такі вагони-цистерни.

Для перевезення бензину спроектована 4-вісна цистерна з питомим об'ємом котла  $1,4 \text{ м}^3 / \text{т}$ , вписана в габарит 02-ВМ, що дозволяє експлуатувати її на зарубіжних залізницях з шириною колії 1435 мм. Вантажопідйомність такої цистерни 62 т, маса тари 25,3 т, осьова навантаження 216 кН, погонне навантаження 64 кН / м.

Сучасним представником вагонів-цистерн є цистерна моделі 15-7076 (рисунок 1.42) побудови Крюковського вагонобудівного заводу. Вагон-цистерна призначена для перевезення нафтопродуктів по всій мережі залізниць з шириною колії 1520 мм. Вагон-цистерна має раму посиленої конструкції і котел підвищеної міцності. Стійкість цистерни до кліматичних впливів відповідає вимогам ГОСТ 15150 із забезпеченням експлуатаційної надійності при нижньому робочому значенні температури повітря від  $-60$  до  $+50$  °С. Гальмо – автоматичне пневматичне з роздільним гальмуванням візків та стоянкове. Ходова частина – два двовісні візки мод. 18-7055 тип 2 ГОСТ 9246 (аналог візка мод. 18-100). Автозчеплення СА-3. Поглинаючий апарат класу Т2.



Рисунок 1.41 – Вагон-цистерна моделі 15-7076

Технічні характеристики сучасного вагона-цистерни моделі 15-7076 наведені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 Технічні характеристики сучасного вагона-цистерни моделі 15-7076

|   |               |
|---|---------------|
| Вантажопідйомність, не більше, т                                      | 67,3          |
| Об'єм котла повний (корисний), м <sup>3</sup>                         | 85,56 (83,91) |
| Маса тари, не більше, т   | 26,7          |
| Розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейки, кН(тс) | 230,5 (23,5)  |
| Довжина вагона по осям автозчеплень, мм                               | 12020         |
| Габарит по ГОСТ 9238  | 1-ВМ          |
| Висота до осі зчеплення від рівня головок рейок, мм                   | 1060±20       |
| Візок   | 18-7055       |
| Ширина колії, мм  | 1520          |
| Міжремонтний пробіг, років (тис. км)                                  | 3 (210)       |
| Конструкційна швидкість, км/год                                       | 120           |

## **1.2 Формалізоване описання потенційних місць впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції**

В розділі представлені особливості та результати проведених досліджень з визначення конструктивних складових вантажних вагонів для впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції. На основі аналізу експлуатаційних пошкоджень, конструктивної доцільності та технологічних можливостей потенційно обґрунтовано місця впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції та систематизовано у вигляді структурно-декомпозиційної схеми.

Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки, яку затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2008 року № 1259 передбачено оновлення вантажного вагонного парку новими та модернізованими моделями вантажних вагонів вітчизняного виробництва з сучасним рівнем техніко-економічних та експлуатаційних показників [15-18, 78-85]. Для рішення вищезазначеного актуального науково-технічного завдання розгортаються науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, які спрямовані на зниження матеріалоемності, собівартості виготовлення, ремонту та експлуатації вітчизняних спеціалізованих вантажних вагонів, підвищення їх вантажопідйомності, осьового навантаження, експлуатаційної надійності, подовження терміну служби та міжремонтних пробігів і т.д. Разом з цим конструкція вантажного вагону є складною технічною системою, при проектуванні якої необхідно враховувати специфіку її роботи (експлуатаційні та ремонтні навантаження, погодні чинники і т. д.). Тому на сучасному рівні вирішувати вищезазначені задачі доцільно з використанням системного підходу. При цьому особлива роль відводиться розробці та використанню формалізованих описань запропонованих новітніх підходів та способів проектування вантажних вагонів [71, 63-68], які б враховували взаємозв'язок окремих їх елементів і були адоптовані до сучасних програмних комплексів. Результати аналізу успішного вирішення аналогічних проблем в інших галузях створення несівних конструкцій [110-115] (аеротехніки, ракетобудування, нафтогазова, паливна, будівельна та ін.), обумовили перспективність впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції. Аналіз чисельної наукової та спеціально-технічної літератури з профілю питань, що розглядаються засвідчив про відсутність змістовної інформації з впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції

Метою проведених робіт – є висвітлення результатів досліджень з визначення складових вантажних вагонів для впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції, а також

схематизації відповідних результатів. Сказане проводилось на основі аналізу конструктивних особливостей та експлуатаційних пошкоджень вантажних вагонів. В рамках проведених досліджень аналізувались основні експлуатаційні пошкодження вантажних вагонів, їх конструктивні зв'язки та особливості виконання складових.

Сучасний парк вантажних вагонів характеризується різноманіттям їх типів і конструкцій, що викликано необхідністю задоволення різних вимог учасників їх життєвого циклу. В основному парк вантажних вагонів складається з: напіввагонів, вагонів-платформ, вагонів-цистерн, вагонів-хоперів, критих, ізотермічних та вагонів спеціального призначення, а також контейнерів загального та спеціального призначення. При цьому основним модулем вантажних вагонів, від конструкції якого залежить його тип є модуль кузова [130-137], який можна класифікувати за наступними ознаками:

В залежності від роду перевезених вантажів відкриті та закриті. В залежності від конструкції рами – з суцільною хребтовою балкою, несучільною хребтовою балкою та без хребтової балки. В залежності від конструкції елементів для завантаження і вивантаження вантажів – з дверима на бічних стінах або з люками даху і підлоги.

Конструкція кузова того чи іншого типу вагона визначається його призначенням [89-92], тому кузова різних типів вагонів за своєю конструкцією досить різні, але у всіх них багато спільного.

Рама слугує основою кузова, на ній кріпиться автозчепне і гальмівне обладнання вагона. Вона через п'ятники опирається на ходові частини і сприймає всі види навантажень, що діють на кузов. Рама повинна володіти достатньою міцністю і жорсткістю, бути простою за конструкцією, надійною в експлуатації, доступною для технічного огляду. У всіх типів вагонів рама складається з трьох основних несучих балок: хребтової, бічних поздовжніх, набору поперечних (кінцевих, шворневих та проміжних).

Далі графічно зображено кузова та рами основних типів вантажних вагонів (рисунок 1.42).

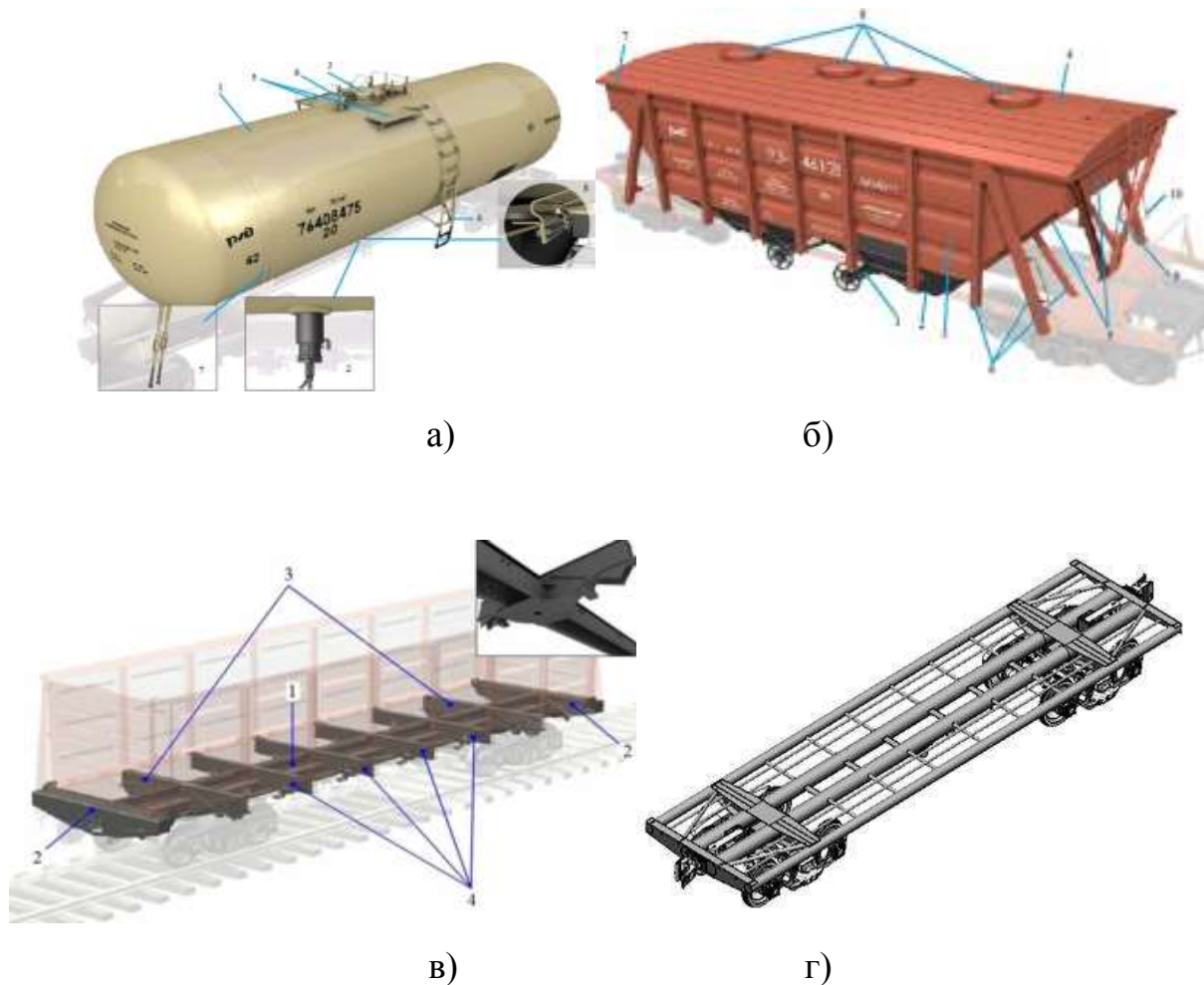


Рисунок 1.42 – Графічне зображення кузовів та рам існуючих та перспективних вантажних вагонів:

- а) котел вагона-цистерни; б) кузов вагона-хопера;  
 в) рама напіввагона; г) вагон-платформа перспективна з рамою виконаною з труб

Хребтова балка – слугує для кріплення на ній автозчепного та гальмівного обладнання. Через автозчепний пристрій вона передає поздовжні сили на інші вагони. Але оскільки вона жорстко пов'язана і з іншими елементами кузова, то поряд з поздовжніми сприймає також і вертикальні сили. Її виготовляють з міцних прокатних Z-подібних, швелерних і двотаврових профілів.

Залізничний транспорт оперує великою кількістю контейнерів. У загальному випадку контейнери (рисунок 1.43) можна класифікувати, як

з'ємний (універсальний рисунок 1.43, а чи спеціальний рисунок 1.43, б) модуль кузова вантажного вагона.



Рисунок 1.43 – Загальний вигляд контейнера:  
а) універсальний; б) контейнер-цистерна

На основі комплексного аналізу [1-8, 39-45] експлуатаційних особливостей вантажних вагонів можна зробити наступні висновки. В якості основних видів експлуатаційних пошкоджень вантажних вагонів [125-128] можна виділити наступні несправності кузова та рами (рисунок 1.44), які можливо подолати за допомогою впровадження певних способів попереднього напруження.

Впровадження нових концептів проривних ідей конструкторської ідеології несучих модулів вантажних вагонів дозволить системно підвищити ефективність вантажоперевезень залізничним транспортом, що охарактеризується рядом переваг для інфраструктури, виробників, інвестиційної привабливості, операторів руху, експлуатації, екології.

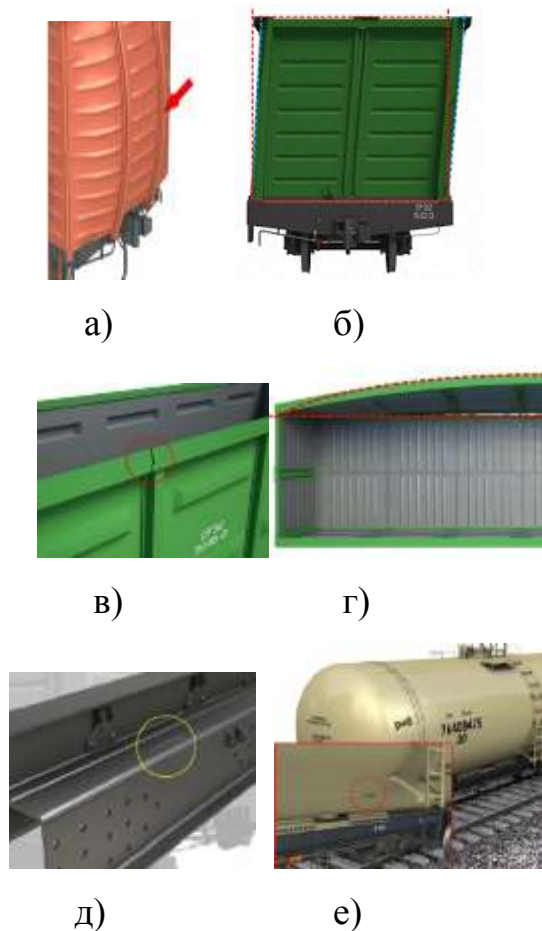


Рисунок 1.44 – Несправності кузова та рами вантажних вагонів, що виникають в експлуатації:

- а) вигин торцевої стіни назовні; б) перекіс кузова більше 75 мм; в) злам і тріщини у верхній обв'язці; г) розширення кузова більше 75 мм на один бік; д) поздовжні тріщини в балках рами довжиною більше 300 мм; е) тріщина шва котла

На основі результатів аналізу пропонується наступні робочі гіпотези впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції:

– перехід від статично визначених до статично невизначеним конструкцій ресурсовизначальних зон і зон можливих руйнувань з метою зниження результуючих напружень і перерозподілу напружень;

– створення конструкцій з навантаженими вузлами без надлишкових зв'язків, запасів міцності і жорсткості, наприклад за рахунок впровадження гнучких зв'язків;

- створення конструктивних схем, де несучі елементи максимально можливо працюють на стиск-розтяг замість вигину і кручення;
- створення несучих елементів як зчленованих несівних оболонок з можливістю формування «сендвіч» панелей з спрямованими властивостями;
- створення рівнонапруженості і попередньо напружених конструкцій несівних елементів з метою зниження рівня напружень і, як наслідок, зниження маси конструкції;
- впровадження страхуючих елементів з метою забезпечення тимчасової працездатності елементів конструкції при аварійних ситуаціях;
- впровадження пружно-дисипативних несучих елементів, що поєднують в собі функції жорстких з'єднувальних елементів з пружними і демпферами.

При цьому застосовані загально прийняті методи формування і аналізу конструкцій. Для формування схеми потенційних складових та способів впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції застосовувались принципи блочності та ієрархічності досліджень технічних систем.

Принцип блочності – забезпечує розділення відповідних схематичних описань на кожному ієрархічному рівні на ряд блоків з можливостями їхнього роздільного дослідження.

Принцип ієрархічності – передбачає структурування схематичного описання за ступенем детальності з виділенням окремих ієрархічних рівнів.

Для класифікації щодо впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції можна виокремити наступні способи:

1) впровадження пружно-дисипативних, нежорстких шарнірних, корисно попередньо-напружених і / або деформованих складових, а саме – обтиснення окремих розтягнутих, стиснених і зігнутих порожнистих/суцільних замкнутих/незамкнутих профілів і цілих елементів (балок, рам) затяжками різного виду з високоміцних матеріалів;



2) впровадження пружно-дисипативних чи попередньо пружно вигнутих окремих елементів з наступним зварюванням їх в зігнутому стані в цілий конструктивний елемент (балку);

3) попередня витяжка цілих конструкцій або окремих їх частин з метою збільшення області пружної роботи матеріалу;

4) попередній натяг окремих включених гнучких стрижнів (троси, пучки дроту, арматура) з метою сприйняття ними стискають зусиль;

5) впровадження нежорстких шарнірних, мультиматеріальних складових, тимчасове завантаження в процесі монтажу або виготовлення окремих елементів конструкцій або всієї конструкції з подальшим закріпленням конструкції під навантаженням для раціонального розподілу зусиль і підвищення її жорсткості та стійкості;

6) створення попереднього напруження в прокатних профілях шляхом завальцьовування в них попередньо натягнутого високоміцного дроту (наприклад при створенні гнучких вагонних з'єднань);

7) попереднє нагрівання/охолодження окремих деталей з метою збільшення/зменшення їх геометричних розмірів.

В зв'язку з різноманітністю конструктивних схем вагонів варто розробити класифікацію яка пов'яже та систематизує характер впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції з особливостями (типажем) вантажних вагонів їх універсальних та специфічних складових. Блочно-ієрархічна схема потенційних складових впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції представлена на рисунок 1.45.

Як видно з схеми формалізоване описання потенційних складових вагонних конструкцій для впровадження мультифункціональних елементів передбачає виділення чотирьох ієрархічних рівнів:

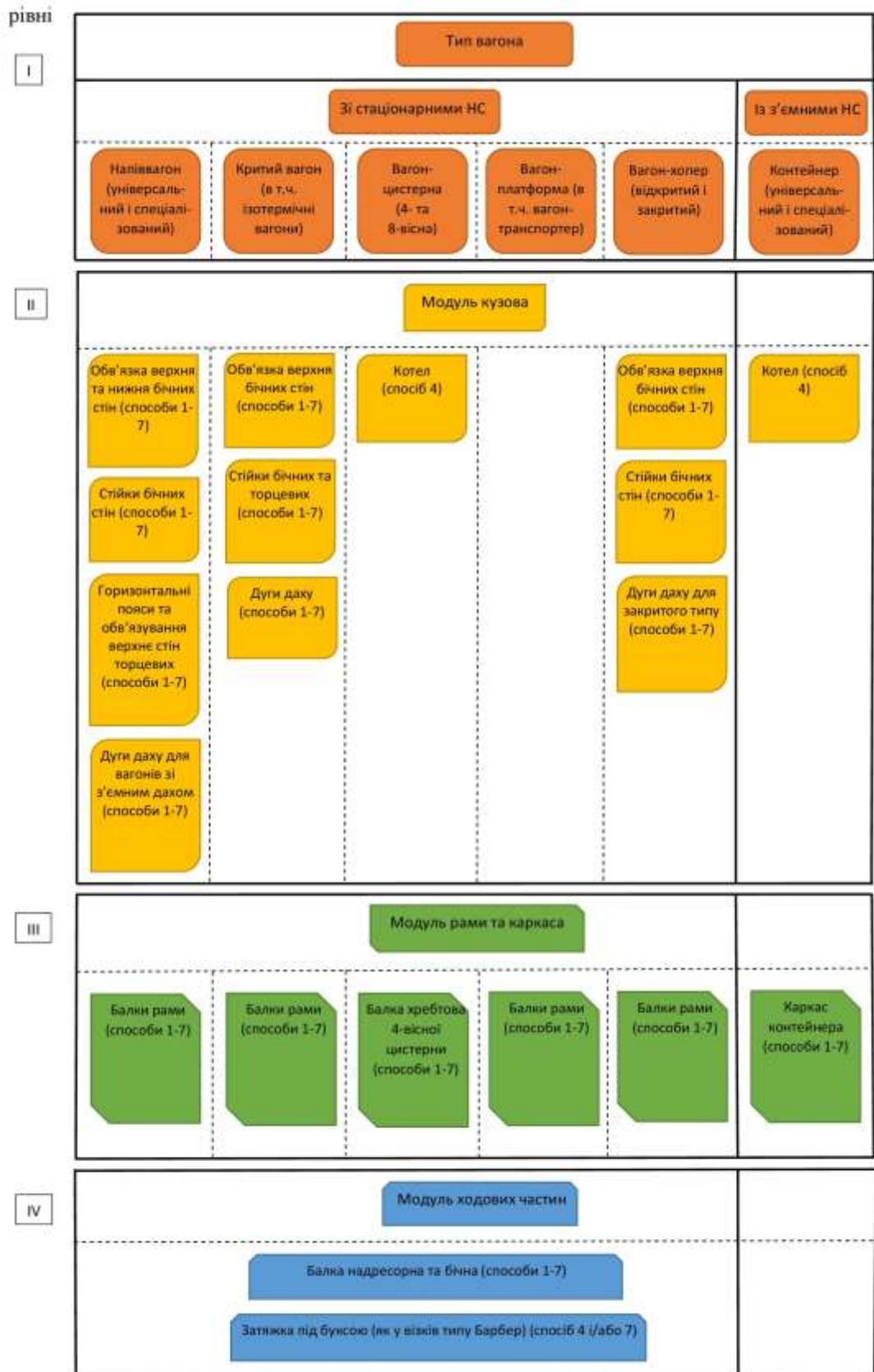


Рисунок 1.45 – Блочно-ієрархічна схема потенційних складових для впровадження мультифункціональних елементів в несівні системи вантажних вагонів

I рівень містить «Тип вагона», який передбачає впровадження основних типів вагонів. Рівень в свою чергу поділяється на вагони з стаціонарними несучими системами ( $V_1$  – тип «Напіввагон»,  $V_2$  – тип «Критий вагон»,  $V_3$  – тип «Вагон-цистерна»,  $V_4$  – тип «Вагон-платформа» та  $V_5$  – тип «Вагон-хопер») та із з'ємними несучими системами ( $V_6$  – тип «Контейнер»). При цьому тип «Напіввагон» включає універсальні та спеціалізовані напіввагони; тип «Критий вагон» - криті вагони звичайної конструкції та ізоtermічні вагони; тип «Вагон-цистерна» – 4-ох та 8-ми вісні цистерни; тип «Вагон-платформа» – вагони-платформи звичайної конструкції з бортами та безбортові, скелетного типу для перевезення контейнерів та вагони-транспортери; тип «Вагон-хопер» – вагони-хопери відкритого та закритого типу; тип «Контейнер» – універсальні та спеціалізовані контейнери.

II рівень містить «Модуль кузова».

Для типу  $V_1$  – «Напіввагон» доцільно в елементах:  $V_{121}$  – «Обв'язка верхня та нижня бічних стін» використати способи 1-7 (під способом 1-7 розуміється застосування способів сумісно або окремо один від одного);  $V_{122}$  – «Стійки бічних стін» – способи 1-7;  $V_{123}$  – «Горизонтальні пояси та обв'язування верхнє стін торцевих» – способи 1-7;  $V_{124}$  – «Дуги даху для вагонів зі з'ємним дахом» – способи 1-7. Для типу  $V_2$  – «Критий вагон» доцільно в елементах:  $V_{221}$  – «Обв'язка верхня бічних стін» можливо використати способи 1-7;  $V_{222}$  – «Стійки бічних та торцевих стін» – способи 1-7;  $V_{223}$  – «Дуги даху» – способи 1-7. Для типу  $V_3$  – «Вагон-цистерна» доцільно в елементі  $V_{321}$  – «Котел» використати спосіб 4. Для типу  $V_4$  – «Вагон-платформа» не доцільно використовувати. Для типу  $V_5$  – «Вагон-хопер» доцільно в елементах:  $V_{521}$  – «Обв'язка верхня бічних стін» використати способи 1-7;  $V_{522}$  – «Стійки бічних стін» – способи 1-7;  $V_{523}$  – «Дуги даху для закритого типу» – способи 1-7. Для типу  $V_6$  – «Контейнер», а саме для типу контейнер-цистерна, доцільно в елементі  $V_{621}$  – «Котел» використати спосіб 4.

III рівень містить «Модуль рами та каркаса».

Для типу  $V_1$  – «Напіввагон» доцільно в елементі  $V_{131}$  – «Балки рами» використовувати способи 1-7.

Для типу  $V_2$  – «Критий вагон» доцільно в елементі  $V_{231}$  – «Балки рами» використовувати способи 1-7. Для типу  $V_3$  – «Вагон-цистерна» доцільно в елементі  $V_{331}$  – «Балка хребтова 4-вісної цистерни» використовувати способи 1-7. Для типу  $V_4$  – «Вагон-платформа» доцільно в елементі  $V_{431}$  – «Балки рами» використовувати способи 1-7. Для типу  $V_5$  – «Вагон-хопер» доцільно в елементі  $V_{531}$  – «Балки рами» використовувати способи 1-7. Для типу  $V_6$  – «Контейнер» доцільно в елементі  $V_{631}$  – «Каркас контейнера» використовувати способи 1-7.

IV рівень містить «Модуль ходових частин».

Для типів  $V_1$  – «Напіввагон»,  $V_2$  – «Критий вагон»,  $V_3$  – «Вагон-цистерна»,  $V_4$  – «Вагон-платформа» та  $V_5$  – «Вагон-хопер» доцільно в елементах:  $V_{141}$ ,  $V_{241}$ ,  $V_{341}$ ,  $V_{441}$ ,  $V_{541}$  – «Балка надресорна та бічна» використати способи 1-7;  $V_{142}$ ,  $V_{242}$ ,  $V_{342}$ ,  $V_{442}$ ,  $V_{542}$  – «Затяжка під буксою (як візків типу Барбер)» – спосіб 4 і/або 7. Для типу  $V_6$  – «Контейнер» не доцільно використовувати.

## Висновки до розділу 1

1. Отримані результати проведеного аналізу конструктивної досконалості різних типів (відкритих, критих, вагонів-цистерн) вантажних вагонів сучасного вітчизняного парку вказують на існування можливості з відновлення ефективного функціонування шляхом впровадження їх мультифункціональних складових.

2. Результати аналізу існуючих проектів які спрямовані на покращення техніко-економічних показників вантажних вагонів, свідчать що вони спрямовані на покращення рівня безпеки конструкцій, проте не дозволяють істотно підвищити ефективність їх функціонування.

3. Конструктивний аналіз існуючих несівних систем відкритих та критих вантажних вагонів, вагонів-цистерн дозволив визначити їх складові, які доцільно удосконалювати за допомогою мультифункціонального підходу. Зокрема до таких складових віднесено: основні та допоміжні елементи рам і каркасів модулів вагонів; обв'язування верхні та нижні стін бокових і торцевих, їх вертикальні стійки, розкоси та горизонтальні пояса; силові елементи дахів; а також відповідні вузли обпирання та взаємодії.

4. Конструктивний аналіз існуючих несівних систем відкритих та критих вантажних вагонів, вагонів-цистерн дозволив визначити їх складові, які доцільно удосконалювати за допомогою мультифункціонального підходу. Зокрема до таких складових віднесено: основні та допоміжні елементи рам і каркасів модулів вагонів; обв'язування верхні та нижні стін бокових і торцевих, їх вертикальні стійки, розкоси та горизонтальні пояса; силові елементи дахів; а також відповідні вузли обпирання та взаємодії.

5. Розроблена блочно-ієрархічна схема потенційних складових для впровадження мультифункціональних елементів в несівні системи вагонів включає 4 ієрархічні рівня. При цьому перший рівень сформований 6 модулями, на другому ієрархічному рівні розміщено 12 складових і на заключному третьому рівні виділено 6 базових елементів. Практичне застосування такого описання дозволяє ефективно знаходити мультифункціональні рішення для всіх несівних чи огорожувальних вагонних складових.

6. Представлені результати досліджень можна використовувати як основу при проведенні відповідних науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з відповідних напрямків модернізації їх існуючих моделей, а також генеруванні нових.

## РОЗДІЛ 2

### НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

### СТВОРЕННЯ МУЛЬТИФУНКЦІОНАЛЬНИХ СКЛАДОВИХ

### ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

#### 2.1 Теоретичні аспекти створення мультифункціональних складових вантажних вагонів

Мультифункціональність є одним із ключових напрямків удосконалення технічних систем в теорії вирішення винахідницьких задач [23, 24, 33, 83, 109, 113]. При цьому такий напрямок відноситься до принципу універсальності, тобто одного з головних принципів вирішення протиріч для підвищення ступеня ідеальності [137-141] технічної системи.

До очікуваних результатів розробки та впровадження мультифункціональних складових вантажних вагонів слід віднести: зменшення їх власної маси, покращення експлуатаційних властивостей, зменшення кількості елементів та надлишкових зв'язків, підвищення надійності та безпеки руху. І як наслідок суттєве зменшення витрат на їх: виготовлення, експлуатацію, обслуговування, ремонти та інше.

В дисертаційній роботі визначені та представлені ключові напрямки створення мультифункціональних складових вантажних вагонів, а саме: пружно-дисипативний, нежорсткий шарнірний, мультиматеріальний та корисно попередньо-напружений і / або деформований.

Отримані та представлені в дисертації наукові напрацювання зі створення мультифункціональних складових вантажних вагонів стануть основою для вирішення відповідних задач практичного рівня.

Слід зазначити, що для формування способів підвищення мультифункціональності вагонних складових доцільно використовувати відповідного характеру опубліковані матеріали для рухомого складу та інших

засобів транспорту, досвід зі створення та використання засобів машинобудування та творчі наукові гіпотези.

Серед значної кількості відомих шляхів створення мультифункціональних об'єктів умовно можна виділити наступні основні напрямки:

1. Поєднання окремих за виконанням функцій елементів;
2. Перевтілення функціонального елементу або функціонального угруповання елементів;
3. Виявлення та реалізація додаткових функцій на тій же ресурсній базі;
4. Виявлення та реалізація додаткових функцій на новій ресурсній базі.

В якості напрямку створення мультифункціональних об'єктів можна відзначити перший напрямок, тому розглянемо виділені основні шляхи його реалізації:

- з'єднання різного рівня конструктивної ієрархії (модулів, вузлів, базових елементів [133-137]) складових без зміни їх форм та властивостей;
- з'єднання різного рівня конструктивної ієрархії (модулів, вузлів, базових елементів [12, 13, 14-21]) складових з їх взаємоузгодженням форм та властивостей;
- введення нових принципів функціонування до вагонних конструктивів на існуючій елементній базі;
- введення нових принципів функціонування до вагонних конструктивів на новій елементній базі;
- урахування на стадії проектування передумов для конструктивного впровадження майбутніх інноваційних рішень конструкції.

У відповідності до основних положень функціонально-вартісного аналізу [109] різних систем, кожен об'єкт можна умовно представити у вигляді конструктивно-об'єднаної сукупності функціональних елементів, які можуть бути розділені [32-35] на чотири групи: головні, основні, допоміжні та непотрібні. Головні функції мають головні елементи. Основні функції відносяться до елементів, які безпосередньо забезпечують роботу головних

елементів; при виключенні будь-якої основної функції головні функції в принципі не можуть бути реалізовані. Допоміжні функції відносяться до елементів, які роблять реалізацію головної чи основної функції більш ефективною, більш прийнятною чи привабливою для споживача та т.п.; при виключенні будь-якої допоміжної функції працездатність об'єкту залишається, проте погіршуються деякі показники якості. Непотрібні функції відносяться до елементів, які не відіграють істотної (або ніякої) ролі у забезпеченні працездатності об'єкту чи підвищенні його якості; таким чином, при виключенні непотрібної функції та супутніх елементів показники якості не погіршуються, а деякі можуть навіть покращуватися.

Тому конструктивний розвиток різних об'єктів в основному пов'язаний з інноваційним об'єднанням допоміжних функцій в головний елемент та виключенням додаткових.

В заключному результаті конструктивний синтез мультифункціональних складових вантажних вагонів у загальну конструкцію призведе до: зменшення її маси та підвищення вантажопідйомності, зменшення її трудомісткості при виготовленні та ремонтах, зменшуванню пошкоджуваності та накопиченню напружень, а також зменшуванню вартості життєвого циклу.

Зокрема для відшукування рішень для створення мультифункціональних складових вантажних вагонів доцільно визначати в них властивості які можуть бути використані для реалізації нових функцій. А також аналізувати нову сукупність ресурсів об'єднаних систем:

- ✓ визначення елементів, ресурсів, зв'язків об'єкта які можуть виконувати потрібні функції;
- ✓ визначення об'єднання існуючих елементів, які можуть виконувати нові функції;
- ✓ визначення об'єднання елементів системи з надсистемними складовими які зможуть виконувати нові функції.

Вище зазначене схематично представлено на рисунку 2.1



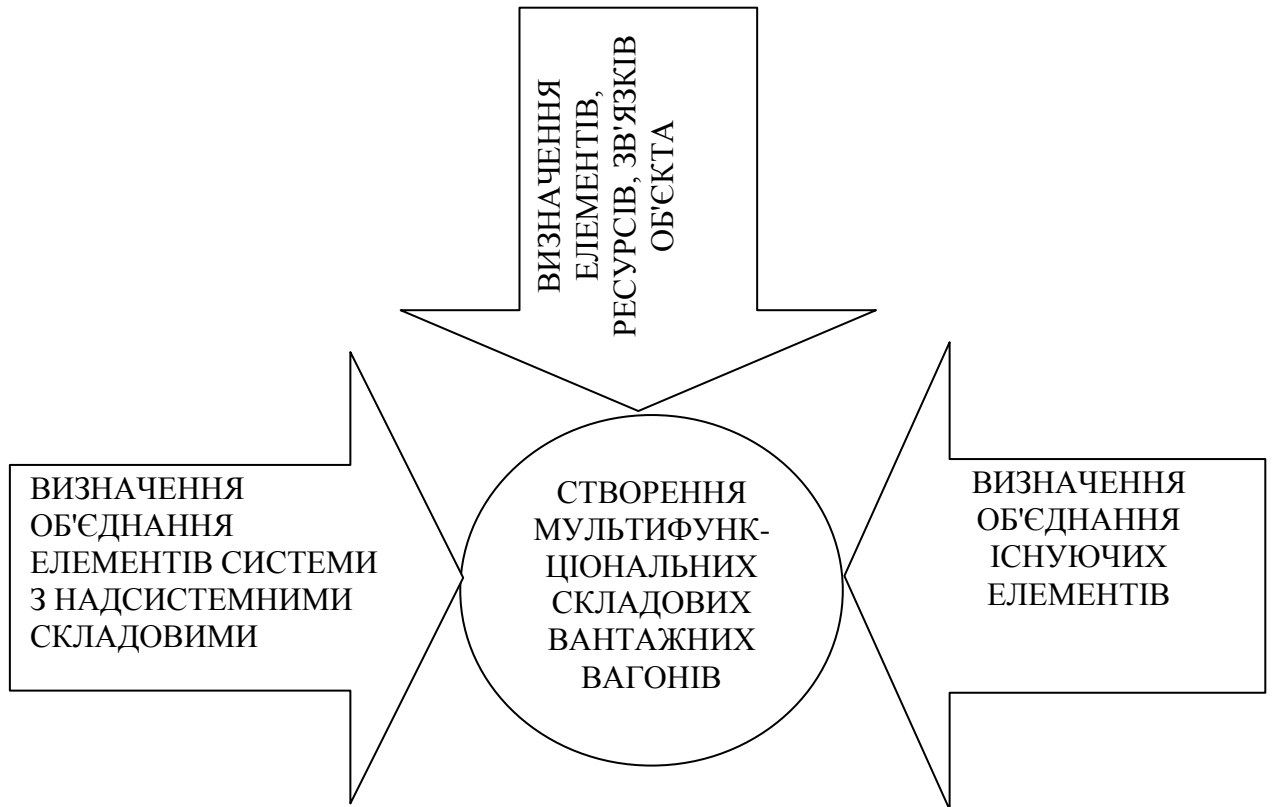


Рисунок 2.1 – Напрямки відшукування рішень для створення мультифункціональних складових вантажних вагонів

Умовно можна виділити наступні локації знаходження функціональних ресурсів:

- 1) локація взаємодії об'єкта та предмета функціонування;
- 2) внутрішня локація об'єкта;
- 3) локація найбільша за критеріями системного підходу елементів вищих ієрархічних рівнів;
- 4) локація нових раніше непов'язаних з об'єктами ресурсів.

Урахування зазначених локацій дозволить систематизувати порядок аналізу і синтезу використання відповідних ресурсів.

Вантажний вагон за своїм призначенням являється одиницею рухомого складу, яка необхідна для транспортування вантажу з пункту відправлення до пункту призначення за умови забезпечення достатнього рівня надійності та безпеки руху.

Суттєво підвищити ефективність вантажного парку та підняти на якісно новий рівень техніко-економічні та експлуатаційні характеристики залізничних вагонів можливо шляхом створення нових їх конструкцій. Проте, вони відзначаються високим ступенем складності та являють собою високоієрархічну конструкцію з широким масивом декомпозиції. Для пошуку інноваційних шляхів удосконалення конструкцій вагонів необхідно чітко розуміти, які функції має вагон та які складові елементи, і якого ієрархічного рівня, забезпечують їх виконання. Таким чином стає можливим створення вагону, що складається з мінімальної кількості конструктивних елементів, кожен з яких виконує максимально можливу кількість функцій. Такий вагон, можна вважати мультифункціональним.

Важливим завданням є систематизація та структурування взаємозв'язків між функціями та конструктивними елементами вантажного вагону, що дозволяє спрогнозувати образ мультифункціонального вантажного вагону нового покоління.

Функції вантажного вагону можна умовно розділити на дві категорії: такі, що забезпечують перевезення вантажу, та такі, що гарантують достатній рівень безпеки. При цьому слід враховувати, що вагон взаємодіє не лише з вантажем, але й сусідніми вагонами, локомотивом, колією та іншими об'єктами залізничної інфраструктури. По суті функції вантажного вагону трансформують його ресурс в якісний результат шляхом реалізації певних процесів і дій, які можна представити у вигляді графічної моделі (рисунок 2.2).

Основні функції вагона, можуть бути реалізовані виключно через його конструктивні елементи – модулі кузова, ходової частини, автозчепного устаткування, автогальмівного обладнання та їх складові. Чітке визначення взаємозв'язків між структурним елементом та його призначенням (функцією) дозволяє конструкторам виявити перспективні структури нижчого ієрархічного рівня, які можуть перебрати на себе додаткове виконання нових дій або процесів. Таким чином можна створити такі декомпозиційні

елементи, які будуть одночасно виконувати декілька корисних функцій – тобто мультифункціональні структури.

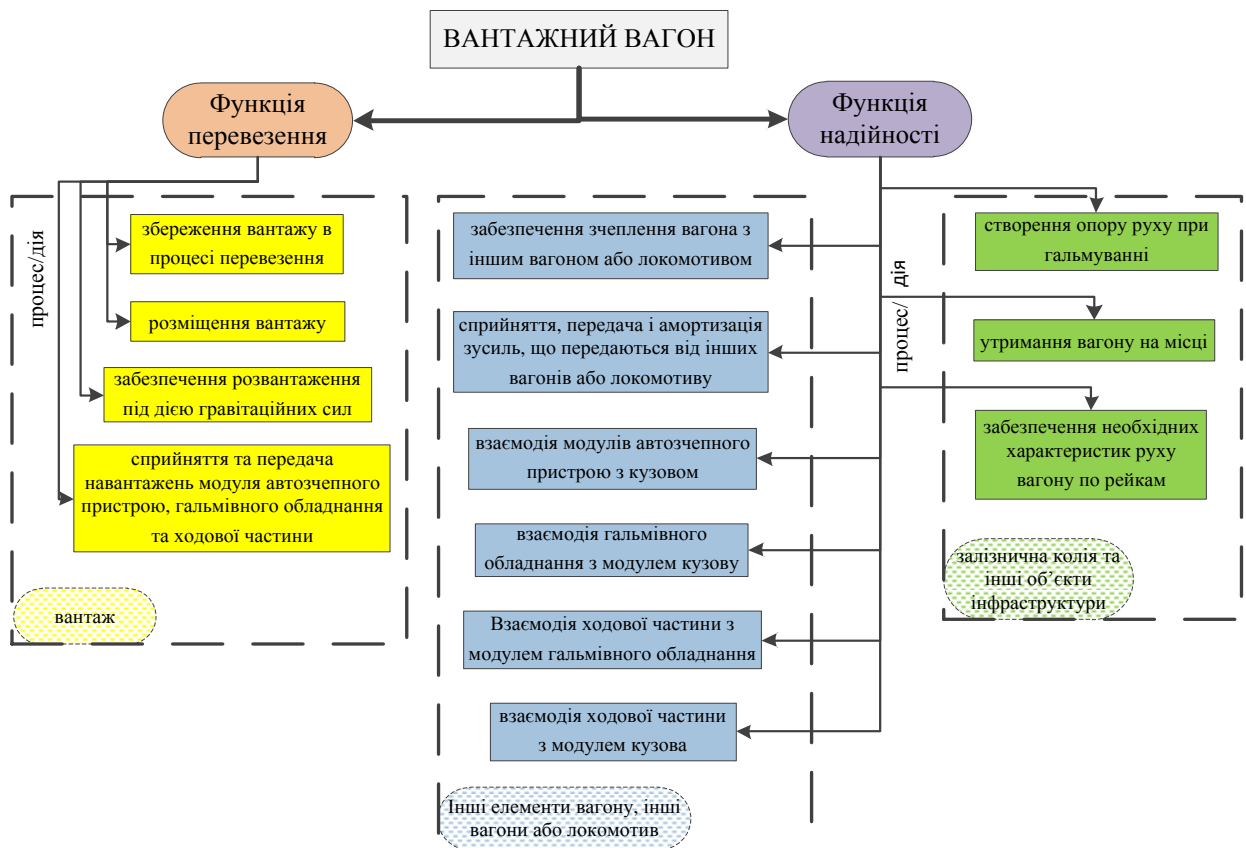


Рисунок 2.2 – Схематичне зображення процесів, що забезпечують виконання основних функцій вантажного вагону

Вагон, побудований з таких мультифункціональних структурних елементів буде більш конкурентоздатним та економічно вигідним, ніж його прототип, в якому за виконання одного процесу відповідає один структурний елемент.

Для визначення сучасного функціонального технічного образу вагону був розроблений структурний граф функціонування вантажного вагону, який представлено на рисунку 2.3. Аналіз такого графу дозволяє встановити роль та значення основних елементів вагону першого ієрархічного рівня.

Аналіз елементів нижчого рівня ієрархії дозволяє встановити більш глибинні зв'язки.

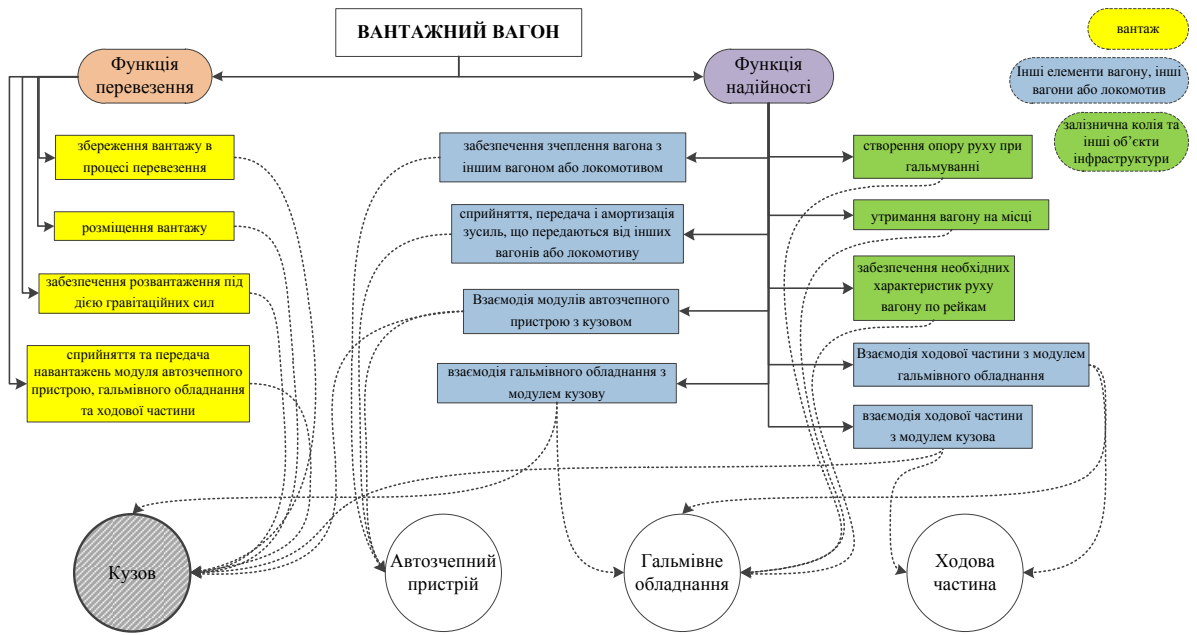


Рисунок 2.3 – Структурний граф функціонування вантажного вагону

На рисунку 2.4 представлено графічну модель конструкції кузова вантажного вагону в контексті функцій, що виконують його складові.

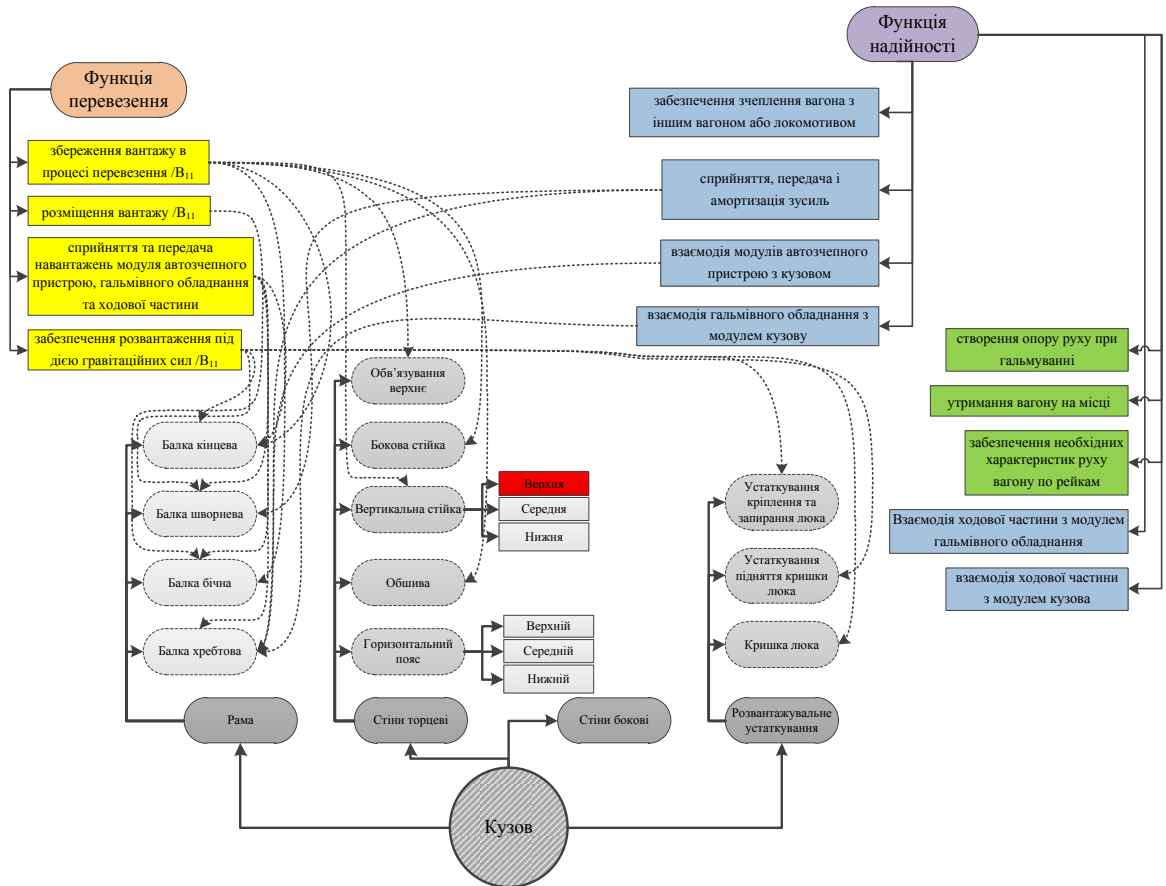


Рисунок 2.4 – Графічна модель конструкції кузова вантажного вагону в контексті функцій, що виконують його складові

З аналізу одержаних результатів стає очевидним, що іноваційно удосконалити конструкцію вагону можна шляхом перекладення функцій між складовими нижчих ієрархічних рівнів. Таким чином, можна отримати вагон із високотехнологічних мультифункціональних складових елементів, який за достатнього рівня надійності та безпеки буде мати техніко-економічні та експлуатаційні характеристики нового покоління.

## **2.2 Узагальнюючий універсальний математичний запис процедури реалізації корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану в складові вагонних конструкцій**

В даному підрозділі зосереджено увагу над авторською гіпотезою про доцільність впровадження в конструкції вантажних вагонів попередньо напружених і / або деформованих несучих елементів. Під попереднім напруженням і / або деформацією конструкцій слід розуміти різноманітні прийоми штучного регулювання напружень (оперування напружено-деформованим станом) в конструкціях для підвищення їх ефективності.

Втручання в природну роботу об'єкта для спрямованої зміни його потенційної енергії деформації може відбуватися на різних етапах життєвого циклу: в процесі виготовлення, при ремонтах, при експлуатації або модернізації і на різних рівнях: конструктивних елементів або вузлів, модулів і системи в цілому.

Критеріями ефективності застосування попереднього напруження в металоконструкціях можуть бути як економічні вимоги зі зниження маси і вартості об'єктів, так і технологічні (підвищення жорсткості, збереження форми елементів несучих конструкцій, зміна динамічних характеристик, підвищення тріщиностійкості та зменшення втомної міцності і т.д.). В цьому відношенні металоконструкції мають більш широкі можливості застосування попереднього напруження і / або деформації, ніж залізобетонні і сталі

залізобетонні, де цей прийом розвинувся, перш за все як засіб боротьби з малою міцністю бетону, при розтягуванні.

Узагальнюючий універсальний математичний запис процедури реалізації корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану в складові вагонних конструкцій необхідно враховувати наступні вимоги:

1) системно враховувати економічну ефективність на етапах життєвого циклу вантажного вагона;

2) в якості головного критерію реалізації корисного попередньо напруженого і/або деформованого стану застосовується сумарний вектор корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану, який за величиною і напрямком спрямований в сторону протидії сумарного вектору експлуатаційних навантажень;

3) математична модель повинна включати цільову функцію (ЦФ), яка є вектором відшукування (пошуку) оптимального розрахункового варіанту із області допустимих рішень (ОДР) виділеної з області можливих рішень (ОМР).

В зв'язку з тим, що застосування математичного запису (моделі) повинно ефективно оперувати як впровадженням попередньо напруженого і / або деформованого стану, чи їх поєднань, тому необхідно створити достатні передумови для описання відповідних станів, а саме, наприклад, залежностей різноманітних прогинів і вигинів, внутрішніх і зовнішніх механічних напружень від термічного чи механічного впливу.

Як було зазначено вище, в якості головного критерію створення корисного попередньо напруженого і/або деформованого стану застосовується сумарний вектор корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану, який за величиною і напрямком спрямований в сторону протидії сумарного вектору експлуатаційних навантажень:

$$\sum \overline{F^{КПНДС}}(\overline{Y}) \rightarrow -\sum \overline{F^{ЕКСПЛ.}} \quad (2.1)$$

$\sum \overline{F^{КПНДС}}(\overline{Y})$  – де сумарний вектор корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану;

$\sum \overline{F^{ЕКСПЛ.}}$  – сумарний вектор експлуатаційних навантажень.

При цьому сумарний вектор корисного попередньо напруженого і / або деформованого стану є функцією скалярної суми векторів напружень та деформації складової. Тобто область можливих рішень (ОМР) формується полями можливих змін факторів реалізації відповідних способів створення попередньо напруженого і/або деформованого стану:

$$OMP = \left\{ \overline{Y} \left| \begin{array}{l} \sum \overline{a}_x^{\min} \leq \sum \overline{a}_x \leq \sum \overline{a}_x^{\max}; \quad \sum \overline{a}_y^{\min} \leq \sum \overline{a}_y \leq \sum \overline{a}_y^{\max}; \quad \sum \overline{a}_z^{\min} \leq \sum \overline{a}_z \leq \sum \overline{a}_z^{\max}; \\ \sum \overline{b}_x^{\min} \leq \sum \overline{b}_x \leq \sum \overline{b}_x^{\max}; \quad \sum \overline{b}_y^{\min} \leq \sum \overline{b}_y \leq \sum \overline{b}_y^{\max}; \quad \sum \overline{b}_z^{\min} \leq \sum \overline{b}_z \leq \sum \overline{b}_z^{\max}; \\ a \in [1; s]; b \in [1; k] \end{array} \right. \quad (2.2.)$$

де  $\sum \overline{a}_x^{\min} \leq \sum \overline{a}_x \leq \sum \overline{a}_x^{\max}; \sum \overline{a}_y^{\min} \leq \sum \overline{a}_y \leq \sum \overline{a}_y^{\max}; \sum \overline{a}_z^{\min} \leq \sum \overline{a}_z \leq \sum \overline{a}_z^{\max}; a \in [1; s]$  – визначені змінні параметри: величини та напрямку корисних попередніх напружень,

$\sum \overline{b}_x^{\min} \leq \sum \overline{b}_x \leq \sum \overline{b}_x^{\max}; \sum \overline{b}_y^{\min} \leq \sum \overline{b}_y \leq \sum \overline{b}_y^{\max}; \sum \overline{b}_z^{\min} \leq \sum \overline{b}_z \leq \sum \overline{b}_z^{\max}; b \in [1; k]$  – визначені змінні параметри: величини та напрямку корисних попередніх деформацій.

Область допустимих рішень (ОДР), у якій знаходиться шукане рішення, виділяється із області можливих рішень (ОМР) функціональними вимогами та обмеженнями вторинних критеріїв:

$$\overline{Y} \in ODR \in OMP \quad (2.3)$$

Попередні дослідження показали, що у якості зазначених критеріїв та їх відповідних обмежень для вантажних вагонів доцільно розглядати з урахуванням техніко-економічних та експлуатаційних обмежень. В якості

зазначених критеріїв та обмежень для вантажних вагонів доцільно розглядати техніко-економічні та експлуатаційні характеристики [1-8, 10-18, 21-28, 32-38, 41-47, 57-61, 72-79, 121-123 ]:

$M_B$  – маса тари вагона, яка повинна бути в межах визначених конструктивних обмежень;

$P_B$  – вантажопідйомність, яка повинна бути в межах визначених конструктивних обмежень;

$V_B$  – повний (навантажувальний) об'єм кузова, який повинен бути в межах визначених конструктивних обмежень (зокрема з урахуванням габариту та особливостей вантажів, які планується перевозити);

$P_B^{noz}$  – погонне навантаження, яка повинна бути в межах визначених конструктивних обмежень і визначається за формулою:

$$P_B^{noz} = \frac{M_B + P_B}{L_{зч.}}, \quad t/m; \quad (2.4)$$

де  $L_{зч.}$  – зчїпна довжина вагону, м;

$C_B$  – характеристики модуля ходової частини (наприклад: гнучкість та статичний прогин ресорного підвішування, конструкційна швидкість і т.д.), в межах визначених конструктивних обмежень які встановлені НТД.

$f_B$  – жорсткість конструкції, яка повинна бути не меншою за задане допустиме значення;

$n_y^B$  – стійкість конструкції, яка повинна бути не меншою за задане допустиме значення;

$n^B$  – втомна міцність конструкції, яка повинна бути не меншою за задане допустиме значення;

$B_B$  – максимальні витрати на виробництво складової, які повинні бути в межах визначених обмежень;



$E_B$  – енергоємність поглинаючого апарату, яка повинна бути в межах визначених конструктивних обмежень;

$T_B$  – характеристики модуля гальмівного обладнання (наприклад: розрахунковий коефіцієнт гальмівного тиску, втрати тиску у гальмівній магістралі за одиницю часу і т.д.), які повинні бути в межах визначених конструктивних обмежень;

$\sigma_B^I$  – міцність за першим розрахунковим режимом відповідно до нормативів проектування вагонів, значення якої не повинне перевищувати допустиме;

$\sigma_B^{II}$  – міцність за другим розрахунковим режимом відповідно до нормативів проектування вагонів, значення якої не повинне перевищувати допустиме;

$\sigma_B^{III}$  – міцність за третім розрахунковим режимом відповідно до нормативів проектування вагонів, значення якої не повинне перевищувати допустиме;

$\sigma_B^{удар}$  – ударна міцність відповідно до нормативів проектування вагонів, значення якої не повинне перевищувати допустиме;

$P_{oc}$  – розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейки, яке не повинно перевищувати допустимого значення, що встановлюється нормативно-технічною документацією;

Можливе врахування і інших функціональних вимог та обмежень відповідних вторинних критеріїв, які додаються в залежності від конструктивних особливостей виконання досліджуваної моделі вагону.

Тоді область допустимих рішень (ОДР) прийме наступний вигляд:

$$\text{ОДР} = \left\{ \overline{Y} \left\{ \begin{array}{l}
 M_{\min} \leq M_B \leq M_{\max}; \quad P_{\min} \leq P_B \leq P_{\max}; \quad V_{\min} \leq V_B \leq V_{\max}; \\
 P_{\min}^{noz} \leq P_B^{noz} \leq P_{\max}^{noz}; \quad C_{\min} \leq C_B \leq C_{\max}; \quad [f] \leq f_B; \quad [n_y] \leq n_y^B; \quad [n] \leq n^B; \\
 B_{\min} \leq B_B \leq B_{\max}; \quad E_{\min} \leq E_B \leq E_{\max}; \quad T_{\min} \leq T_B \leq T_{\max}; \\
 [\sigma^I] \leq \sigma_B^I; \quad [\sigma^{II}] \leq \sigma_B^{II}; \quad [\sigma^{III}] \leq \sigma_B^{III}; \quad [\sigma^{y\delta ap}] \leq \sigma_B^{y\delta ap}; \quad [P_{oc}] \leq P_{oc}^B; \\
 \sum \overline{a_x}^{\min} \leq \sum \overline{a_x} \leq \sum \overline{a_x}^{\max}; \quad \sum \overline{a_y}^{\min} \leq \sum \overline{a_y} \leq \sum \overline{a_y}^{\max}; \quad \sum \overline{a_z}^{\min} \leq \sum \overline{a_z} \leq \sum \overline{a_z}^{\max}; \\
 \sum \overline{b_x}^{\min} \leq \sum \overline{b_x} \leq \sum \overline{b_x}^{\max}; \quad \sum \overline{b_y}^{\min} \leq \sum \overline{b_y} \leq \sum \overline{b_y}^{\max}; \quad \sum \overline{b_z}^{\min} \leq \sum \overline{b_z} \leq \sum \overline{b_z}^{\max}; \\
 a \in [1; s]; b \in [1; k]
 \end{array} \right. \right\} \quad (2.5)$$

Висвітлений підхід до створення узагальнюючого універсального математичного запису процедури реалізації корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану в складові вагонних конструкцій та результати його реалізації можуть бути використані при вирішенні інших аналогічних задач.

### 2.3 Теоретичні аспекти створення корисно попередньо напружених і / або деформованих мультифункціональних складових вантажних вагонів

Одним із основних науково-технічних завдань, результати вирішення якого безпосередньо впливають на ефективність роботи вантажного вагонного парку, є розроблення нових чи модернізації вже існуючих моделей вантажних вагонів з метою зниження їх матеріалоємності [42-45]. При цьому перспективним методом зниження матеріалоємності (з відповідним підвищенням вантажопідйомності) вантажних вагонів є відшукання та реалізація конструктивних надлишкових запасів міцності [110-112], за рахунок надання їх складовим елементам оптимальних конструктивних форм та їх виконання із матеріалів з направленими властивостями при виконанні

умов міцності та експлуатаційної надійності. До того ж результати аналізу впливу експлуатаційних факторів на конструкції несучих систем вантажних вагонів засвідчили, що одним з основних видів пошкоджень їх елементів є тріщини.

Як показує позитивний досвід інших галузей пов'язаних з виготовленням металоконструкцій, одним з перспективних напрямків вирішення обох вище представлених науково-технічних завдань є використання у несучих системах машинобудування корисно попередньо напружених і / або деформованих мультифункціональних конструкцій. Проте розгляд сучасного науково-технічного заділ з профілю досліджуваних питань засвідчив відсутність змістовної інформації зі створення відповідних теоретичні аспекти вирішення такого завдання для вантажних вагонів.

Основною метою розгляду та застосування зазначеного підходу є збільшення строку життєвого циклу засобів рухомого складу залізниць, зменшення їх матеріалоємності та підвищення вантажопідйомності, покращення ремонтпридатності, підвищення тріщиностійкості, зменшення/повне виключення різнознакових напружень.

Відповідно до діючої та перспективної нормативної документації при розрахунку всіх типів вагонів встановлюють два основних розрахункових режими: I-ий та III-ій [80-86, 115-127].

За I-им розрахунковим режимом (рідке сполучення екстремальних навантажень) допустимі напруження обираються близькими до границі текучості матеріалу, що використовується, з урахуванням характеру дії навантаження і властивостей матеріалу (від 0,85 до 1,1 мінімальної межі текучості  $\sigma_T$ ) з метою не допустити появи залишкових деформацій і руйнувань елементів та деталей вагона.

За III-ім розрахунковим режимом (часте поєднання помірних експлуатаційних навантажень) допустимі напруження обираються виходячи з межі витривалості матеріалу на рівні від  $0,5 \cdot \sigma_T$  до  $0,65 \cdot \sigma_T$  з метою не допустити втомного руйнування вузла або деталі.

Загальні правила розрахунку несучої здатності вагонних конструкцій передбачають:

- розрахунок елементів кузова виконувати за допустимими напруженням і запасом стійкості;
- розрахунок окремих елементів рами виконувати за допустимими напруженням і запасом опору втомі.

Базовими параметрами при розрахунку і проектуванні вантажних вагонів усіх типів є:

1) допустимі напруження, величина яких з урахуванням коефіцієнтів запасу визначається межею текучості матеріалу ( $\sigma_T$ ). Коефіцієнт запасу для металопрокату 0,9-0,95 залежно від умов експлуатації. Значення межі текучості, як і інших показників механічних властивостей матеріалу;

2) запас стійкості, величина якого, в тому числі, визначається межею текучості матеріалу ( $\sigma_T$ ).

Під корисним попереднім напруженням конструкцій розуміють різноманітні прийоми спрямованого штучного регулювання напружень (керування напружено-деформованим станом) в конструкціях для підвищення їх ефективності роботи по сприйняттю навантажень на етапах життєвого циклу. При цьому втручання в природну роботу об'єкта для спрямованої зміни його потенційної енергії деформації може відбуватися на різних етапах життєвого циклу: в процесі виготовлення, при монтажі, при експлуатації або реконструкції і на різних рівнях. Наприклад для вантажних вагонів: в модулях, складових, вузлах або базових елементах [80-86].

Основним завданням впровадження попередньо напруженого і/або деформованого стану є зниження величин напружень і/або деформацій в конструктивних складових вантажних вагонів шляхом застосування одного або комбінації способів їх створення:

1. Обтиснення окремих розтягнутих, стиснених і зігнутих порожнистих/суцільних замкнутих/незамкнутих профілів і цілих елементів (балок, рам) затяжками різного виду з високоміцних матеріалів;

2. Попередній пружний вигин окремих елементів з наступною фіксацією (або зварюванням) їх в зігнутому стані в цілий конструктивний елемент (балку);

3. Попередня витяжка цілих конструкцій або окремих їх частин з метою збільшення області пружної роботи матеріалу;

4. Попередній натяг окремих включених гнучких стрижнів (троси, пучки дроту, арматура) з метою сприйняття ними стискають зусиль;

5. Тимчасове завантаження в процесі виготовлення і встановлення окремих елементів конструкцій або всієї конструкції з подальшою фіксацією або без неї, конструкції під навантаженням для раціонального розподілу зусиль і підвищення її жорсткості та стійкості;

6. Створення попереднього напруження в прокатних профілях шляхом завальцьовування в них попередньо натягнутого високоміцного дроту (наприклад при створенні гнучких вагонних з'єднань);

7. Попереднє нагрівання/охолодження окремих деталей з метою збільшення/зменшення їх геометричних розмірів). В якості прикладу застосування для вантажних вагонів можна привести попереднє нагрівання, яке може використовуватися для того, щоб запобігати утворенню тріщин і / або забезпечити потрібні механічні властивості, наприклад, ударну в'язкість. Попереднє нагрівання можна виконувати в печі або за допомогою нагрівальних пальників, електричних пластинчастих радіаторів або індукційних чи променистих нагрівачів.

Далі виникає необхідність проаналізувати відповідно до [80-86] схеми прикладення навантажень (рисунок 2.5), врахування яких необхідно при оцінках міцності елементів кузовів вагонів за режимами [70, 71, 80-86].

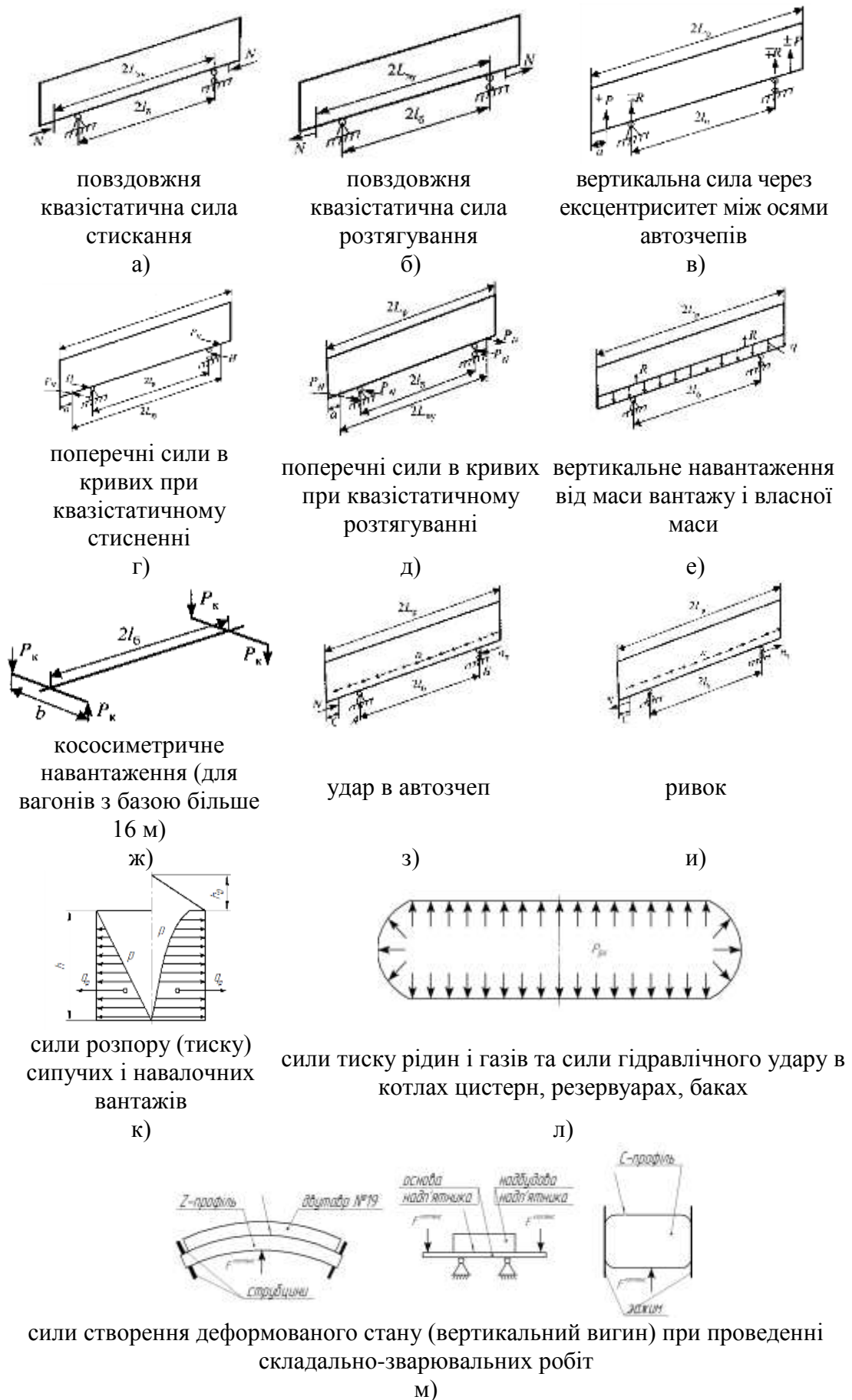


Рисунок 2.5 Розширена схема прикладення навантажень до вагонних конструкцій у різних розрахункових випадках життєвого циклу

Критеріями ефективності застосування корисного попереднього напруження і/або деформації в металоконструкціях можуть бути як економічні вимоги щодо зниження матеріалоемності і вартості об'єктів, так і конструктивно-технологічні (підвищення жорсткості, збереження форми елементів несучих конструкцій після впливу технологічно обумовлених факторів (наприклад зварювання), поліпшення динамічних характеристик і т.д.). В цьому відношенні металоконструкції мають ширші можливості та більші перспективи застосування попереднього напруження, ніж залізобетонні і сталезалізобетонні, де цей прийом розвинувся, перш за все як засіб боротьби з малою міцністю бетону, при розтягуванні.

У всіх випадках на регулювання внутрішніх зусиль в конструкціях потрібні додаткові трудовитрати і залишається можливість втрати або перебудови наведеного фону внутрішніх напружень в часі внаслідок розвитку тривалих процесів в матеріалах і зв'язках. Тому впровадження раціональних прийомів управління напружено-деформованим станом в практику створення сучасних залізничних машинобудівних конструкцій вимагає для кожної конструктивної форми розроблення відповідних теоретичних положень, методологічних основ та практичних засобів.

Цілі створення корисно попередньо напружених і/або деформованих мультифункціональних конструкцій [26]:

- 1) економія металу і засобів у споруджуваних конструкціях завдяки більш вигідному розподілу зовнішніх зусиль, збільшення області пружної роботи;
- 2) підвищення несучої здатності конструкцій, що знаходяться на етапі експлуатації або реконструкції в зв'язку з підвищенням навантажень;
- 3) зниження деформативності всієї конструкції або окремих її елементів, зменшення частоти або амплітуди коливань;
- 4) підвищення стійкості окремих елементів або всієї конструкції в цілому;
- 5) збільшення витривалості окремих елементів при циклічних навантаженнях за рахунок поліпшення характеристики циклу;

6) сприятлива зміна деяких властивостей конструкції (динамічних характеристик при динамічних і сейсмічних впливах, аеродинамічних характеристик при вітрових впливах, підвищення протидії температурним навантаженням (наприклад морозостійкості);

7) забезпечення в деяких випадках зручності монтажу, і в зв'язку з цим зниження трудовитрат;

8) протидія виникненню негативних залишкових деформацій від технологічних факторів. Наприклад в вантажному вагонобудування попередній прогин зафіксованої загальної конструкції при накладанні великих зварювальних швів: приварювання двотавра до зварених зет-подібних профілів балки хребтової напіввагонів, складальні конструкції обв'язувань верхніх напіввагонів і т.д.

Ці ж цілі можуть бути досягнуті і іншими способами (збільшенням площі або зміною типу перерізу, способу з'єднання елементів і ін.) які є більш матеріально витратні. Попереднє корисне напруження і/або деформація доцільно, якщо ефект, отриманий від нього, повністю окупить додаткові витрати [55-58]. Вибір остаточного варіанта конструкції повинен робитися на основі техніко-економічного аналізу.



## **2.4 Мультифункціональні корисно попередньо напружені і/або деформовані концепти вантажних вагонів**

### **2.4.1 Мультифункціональний корисно попередньо напружений і / або деформований концепт критого вагона-хопера для перевезення цементу**

Мультифункціональний корисно попередньо напружений і / або деформований концепт критого вагона-хопера для перевезення цементу відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення залізничних перевезень насипних та навалочних вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів, зокрема цементу.

В основу концепту поставлено задачу удосконалення критого вагона-хопера для перевезення цементу за рахунок удосконалення конструкції основних елементів модулів рами та кузова, на основі виконання хребтової, кінцевих, шворневих, середніх проміжних балок модуля рами, обв'язування верхнього і стійок вертикальних стін бокових, обв'язування верхнього, стійок бокових та проміжних стін торцевих із напівтруб (рисунок 2.6) з натягнутими (корисно попередньо напруженими) у їх середині тросами, балка хребтова (рисунок 2.7), каркаси (рисунок 2.8) бокових та торцевих (рисунок 2.9) стін вигнуті параболоподібно (корисно попередньо) вигнуті у середину кузова, при виконанні умов міцності та експлуатаційної надійності, що дозволить знизити його матеріалоємність і зношуваність несівних елементів, та як наслідок цього знизити собівартість виготовлення та експлуатації критого вагона-хопера для перевезення цементу.

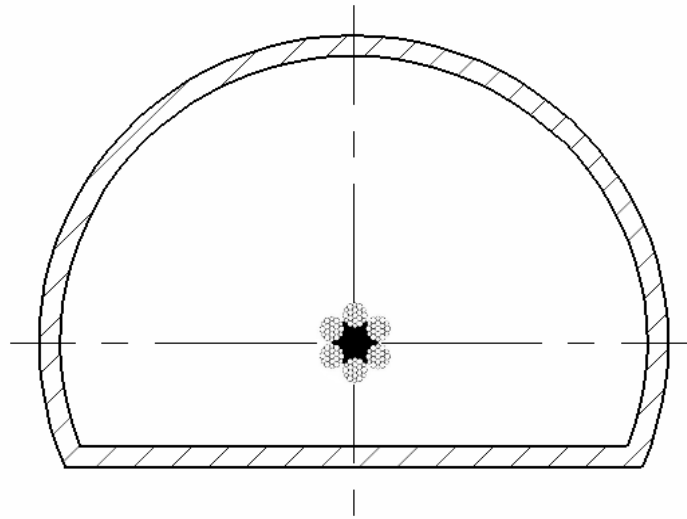


Рисунок 2.6 – Переріз напівтруби з натягнутими в середині тросами



Рисунок 2.7 – Вид збоку на корисно попередньо деформовану балку хребтову концепта критого вагона-хопера для перевезення цементу



Рисунок 2.8 – Вид зверху на корисно попередньо деформовану стіну бокову концепта критого вагона-хопера для перевезення цементу

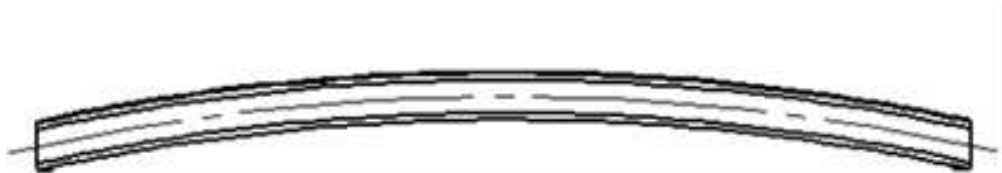


Рисунок 2.9 – Вид зверху на корисно попередньо деформовану стіну торцеву концепта критого вагона-хопера для перевезення цементу

### 2.4.2 Мультифункціональний корисно попередньо напружений і / або деформований концепт окатишевозу

Мультифункціональний корисно попередньо напружений і / або деформований концепт окатишевозу відноситься до вагонобудування та може бути використаним для здійснення залізничних перевезень гарячих окатишів і агломерату з температурою до 700°C з місця виробництва на приймальні бункери доменної печі.

В основу концепту поставлено задачу удосконалення залізничного напіввагону-хоперу для гарячих окатишів та агломерату за рахунок удосконалення конструкції основних елементів модулів рами та кузова, на основі виконання хребтової, кінцевих, шворневих, середніх проміжних балок модуля рами, обв'язування верхнього і стійок вертикальних стін бокових, обв'язування верхнього, стійок бокових та проміжних стін торцевих із напівтруб (рисунок 2.6) з натягнутими (корисно попередньо напруженими) у їх серединах тросами, балка хребтова (рисунок 2.10), каркаси (рисунок 2.11) бокових та торцевих (рисунок 2.12) стін вигнуті параболоподібно (корисно попередньо) вигнуті у середину кузова, при виконанні умов міцності та експлуатаційної надійності, що дозволить знизити його матеріалоемність і зношуваність несівних елементів, та як наслідок цього знизити собівартість виготовлення та експлуатації.



Рисунок 2.10 – Вид збоку на корисно попередньо деформовану балку хребтову концепта окатишевозу



Рисунок 2.11 – Вид зверху на корисно попередньо деформовану стіну бокову концепта окатишевозу

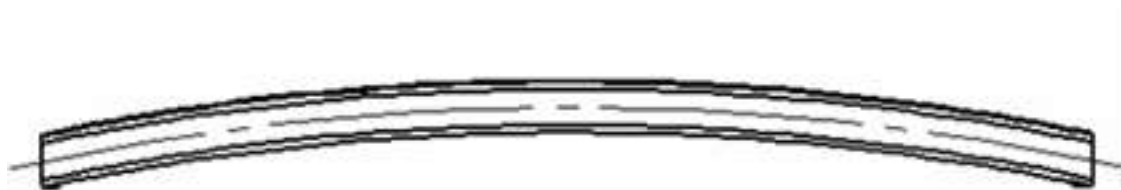


Рисунок 2.12 – Вид зверху на корисно попередньо деформовану стіну торцеву концепта окатишевозу

## **2.5 Мультифункціональні пружно-дисипативні концепти вантажних вагонів**

### **2.5.1 Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-платформи з листових ресор**

Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-платформи з листових ресор відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення залізничних перевезень колісних і гусеничних машин, штучних, лісових і довгомірних вантажів, вантажів в ящикової упаковці, контейнерів та інших вантажів, які не потребують захисту від атмосферних опадів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення вагона-платформи шляхом виконання середньої частини хребтової балки (рисунок 2.13), поперечних та кінцевих балок у вигляді листових ресор (рисунок 2.14).

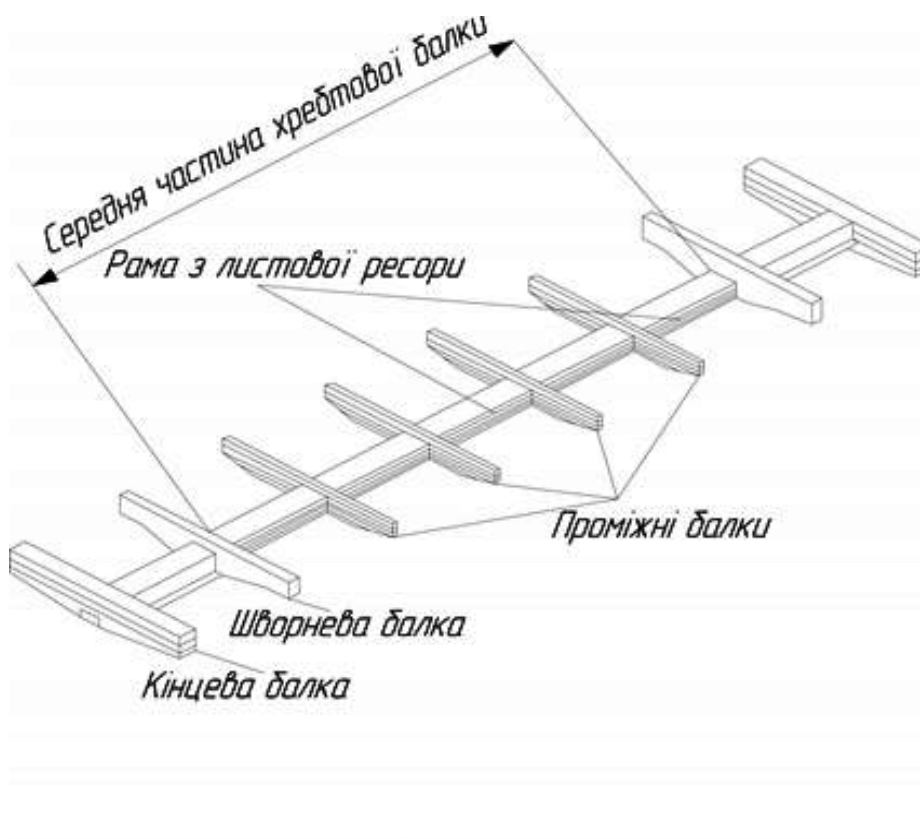


Рисунок 2.13 – Концепт рами вагона-платформа з листових ресор



Рисунок 2.14 – Переріз концепту поперечних балок рами з листових ресор

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечують поглинання енергії коливань та ударів, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності вагона-платформ, забезпечує зменшення матеріалоемності відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

## 2.5.2 Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-хопера для перевезення зерна з листових ресор

Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-хопера для перевезення зерна з листових ресор відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення вантажних залізничних перевезень насипних вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів, зокрема зерна.

В основу концепту поставлена задача удосконалення вагона-хопера для перевезення зерна шляхом виконання середньої частини хребтової балки (рисунок 2.14), кінцевих балок, середніх проміжних балок та вертикальних стійок стін бокових та проміжних стійок торцевих стін (рисунок 2.15) у вигляді листових ресор.

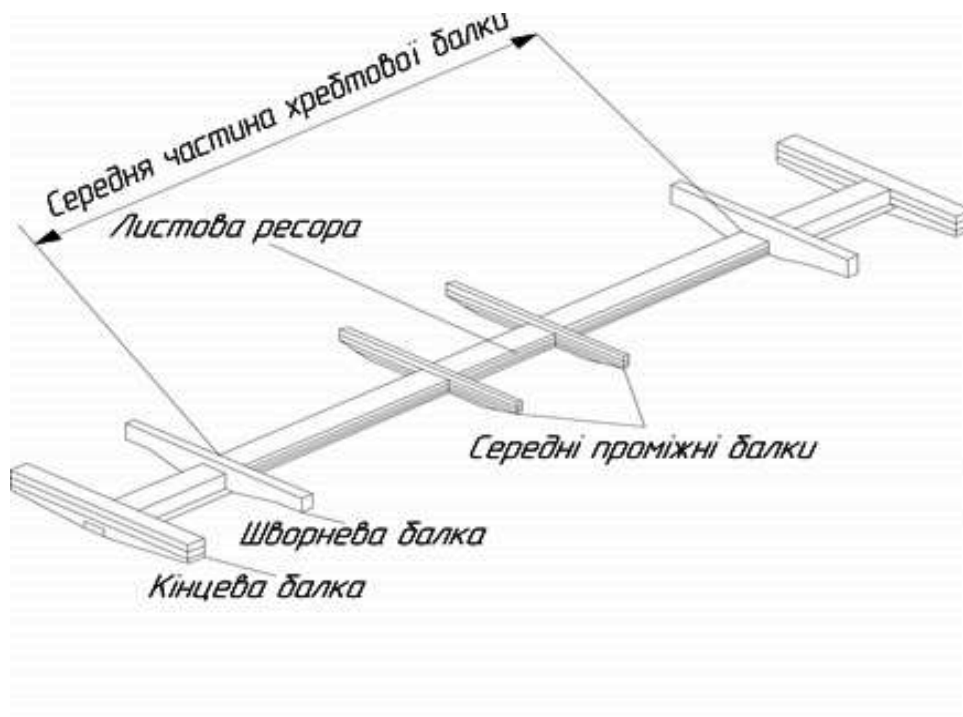


Рисунок 2.14 – Концепт рами вагона-хопера для перевезення зерна з листових ресор

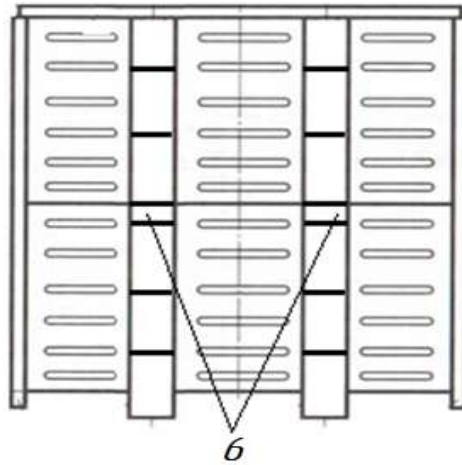


Рисунок 2.15– Концепт стіни торцевої вагона-хопера для перевезення зерна з листових ресор

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечують поглинання енергії коливань, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності вагона-хопера для перевезення зерна, забезпечує зменшення матеріалоемності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

### **2.5.3 Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив з листових ресор**

Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив з листових ресор відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення вантажних залізничних перевезень насипних вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів, зокрема мінеральних добрив.

В основу концепту поставлена задача удосконалення вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив шляхом виконання середньої частини хребтової балки (рисунок 2.16), кінцевих балок, середньої проміжної балки та вертикальних стійок стін бокових та проміжних стійок торцевих стін

(рисунок 2.17) у вигляді листових ресор. Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечують поглинання енергії коливань, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив, забезпечує зменшення матеріалоємності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

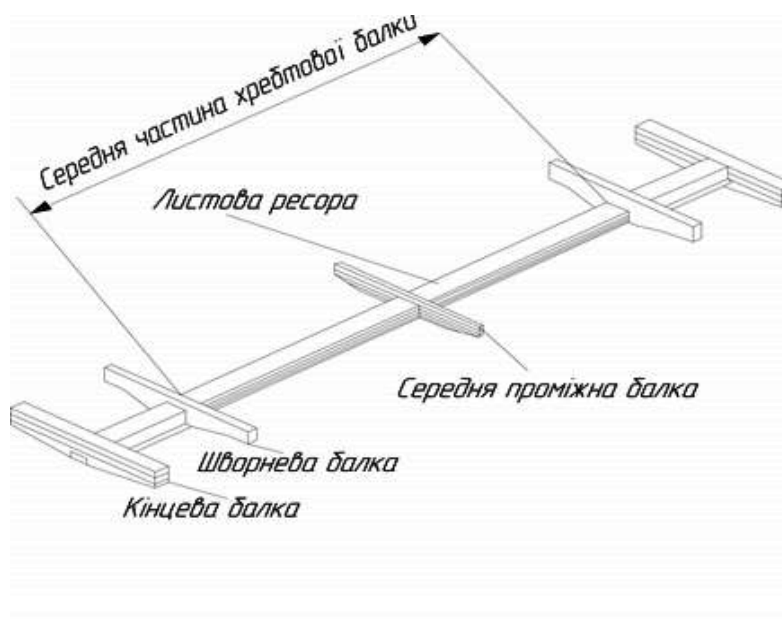


Рисунок 2.16 – Концепт рами вагона-хопера для перевезення для перевезення мінеральних добрив з листових ресор

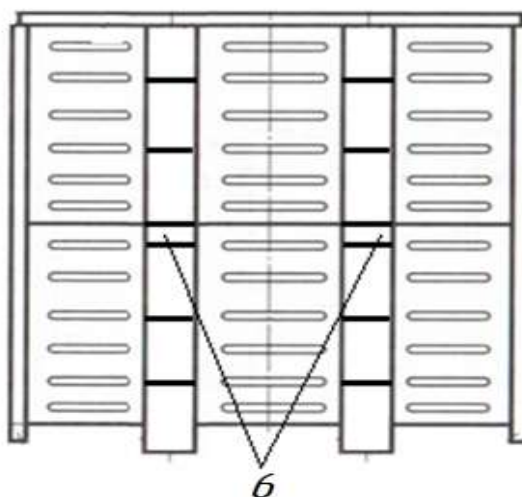


Рисунок 2.17 – Концепт стіни торцевої вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив з листових ресор



### 2.5.4 Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт напіввагона глухонного з листових ресор

Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт напіввагона глухонного з листових ресор відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення залізничних перевезень насипних та навалочних вантажів, що не потребують захисту від атмосферних опадів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення напіввагона глухонного шляхом виконання середньої частини хребтової балки (рисунок 2.18), проміжних балок, вертикальних стійок бокових стін та горизонтальні пояси стін торцевих (рисунок 2.19) у вигляді листових ресор.

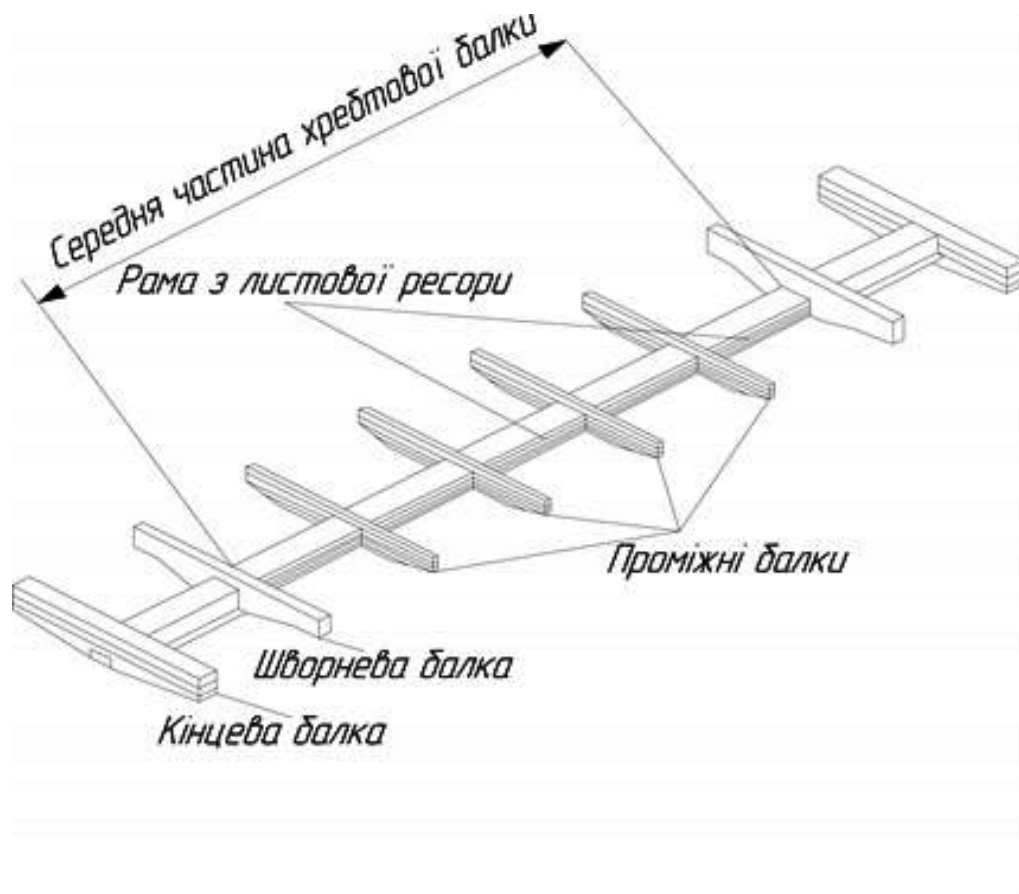


Рисунок 2.18 – Концепт рами напіввагона з листових ресор

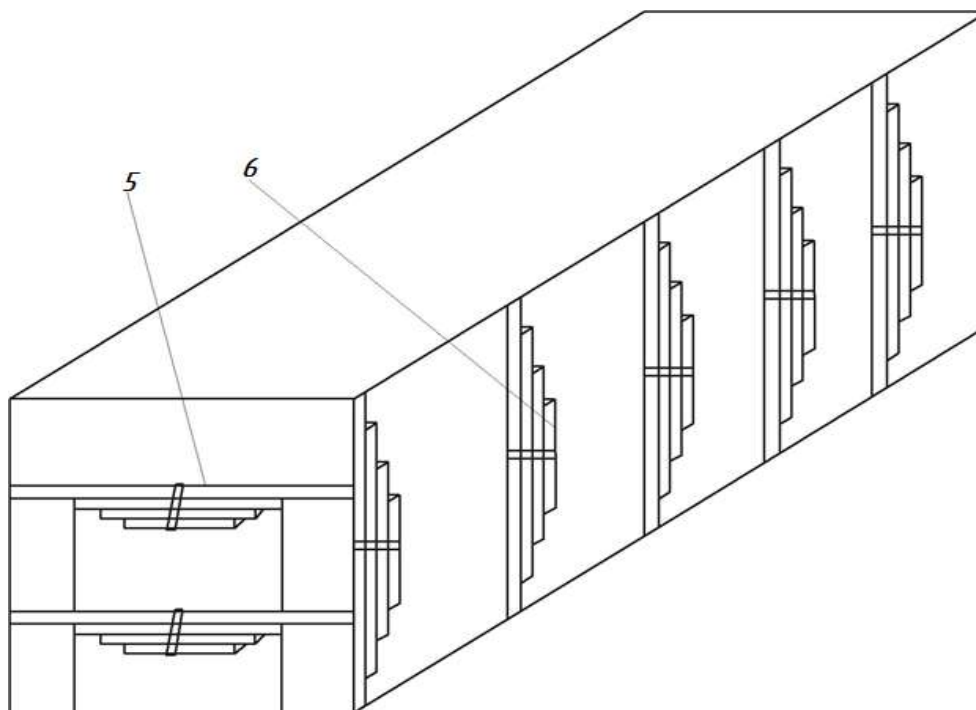


Рисунок 2.19 – Концепт кузова напіввагона з листових ресор

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечують поглинання енергії коливань, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності напіввагона глуходонного, забезпечує зменшення матеріалоемності відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

### **2.5.5 Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт універсального критого вагона зі стійками з демпфуючими властивостями**

Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт універсального критого вагона зі стійками з демпфуючими властивостями відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення вантажних залізничних перевезень вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів.

В основу концепту поставлена задача покращення техніко-економічних показників універсального критого вагона шляхом виконання частин модуля кузова штампованим способом, а саме виконання бокових стін та проміжних стійок стін бокових суцільними, штампованим способом, з додатковими ребрами жорсткості (рисунок 2.20); виконання торцевих стін та торцевих стійок суцільними, штампованим способом, з додатковими ребрами жорсткості; виконання даху вагона суцільним штампованим способом з додатковими ребрами жорсткості.

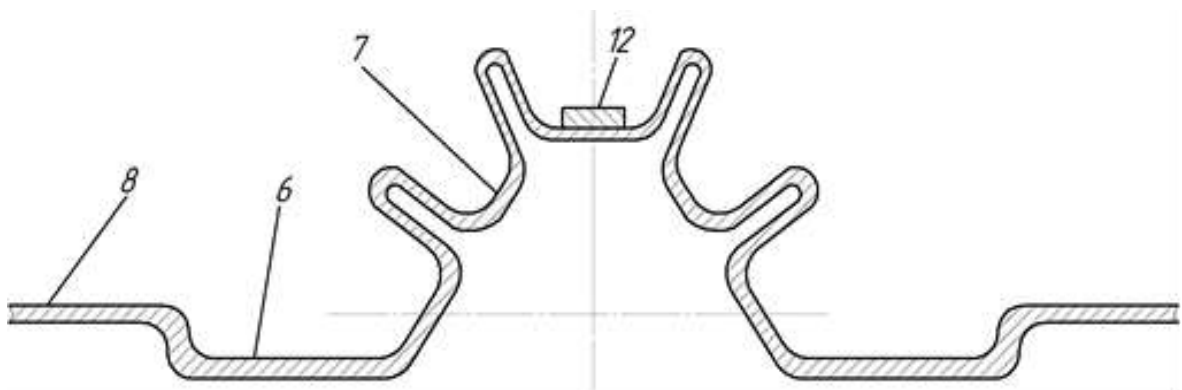


Рисунок 2.20 – Переріз штампованої стійки з демпфуючими властивостями

Введення нових ознак при взаємодії з відомими, забезпечує появу демпфування конструкції модуля кузова, що реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому, або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності універсального критого вагона, зменшення маси матеріалу для виготовлення універсального критого вагона, спрощення технологічного процесу виготовлення універсального критого вагона, збільшення вантажопідйомності, та його строку служби.

### **2.5.6 Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт універсального вагона-хопера для перевезення зерна зі стійками з демпфуючими властивостями**

Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт універсального вагона-хопера для перевезення зерна зі стійками з демпфуючими властивостями відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення вантажних залізничних перевезень насипних вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів, зокрема зерна.

В основу концепту поставлена задача покращення техніко-економічних показників вагона-хопера для перевезення зерна шляхом виконання частин модуля кузова штампованим способом, а саме виконання бокових стін та проміжних стійок стін бокових суцільними, штампованим способом, з додатковими ребрами жорсткості (рисунок 2.20); виконання торцевих стін та торцевих стійок суцільними, штампованим способом, з додатковими ребрами жорсткості; виконання даху вагона суцільним штампованим способом з додатковими ребрами жорсткості. Введення нових ознак при взаємодії з відомими, забезпечує появу демпфування конструкції модуля кузова, що реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому, або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності вагона-хопера для перевезення зерна, зменшення маси матеріалу для виготовлення вагона-хопера для перевезення зерна, спрощення технологічного процесу виготовлення вагона-хопера для перевезення зерна, збільшення вантажопідйомності, та його строку служби.

### 2.5.7 Концепт залізничної цистерни з опорами у вигляді листових ресор

Корисна модель належить до залізничного транспорту, а саме залізничних цистерн і може бути використаний для перевезення рідких вантажів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення залізничної цистерни шляхом заміни опор, які знаходяться між котлом і рамою на листові ресори, які поглинають енергію коливань, що, як наслідок, покращує показники динаміки залізничної цистерни.

Поставлена задача досягається тим, що у залізничній цистерні, яка містить візки, раму, гальмівне обладнання, автотчепні пристрої, котел, кріплення котла до рами та опори котла на раму, згідно концепту, опори котла на раму виконано у вигляді листових ресор (рисунок 2.21).

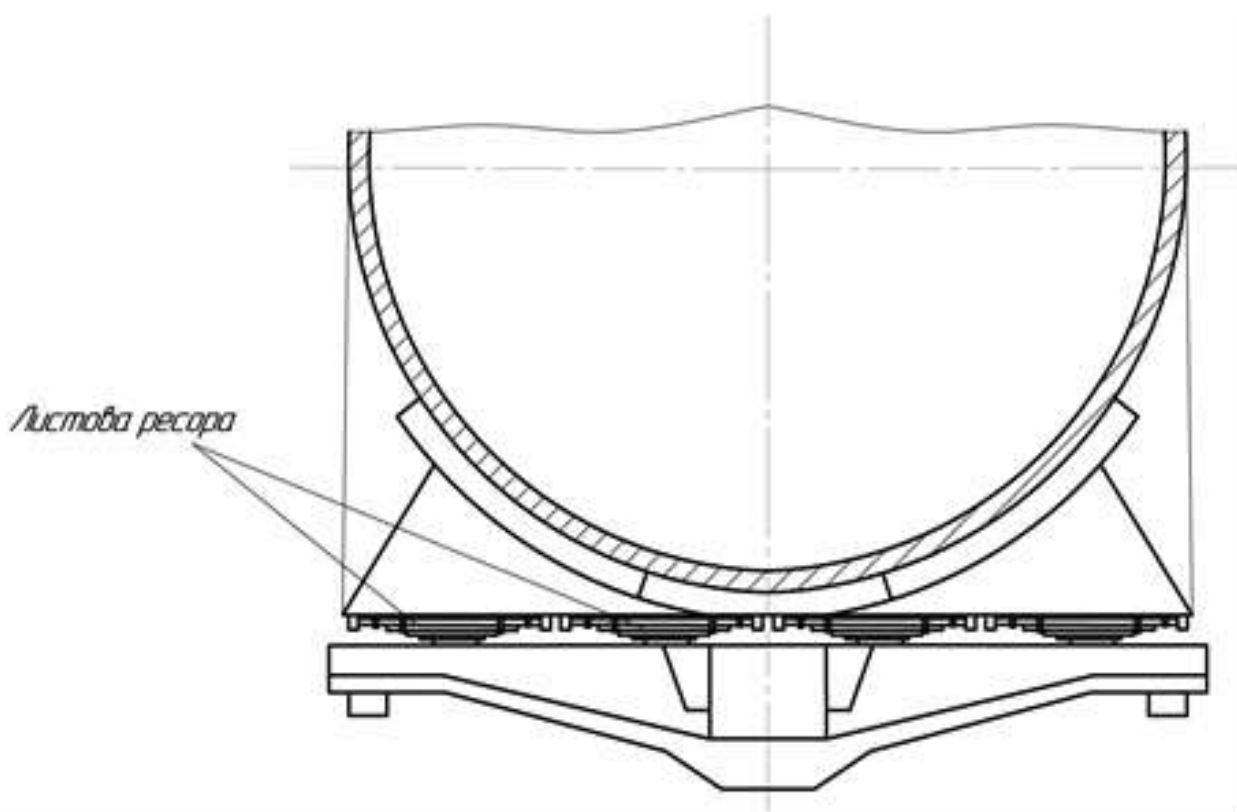


Рисунок 2.21 – Концепт залізничної цистерни з опорами котла на раму у вигляді листових ресор

### 2.5.8 Концепт залізничної цистерни з опорами у вигляді тарілчастих пружин

Концепт залізничної цистерни з опорами у вигляді тарілчастих пружин належить до залізничного транспорту, а саме залізничних цистерн і може бути використаний для перевезення рідких вантажів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення залізничної цистерни шляхом заміни опор, які знаходяться між котлом і рамою на тарілчасті пружини, які поглинають енергію коливань, що, як наслідок, покращує показники динаміки залізничної цистерни.

Поставлена задача досягається тим, що у залізничній цистерні, яка містить візки, раму, гальмівне обладнання, автотчепні пристрої, котел, кріплення котла до рами та опори котла на раму, згідно концепту, опори котла на раму виконано у вигляді тарілчастих пружин (рисунок 2.22).

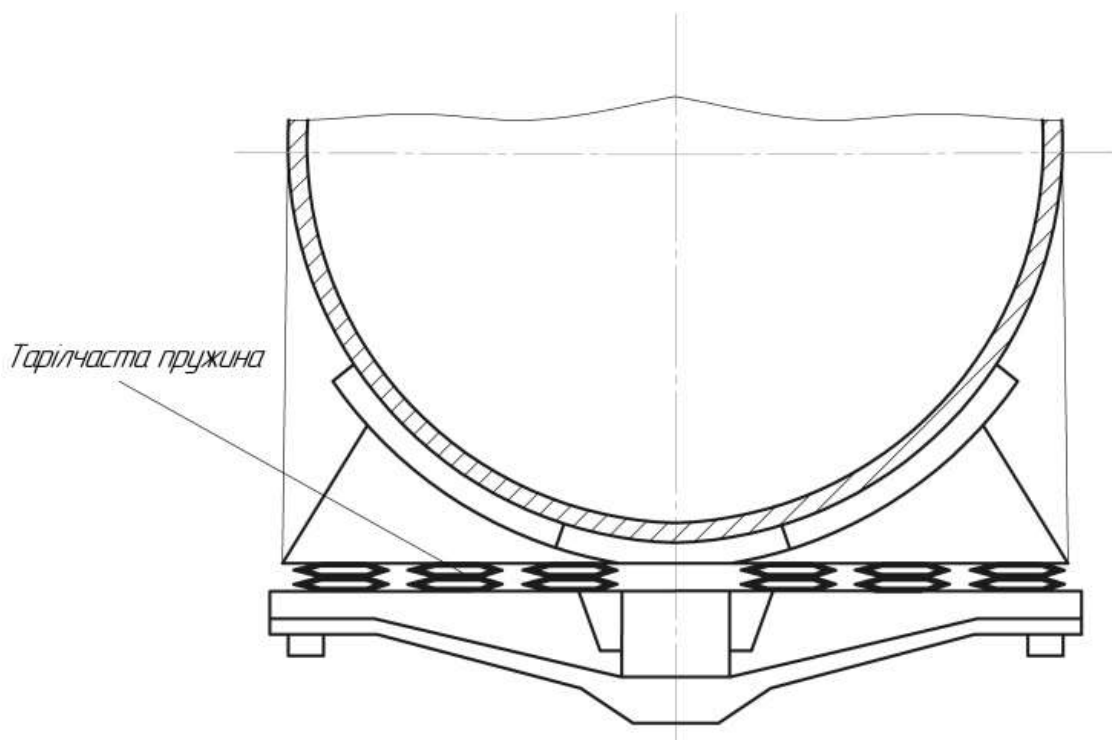


Рисунок 2.22 – Концепт залізничної цистерни з опорами у вигляді тарілчастих пружин

## **2.6 Мультифункціональні нежорсткі шарнірні концепти вантажних вагонів**

### **2.6.1 Мультифункціональний шарнірний концепт 4-х вісного думпкара**

Мультифункціональний шарнірний концепт 4-х вісного думпкара відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення вантажних залізничних перевезень насипних вантажів, що не потребують захисту від атмосферних опадів та їх механічного розвантаження.

В основу концепту поставлена задача удосконалення думпкара шляхом наявності шарнірних елементів в його конструкції замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання), а саме наявність шарнірного елемента в середній частині хребтової балки (рисунок 2.23), наявність шарнірних елементів (рисунок 2.24) в місцях з'єднання хребтової балки з: буферними стінками, шворневими та циліндровими балками. Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності думпкара, забезпечує зменшення матеріалоемності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби думпкара.

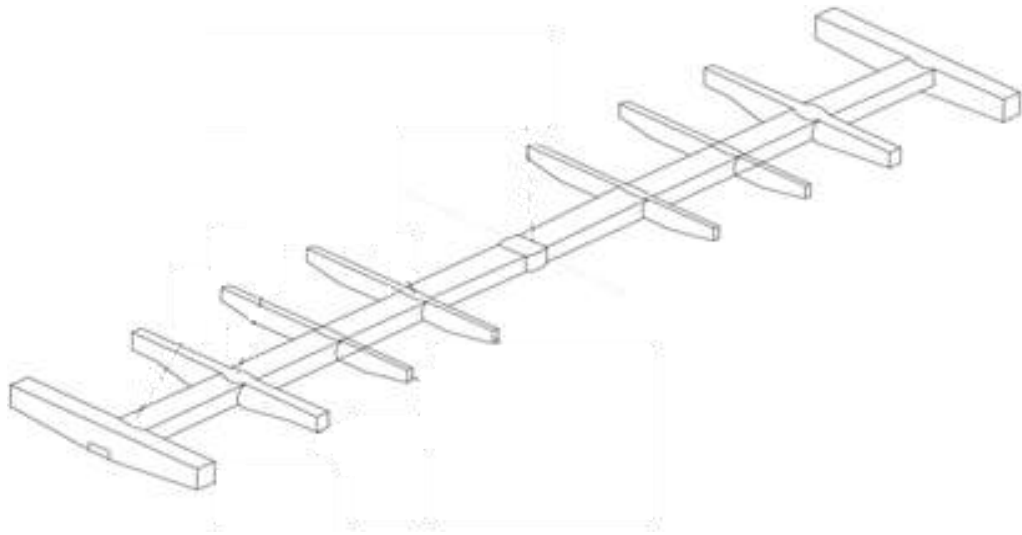


Рисунок 2.23 – Мультифункціональний шарнірний  
концепт рами 4-х вісного думпкару

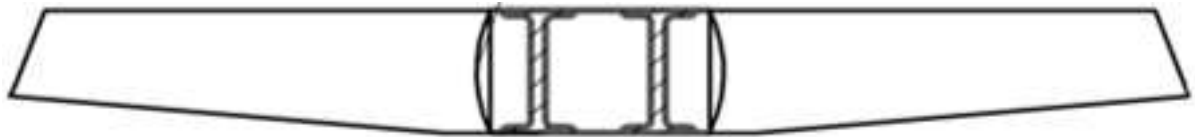


Рисунок 2.24 – Концепт шарнірного зедання балок рами 4-х вісного думпкару

### **2.6.2 Мультифункціональний шарнірний концепт вагона-хопера для перевезення зерна**

Мультифункціональний шарнірний концепт вагона-хопера для перевезення зерна відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення вантажних залізничних перевезень насипних вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів, зокрема зерна.

В основу концепту поставлена задача удосконалення вагона-хопера для перевезення зерна шляхом застосування шарнірних елементів в його конструкції замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання), а саме встановлення шарнірного елемента в середню частину хребтової балки (рисунок 2.25), встановлення шарнірних елементів



(рисунок 2.26) в місцях з'єднання балок кінцевих, шворневих та середніх проміжних балок.

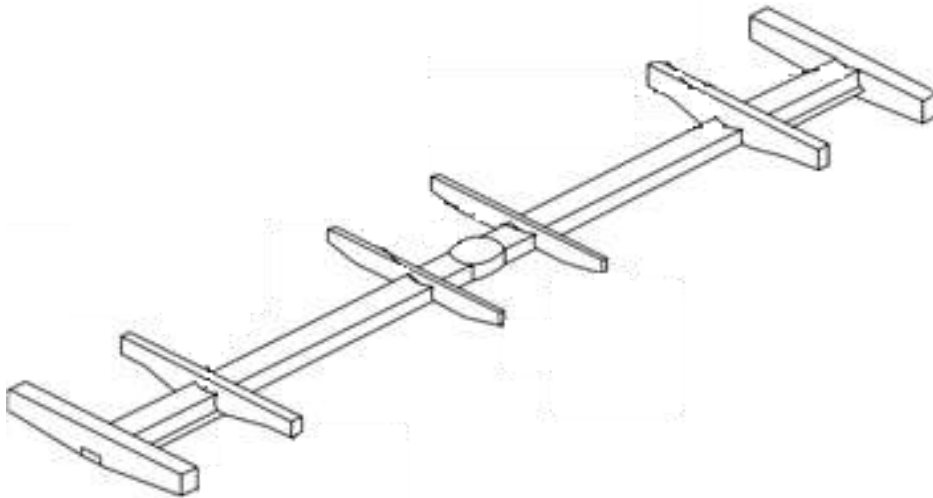


Рисунок 2.25 – Мультифункціональний шарнірний концепт рами вагона-хопера для перевезення зерна

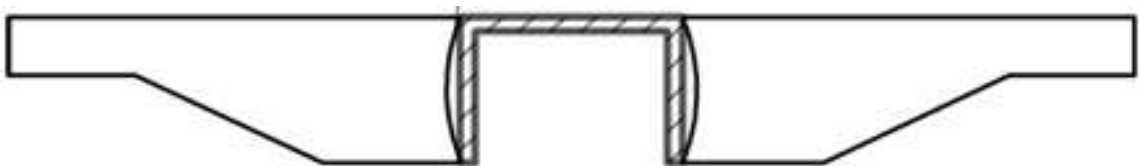


Рисунок 2.26 – Концепт шарнірного зедання балок рами вагона-хопера для перевезення зерна

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності вагона-хопера для перевезення зерна, забезпечує зменшення матеріалоемності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

### 2.6.3 Мультифункціональний шарнірний концепт вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив

Корисна модель відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення вантажних залізничних перевезень насипних вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів, зокрема мінеральних добрив.

В основу концепту поставлена задача удосконалення вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив шляхом застосування шарнірних елементів в його конструкції замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання), а саме встановлення шарнірного елемента в середню частину хребтової балки (рисунок 2.27), встановлення шарнірних елементів (рисунок 2.26) в місцях з'єднання балок кінцевих, шворневих та центральної проміжної балки.

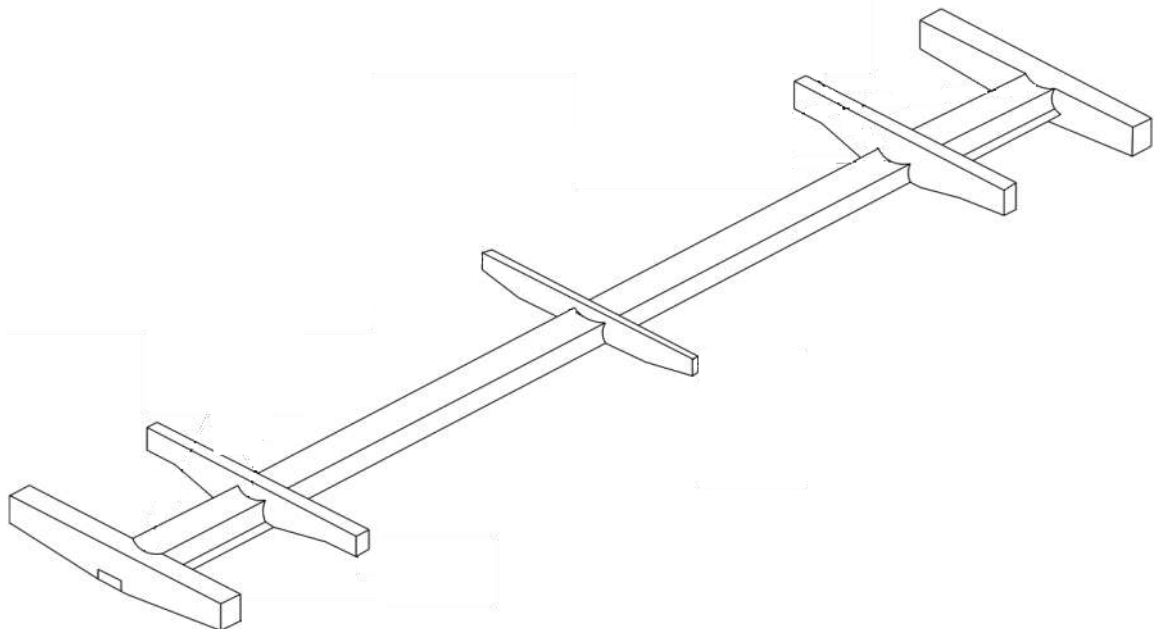


Рисунок 2.27 – Мультифункціональний шарнірний концепт рами вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив, забезпечує зменшення матеріалоємності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

#### **2.6.4 Мультифункціональний шарнірний концепт універсального вагона-платформи**

Мультифункціональний шарнірний концепт універсального вагона-платформи відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення залізничних перевезень колісних і гусеничних машин, довгомірних, штучних, лісних та інших вантажів, контейнерів та обладнання, яке не потребує захисту від атмосферних впливів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення універсального вагона-платформи шляхом застосування шарнірних елементів в його конструкції замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання), а саме встановлення шарнірного елемента в середню частину хребтової балки (рисунок 2.28), встановлення шарнірних (рисунок 2.26) елементів в місцях з'єднання балок кінцевих, шворневих та основних поперечних балок.

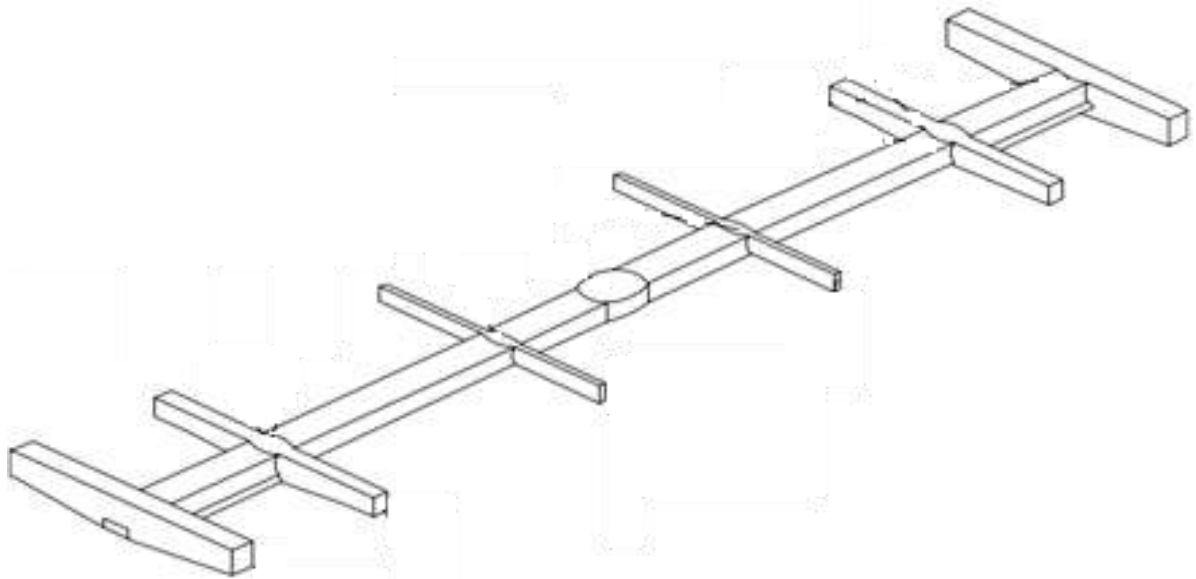


Рисунок 2.28 – Мультифункціональний шарнірний концепт рами універсального вагона-платформи

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності універсального вагон-платформи, забезпечує зменшення матеріалоемності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

### **2.6.5 Мультифункціональний шарнірний концепт універсального критого вагона**

Корисна модель відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення вантажних залізничних перевезень вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення універсального критого вагона шляхом застосування шарнірних елементів в його конструкції

(рисунки 2.29-2.29) замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання), а саме наявність шарнірного елемента в середній частині хребтової балки, наявність шарнірних елементів в місцях з'єднання балок кінцевих, шворневих та основних балок, наявність шарнірних елементів в місцях з'єднання стійок стін бокових з нижньою обшивкою та в місцях з'єднання даху з стійками стін бокових.



Рисунок 2.29 – Мультифункціональний шарнірний концепт кузова універсального критого вагона



Рисунок 2.30 – Переріз мультифункціонального шарнірного концепту кузова універсального критого вагона

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності універсального критого вагона, забезпечує зменшення матеріалоемності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

## **2.6.6 Мультифункціональний шарнірний концепт напіввагону глуходонного**

Винахід відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення залізничних перевезень насипних та навалочних вантажів, що не потребують захисту від атмосферних опадів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення напіввагона глуходонного шляхом застосування шарнірних елементів в його конструкції (рисунки 2.31-2.33) замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання), а саме встановлення шарнірного елемента в середню частину хребтової балки; встановлення шарнірних елементів в місцях з'єднання хребтової балки з: кінцевими, шворневими та проміжними балками; встановлення шарнірних елементів в місцях з'єднання балок кінцевих, шворневих та проміжних з стінами боковими; встановлення шарнірних елементів в місцях з'єднання стійок вертикальних стін бокових з верхнім обв'язуванням. Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності напіввагона глуходонного, забезпечує зменшення матеріалоємності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

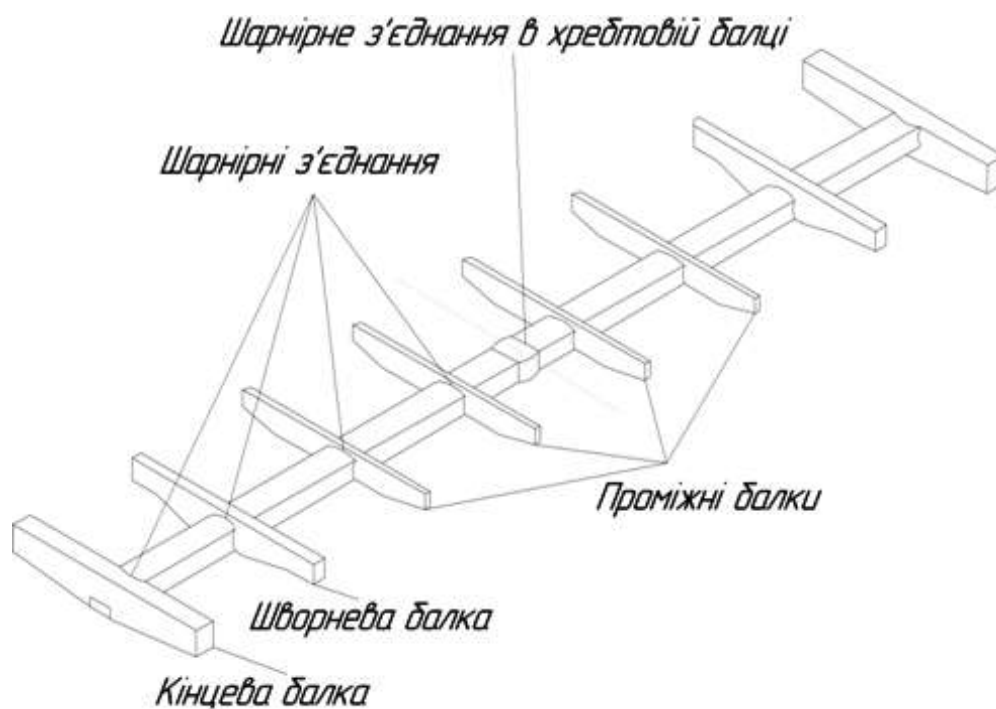


Рисунок 2.31 – Мультифункціональний шарнірний концепт рами напіввагону глухонного

### Шарнірне з'єднання

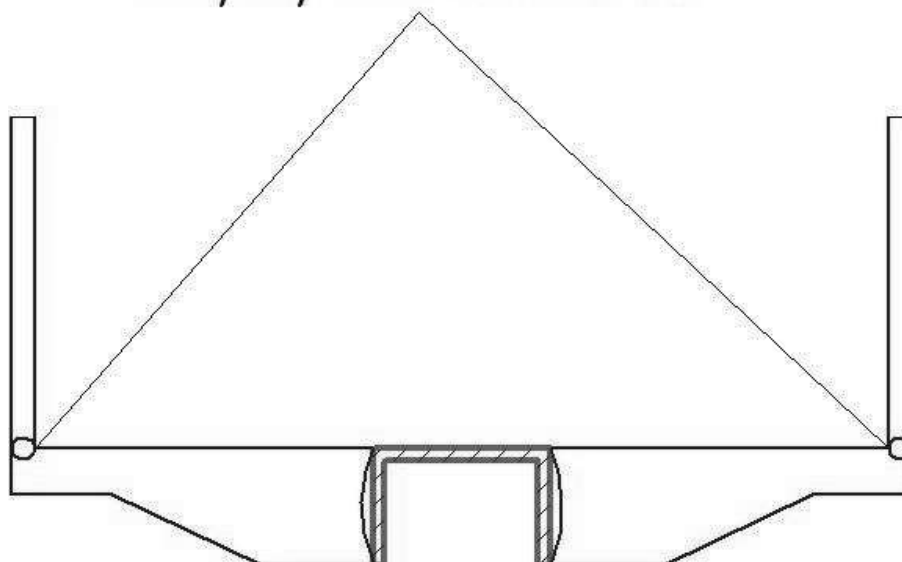


Рисунок 2.32 – Переріз мультифункціонального шарнірного концепту кузова напіввагону глухонного



## Шарнірні з'єднання

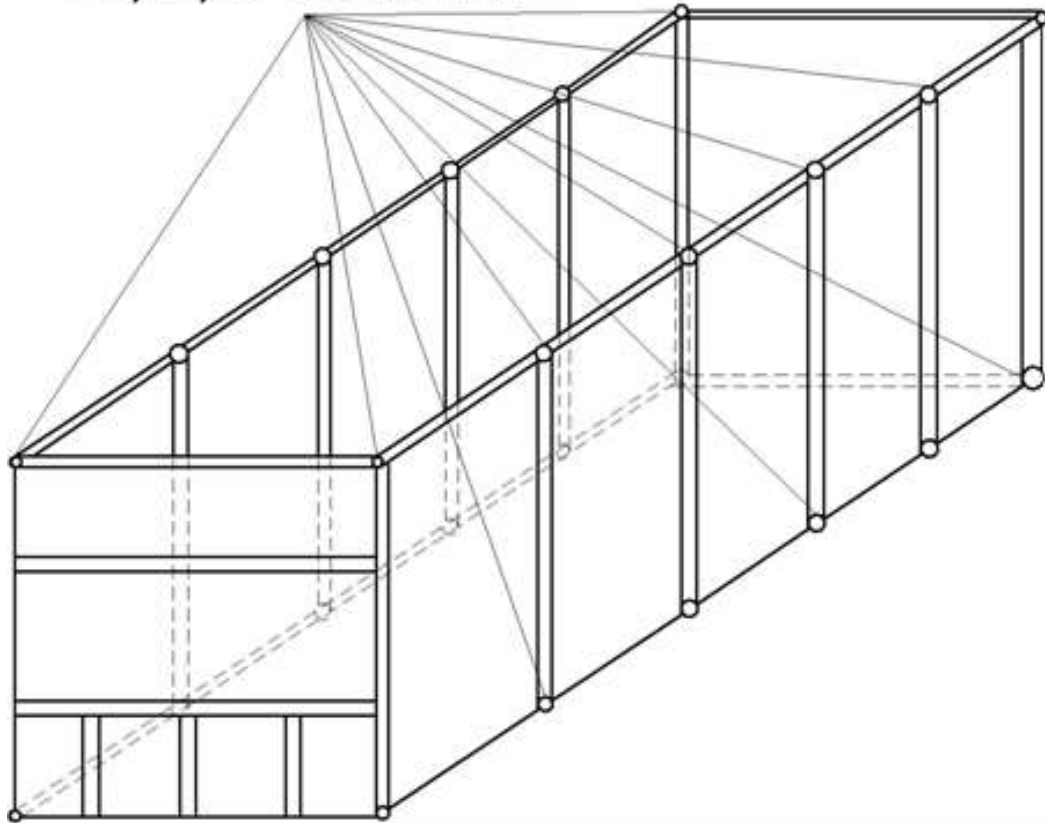


Рисунок 2.33 – Мультифункціональний шарнірний концепт кузова напіввагона глухонного

### 2.6.7 Мультифункціональний шарнірний концепт залізничної цистерни

Мультифункціональний шарнірний концепт залізничної цистерни належить до залізничного транспорту, а саме залізничних цистерн і може бути використаний для перевезення рідких вантажів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення залізничної цистерни для перевезення рідких вантажів шляхом застосування шарнірних елементів в її конструкцію (рисунок 2.33) замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання), а саме встановлення шарнірного

елемента в середню частину хребтової балки, встановлення шарнірних елементів в місцях з'єднання балок кінцевих та шворневих.

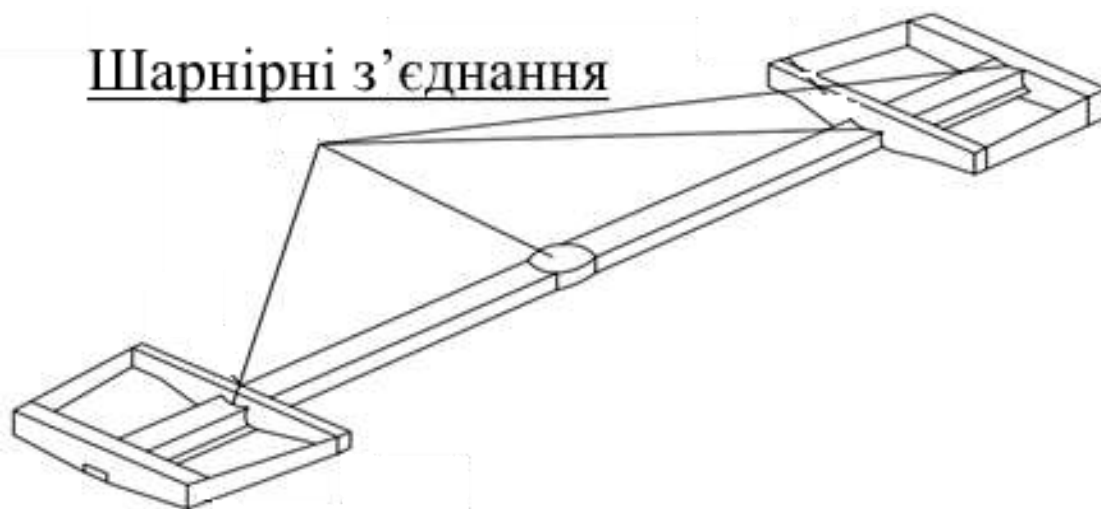


Рисунок 2.33 – Мультифункціональний шарнірний концепт рами залізничної цистерни

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності залізничної цистерни для перевезення рідких вантажів, забезпечує зменшення матеріалоємності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби залізничної цистерни для рідких вантажів.

## 2.7 Мульти матеріальні концепти вантажних вагонів

### 2.7.1 Мульти матеріальний концепт критого вагона

Мульти матеріальний концепт критого вагона (рисунок 2.34) відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення залізничних перевезень і призначена для перевезення штучних, зернових та інших вантажів широкої номенклатури, які потребують захисту від атмосферних впливів.

В основу концепту поставлено задачу удосконалення критого вагона для підвищення ефективності його використання, а саме: зменшення матеріалоемності, збільшення вантажопідйомності та навантажувального об'єму кузова та зменшення корозійної зношуваності модуля кузова (рисунок 2.35), за рахунок удосконалення його конструкції, на основі виконання модуля кузова суцільним із композитного матеріалу та конфігураціями перерізів рівного спротиву діям сумарних відповідних експлуатаційних навантажень, при виконанні умов міцності та експлуатаційної надійності.

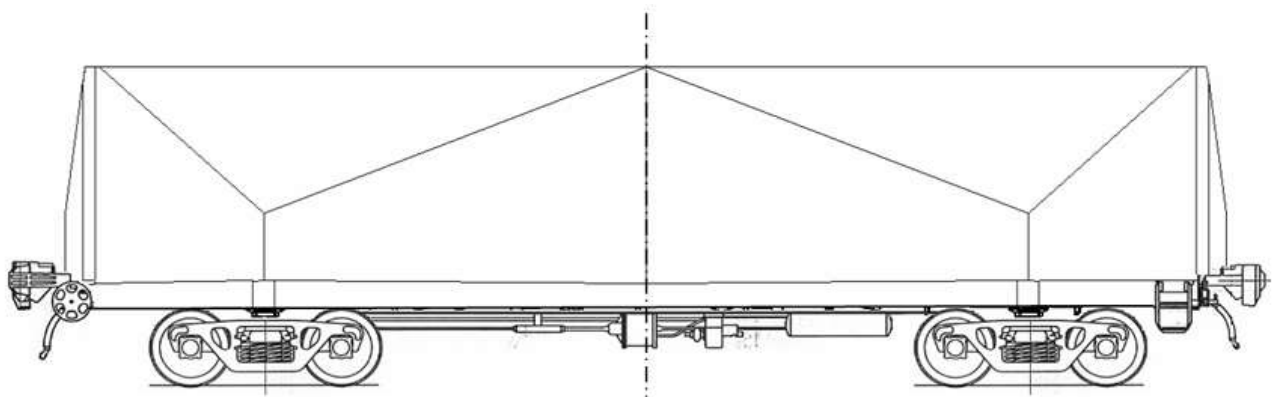


Рисунок 2.34 – Мульти матеріальний концепт критого вагона

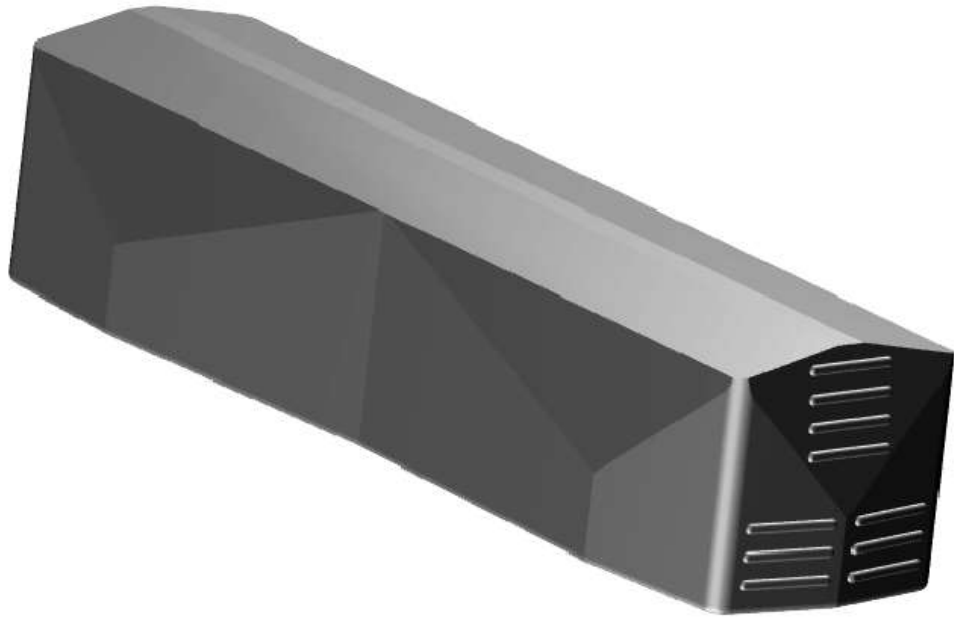


Рисунок 2.35 – Мульти матеріальний концепт кузова критого вагона

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечують зниження матеріалоемності, збільшення вантажопідйомності та навантажувального об'єму кузова, підвищення корозійної стійкості модуля кузова і як наслідок усього вищезазначеного зниження собівартості виготовлення та експлуатації критого вагону.

### **2.7.2 Мульти матеріальний концепт залізничної цистерни**

Мульти матеріальний концепт залізничної цистерни (рисунок 2.36) належить до залізничного транспорту, а саме залізничних цистерн і може бути використаний для перевезення рідких вантажів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення залізничної цистерни для перевезення рідких вантажів, а саме: зменшення матеріалоемності, збільшення вантажопідйомності та навантажувального об'єму кузова та зменшення корозійної зношуваності модуля кузова

(рисунок 2.37), за рахунок удосконалення його конструкції, на основі виконання котла суцільним із композитного матеріалу та конфігураціями перерізів рівного спротиву діам сумарних відповідних експлуатаційних навантажень, при виконанні умов міцності та експлуатаційної надійності.

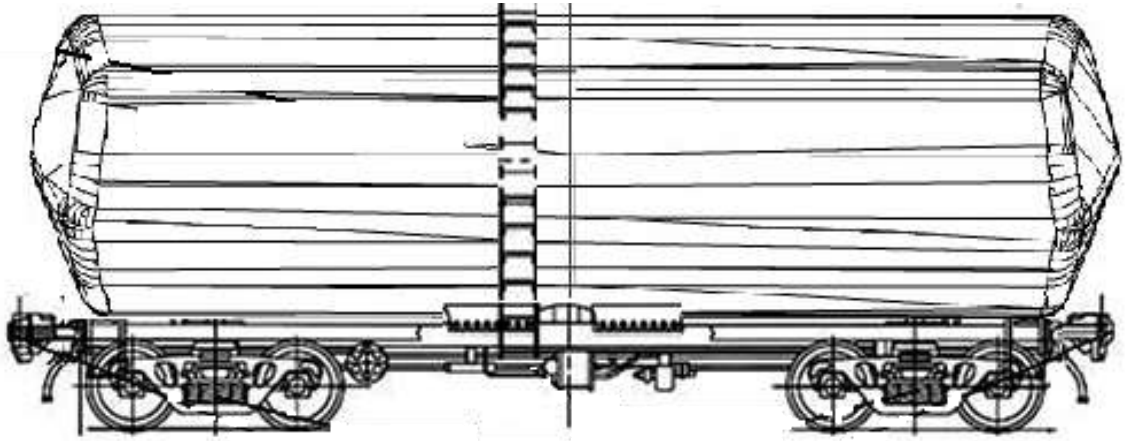


Рисунок 2.36 – Мультиматеріальний концепт залізничної цистерни

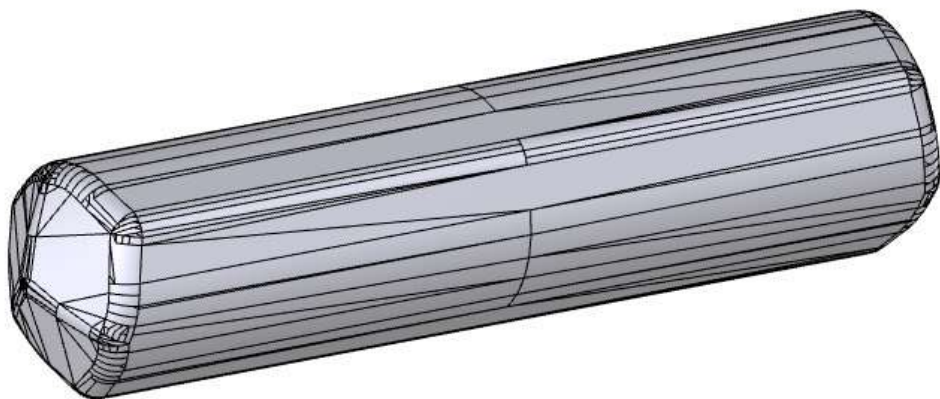


Рисунок 2.37 – Мультиматеріальний концепт котла залізничної цистерни

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечують зниження матеріалоемності, збільшення вантажопідйомності та навантажувального об'єму кузова, підвищення корозійної стійкості модуля кузова і як наслідок усього вищезазначеного зниження собівартості виготовлення та експлуатації залізничної цистерни для перевезення рідких вантажів.

### 2.7.3 Залізнична цистерна з мультиматеріальним концептом опор

Залізнична цистерна з мультиматеріальним концептом опор належить до залізничного транспорту, а саме залізничних цистерн і може бути використана для перевезення рідких вантажів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення залізничної цистерни шляхом заміни опор, які знаходяться між котлом і рамою на гумометалеві елементи, які поглинають енергію коливань, що, як наслідок, покращує показники динаміки залізничної цистерни.

Поставлена задача досягається тим, що у залізничній цистерні, яка містить візки, раму, гальмівне обладнання, автотцепні пристрої, котел, кріплення котла до рами та опори котла на раму, згідно концепту, опори котла на раму виконано у вигляді, гумометалевих елементів (рисунок 2.38).

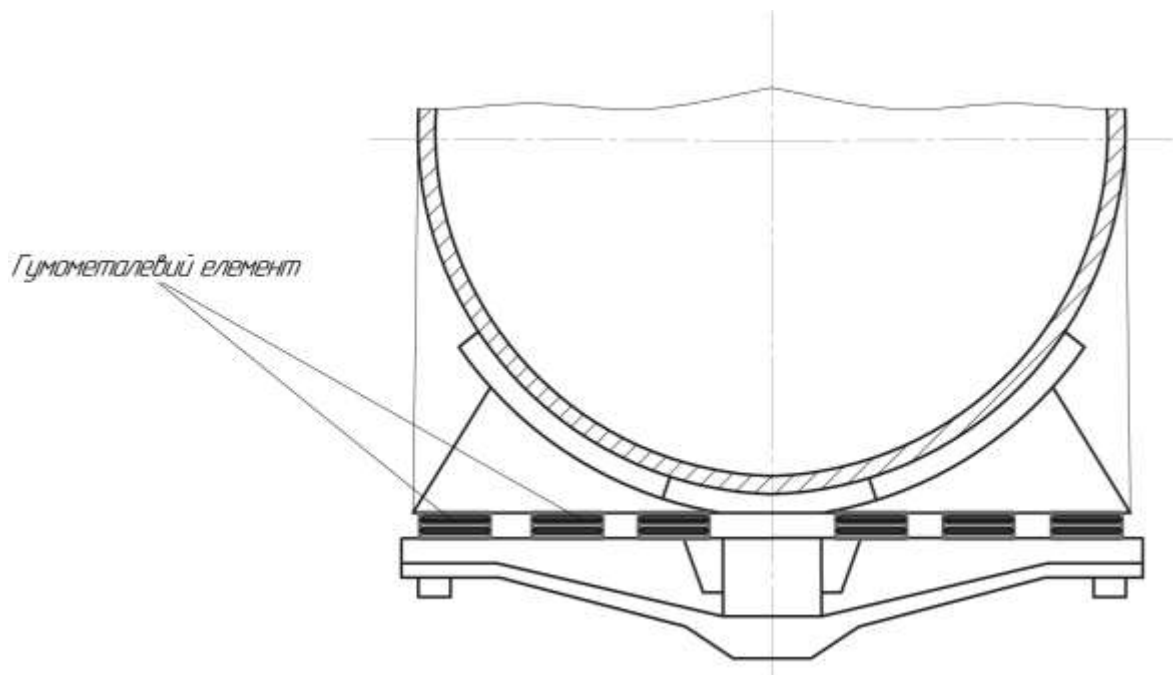


Рисунок 2.38 – Переріз залізничної цистерни з мультиматеріальним концептом опор

## Висновки до розділу 2

1. В роботі представлено структурно-функціональний аналіз конструкції вантажного вагону, де визначено зв'язки між структурними елементами конструкції вагону та функціями, які вони виконують в контексті взаємодії з вантажем, іншими одиницями потягу та об'єктами залізничної інфраструктури. На основі такого аналізу якого можна стверджувати, що перспективним шляхом створення конструкцій вантажних вагонів нового покоління є використання складових елементів з інноваційними принципами, функціональність яких прагне до максимуму.

2. Створення та розвиток мультифункціональних складових вантажних вагонів є перспективним напрямком поліпшення їх конструкцій. На сьогоднішній день існує значна кількість шляхів створення мультифункціональних складових вантажних вагонів. Узагальнено серед них можна виділити: поєднання окремих за виконанням функцій елементів; перевтілення функціонального елемента або функціонального угруповання елементів; виявлення та реалізація додаткових функцій на тій же ресурсній базі; виявлення та реалізація додаткових функцій на новій ресурсній базі.

3. Найбільш часто в практиці створення мультифункціональних технічних засобів застосовують поєднання окремих за виконанням функцій елементів. До його основних напрямків відносяться: з'єднання різного рівня конструктивної ієрархії (модулів, вузлів, базових елементів) складових без зміни їх форм та властивостей, і з взаємоузгодженням форм та властивостей; введення нових принципів функціонування до вагонних конструктивів на існуючій елементній базі та на новій елементній базі; урахування на стадії проектування передумов для конструктивного впровадження майбутніх інноваційних рішень конструкції.

4. На сьогоднішній день найбільш перспективними з точки зору практичного створення мультифункціональних складових вантажних вагонів

є визначені та розгорнуто представлені в дисертації напрямки: пружно-дисипативні, нежорсткі шарнірні та мультиматеріальні.

5. До очікуваних результатів розробки та впровадження мультифункціональних складових вантажних вагонів слід віднести: зменшення власної маси; покращення експлуатаційних властивостей; зменшення кількості елементів та надлишкових зв'язків; підвищення надійності та безпеки руху; підвищення допустимих значень швидкостей руху вагонів в порожньому та завантаженому станах; зменшення витрат на їх: виготовлення, експлуатацію, обслуговування, ремонти та інше.

6. Представлені напрямки створення мультифункціональних складових вантажних вагонів дозволять отримати позитивні результати при їх виготовленні та експлуатації. До таких позитивних результатів можна віднести: збільшення строку життєвого циклу досліджуваних засобів, зменшення їх матеріалоємності та підвищення вантажопідйомності, покращення ремонтпридатності, підвищення тріщиностійкості, зменшення/повне виключення різнознакових напружень.

7. Структуровані у графічному вигляді та наведені у роботі можливості конструктивного та технологічного впровадження попередньо напружених і/або деформованих складових вантажних вагонів доцільно використовувати при проведенні подальших науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт зі створення вантажних вагонів нового покоління, а також підвищення системної ефективності їх існуючих моделей.

8. Запропоновані теоретичні положення впровадження попередньо напружених і/або деформованих складових в конструкції вантажних вагонів у відповідності з можливими випадками навантажень на етапах життєвого циклу доцільно використовувати при вирішенні аналогічних науково-прикладних завдань для інших видів рухомого складу, а також об'єктів транспортного машинобудування.

9. При впровадженні спрямованого напружено-деформованого стану до складових вантажних вагонів доцільно використовувати наведений математичний запис.



## РОЗДІЛ 3

### ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ МУЛЬТИФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОНЦЕПТІВ

#### 3.1 Комплексний розрахунок запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону

Особливістю конструкції напіввагона з глухим кузовом (рисунок 3.1), який обрано в якості вагона-прототипа (аналог моделі 12-197-02), є наявність нахилу бокових стін, закруглені сполучення бічної стіни і підлоги, гладка обшивка бічних і торцевих стін. Ці зміни в конструкції дозволяють без залишку вивантажувати вантажі, що перевозяться. Для попередження пошкоджень кузова при розвантаженні на вагоноперекидачах виконано посилення обв'язки бічних стін, а також збільшена кількість проміжних стійок. Сійкі для підвищення запасу міцності мають шпангоутною конструкцією. У напіввагонах застосований плоский штампований п'ятник висотою 90 мм, що знизило центр ваги і поліпшило динамічні характеристики вагонів. Основні несучі елементи рами виконані з ванадієвої сталі марки 12Г2ФД класу міцності 390 ГОСТ 19281–2014 [80-86].



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд напіввагона-прототипа

Технічні характеристики напіввагона напіввагона-прототипа наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні технічні характеристики напіввагона-прототипа

| Технічна характеристика                                 | Значення |
|---|----------|
| Вантажопідйомність, т                                   | 76       |
| Маса тари, т  | 23,5     |
| Об'єм кузова, м <sup>3</sup>                            | 90       |
| Питомий об'єм, м <sup>3</sup> /т                        | 1,18     |
| Довжина за осями зчеплення автозчепу, мм                | 13920    |
| Довжина по кінцевим балкам рами, мм                     | 12700    |
| База напіввагона, мм                                    | 8650     |
| Ширина максимальна, мм                                  | 3175     |
| Внутрішні розміри кузова, мм                            |          |
| ширина по верхнім обв'язкам                             | 3013     |
| довжина по верхнім обв'язкам                            | 12442    |
| висота  | 2573     |
| Висота від рівня головок рейок до верхньої обв'язки, мм | 3810     |
| Назначений термін служби, роки                          | 32       |
| Тип автозчепу   | СА-3     |
| Габарит кузова ГОСТ 9283                                | 1-ВМ     |
| Модель візка  | 18-194-1 |

Основні геометричні параметри представлені на рисунку 3.2 [8].

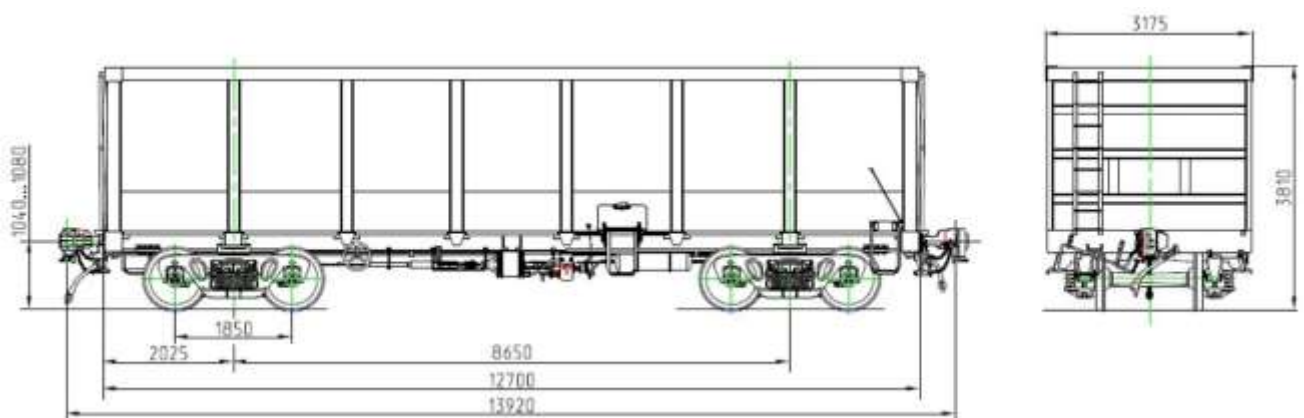


Рисунок 3.2 – Основні геометричні параметри напіввагона-прототипа

Для зручності ремонту, підготовки напіввагона до перевезень є два технологічних люка в підлозі та один в торцевій стіні. Люки відкриваються

всередину. Вертикальні силові стійки бічних стін, верхня обв'язка і силовий каркас торцевих стін виконані з гнутих профілів, а кутові стійки – з листів товщиною 12 мм [86].

Далі описано визначення зусиль, які діють на вагон в експлуатації.

Під час експлуатації вагона, згідно [3, 4] він випробовує дію ряду зусиль: вертикальне статичне, обумовлене вагою вантажу та конструкції вагона; вертикальне динамічне; відцентрове; вітрове навантаження; вертикальна складова від дії бокових зусиль; бокові зусилля, що діють на вагон через автозчепний пристрій; повздовжні зусилля; тиск розпору насипного вантажу.

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

$$P_e^{cm} = \frac{P_{\text{бр}} - P_q}{m}, \quad (3.1)$$

де  $P_{\text{бр}} = (T + P)g$  – вага бруто вагона; 

$P_q$  – вага частин вагона, що передають навантаження на рейки від тих частин, що розраховуються, кН; В даному випадку – вага двох візків;  $P_q = 96,1$  кН;

$m$  – число однойменних паралельно навантажених частин, що розраховується;

$T$  – тара вагона,  $T = 23,5$  т;

$P$  – вантажопідйомність вагона,  $P = 76$  т;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

$$P_{\text{бр}} = (23,5 + 76) \cdot 9,81 \approx 976,1 \text{ кН}$$

$$P_{\epsilon}^{cm} = \frac{976,1 - 96,1}{1} = 880 \text{ кН}$$

Вертикальне динамічне навантаження

$$P_{\epsilon}^d = P_{\epsilon}^{cm} \cdot K_{d,\epsilon}, \quad (3.2)$$

де  $K_{d,\epsilon}$  - коефіцієнт вертикальної динаміки.

Коефіцієнт вертикальної динаміки дорівнює:

$$K_{d,\epsilon} = \frac{\overline{K_{d,\epsilon}}}{\beta} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - P(K_{d,\epsilon})}}, \quad (3.3)$$

де  $\overline{K_{d,\epsilon}}$  – математичне очікування  $K_{d,\epsilon}$ ,

$\beta$  – параметр розподілення, для вантажних вагонів  $\beta = 1,13$ .

В розрахунках на міцність можна прийняти  $P(K_{d,\epsilon}) = 0,97$ . За умови, що швидкість руху вагона  $V \geq 15$  м/с, маємо:

$$\overline{K_{d,\epsilon}} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} b \frac{V - 15}{f_{cm}}, \quad (3.4)$$

де  $a$  – безрозмірний коефіцієнт, для елементів кузова  $a = 0,05$ ;

$b$  – коефіцієнт осності

$$b = \frac{n' + 2}{2n'}, \quad (3.5)$$

$V$  – конструкційна швидкість вагона,  $V = 33$  м/с;

$f_{cm}$  – статичний прогин ресорного підвішування вагона,  $f_{cm} = 0,065$  м;

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

$$b = \frac{2+2}{2 \cdot 2} = 1.$$

$$\bar{K}_{\delta, \varepsilon} = 0,05 + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot \left( \frac{33-15}{0,065} \right) = 0,15.$$

$$K_{\delta, \varepsilon} = \frac{0,15}{1,13} \sqrt{\frac{4}{3,14} \ln \frac{1}{1-0,97}} = 0,28.$$

$$P_{\varepsilon}^{\delta} = 880 \cdot 0,28 = 246,4 \text{ кН.}$$

Відцентрова сила. Бокові навантаження в загальному випадку перпендикулярні повздовжній площини симетрії вагона. До них відносяться відцентрова сила тиску вітру, сили динамічної взаємодії вагона та колії в горизонтальній площині поперек колії. Відцентрова сила виникає в кривих дільницях колії, направлена по горизонталі перпендикулярно повздовжній осі вагона і прикладена в центрі мас вагона. Вона визначається за відомою формулою:

$$H_y = P_{\varepsilon} \cdot \eta, \quad (3.6)$$

де  $\eta$  – безрозмірний коефіцієнт.

Для вантажних вагонів  $\eta = 0,075$

$$H_y = 976,1 \cdot 0,075 = 73,2 \text{ кН.}$$

Вітрове навантаження. Рівнодіюча сила тиску вітру прикладається в центрі мас площі бокової поверхні кузова з вантажем паралельно поперечній осі вагона. Вона вважається квазистатичною і знаходиться за формулою:

$$H_{\varepsilon} = \omega_{\varepsilon} \cdot F_{\varepsilon}, \quad (3.7)$$

де  $\omega_g$  – питомий тиск вітру на бокову стіну,  $\omega_g = 0,5$  кН/м<sup>2</sup>;

$F_g$  – площа бокової поверхні кузова, м<sup>2</sup>.

$$F_g = 2L_p \cdot H_k, \quad (3.8)$$

де  $2L_p$ ,  $H_k$  – відповідно довжина вагона по рамі та зовнішня висота кузова, м

$$F_g = 12,7 \cdot 2,573 = 32,7 \text{ м}^2.$$

$$H_g = 0,5 \cdot 32,7 = 16,3 \text{ кН}.$$

Вертикальна складова від дії бокових сил. Цей вид навантаження виникає переважно під час вписування вагона в криву ділянку колії за рахунок нахилу кузова вбік, та завантаження ковзунів вагона з одного боку. Значення вертикальної складової від дії бокових сил визначається за формулою:

$$P_g^{\delta} = \frac{H_g \cdot h}{m' \cdot b}, \quad (3.9)$$

де  $h$  – вертикальна відстань між центром ваги кузова та місцем додаткового завантаження, для розрахунків приймаємо рівним,  $h \approx 1,7$  м;

$m'$  – число однойменних, паралельно завантажених вузлів,  $m' = 2$ ;

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

$$P_g^{\delta} = \frac{73,2 \cdot 1,7}{2 \cdot 0,76} = 81,9 \text{ кН}.$$

Поперечна складова повздовжньої квазістатичної сили  $N_{kg}$  обумовлена поворотом осі автозчепу в кривих ділянках колії. В цьому випадку в плані

між віссю вагона та віссю автотзчепу з'являється кут і пов'язана з ним проекція в горизонтальній площині повздовжньої сили на перпендикуляр до осі вагона [1]. В режимі стиснення при перекосі осі вагона (гребені коліс одного візка притиснена до зовнішньої рейки, а другого – до внутрішньої) зусилля  $P_N$  визначається з схеми рисунок 3.3.

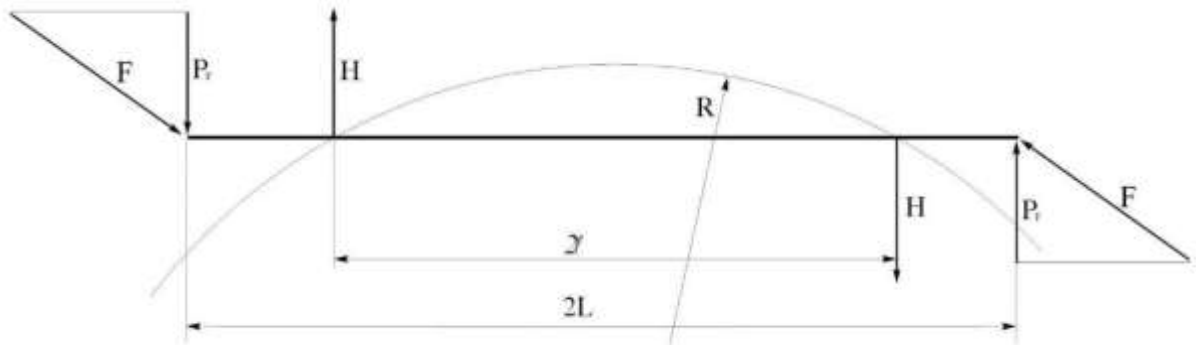


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема для визначення зусилля  $P_N$  (стиснення)

Бокове зусилля, що діє на вагон через автотзчепний пристрій (при стисненні вагона в кривій дільниці колії), визначається за наступною формулою:

$$P_N = N_{кв} \left( \frac{\delta L}{l^2} \left( 1 + \frac{L}{a} \right) + \frac{L_a}{R} \right) \frac{l}{L}, \quad (3.10)$$

де  $N_{кв}$  – повздовжнє зусилля, що направлене у внутрішню частину вагона, прикладене до опорних поверхонь задніх упорів автотзчепного пристрою з обох боків,  $N_{кв}=2500\text{кН}$ ;

$\delta$  – можливе однобічне бокове зміщення шворневого перерізу кузова вагона за рахунок зазорів колісної пари в рейковій колії, зазорів між буксою (адаптером) колісної пари та пройомом для колісної пари в боковій рамі, зазорів між п'ятником і підп'ятником, пружних бокових деформацій ресорного підвішування,  $\delta = 0,04$  м;

$2L$  – відстань між опорними поверхнями задніх упорних кутників,  $2L \approx 10,66\text{м}$ ;

$2l$  – база вагона,  $2l = 8,65\text{м}$ ;

$a$  – розрахункова довжина корпусу автозчепу,  $a = 1,0\text{м}$ ;

$2L_a$  – довжина вагона за осями зчеплення автозчепів,  $2L_a = 13,92\text{ м}$ ;

$R$  – радіус кривої, приймаємо рівним  $250\text{ м}$ .

$$P_N = 2500 \left( \frac{0,04 \cdot 5,33}{4,325^2} \left( 1 + \frac{5,33}{1} \right) + \frac{6,96}{250} \right) \frac{4,325}{5,33} = 202,8 \text{ кН.}$$

Схема дії повздовжнього квазістатичного зусилля зображена на рисунку 3.4.

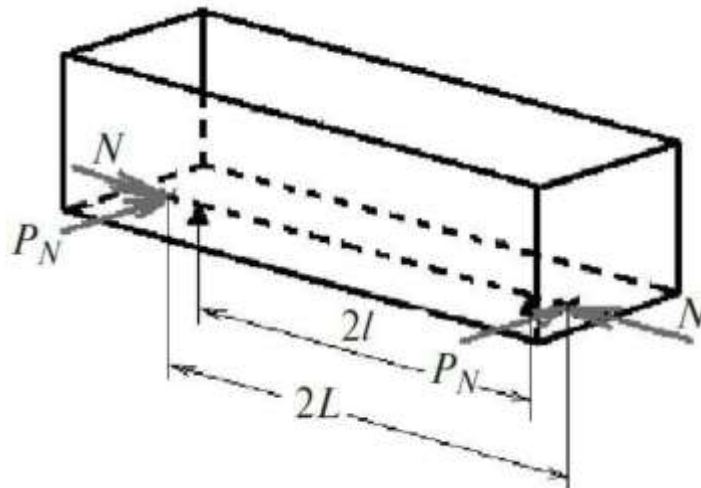


Рисунок 3.4 – Схема дії поперечних квазістатичних зусиль при русі в кривій дільниці колії малого радіусу

Повздовжні навантаження представляють собою сили розтягування та стискування (квазістатичні та динамічні), що виникають при взаємодії 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 автозчепного пристрою. Величини їх приймаються як нормативні для певних розрахункових режимів і наведені в таблиці 3.2.



Таблиця 3.2 – Величини повздовжніх сил, МН

| Тип вагону                    | Розрахункові режими        |               |                              |                    |
|-------------------------------|----------------------------|---------------|------------------------------|--------------------|
|                               | I<br>квазистатична<br>сила | I удар, ривок | III<br>квазистатична<br>сила | III удар,<br>ривок |
| Вантажні<br>основних<br>типів | -2,5<br>+2,5               | -3,5<br>+2,5  | -1,0<br>+1,0                 | -1,0<br>+1,0       |

Знаком «+» позначаються зусилля розтягування, ривка, а «-» зусилля стискування, удару. Час дії імпульсних зусиль приймається 0,3 с. Встановлені такі схеми дії повздовжніх сил:

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

Розпірні самоурівноважуючи навантаження здійснюють суттєвий вплив на напружено-деформований стан вузлів з'єднання кузова напіввагона з елементами рами. Цей вид навантаження однаково важливий для кузовів з глухою підлогою і люками у підлозі. Нормативні документи [3, 4] рекомендують, для навалочних вантажів при завантаженні «без шапки» визначати зусилля розпору (поверхневі, що приходяться на одиницю площі стіни за формулою:

$$P_a = (1 + k_{d.g}) \gamma \cdot g \cdot z \cdot \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (3.11)$$

де  $k_{d.g}$  – коефіцієнт вертикальної динаміки, за I розрахунковим режимом,  $k_{d.g} = 0,1$ , для III розрахункового режиму за формулою (3.3);

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

$z$  – відстань від верху навантаження до перерізу, що розглядається, м;

$\alpha$  – кут природного скосу, який утворений поверхнею вільно насипаного вантажу та горизонтальною площиною, радіани, при розрахунку

за I розрахунковим режимом приймається повна його величина, а по режиму III – 0,2 від повної величини.

За вантаж, що перевозиться, приймаємо кам'яне вугілля з наступними параметрами  $\gamma = 0,85 \text{ т/м}^3$ ,  $\alpha = 0,62$ . В якості перерізу приймаємо максимально віддалений від верху кузова вагона  $z = 2,573 \text{ м}$ .

Для:

$$P_a^{Ipp} = (1 + 0,1) \cdot 0,85 \cdot 9,81 \cdot 2,573 \cdot \text{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{0,62}{2} \right) = 6,25 \text{ кПа.}$$

$$P_a^{IIIpp} = (1 + 0,28) \cdot 0,85 \cdot 9,81 \cdot 2,573 \cdot \text{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{0,2 \cdot 0,62}{2} \right) = 21,4 \text{ кПа.}$$

Зусилля розпору насипного вантажу на бокові та торцеві стіни кузова напіввагону, визначені за методикою, наведеною в [7]. Згідно цієї методики приймається, що навантаження розпору насипного вантажу на бокові стіни кузова вагону розподілене за законом трикутника з максимумом у його основи, а на торцеву – за законом трапеції. Схема дії зусиль розпору насипного вантажу на торцеві та бокові стіни зображена на рисунку 3.5.

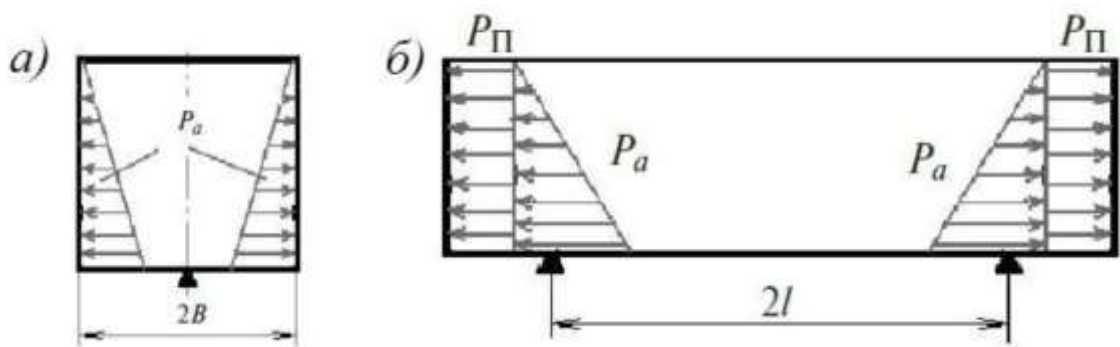


Рисунок 3.5 – Схема дії зусилля розпору насипного вантажу на бокові стіни а) та торцеві б)

Тиск нерівномірно розподіленого навантаження, яке прикладене до торцевої стіни визначається за формулою:

$$P = P_a + P_n, \quad (3.12)$$

де  $p_n$  – пасивний тиск насипного вантажу, який визначається за формулою (3.10), в якій квадрат тангенса різності двох кутів замінюється квадратом тангенса їх суми та з урахуванням коефіцієнту вертикальної динаміки, а також кута природного відкосу

$$p_n^{Ipp} = (1 + 0,1) \cdot 0,85 \cdot 9,81 \cdot 2,573 \cdot \text{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{0,62}{2} \right) = 89 \text{ кПа.}$$

$$p_n^{IIIpp} = (1 + 0,28) \cdot 0,85 \cdot 9,81 \cdot 2,573 \cdot \text{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{0,2 \cdot 0,62}{2} \right) = 35,2 \text{ кПа.}$$

Зводимо розрахункові значення до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Загальні зусилля, що діють на вагон, згідно розрахункових режимів, кН

| Тип зусилля   | I розрахунковий режим | III розрахунковий режим |
|---|-----------------------|-------------------------|
| Вертикальне статичне  | 880                   | 880                     |
| Вертикальне динамічне   |                       | 246,4                   |
| Відцентрове   |                       | 73,2                    |
| Вітрове   |                       | 16,3                    |
| Вертикальне складове від дії відцентрового зусилля              |                       | 81,9                    |
| Бокові складові повздовжньої квазістатичної сили (в кривих)     | 202,8                 |                         |
| Максимальні повздовжні зусилля, що передаються через автотзчеп: |                       |                         |
| - удар;   | -3500                 | -1000                   |
| - ривок   | +2500                 | +1000                   |

Дослідження напружено-деформованого стану несучої конструкції кузова напіввагона-прототипа. Основні несучі елементи кузова вагона

виготовляються зі сталі марки 12Г2ФД класу міцності 390 ГОСТ 19281–2014 з наступними механічними властивостями:

- межа текучості  $\sigma_T = 390\text{МПа}$ ;
- тимчасовий опір  $\sigma_B = 510\text{МПа}$ ;
- відносне подовження  $\delta_5 = 19\%$ .

Допустимі напруження згідно з [80-83] дорівнюють:

- для першого розрахункового режиму:

$$[\sigma] = 0,95\sigma_T, \quad (3.13)$$

$$[\sigma] = 0,95 \cdot 390 = 370,5 \text{ МПа.}$$

- для третього розрахункового режиму  $[\sigma] = 250\text{МПа}$ .

Геометрична тривимірна модель кузова напіввагона-прототипа представлена на рисунку 3.6.

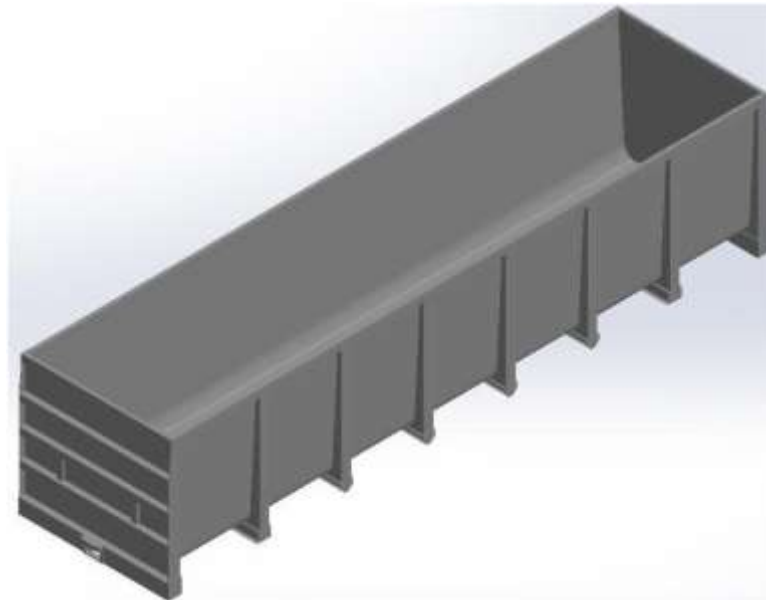


Рисунок 3.6 – Тривимірна геометрична модель кузова напіввагона-прототипа

Розрахункова модель для першого розрахункового режиму (I pp.), з урахуванням зусиль, що розраховані в другому розділі наведена на рисунку 3.7.

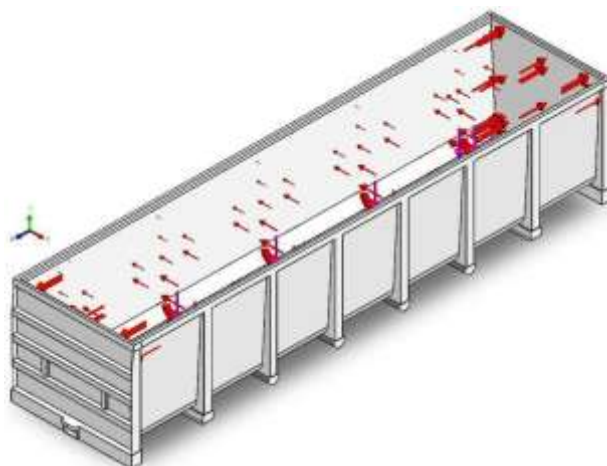


Рисунок 3.7 – Розрахункова модель кузова напіввагона-прототипа I pp.

Для третього режиму розрахункова модель буде мати вигляд як на рисунку 3.8.

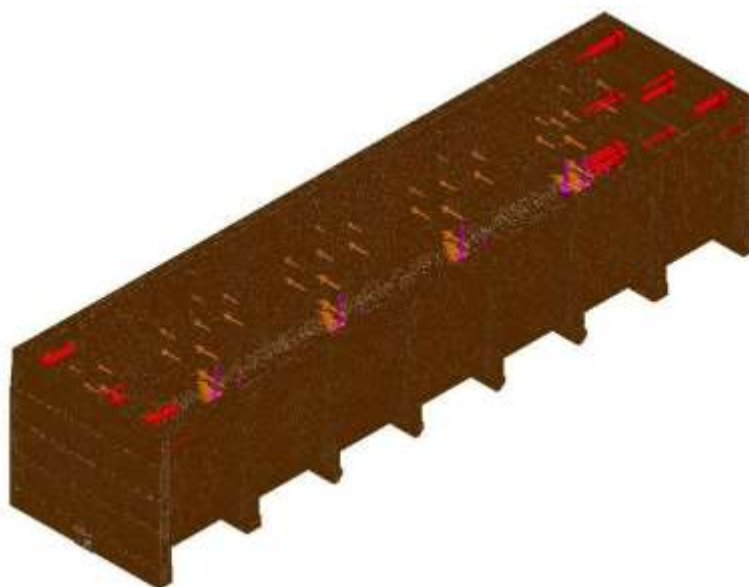


Рисунок 3.8 – Скінченно-елементна розрахункова модель кузова напіввагона-прототипа за I pp.

Розрахунки виконувалися в програмному середовищі SolidWorks. [25-31, 59] Параметри скінченно-елементних розрахункових моделей наведені в таблиці

Результати дослідження напружено-деформованого стану кузова напіввагона-прототипа наведені на рисунках 3.9-3.20.

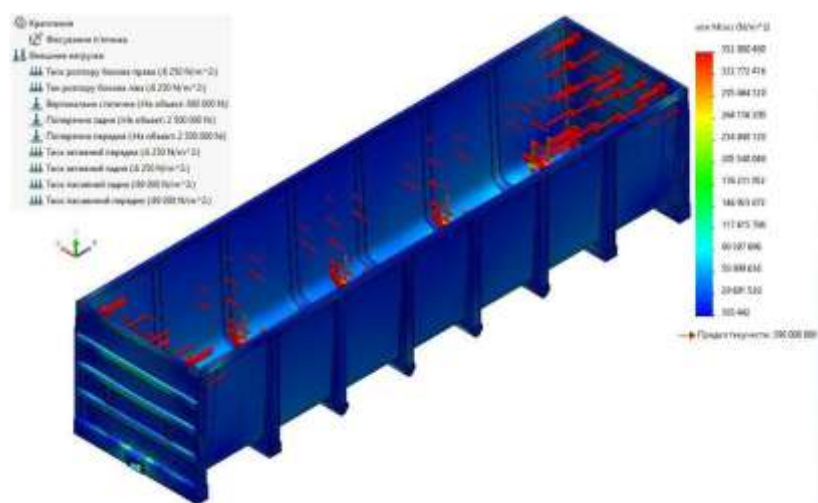


Рисунок 3.9 – Розподіл напружень по Мізесу для першого розрахункового режиму напіввагона-прототипа (розтягнення, вигляд зверху)

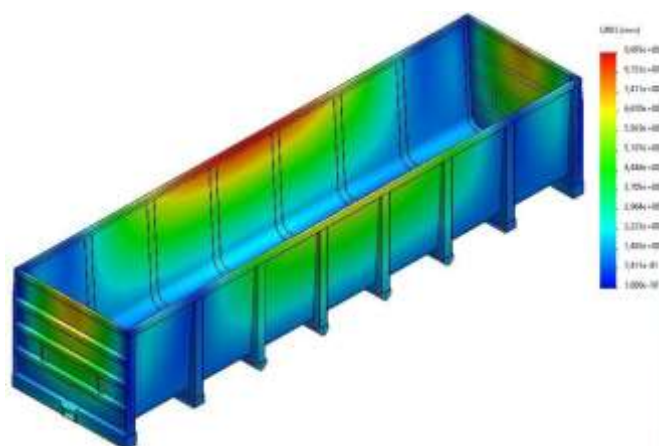


Рисунок 3.10 – Розподіл переміщень в вузлах для першого розрахункового режиму напіввагона-прототипа (розтягнення, вигляд зверху)

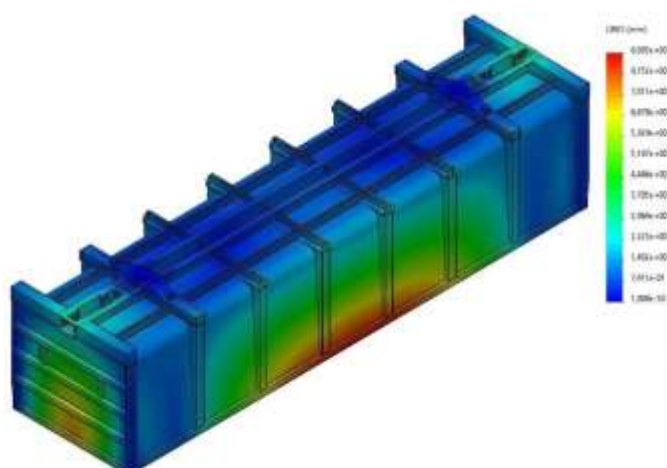


Рисунок 3.11 – Розподіл переміщень в вузлах для першого розрахункового режиму напіввагона-прототипа (розтягнення, вигляд знизу)

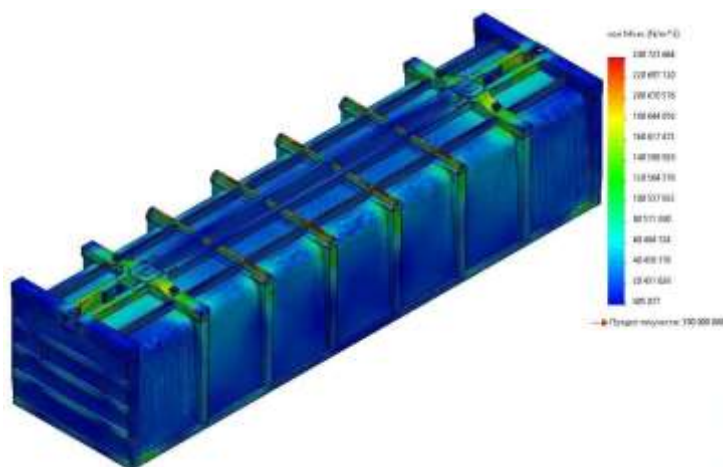


Рисунок 3.12 – Розподіл напружень по Мізесу для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (розтягнення, вигляд знизу)

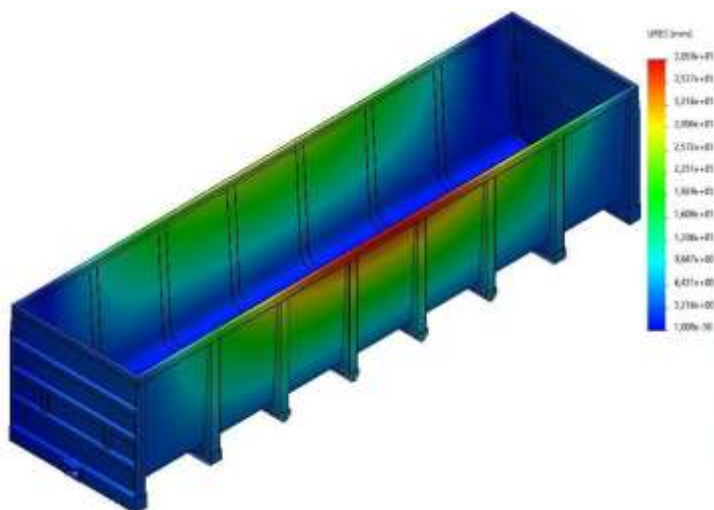


Рисунок 3.13 – Розподіл переміщень в вузлах для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (розтягнення, вигляд зверху)

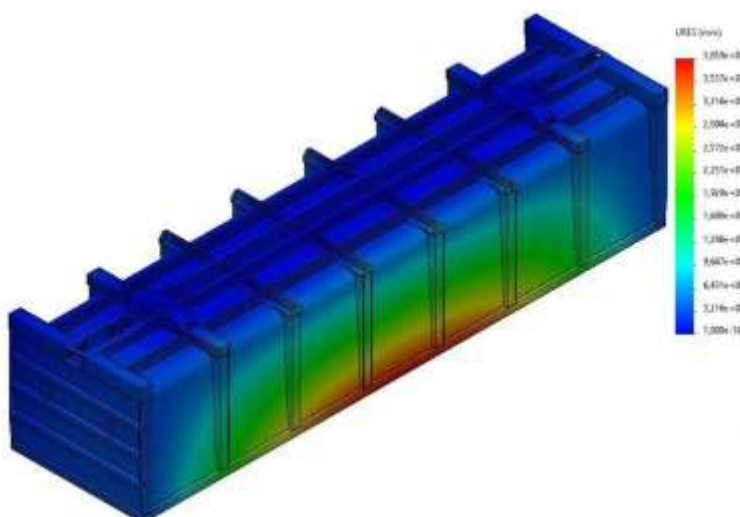


Рисунок 3.14 – Розподіл переміщень в вузлах для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (розтягнення, вигляд знизу)

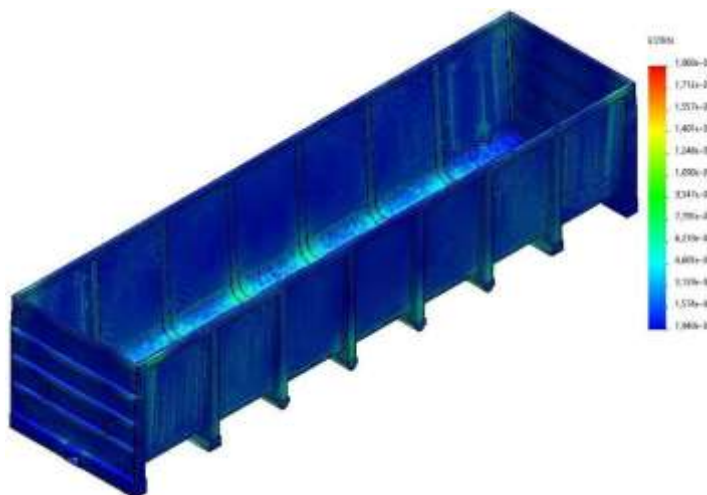


Рисунок 3.15 – Розподіл деформацій для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (розтягнення)

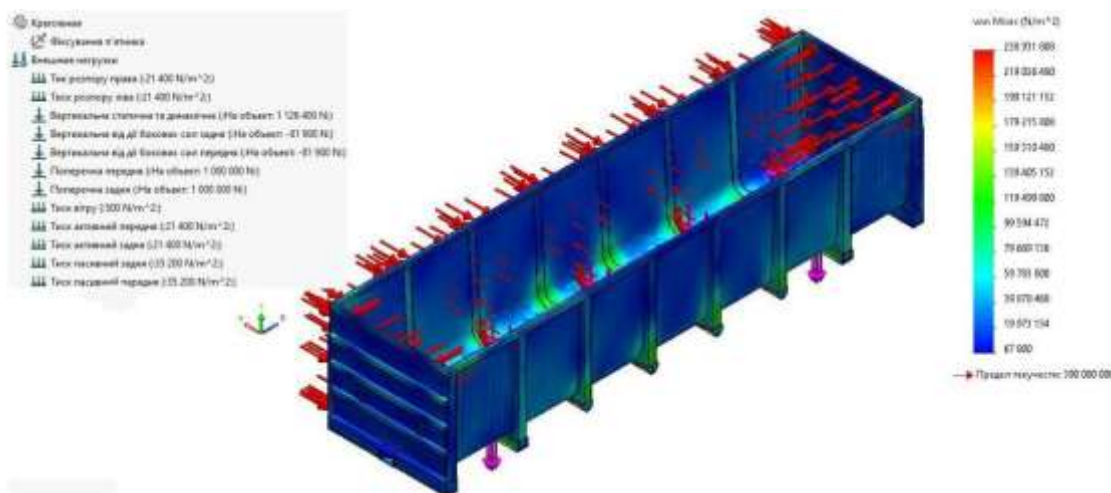


Рисунок 3.16 – Розподіл напружень по Мізесу для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (стиснення, вигляд зверху)

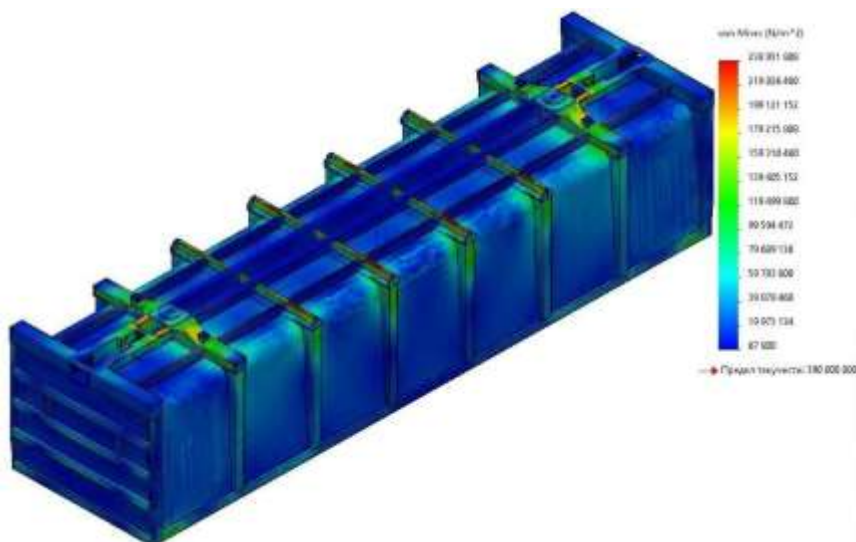




Рисунок 3.17 – Розподіл напружень по Мізесу для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (стиснення, вигляд знизу)

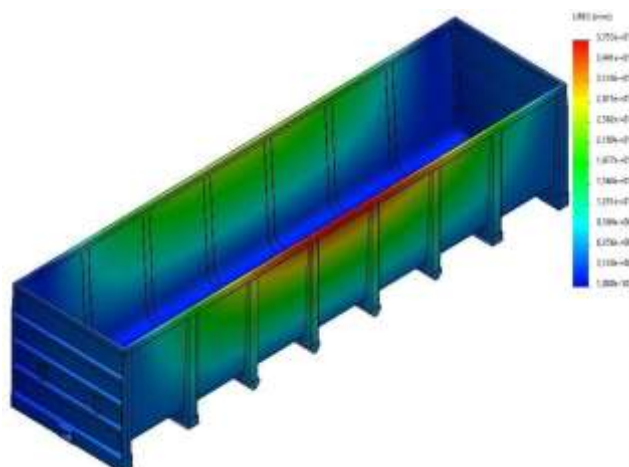


Рисунок 3.18 – Розподіл переміщень в вузлах для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (стиснення, вигляд зверху)

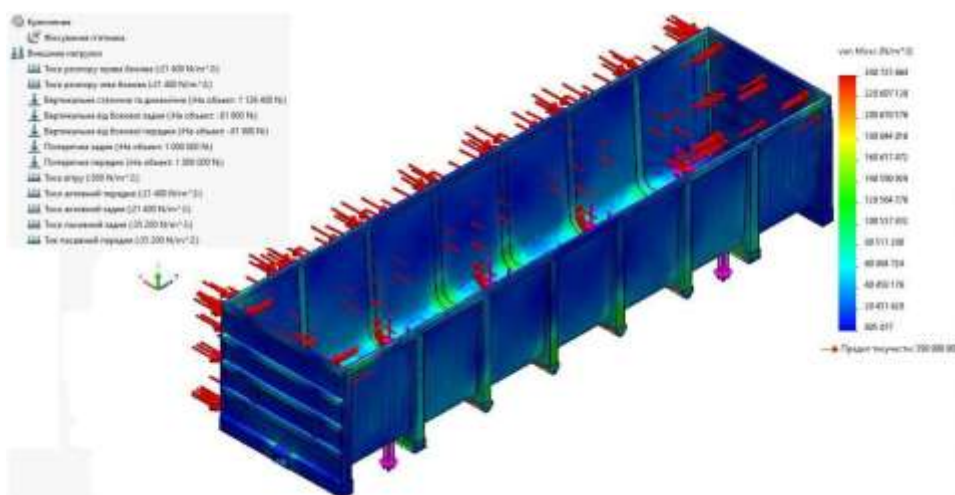


Рисунок 3.19 – Розподіл напружень по Мізесу для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (розтягнення, вигляд зверху)

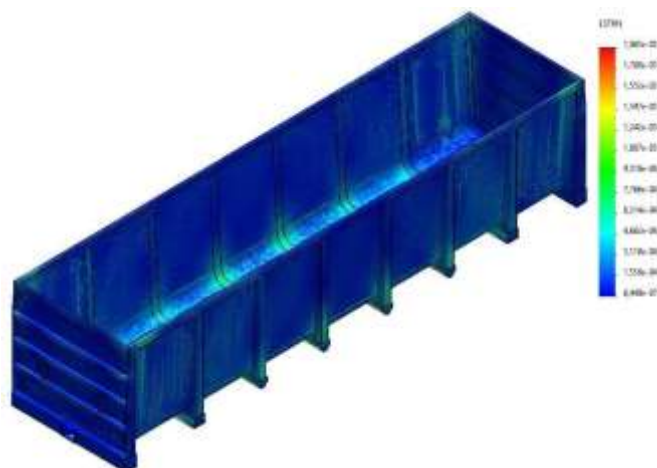


Рисунок 3.20 – Розподіл деформацій для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (стиснення)

Таблиця 3.4 – Параметри розрахункових моделей для I та III розрахункових режимів

| Параметр  | Стиснення |
|---|-----------|
| Максимальний розмір елемента, мм                  | 50        |
| Мінімальний розмір елемента, мм                   | 10        |
| Кількість вузлів                                  | 183578    |
| Кількість елементів                               | 565373    |
| Відсоток елементів з відношенням сторін більше 10 | 22,5      |
| Точки Якобіана для сітки                          | 4         |

Визначення геометричних параметрів вагона, що проектується. Як показує досвід експлуатації вагонів, найбільш розповсюдженим видом деформації елементів кузова напіввагона є деформація згинання. З опору матеріалів [3] відомо, що величина напруження у певному перерізі від дії згинального моменту дорівнює:

$$\sigma = \frac{M}{W}, \quad (3.14)$$

де  $M$  – згинальний момент у перерізі, кНм;

$W$  – момент опору перерізу, м<sup>3</sup>. Згідно довідкових даних [3,4] момент опору овального перерізу (рисунок 3.21) дорівнює для відповідних осей

$$W_x = \frac{\pi b a^2}{32}, \quad W_y = \frac{\pi a b^2}{32}, \quad (3.15)$$

де  $a, b$  – розміри овального перерізу, м.

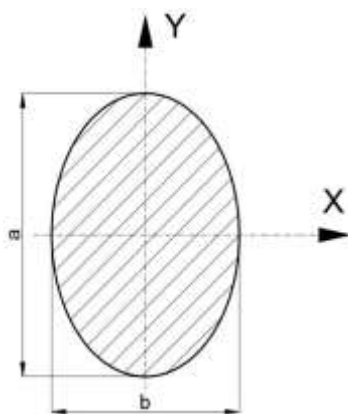


Рисунок 3.21 – Вигляд овального перерізу з параметрами

Для полого овального перерізу з параметрами, як на рисунку 3.22, значення моменту опору перерізу можна визначити наступним чином

$$W_x = \frac{I_x - I_{x_0}}{a}, W_y = \frac{I_y - I_{y_0}}{b}, \quad (3.16)$$

де  $I_x, I_{x_0}$  – відповідно момент інерції перерізу, та момент інерції овального отвору відносно осі X, м<sup>4</sup>;

$I_y, I_{y_0}$  – відповідно момент інерції перерізу, та момент інерції овального отвору відносно осі Y, м<sup>4</sup>.

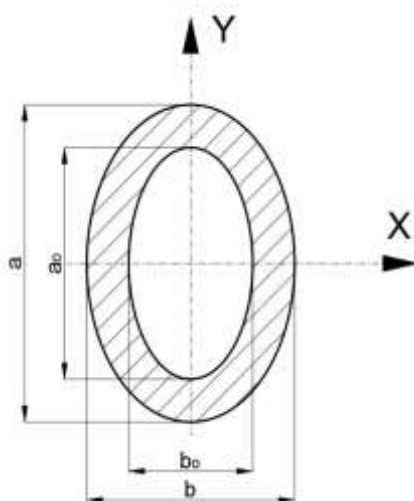


Рисунок 3.22 – Вигляд полого овального перерізу

Формули (3.17) також можна записати у наступному вигляді:

$$W_x = \frac{\pi}{32} \left( ba^2 - b_0 \frac{a^3}{a} \right), W_y = \frac{\pi}{32} \left( ab^2 - a_0 \frac{b^3}{b} \right), \quad (3.17)$$

де  $a_0, b_0$  – розміри осей полого отвору овальної форми, м.

Розрахунок геометричних параметрів перерізів зведений у таблицю 3.5.

Загальний вигляд вагону з використанням овальних труб зображений на рисунку 3.23-3.25.



Рисунок 3.23 – Загальний вигляд запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону, без урахування обшивки

Таблиця 3.5 – Геометричні параметри існуючого прототипу та вагона, що проектується

| Елементи конструкції              | Погонові маса, кг/м | Довжина, м | n (Г гр) | n (П гр) | Площа, м <sup>2</sup> | Еквівалентні жорсткі масивні, МПа (Г гр) | Еквівалентні шаруваті масивні, МПа (П гр) | Момент інерції вертикальної осі, м <sup>4</sup> | Момент інерції горизонтальної осі, м <sup>4</sup> | Момент інерції горизонтальної осі, м <sup>4</sup> Біло | Момент інерції вертикальної осі, см <sup>4</sup> Біло | Момент інерції вертикальної осі, см <sup>4</sup> Біло | Момент інерції вертикальної осі, см <sup>4</sup> Біло | Момент інерції вертикальної осі, см <sup>4</sup> Біло | Допустимий момент інерції вертикальної осі, см <sup>4</sup> | Допустимий момент інерції вертикальної осі, см <sup>4</sup> | Зарядковий переріз                               |  | Площа перерізу, м <sup>2</sup> | Погонові маса, кг/м |          |       |
|-----------------------------------|---------------------|------------|----------|----------|-----------------------|--|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|--|--|--------------------------------|---------------------|----------|-------|
|                                   |                     |            |          |          |                       |  |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   | Момент інерції вертикальної осі, см <sup>4</sup> | Момент інерції вертикальної осі, см <sup>4</sup> |                                |                     |          |       |
| <b>Рамні вагони</b>               |                     |            |          |          |                       |  |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |  |  |                                |                     |          |       |
| Дробова балка, консольна частина  | 137,04              | 4,05       | 1,76     | 1,79     | 15703                 | 210,132                                  | 179,405                                   | 482,606594,3                                    | 1938,43444  | 1479,149934  | 1582,5167   | 1382,316703   | 1794,3  | 1877,8  | 1794,3  | 1877,8  | 1970,602932                                      | 1649,89  | 7                              | 17431               | 136,83   |       |
| Дробова балка, середня частина    | 133,04              | 10,75      | 1,99     | 5,48     | 15703                 | 186,102                                  | 41,78                                     | 26595,2042                                      | 482,606594,3                                      | 1938,43444   | 1479,149934   | 1582,5167   | 1382,316703   | 1794,3  | 1877,8  | 1970,602932   | 1649,89  | 7  | 17431                          | 136,83              |          |       |
| Шпунтова на рівні з'єднанні (0+4) | 69,74               |            | 1,95     | 1,76     | 8884                  | 190,112                                  | 142,19                                    | 1545781350,8                                    | 71831954,58                                       | 938,48901  | 9714623151  | 463,431965  | 475,6   | 999,4   | 475,6   | 999,4   |  |  |                                |                     |          |       |
| Шпунтова з'єдн.                   | 56,24               |            | 10,55    | 1,93     | 7164                  | 35,125                                   | 139,112                                   | 501860001,43                                    | 51666722,78                                       | 536,495903   | 533,6066581   | 378,27202   | 378,2720206   | 71,7  | 101,2   | 378,2720206   | 71,7   |  |                                |                     |          |       |
| Квадратна балка                   | 72,09               | 5,64       | 2,48     | 2,53     | 9184                  | 138,25                                   | 98,62                                     | 136055285,3                                     | 116299605,3                                       | 877,766934   | 830,7114664   | 620   | 655,1   | 686,1882222   | 643,562   | 686,1882222   | 643,562  | 7  | 7924                           | 59,46               |          |       |
| Продільна балка                   | 33,54               | 11,368     | 2,98     | 1,21     | 4272                  | 124,52                                   | 203,75                                    | 24988502,29                                     | 13471184  | 379,518189   | 386,2627102   | 99,786548   | 99,786548   | 162,7   | 125,2   | 171,1638361   | 284,03   | 8  | 5330,262                       | 41,84               |          |       |
| Поздовжня балка                   | 34,59               | 25,4       | 2,47     | 3,18     | 3133                  | 150,168                                  | 78,526                                    | 18126519,97                                     | 810103,6833                                       | 209,975824   | 1063,876902   | 21,7627489  | 21,76274889   | 177,6   | 139,4   |   |  | 7  |                                |                     |          |       |
| <b>Нижні стіни</b>                |                     |            |          |          |                       |  |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |  |  |                                |                     |          |       |
| Стіна вертикальна                 |                     | 28,80      |          |          |                       |  |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |  |  |                                |                     |          |       |
| ств                               | 86,46               |            | 7,38     | 2,22     | 11014                 | 50,21                                    | 112,45                                    | 213210963,4                                     | 90619031,33                                       | 864,267888   | 1080,846767   | 906,19031   | 906,1903133   | 245,6   | 294   | 234,2397952   | 331,139  | 310  | 170                            | 7                   | 5227,899 | 41,11 |
| середній переріз (1 м від ступ)   | 35,42               |            | 8,11     | 3,1      | 4512,67               | 45,66                                    | 80,64                                     | 19520885,84                                     | 12494080,71                                       | 112,182705   | 102,3018481   | 124,94981   | 124,94981   | 124,1   | 124,1   | 211,2127613   | 205,598  | 200  | 210                            | 7                   | 2430,022 | 19,08 |
| верхня частина                    | 23,77               |            | 4,9      | 5,88     | 3028                  | 41,64                                    | 42,54                                     | 1983256,28                                      | 192212529,33                                      | 35,899456  | 78,4677511  | 192,21529   | 192,2152931   | 43,3  | 17,6  | 43,58333866   | 50,0183  | 81   | 110                            | 7                   | 1958,817 | 15,37 |
| Верхня об'ємна балка              | 21,37               | 24,368     | 3,3      | 2,46     | 2748                  | 105,87                                   | 191,45                                    | 9007696   | 3034269   | 112,5962   | 112,5962  | 74,932022   | 74,932022222  | 42,8  | 64,3  | 50,7911871  | 78,2807  | 81   | 160                            | 8                   | 2567,713 | 20,16 |
| ств                               | 104,94              | 9,62       | 5,25     | 4,57     | 15168                 | 70,54                                    | 54,65                                     | 280377129,5                                     | 55121367,94                                       | 1054,76112   | 1573,86587  | 321,78029   | 321,78029   | 401,6   | 401,6   | 43,54323505   | 56,0183  | 310  | 170                            | 7                   | 5227,899 | 41,11 |
| Верхня частина                    | 44,24               |            | 9,65     | 4,02     | 8655,45               | 38,47                                    | 62,14                                     | 2902363,354                                     | 20301501,25                                       | 126,805883   | 44,47019963   | 185,71674   | 226,9871508   | 18,6  | 9,2   | 41,23887822   | 33,4073  | 81   | 110                            | 7                   | 1958,817 | 15,37 |
| <b>Торонна стіна</b>              |                     |            |          |          |                       |  |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |  |  |                                |                     |          |       |
| Верхня об'ємна                    | 20,54               | 6,55       | 3,76     | 2,89     | 2616                  | 98,55                                    | 86,545                                    | 8244872   | 2166932   | 102,8084   | 102,8084  | 81,912914   | 81,91291429   | 32,9  | 54,7  | 30,7911871  | 78,2807  | 81   | 160                            | 8                   | 2567,713 | 20,16 |
| Торонна частина                   | 30,77               | 18,81      | 1,90     | 5,61     | 3920                  | 121,2                                    | 44,43                                     | 10985706,7                                      | 8706086,7   | 156,938667   | 143,90226   | 143,90226   | 143,90226   | 84,1  | 102,7   | 103,49  | 131,43   | 120  | 180                            | 8                   | 3606,54  | 28,31 |
| Верхня частина                    | 20,6                | 1,84       | 0,88     | 9,66     | 2624                  | 53,89                                    | 25,88                                     | 451488,7  | 1421758,7   | 75,2583111   | 75,25831167   | 47,39229  | 47,39229  | 133,8   | 21,9  | 23,62   | 33,29  | 10   | 0                              | 7                   | 1843,11  | 14,45 |



Рисунок 3.24 – Вигляд запропонованого multifunkціонального концепту напіввагону з розрізом посередині



Рисунок 3.25 – Чверть кузова запропонованого multifunkціонального концепту напіввагону

Вигляд запропонованого вагона з обшивкою бокових та торцевих стін та настилом підлоги у вигляді гофрів зображений на рисунках 3.26-3.29.

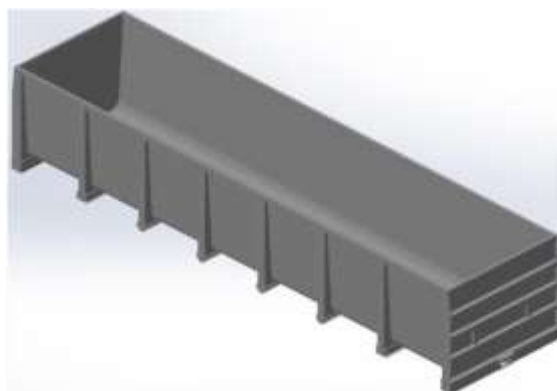


Рисунок 3.26 – Кузов запропонованого multifunkціонального концепту напіввагону з обшивкою



Рисунок 3.27 – Розріз запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону посередині

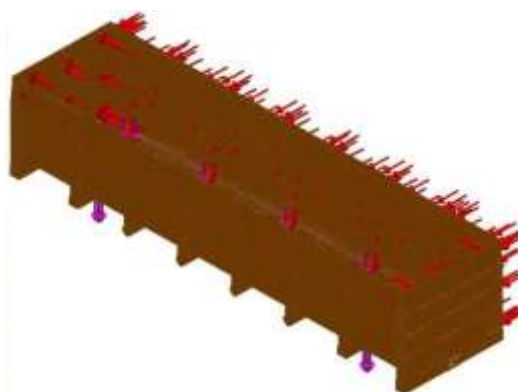


Рисунок 3.28– Скінченно-елементна розрахункова модель кузова запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону

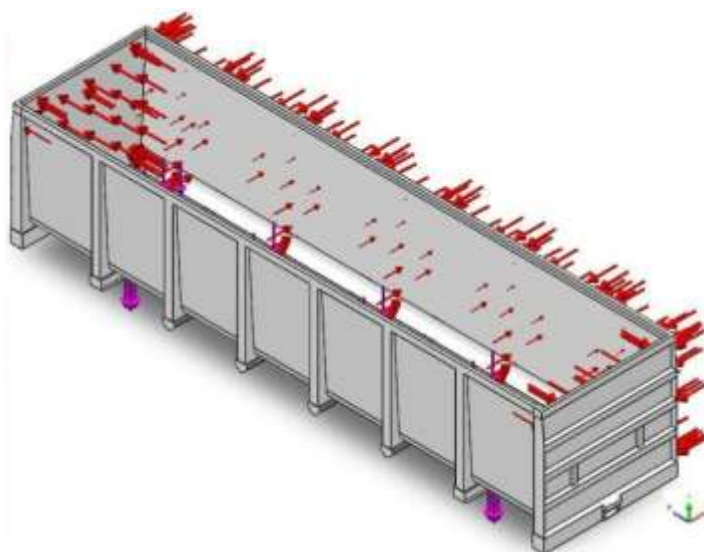


Рисунок 3.29 – Розрахункова модель кузова запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону

Результати дослідження напружено-деформованого стану кузова вагона моделі запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону наведені на рисунках 3.30-3.35.

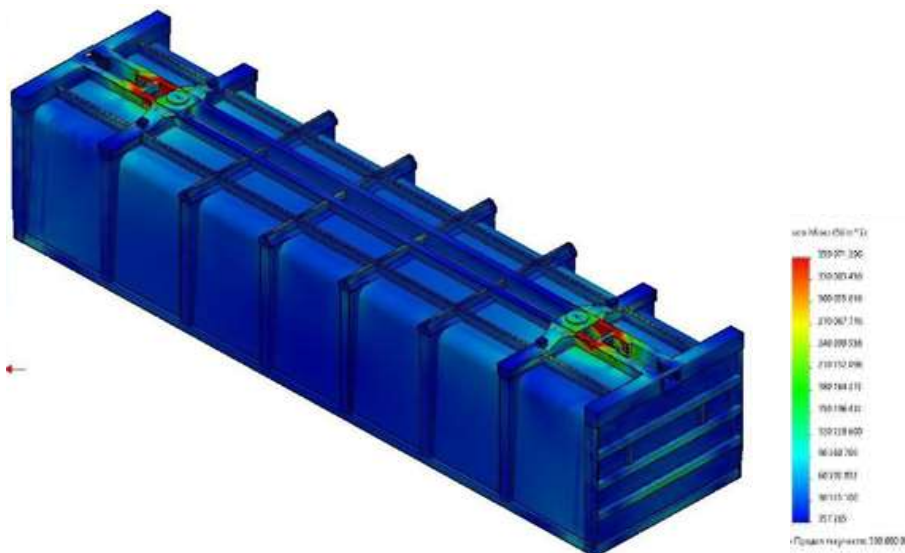


Рисунок 3.30 – Розподіл напружень по Мізесу для першого розрахункового режиму (стиснення, вигляд зверху) кузова запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону

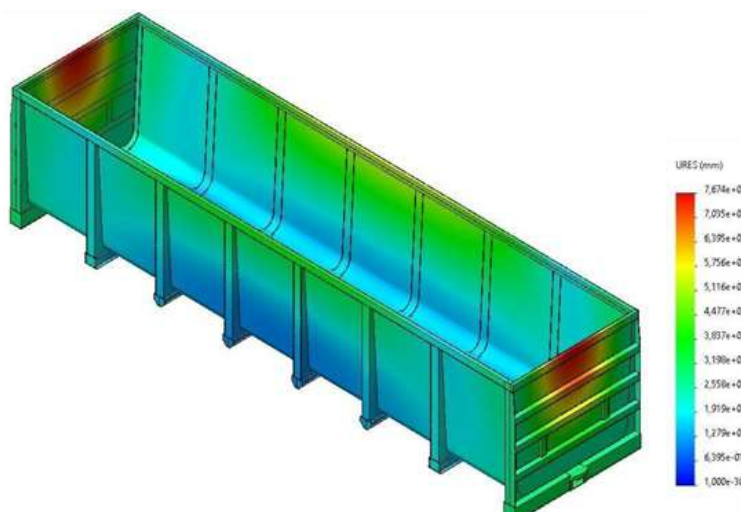


Рисунок 3.31 – Розподіл переміщень в вузлах для першого розрахункового режиму (стиснення, вигляд зверху) кузова запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону





Рисунок 3.32 – Розподіл деформацій для першого розрахункового режиму запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону (розтягнення)

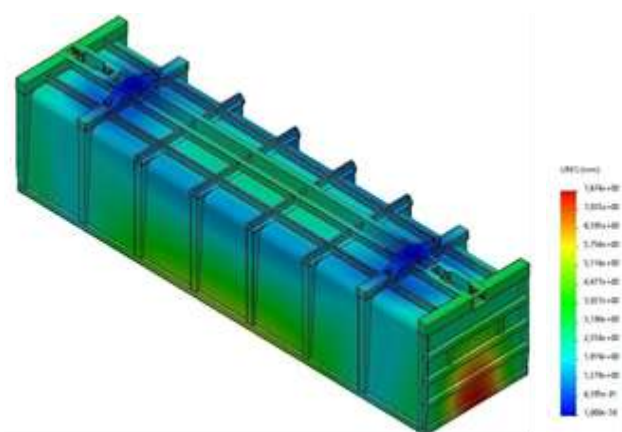


Рисунок 3.33 – Розподіл переміщень в вузлах для першого розрахункового режиму запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону (стиснення, вигляд знизу)

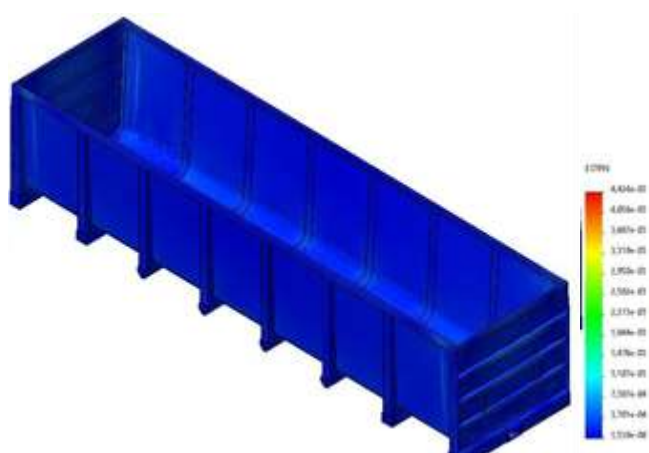


Рисунок 3.34 – Розподіл деформацій для першого розрахункового режиму запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону (стиснення)

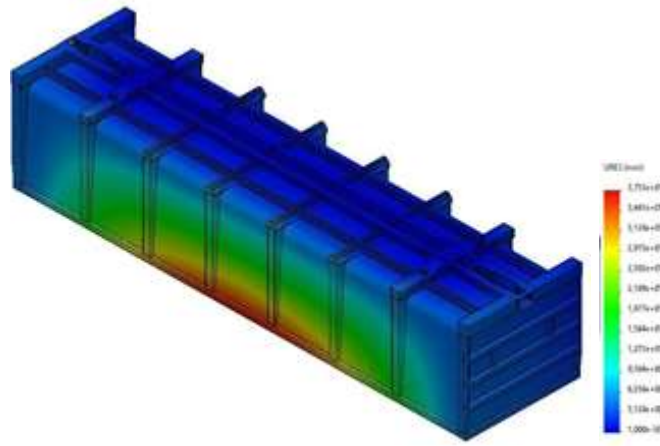


Рисунок 3.35 – Розподіл переміщень в вузлах для третього розрахункового режиму запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону (стиснення, вигляд знизу)

Розроблений практичний концепт реалізації мультифункціонального підходу спрямований на створення рівноміцнісного конструктиву вантажного вагону. Його комплексний розрахунок (на основі порівняння з сучасним базовим аналогом) дозволив встановити, що показники міцності та втомної міцності покращується на 10-25%. Слід зазначити, що створення такого конструктиву було орієнтовано на сучасні вітчизняні вагонобудівні виробничі можливості, проте існуючий потенціал впровадження мультифункціональних складових в вагоній конструкції дозволить поліпшити їх техніко-економічні та експлуатаційні характеристики більше ніж на 60 %.

Аналіз втомної міцності конструкції напіввагона. Оцінка втомної міцності проводилася згідно [3, 4, 12] по коефіцієнту запасу опору втомі за формулою:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,E}} \geq [n], \quad (3.18)$$

де  $\sigma_{a,N}$  – границя витривалості (за амплітудою) натурної деталі в разі симетричного циклу і сталого режиму навантаження на базі випробувань  $N_0$  (для корпусних несних деталей вагонів зазвичай вважають, що база випробувань становить  $N_0 = 10^7$  циклів, Па;

$\sigma_{a,e}$  – розрахункове значення амплітуди динамічного напруження умовного симетричного циклу, зведене до бази  $N_0$ , еквівалентне за пошкоджувальною дією значенню амплітуд у реальному режимі експлуатаційних випадкових напружень протягом проектного терміну служби деталі, Па;

$[n]$  – допустимий коефіцієнт запасу опору втомі. Значення границі витривалості за амплітудою натурної деталі можна визначити за формулою:

$$\sigma_{a,N} = \overline{\sigma_{a,N}} (1 - z_p \cdot v_{\sigma_{a,N}}), \quad (3.19)$$

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

$z_p$  – квантиль розподілу, що відповідає одnobічної ймовірності  $P$ , якщо вважати, що  $\sigma_{a,N}$  – випадкова величина, яка має нормальний закон розподілу, то для основних несних деталей вагонів рекомендовано такі значення  $P=0,95$  ( $z_p = 1,645$ );

$v_{\sigma_{a,N}}$  – коефіцієнт варіації границі витривалості, приймається рівним за [4]

$$v_{\sigma_{a,N}} = 0,07.$$

Значення  $\overline{\sigma_{a,N}}$  розраховується наступним чином:

$$\overline{\sigma_{a,N}} = \frac{\overline{\sigma_{-1}}}{(k_{\sigma})_k}, \quad (3.20)$$

де  $\sigma_{-1}$  – середнє (медіанне) значення границі витривалості гладкого стандартного зразка з матеріалу деталі (згідно з ГОСТ 25.502) у разі симетричного циклу згинання на базі  $N_0$ , Па.

Для прокату 12Г2ФД  $\sigma_{-1} = 235$  МПа;

$(\bar{k}_\sigma)_k$  – середнє значення загального коефіцієнта зниження границі витривалості даної натурної деталі відносно границі витривалості гладкого стандартного зразка. Значення  $(\bar{k}_\sigma)_k$  приймаємо за [4] 1.7. Для визначення  $\sigma_{a,e}$ , використовувалась формула, відповідно до [4]

$$\sigma_{a,e} = \sqrt[m]{\frac{N_c^I}{N_0} \sum_{i=1}^n (\sigma_{ai}^I)^m P_i + \frac{N_c^{II}}{N_0} \sum_{i=1}^n (\sigma_{ai}^{II})^m P_i + \frac{N_c^{III}}{N_0} \sum_{i=1}^n (\sigma_{ai}^{III})^m P_i}, \quad (3.21)$$

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

$N_c^I$  – сумарна кількість циклів вертикальних динамічних сил за розрахунковий строк служби вагона;

$N_c^{II}$  – сумарна кількість циклів поздовжнього ударного навантаження за розрахунковий строк служби вагона;

$N_c^{III}$  – сумарна кількість циклів завантаження-розвантаження за розрахунковий строк служби вагона;  $N_0$  – базова кількість циклів;

$\sigma_{ai}^I$ ,  $\sigma_{ai}^{II}$ ,  $\sigma_{ai}^{III}$  – рівень амплітуд напружень від дії відповідно вертикальних динамічних сил, поздовжньої ударної сили, зусиль завантаження-розвантаження в інтервалі  $i$ ;

$p_i$  – ймовірність появи амплітуди з рівнем  $\sigma_{ai}$ .

Показник ступеня  $m$  визначають за даними статистичного оброблення стендових випробувань на втому зразків певної деталі або оцінюють за узагальненими даними випробувань подібних, близьких по конструкції та матеріалу, деталей. Для зварних балок показник дозволено визначати за формулою:

$$m = \frac{A}{(\overline{k_{\sigma}})_k}, \quad (3.22)$$

де  $A = 18$  – для низьколегованих сталей.

Рівні амплітуд напружень від дії вертикальних динамічних сил визначалися за формулою:

$$\sigma_{ai}^I = \sigma_{cm} \cdot \overline{k_{\sigma e}}, \quad (3.23)$$

де  $\sigma_{cm}$  – статичне напруження від сили тяжіння бруто вагона, Па;

$\overline{k_{\sigma e}}$  – середній коефіцієнт вертикальної динаміки в інтервалі  $i$ .

Статичні напруження від сили тяжіння бруто вагона були отримані з розрахунку методом скінчених елементів (до скінчено-елементної моделі прикладалися тільки сили тяжіння рами та вантажу). За розрахунками  $\sigma_{cm} = 200$  МПа. Значення математичного очікування коефіцієнта вертикальної динаміки визначається за формулами [80, 81, 142]: при  $V_i < 15$  м/с

$$\overline{k_{\sigma e}} = a \frac{V_i}{15}, \quad (3.24)$$

при  $V_i \geq 15$  м/с ..

У якості інтервальної швидкості прийнято величини швидкості інтервалів розподілу відповідно до [80, 81, 142]. Величини зведені в таблицю 3.6.

Для деталей, у яких динамічні напруження виникають від коливань та вібрацій під час руху вагона  $N_0$  в циклах, рекомендовано визначати за формулою:

$$N_c^I = 365 v_e \frac{\overline{L_c}}{V_m} \cdot T_p, \quad (3.25)$$

де  $\nu_e$  – центральна (ефективна) частота процесу зміни динамічних напружень, Гц, визначається за формулою:

$$\nu_e = \frac{a}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{f_{cm}}} \quad (3.26)$$

де  $a$  – коефіцієнт, що для кузова вантажного вагона дорівнює 1,4;

$f_{cm}$  – статичний прогин ресорної підвіски, для розрахункового режиму навантаження вагона,  $f_{cm}=0,065$ м.

Таблиця 3.6 – Значення швидкості, математичного очікування та ймовірності

| Інтервал швидкостей | Середнє значення швидкості, м/с | $\overline{k_{\partial\delta}}$ | Ймовірність $p_i$ |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| 0-12,5              | 6,25                            | 0,021                           | 0,03              |
| 12,5-15,0           | 13,75                           | 0,046                           | 0,07              |
| 15,0-17,5           | 16,25                           | 0,059                           | 0,09              |
| 17,5-20,0           | 18,77                           | 0,078                           | 0,12              |
| 20,0-22,5           | 21,25                           | 0,096                           | 0,16              |
| 22,5-25,0           | 23,75                           | 0,115                           | 0,19              |
| 25,0-27,5           | 26,25                           | 0,134                           | 0,16              |
| 27,5-30,0           | 28,75                           | 0,152                           | 0,10              |
| 30,0-32,5           | 31,25                           | 0,171                           | 0,06              |
| 32,5-35,0           | 33,75                           | 0,189                           | 0,02              |

$$\nu_e = \frac{1,4}{2\pi} \sqrt{\frac{9,81}{0,065}} \approx 2,74 \text{ Гц.}$$

$\overline{L_c}$  – середньодобовий завантажений пробіг вагона,  $\overline{L_c}=220$ км/добу;

$V_T$  – середня технічна швидкість руху вагона,  $V_T=22,4$ м/с;

$T_p$  – термін служби деталі (вузла),

При ударній взаємодії з вагонами виникають коливальні затухаючі процеси. Рівні амплітуд напружень від дії поздовжнього ударного навантаження визначається шляхом перерахування напружень за наступною формулою:

$$\sigma_{ai}^{\Pi} = \frac{\sigma_{y\partial}}{N} F_{ai}^{y\partial}, \quad (3.27)$$

де  $\sigma_{y\partial}$  – амплітуда напружень, що розраховано за допомогою методу скінчених елементі при ударній взаємодії вагонів із вагонами, МПа;

$N$  – поздовжня ударна сила, що діє на вагон та відповідає розрахунковим, МН;

$F_{ai}^{y\partial}$  – рівень амплітуди ударного поздовжнього зусилля на автзчеп в інтервалі  $i$ , МПа.

Еквівалентні напруження від дії поздовжнього ударного навантаження  $N = 3,5$  МН, отримані шляхом розрахунку методом скінчених елементів рами. Розподіл амплітуд ударних сил приведений у таблиці 3.7 .

Таблиця 3.7 – Статичний розподіл амплітуд ударних зусиль

| Інтервал зусиль | Амплітуда цикла<br>$F_{ai}^{y\partial}$ , МПа | Ймовірність $p_i$ | Число циклів за рік |
|-----------------|---|-------------------|---------------------|
| 0,1-0,4         | 0,25  | 0,1258            | 2565                |
| 0,4-0,8         | 0,6   | 0,2852            | 5818                |
| 0,8-1,2         | 1   | 0,2802            | 5716                |
| 1,2-1,6         | 1,4   | 0,1832            | 3737                |
| 1,6-2,0         | 1,8   | 0,0772            | 1569                |
| 2,0-2,4         | 2,2   | 0,0359            | 586                 |
| 2,4-2,8         | 2,6   | 0,0098            | 163                 |
| 2,8-3,2         | 3   | 0,0023            | 39                  |
| 3,2-3,6         | 3,4   | 0,0003            | 5                   |

|         |     |        |   |
|---------|-----|--------|---|
| 3,6-4,0 | 3,8 | 0,0001 | 2 |
|---------|-----|--------|---|

Загальне число циклів повздовжніх сил на автозчеп за розрахунковий строк служби буде дорівнювати:

$$N_c^{\text{II}} = N_{\text{рік}} \cdot T_p, \quad (3.28)$$

де  $N_{\text{рік}}$  – число ударних зусиль на автозчеп за рік,  $N_{\text{рік}} = 20\,200$  циклів;  
 $T_p$  – строк служби вагона,  $T_p = 32$  роки.

Рівні амплітуд напружень від дії навантажувально-розвантажувальних зусиль визначаються за формулою:

$$\sigma_{\text{II}} = \frac{\sigma_{\text{см}}}{2}. \quad (3.29)$$

Сумарне число циклів завантаження-розвантаження за розрахунковий строк служби становить:

$$N_c^{\text{III}} = N_{\text{нр}} \cdot T_p, \quad (3.30)$$

де  $N_{\text{нр}}$  – число завантажувально-розвантажувальних зусиль на рік,  $N_{\text{нр}} = 100$ .

Згідно формул (3.23, 3.27, 3.29) формула (3.31) буде мати наступний вигляд:

$$\sigma_{\text{а.е}} = \sqrt{\frac{N_c^{\text{I}}}{N_0} \sum_{i=1}^n (k_{\text{м}} \cdot \sigma_{\text{см}})^m p_i + \frac{N_c^{\text{II}}}{N_0} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\sigma_{\text{ІІІ}}}{N} F_{\text{а.е}}^{i,y} \right)^m p_i + \frac{N_c^{\text{III}}}{N_0} \left( \frac{\sigma_{\text{см}}}{2} \right)^m}, \quad (3.31)$$

Відповідно до [80, 81, 142] мінімально допустимий коефіцієнт запасу опору в томи приймається  $[n] = 1,8$ . Умова втомної міцності  $n \geq [n]$  для всіх елементів конструкції напіввагона виконується. Розрахунки з оцінки опору



втоми показали, що коефіцієнт запасу втоми найбільш напружених зон елементів кузова вагона більше допустимого коефіцієнта запасу втоми  $[n]$ .

З метою визначення проектного терміну служби напіввагона використана методика, наведена в [121-129]

$$T_n = \frac{(\sigma_{-1D} / [n])^m \cdot N_0}{B \cdot f_e \cdot \sigma_{ae}^m}, \quad (3.32)$$

де  $\sigma_{-1D}$  – середнє значення границі витривалості деталі, МПа;

$[n]$  – допустимий коефіцієнт запасу міцності;

$m$  – показник ступеня кривої втоми;

$N_0$  – база випробувань;

$B$  – коефіцієнт, який характеризує час безперервної роботи вузла в секундах;

$f_e$  – ефективна частота динамічних напружень,  $c^{-1}$ ;

$\sigma_{ae}$  – амплітуда еквівалентних динамічних напружень, МПа.

Коефіцієнт, який характеризує час безперервної роботи об'єкту визначається за формулою:

$$B = \frac{365 \cdot 10^3 \cdot L_c}{g_{cp} (1 + 0,34)}, \quad (3.33)$$

де  $L_c$  – середньодобовий пробіг вагона, км (близько 250 км [9]);

$g_{cp}$  – середнє значення швидкості руху вагона,  $g_{cp} = 33$  м/с;

0,34 – коефіцієнт порожнього пробігу. Ефективна частота динамічних напружень визначається за формулою:

$$f_e = \frac{1,1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{f_{cm}}}, \quad (3.34)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81 \frac{m}{c^2}$ ;

$f_{cm}$  – статичний прогин ресорного підвішування, м.

$$f_e = \frac{1,1}{2\pi} \sqrt{\frac{9,81}{0,065}} = 2,15 \text{ Гц.}$$

$$B = \frac{365 \cdot 10^3 \cdot 250}{22,12 \cdot (1 + 0,34)} = 3074357 \text{ с.}$$

При визначенні за формулою 3.32 прийняті наступні вхідні данні: середнє значення границі витривалості конструкції визначається як  $0,5\sigma_B$  матеріалу (для марок сталі 12Г2ФД –  $0,5 \cdot 510 = 255$  МПа [80]); база випробувань –  $10^7$  циклів (рекомендована база випробувань для конструкційної сталі); при середній швидкості руху  $g_{cp} = 22,15 \frac{M}{c}$  дорівнює 3074357 с. Ефективна частота динамічних напружень з урахуванням характеристик візка 2,15 Гц; допустимий коефіцієнт запасу міцності дорівнює 2; показник ступеня кривої втоми для зварної конструкції прийнятий рівним 4; амплітуда еквівалентних динамічних напружень визначена на підставі попередніх розрахунків несучої конструкції вагона.

$$T_n = \frac{(255/2)^4 \cdot 10^7}{3074357 \cdot 2,15 \cdot 58^4} \approx 35 \text{ років.}$$

Виходячи з розрахунків за формулами (3.32-3.34) встановлено, що проектний строк служби несучої конструкції напіввагона складає більше 32 років, тобто не є меншим за життєвий цикл типового вагона.

### 3.2 Експериментальні дослідження конструкції напіввагонів

З метою настроювання розроблених скінчено-елементних розрахункових моделей були використані результати експериментальних випробувань напіввагону. Випробування при співударянні напіввагону моделі 12-9745 проводились за участю автора на території філії «Панютинський вагоноремонтний завод» АТ «Укрзалізниця» при температурі навколишнього середовища  $12^{\circ}\text{C}$  та при відносній вологості 80%.

Випробування проводились у світлий час доби на спеціально підготовлених двох паралельних коліях з реєстрацією деформацій у контрольних точках для визначення міцності конструкцій при ударі 3,5 МН. Місця розташування контрольних точок (всього було встановлено 29 тензорезисторів) наведено на рисунках 3.36-3.38.

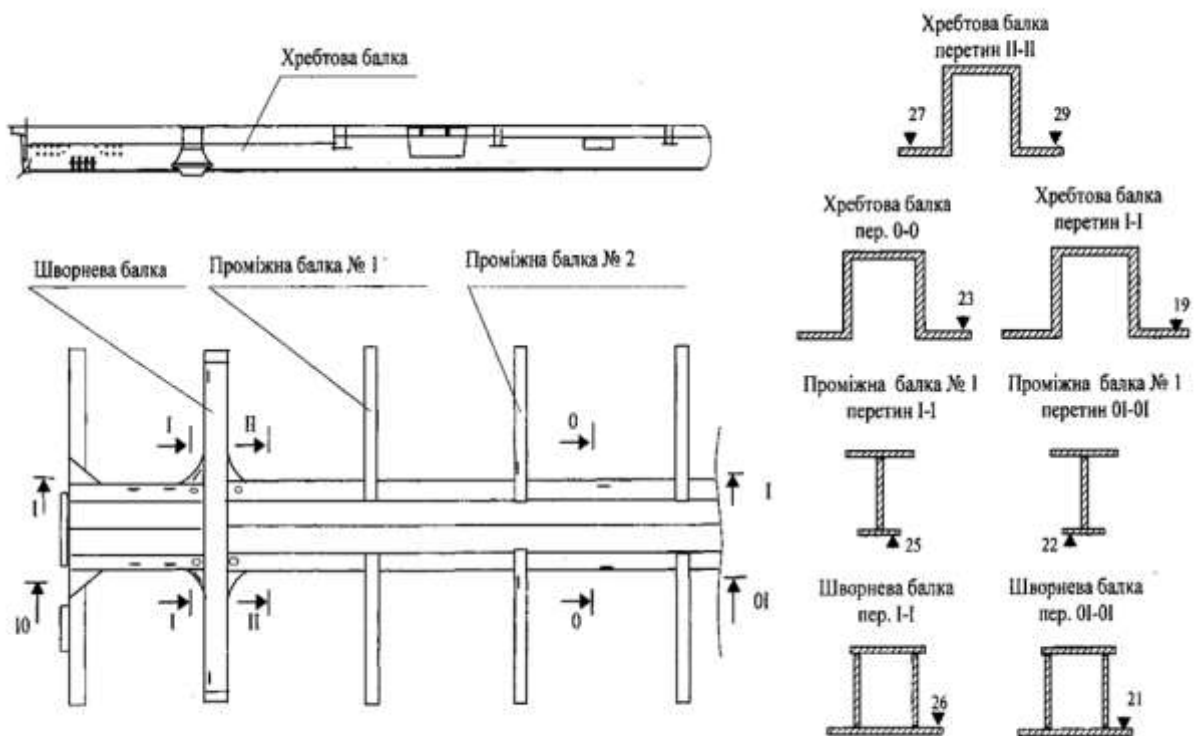


Рисунок 3.36 – Місця розташування контрольних точок на рамі напіввагонів 12-9745

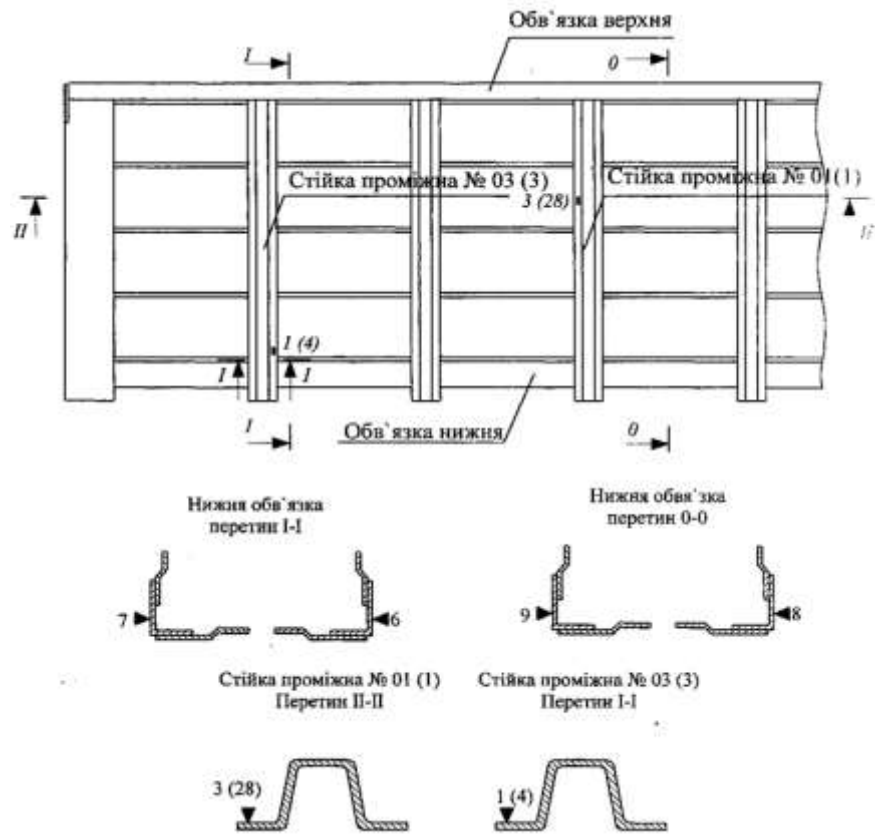


Рисунок 3.37 – Місця розташування контрольних точок на стіні боковій конструкції напіввагонів 12-9745

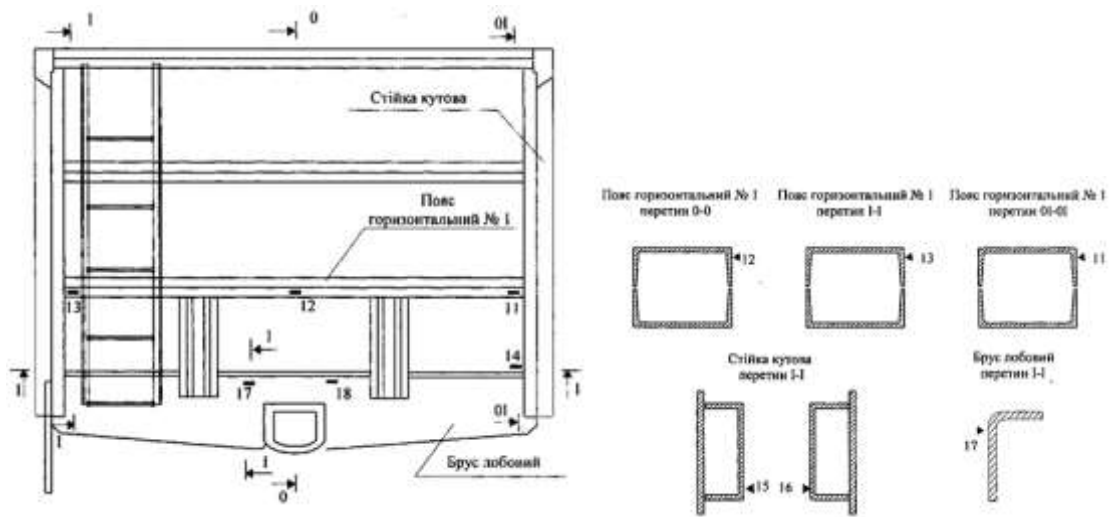


Рисунок 3.38 – Місця розташування контрольних точок на стіні торцевій конструкції напіввагонів 12-9745

Випробування проводились з використанням сучасних випробувального обладнання та засобів виміральної техніки ДП«УкрНДІВ». Відомості про які наведені у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Відомості про випробувальне обладнання і засоби вимірювальної техніки

| Назва, марка і номер (заводський або інвентарний) випробувального обладнання і засобів вимірювальної техніки | Основні технічні характеристики (діапазон вимірювань, похибка)   |
|--|--|
| Тензорезистори КФ 5П1-20-200-А-12  | База 0,02 м, $K=2,20$ , $R=(199,8\pm 0,2)$ Ом  |
| Система вимірювальна тензометрична СИИТ-3, зав.№281, інв.№77   | Швидкість – 20 вимірювань на секунду;<br>Кількість каналів – 100;<br>Опір резистора – (100-400) Ом;<br>Діапазон вимірювань: $\pm(0-9999)$ мкВ/В,<br>Похибка вимірювань $\pm 0,13\%$ .  |
| Система вимірювально-реєструюча ВВП 7/1, зав. №1297, інв.№ 153   | Кількість каналів вимірювань деформації (вібрації, температури) – 48. Опір використовуємих датчиків (100-800) Ом.<br>Нелінійність статичної характеристики 0,005%, температуриний дрейф нуля 0,01% 10°C.<br>Діапазон вимірювань, мВ/В: $\pm 0,2$ ; $\pm 0,5$ ; $\pm 1,0$ ; $\pm 2,0$ ; $\pm 3,0$ ; $\pm 6,0$ ; $\pm 9,0$ .<br>Похибка вимірювань $\pm 1,5\%$ . |
| Ваги вагонні тензометричні. Пульсар ВТВ-1С, зав. №017  | Діапазон зважування (2,5-150)т;<br>Похибка зважування – 0,05%.   |
| Термометр ТК-5.05, зав.№ 315446, інв.№ 441/06 з зондом температури №324440; з зондом вологості № 323000      | Діапазон вимірювань температури (від -20 до +200) °С; діапазон вимірювань вологості (0-100)%, похибка 1%   |
| Секундомір сумарної дії типу С)П пр-2а-3-000, зав.№ 6377, інв.№ 479/07                                       | Діапазон вимірювань (0-30) хв., (0-60)с; ціна поділки шкали секундної – 0,2с.<br>Похибка за 60с – $\pm 0,3с$ .   |
| Модуль Е-330, зав. № 61,657083, інв. №442/08   | Діапазон вимірювань: $\pm 5,12В$ ; $\pm 2,56В$ ; $\pm 1,024В$ .<br>Похибка $\alpha = \pm 1$ МЗР.   |
| Аналого-цифровий перетворювач Е 330  | Діапазон вимірювань: $\pm 5,12В$ ; $\pm 2,56В$ ; $\pm 1,024В$ .<br>Похибка АЦП = $\pm 1$ МЗР.  |

Сумарна похибка вимірювань показників деформації з використанням тензодатчиків та підсилювачів ВНП 7/2 складає 2,5%. Обробка результатів випробувань виконувалась на ЕОМ (Pentium 4) з використанням стандартного програмного математичного забезпечення статистичної обробки процесів.

Маса вантажу склала – *69,8т*.

У режимі співудару здійснено 22 удари при дії нормативних навантажень від *0,5* до *3,5 МН*.

Випробування проводились у наступному порядку:

- підготовка місць встановлення тензорезисторів та наклейка тензорезисторів;
- монтаж з'єднувальних кабелів до тензорезисторів і апаратури, що реєструє;
- налагодження та перевірка роботоздатності апаратури;
- піввагон обладнується спеціальним автозчепом-динамометром, попередньо проградуйованим статичним навантаженням до *400тс*;
- завантаження піввагону до номінальної вантажопідйомності;
- зважування завантаженого напіввагону;
- випробування проводяться в завантаженому стані з підпором із завантажених вагонів загальною масою більше *300т*. Переміщення зчепу обмежуються спеціальними упорами (башмаками);
- співудари проводяться шляхом накочування на дослідний напіввагон за допомогою локомотива вагона-бойка масою *93т* з швидкістю від *2-3км/год* (або силою *0,5МН*) із наступним збільшенням інтервалу швидкості до *2 км/год* до досягнення сили *3,5МН*. При цьому проводяться не менше 3-х ударів у кожному діапазоні швидкості (сили удару).

Реєстрація деформацій (напружень) і швидкості набігання вагону-бойка здійснюється за допомогою засобів вимірювальної техніки. Після кожних 3-5 ударів проводиться перевірка технічного стану піввагону та його обладнання. Отримані під час проведення випробувань дані записуються на магнітний диск персонального комп'ютера.

Обробка даних міцностних випробувань виконується з використанням автоматизованих комплексів обробки дослідних даних із застосуванням статистичних методів. Напруження  $\sigma$  (МПа) в елементах конструкції у місцях установки тензорезисторів визначаються за формулою:

$$\sigma = \frac{R_{\delta}}{R_u} \cdot \frac{E \cdot a}{K_m \cdot A}, \quad (3.35)$$

де  $R_{\delta}$  – опір тензорезистора, Ом;

$R_{\delta}$  – опір калібрувального шунта, Ом;

$E$  – модуль пружності матеріалу досліджуваної деталі, МПа;

$a$  – амплітуда (відхилення) процесу, В;

$K_m$  – коефіцієнт чутливості тензодатчика;

$A$  – амплітуда (відхилення) процесу, виміряна при калібруванні, В.

При порівнянні результатів експериментальну з розрахунковими даними можна зробити висновок, що їх різниця не перевищує 7%, що засвідчило о адекватності та можливості використання в подальших дослідженнях розроблені скінчено-елементні моделі. Також отримані результати були підтверджені при співставленні їх з результатами розрахунку у програмному комплексі ИСПА, що також підтвердило адекватність розроблених скінчено-елементних розрахункових моделей.

### **3.3 Економічна оцінка ефективності використання запропонованих рішень**

Вагонний парк є основою для забезпечення ефективних та якісних перевезень; від рівня його технічного стану та структури залежить якість перевізного процесу, продуктивність й кінцеві фінансові показники діяльності залізниць.

Залізничний транспорт України володіє значним парком вантажних вагонів. Найбільш ефективними для перевезень є спеціалізовані вагони. Для того щоб були перевезення безпечними та вантаж прибував до свого місця призначення вчасно, потрібно оновлювати парк вантажних вагонів, створювати нові більш удосконалені вагони.

Важливим напрямком науково-технічного прогресу у вітчизняному і світовому вагонобудуванні є підвищення вантажопідйомності вагонів при відповідному зниженні маси їх тари за рахунок використання в конструкціях вагонів інноваційних принципів функціонування за умов забезпечення безпеки руху.

Впровадження мультифункціональних складових вантажних вагонів є одним з ефективних шляхів покращення їх техніко-економічних показників, а саме дасть змогу отримати наступні позитивні результати, обумовленні багатофункціональністю системи:

- поліпшення технічних властивостей;
- зниження собівартості вагону;
- зменшення тари вагону;
- зменшення числа елементів і зв'язків;
- підвищення надійності і безпеки;
- збільшення терміну експлуатації;
- покращення їх роботи по сприйняттю та перерозподілу експлуатаційних навантажень;



- зменшення обсягів негативного накопичення напружень, і як наслідок скоротити втомні пошкодження;
- зниження матеріалоемності;
- збільшення вантажопідйомності;
- зниження трудомісткості його виготовлення та ремонту за рахунок удосконалення конструкції.

Економія експлуатаційних витрат і капіталовкладень від застосування мультифункціональних складових вагонів обумовлюється головним чином підвищенням якісних показників їх експлуатації.

За рахунок зниження собівартості вагону і економії експлуатаційних витрат у порівнянні з існуючими конструкціями вагонів додатковий прибуток може скласти 8-18%.

Істотним резервом збільшення вантажопідйомності вагонів усіх типів є зниження маси їх тари. Зменшення маси тари на 20-30% дозволяє відповідно збільшити вантажопідйомність вагона. Цього можна досягти застосуванням: корисно попередньо напруженими і/або деформованими складових, листових та/або тарілчастих ресор, шарнірних елементів та композитного матеріалу (мультиматеріалу) при будівництві вагонів.

Маса тари  $T$  – власна маса порожнього вагону. Сума вантажопідйомності і маси тари дає масу вагона брутто. Конструкція вагона повинна мати мінімальну масу і необхідну міцність. Тому зниження маси тари – важливе завдання вагонобудування. Її рішення дозволяє зменшити експлуатаційні витрати, пов'язані з пересуванням вагонів, знизити витрати матеріалів на виготовлення вагонів і підвищити вантажопідйомність вагона в межах допустимої осьової навантаження. Зниження маси тари при одночасному підвищенні вантажопідйомності і надійності вагонів можна досягти шляхом зменшення динамічних сил, що діють на вагон, за рахунок впровадження мультифункціональних складових в їх конструкції.

Ефективність зниження маси вантажного вагона оцінюється технічним коефіцієнтом тари:

$$K_T = P / T, \quad (3.36)$$

Цей коефіцієнт характеризує якість конструкції вагона: чим менше  $K_T$ , тим менше власної маси вагона доводиться на кожен тону вантажу, а отже, менше витрати на перевезення вагона і вагон економічно вигідніше. Тому при проектуванні нових вагонів необхідно прагнути до зниження  $K_T$ .

Для здійснення вантажних залізничних перевезень насипних вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів, зокрема зерна, використовують вагони-хопери для перевезення зерна.

Згідно з довідкою «Укрзалізниці», на сьогоднішній день в Україні 22 347 вагонів - хоперів для перевезення зерна. Із загальної парку 11 476 вагонів на балансі «Укрзалізниці», 10 871 - вагони інших власників. Вагонний парк вагонів-хоперів для перевезення зерна АТ «Укрзалізниці» складається з наступних моделей зерновозів: 1 267 вагонів-зерновозів моделі 11-739 (особливість даного вагона - круглі люки для завантаження, в основному даний вагон відповідно до технічної документації має максимальну вантажопідйомність 65 тонн. Обсяг вагона 93 м<sup>3</sup>); 10200 вагонів-зерновозів моделі 19-752 (найпоширеніша модель зерновозу на «Укрзалізниці», дану модель можна вантажити до 70 тонн, але за деякими вагонів такої моделі існують обмеження по завантаженості до 65 тонн. Обсяг вагона 94 м<sup>3</sup>); 9 вагонів-хопер моделі 19-923-07 (раніше дані вагони використовували для перевезення мінеральних добрив. Вантажопідйомність 70 тонн, але обсяг в 81 м<sup>3</sup> не дозволяє вантажити зерном до 70 тонн через низьку натури зерна).

Відповідно до технічних параметрів даних моделей вагонів, їх нормативний термін експлуатації 30 років. На сьогодні середній вік вагона - хопера для перевезення зерна парку АТ «Укрзалізниці» становить 33,4 року. Будівництво їх відбувалося наведені в таблиці 3.9.

Із загальної парку вагонів-хоперів для перевезення зерна АТ «Укрзалізниці», за якими закінчено термін експлуатації, 678 вагонів вже не експлуатуються, середній вік даних вагонів 37,6 років. При цьому 86 %

зерновозів подолали позначку нормативного терміну експлуатації і повинні бути списані на даному підставі. Але в Україні існує порядок продовження терміну служби вантажних вагонів, за яким можна продовжити експлуатацію вагонів-хоперів для перевезення зерна максимум ще до 15 років після закінчення терміну експлуатації, але якщо вагон технічно придатний для цього. У сусідніх державах (Білорусь, Росія, Казахстан) положення про продовження терміну служби вагонів після закінчення терміну експлуатації скасували, вагони працюють до 30 років.

Таблиця 3.9 – Роки будівництва вагонів-хоперів для перевезення зерна парку АТ «Укрзалізниця»

| Рік випуску вагона | Кількість вагонів | Строк експлуатації, роки | Нормативний строк експлуатації |
|--------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 1991               | 11                | 28                       | 30                             |
| 1990               | 529               | 28,5                     | 30                             |
| 1989               | 1043              | 29,6                     | 30                             |
| 1988               | 964               | 30,7                     | 30                             |
| 1987               | 1244              | 31,5                     | 30                             |
| 1986               | 1358              | 32,6                     | 30                             |
| 1985               | 1470              | 33,4                     | 30                             |
| 1984               | 1640              | 34,6                     | 30                             |
| 1983               | 1333              | 35,6                     | 30                             |
| 1982               | 860               | 36,5                     | 30                             |
| 1981               | 276               | 37,7                     | 30                             |
| 1980               | 303               | 38,7                     | 30                             |
| 1979               | 285               | 39,6                     | 30                             |
| 1978               | 115               | 40,6                     | 30                             |
| 1977               | 38                | 41,6                     | 30                             |
| 1976               | 7                 | 42,4                     | 30                             |

Якби в Україні взяли приклад держав-сусідів і заборонили б використовувати вагони довше нормативного терміну їх експлуатації, то у на

сьогоднішній день залишилося б лише 14%, або 1583 зерновозів з усього парку АТ «Укрзалізниці».

Вагони, які відпрацювали нормативний термін експлуатації і які продовжують експлуатувати, це об'єкт підвищеної небезпеки. З огляду на вік і технічний стан вагонів, в АТ «Укрзалізниці» є певний термін кінцевої дати експлуатації кожного вагона. Зведена інформація представлена в таблиці 3.10

Таблиця 3.10 – Зведена інформація термінів кінцевої дати експлуатації вагонів-хоперів для перевезення зерна парку АТ «Укрзалізниця»

| Кількість вагонів | Рік                        | Буде списано                    |
|-------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 10 798            | 2019                       | 2 001                           |
| 8 797             | 2020                       | 2 109                           |
| 6 688             | 2021                       | 537                             |
| 6 151             | 2022                       | 922                             |
| 5 229             | 2023                       | 1 971                           |
| 3 258             | 2024                       | 648                             |
| 2 610             | Дата списання не визначена | Кількість списання не визначено |

Вагонне господарство – одне з найважливіших підрозділів матеріально-технічної бази залізничного транспорту. Рівень технічного оснащення вагонного господарства, використання вагонного парку та інших технічних засобів має суттєвий вплив на економічні, фінансові та соціальні показники роботи залізниці та транспортного обслуговування.

Удосконалення конструкції критого вагона-хопера для перевезення зерна призведе до поліпшення його техніко-експлуатаційних характеристик, а саме: збільшують надійність і довговічність вагонів, зменшують їх масу, габаритні розміри і споживану ними потужність. Зрозуміло, що впровадження нових конструкцій, як правило, впливає на величину експлуатаційних витрат. Оскільки показник ефективності визначають як

порівняльну величину, то при розрахунку коефіцієнта економічної ефективності впровадження нової техніки необхідно розраховувати у споживача до і після її впровадження за тими складовими, котрі змінюються у результаті впровадження в експлуатацію. Всі інші параметри, що не змінилися порівняно з аналогом, не вплинуть на витрати експлуатації і тому ефект від них дорівнюватиме 0.

Питання про доцільність створення й використання вагонів удосконалених конструкцій обґрунтовується на основі розрахунку економічного ефекту, обумовленого на річний об'єм виробництва удосконалених вагонів. Річний економічний ефект від впровадження нової техніки, винаходів і раціоналізаторських пропозицій являє собою сумарну економію всіх видів виробничих ресурсів (людської праці, матеріалів, капітальних вкладень), що одержується в результаті виробництва й експлуатації нової техніки.

Перевагами зазначеного технічного рішення, що заявляється, є:

- ✓ покращення показників динаміки та міцності вагона-хопера для перевезення зерна;
- ✓ зменшення маси матеріалу для виготовлення вагона-хопера для перевезення зерна;
- ✓ спрощення технологічного процесу виготовлення вагона-хопера для перевезення зерна;
- ✓ збільшення вантажопідйомності, та строку служби вагона.

Критерієм ефективності удосконалення конструкції критого вагона-хопера для перевезення зерна є очікуваний економічний ефект. Він визначається за формулою:

$$E = E_p - E_n * K_n \quad (3.37)$$

де:

- $E_p$  - річна економія;

- $E_n$  - нормативний коефіцієнт ( $E_n = 0.15$ );
- $K_p$  - капітальні витрати на удосконалення конструкції вагону.

Річна економія  $E_p$  складається з економії експлуатаційних витрат від впровадження удосконаленої конструкції критого вагона-хопера для перевезення зерна . Таким чином, отримуємо:

$$E_p = (P_1 - P_2) + \Delta P_p, (1) \quad (3.38)$$

де:

- $P_1$  і  $P_2$  - відповідно експлуатаційні витрати до і після впровадження удосконаленої конструкції;
- $\Delta P_p$  - економія від зниження металоємності після впровадження удосконаленої конструкції вагону.

Враховуючи, що удосконалення конструкції вагонів не потребує додаткового устаткування та обладнання, можна стверджувати, що капітальні витрати на удосконалення конструкції вагону зводяться до нуля.

$$E_p = (900\,000 - 810\,000) + 25\,200 = 115\,200 \text{ грн. за рік}$$

$$E = 115\,200 - 0,15 * 0 = 115\,200 \text{ грн.}$$

Отже розрахунковий економічний ефект буде складати близько 115 тисяч гривень на рік.

### Висновки до розділу 3

1. Розроблений практичний концепт реалізації мультифункціонального підходу спрямований на створення рівноміщнісного конструктиву вантажного вагону. Його комплексний розрахунок (на основі порівняння з сучасним базовим аналогом) дозволив встановити, що показники міцності та втомної міцності покращується на 10-25%. Слід зазначити, що створення такого конструктиву було орієнтовано на сучасні вітчизняні вагонобудівні виробничі можливості, проте існуючий потенціал впровадження мультифункціональних складових в вагонній конструкції дозволить поліпшити їх техніко-економічні та експлуатаційні характеристики більше ніж на 60 %.

2. Впровадження представлених мультиматеріальних концептуальних виконань вагонних конструкцій дозволить суттєво покращити їх характеристики. Зокрема досягти зниження їх тари на 2/3 з відповідним підвищенням вантажопідйомності, збільшити корозійну стійкість більше ніж в 2 рази та відповідно термін експлуатації. При цьому особливої актуальності набувають питання щодо можливості вторинного використання відповідних матеріалів.

3. Запропоновані концептуальні мультифункціональні рішення щодо удосконалення конструкцій вантажних вагонів доцільно використовувати при їх виготовляннях та модернізаціях. З урахуванням того, що вагон є зручним прикладом для вирішення відповідних загальнотранспортних науково-технічних проблем (тому що він взаємодіє з іншими видами транспорту за рахунок їх інтеперабельності та інтермодальності), можна стверджувати, що отримані наукові напрацювання будуть корисними і для вирішення подібних завдань для інших засобів транспортного машинобудування.

4. Розрахунковий економічний ефект від практичного впровадження запропонованих мультифункціональних технічних рішень в вагонній конструкції з буде складати близько 115 тисяч гривень на рік.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено актуальне та важливе наукове завдання – науково обґрунтовано доцільність розроблення та впровадження мультифункціональних складових в конструкції вантажних вагонів для поліпшення їх техніко-економічних та експлуатаційних показників на основі створення та використання в їх структурно-параметричних виконаннях інноваційних принципів функціонування за умов забезпечення безпеки руху.

За отриманими результатами дисертаційних досліджень сформульовано висновки, основні з яких наведено нижче.

1. Конструктивний аналіз існуючих несівних систем відкритих та критих вантажних вагонів, вагонів-цистерн дозволив визначити їх складові, які доцільно удосконалювати за допомогою мультифункціонального підходу. Зокрема до таких складових віднесено: основні та допоміжні елементи рам і каркасів модулів вагонів; обв'язування верхні та нижні стін бокових і торцевих, їх вертикальні стійки, розкоси та горизонтальні пояса; силові елементи дахів; а також відповідні вузли обпирання та взаємодії.

2. Розроблена блочно-ієрархічна схема потенційних складових для впровадження мультифункціональних елементів в несівні системи вагонів включає 4 ієрархічні рівня. При цьому перший рівень сформований 6 модулями, на другому ієрархічному рівні розміщено 12 складових і на заключному третьому рівні виділено 6 базових елементів. Практичне застосування такого описання дозволяє ефективно знаходити мультифункціональні рішення для всіх несівних чи огорожувальних вагонних складових.

3. Розроблені структурно-графічні функціональні описи конструктивів вантажних вагонів дозволили відшукати ефективні концептуальні рішення щодо створення їх складових шляхом об'єднання, перерозподілу та зміни функцій. Зокрема дозволили виділи наступні концептуальні напрямки створення мультифункціональних складових:



пружно-дисипативний, нежорсткий шарнірний, мультиматеріальний, корисно попередньо-напружений і / або деформований.

4. Наведені теоретичні аспекти впровадження мультифункціональних складових в конструкції вантажних вагонів створюють вичерпні науково обґрунтовані передумови стосовно їх практичної реалізації. Вони включають визначені шляхи реалізації принципів мультифункціональності та описання особливостей їх реалізацій.

5. Використання розробленого узагальнюючого універсального математичного запису процедури реалізації корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану в складові вагонних конструкцій дозволить визначати оптимальні характеристики для відповідних елементів. Розроблені корисні попередньо-напружені і / або деформовані складові будуть корисними для впровадження в вагонні конструктиви з метою протидії експлуатаційним навантаженням, а також дозволять оперативно адаптуватися до різних режимів функціонування. Наприклад, адаптація конструкцій до завантажувального або порожнього режимів експлуатації, різних типів вантажів.

6. Розробленні пружно-дисипативні концепти складових вантажних вагонів є доцільними для впровадження. Їх практична реалізація дозволить суттєво зменшити, а подекуди і виключити негативне накопичення втомлюваних напружень. Зазначене досягається за рахунок втілення в несівні елементи функцій пружності та дисипації. До того ж відповідні елементи будуть характеризуватися кращими діагностичними характеристиками.

7. Запропоновані та представлені нежорсткі шарнірні виконання вагонних складових доцільні для впровадження в їх вузли з'єднання, а також в довгобазні складові. Такі впровадження характеризуватимуться кращими показниками механіки руйнування та відповідно збільшуватимуть строк їх експлуатації.

8. Розроблений практичний концепт реалізації мультифункціонального підходу спрямований на створення рівноміцнісного конструктиву вантажного вагону. Його комплексний розрахунок (на основі

порівняння з сучасним базовим аналогом) дозволив встановити, що показники міцності та втомної міцності покращується на 10-25%. Слід зазначити, що створення такого конструктиву було орієнтовано на сучасні вітчизняні вагобудівні виробничі можливості, проте існуючий потенціал впровадження мультифункціональних складових в вагоній конструкції дозволить поліпшити їх техніко-економічні та експлуатаційні характеристики більше ніж на 60 %.

9. Впровадження представлених мультиматеріальних концептуальних виконань вагонних конструкцій дозволить суттєво покращити їх характеристики. Зокрема досягти зниження їх тари на 2/3 з відповідним підвищенням вантажопідйомності, збільшити корозійну стійкість більше ніж в 2 рази та відповідно термін експлуатації. При цьому особливої актуальності набувають питання щодо можливості вторинного використання відповідних матеріалів.

10. Запропоновані концептуальні мультифункціональні рішення щодо удосконалення конструкцій вантажних вагонів доцільно використовувати при їх виготовляннях та модернізаціях. З урахуванням того, що вагон є зручним прикладом для вирішення відповідних загальнотранспортних науково-технічних проблем (тому що він взаємодіє з іншими видами транспорту за рахунок їх інтеперабельності та інтермодальності), можна стверджувати, що отримані наукові напрацювання будуть корисними і для вирішення подібних завдань для інших засобів транспортного машинобудування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Code UIC 430-4 OR. Wagons. Circulation entre des réseaux à écartement de 1435 mm et des réseaux à écartement de 1520 mm. Prescriptions techniques et conditions d'homologation. 1<sup>re</sup> édition, Mai 2004.
2. Code UIC 430-5 O – Regulations for the exchange and use of new generation freight wagons between railways with gauges of 1435 mm and 1520 mm; 1st edition, November 2003.
3. Code UIC 505 - 1 OR. Railway transport stock - Rolling stock construction gauge.
4. Code UIC 510-3 O. Wagons - Essais de résistance au banc des bogies à 2 essieux et 3 essieux. 1<sup>re</sup> édition du 01.01.89 - Nouveauté tirage du 01.07.94.
5. Code UIC 535-2 O - Standardisation and positioning of steps, end platforms, gangways, handrails, tow hooks, automatic coupler and brake valve controls on wagons in connection with the fitting of the automatic coupler of the UIC Member Railways and OSJD Member Railways 3<sup>rd</sup> edition of 1.1.78 and 7 Amendments.
6. Code UIC 577 OR Wagon stresses\* 105 3<sup>rd</sup> edition, May 2004.
7. Code UIC 581 OR. Wagons – Lifting – Rerailing. 1<sup>st</sup> edition of 1.1.83 and 1 Amendment.
8. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie / Myamlin S., Lingaitis L. P., Dailydka S., Vaičiūnas G., Bogdevičius M., Bureika G. // TRANSPORT. 2015. Vol. 30, Issue 1. P. 88–92. doi: <https://doi.org/10.3846/16484142.2015.1020565>
9. Dynamics of railway freight vehicles / Iwnicki S. D., Stichel S., Orlova A., Hecht M. // Vehicle System Dynamics. 2015. Vol. 53, Issue 7. P. 995–1033. doi: <https://doi.org/10.1080/00423114.2015.1037773>
10. EN 12663–2. Railway applications - structural requirements of railway vehicle bodies – Part 2: Freight wagons. B., 2010. 54 c.

11. European Standard 14363. Railway applications – Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles – Testing of running behaviour and stationary tests. – June 2005. – 113 p.

12. Fomin, Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, and Vladimir Hauser. "Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry." *Communications-Scientific letters of the University of Zilina* 21, no. 1 (2019): 28-34. <https://doi.org/10.26552/com.C.2019.1.28-34>

13. Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Alyona Lovskaya, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina and Vladimir Hauser Research of the strength of the bearing structure of the flat wagon body from round pipes during transportation on the railway ferry// *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 235. 00003 (DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823500003>)

14. Płaczek M., Wróbel A., Buchacz A. A concept of technology for freight wagons modernization // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 161. P. 012107. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/161/1/012107>

15. Raffaele Sepe, Angela Pozzi. Static and modal numerical analyses for the roof structure of a railway freight refrigerated car // R. Sepe et alii, *Frattura ed Integrità Strutturale*. 2015, Vol. 33. P. 451 – 462. doi: 10.3221/IGF-ESIS.33.50

16. Sensitivity analysis to assess the influence of the inertial properties of railway vehicle bodies on the vehicle's dynamic behaviour / Suarez B., Felez J., Maroto J., Rodriguez P. // *Vehicle System Dynamics*. 2013. Vol. 51, Issue 2. P. 251–279. doi: <https://doi.org/10.1080/00423114.2012.725851>

17. UIC Code 518. Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour. Safety – Track fatigue – Ride quality. – International Union of Railways. – September 2009. – 119 p.

18. UIC Code 519. Method for determining the equivalent conicity. – 1st edition, 2004.

19. Авторское свидетельство СССР №317556, МКИ В60 В9/12. Колесо для рельсового экипажа / А.Л. Голубенко, А.Н. Коняев, Н.М. Найш; Ворошиловградский машиностроительный институт, 1981.
20. Авторское свидетельство СССР. МКИ В60 В9/12. Упругое колесо для рельсового экипажа / А.Л. Голубенко, В.П. Ткаченко, Н.М. Крамарь, А.С. Филонов; Ворошиловградский машиностроительный институт. – Приоритет 15.06.1983.
21. Азовський, А. П. Вагоны. Основы конструирования и экспертизы технических решений: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта [Текст] / А. П. Азовский, Е. В. Александров, В. В. Кобищанов, В. Н. Котуранов и др. – М.: Маршрут, 2005. – 490 с.
22. Александров, А. В. Строительная механика. Тонкостенные пространственные си-стемы / В. А. Александров, Б. Я. Лашеников, Н. Н. Шапошников ; под ред. А.Ф.Смирнова ; М. : Стройиздат, 1983. – 488 с .
23. Альтшуллер Г.С., Злотин Б.Л., Зусман А.В., Филатов В.И. Поиск новых идей: от озарения к технологии. Кишинев. Картя Молдовеняскэ. 1989г.
24. Альтшуллер Г.С.. Найти идею. Новосибирск. Наука СО. 1986 г.
25. Алямовский А. А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks. Москва, 2010. 785 с.
26. Беленя Е.И. Предварительно-напряженные металлические листовые конструкции / Е.И. Беленя, С.М. Астряб, Э.Б. Рамазанов. – М.: Стройиздат, 1979
27. Богомаз, Г. И., Мехов, Д. Д., Пилипченко, О. П., Черномашенцева, Ю. Г. Нагруженность контейнеров-цистерн, расположенных на железнодорожной платформе, при ударах в автосцепку / Г. И. Богомаз, Д. Д. Мехов, О. П. Пилипченко, Ю. Г. Черномашенцева // Зб. наук. праць “Динаміка та керування рухом механічних систем” – Київ: АНУ, Інститут технічної механіки. 1992. – С. 87-95.
28. Большая энциклопедия транспорта: В 8 т. Т. 4. Железнодорожный транспорт/ Главный редактор Н. С. Конарев.- М.: Большая Российская энциклопедия, 2003.- с:542

29. Большой энциклопедический словарь, М., БЭС, 1987.
30. Быков, Б.В. Конструкция механической части вагонов / Б. В. Быков, В. Ф. Куликов: учеб. Пособие [Текст]. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016. – 247 с.
31. Быков В.П. Методическое обеспечение САПР в машиностроении. Д.: Машиностроение, 1989.-243 с.
32. Васильев С.Г. Нагруженность боковой рамы и полиуретановых упругих комплектов при введении в трех-элементную тележку буксовой ступени подвешивания: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.07. – С-Пб.: ПГУПС. – 234 с.
33. Вишнепольская С.В., Злотин Б.Л.. Использование ресурсов при поиске новых технических решений. Кишинев, 1986г.
34. Влияние параметров буксовых адаптеров для тележки типа 18-100 на показатели износа бандажей колесных пар и устойчивость движения грузовых вагонов /Ковалев Р.Г., Котов С.В., Симонов В.А., Погорелов Д.Ю. // Вестник БГТУ. - №1 (1), 2004. - С. 147-155.
35. Возможные пути унификации тележек грузовых вагонов, их узлов и деталей на пространстве колеи 1520 мм /Бороненко Ю.П., ОрловаА.М. //Техника железных дорог. - №3 (11), 2010. – С. 56 – 59.
36. Войнов, К.Н. Надежность вагонов [Текст]/К.Н. Войнов. – М.: Транспорт, 1989. – 110 с.
37. 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 СХУ ім. В. Даля № 1 (218) Ч. 1. Вид-во СХУ ім. В. Даля м. Северодонецьк, 2015 – С. 200 - 203.
38. Горбунов Н.И. К вопросу создания тележки грузового вагона/ С.Д. Мокроусов, Е.С. Ноженко, Е.А. Кравченко, С.В. Кара // Вісник СХУ ім. В. Даля № 18 (207) Ч. 1. Вид-во СХУ ім. В. Даля м. Луганськ, 2013 – С. 87- 93.
39. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и

динамическим качествам. Москва, 2016. 54 с.

40. Грузовые вагоны: Ч.1 (полувагоны и крытые вагоны): Учебное пособие на проведение лабораторной работы/ М.И. Харитонов, В.Н. Панкин. – Хабаровск: Изд – во ДВГУПС, 2003

41. Дарков, А. В. Строительная механика : учеб. для вузов / А. В. Дарков, Н. Н. Ша-пошников. – М. : Высш. шк., 1986. – 607 с.

42. Демин Р. О разрушении рам тележек грузовых вагонов / Р.Демин // Магистраль - №12 (1698), 22 – 28 лютого 2012. – С. 4.

43. Державна служба статистики України [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>

44. Довгаль, Е. А. Подвижной состав железных дорог. В 2 ч. Ч.1. Грузовые вагоны : учебно-методическое пособие [Текст] / Е. А. Довгаль, Е. А. Копотун, Б. Е. Копотун, Т. В. Наноян / под ред. А. Е. Довгаля; ФГБОУ ВПО РГУПС. – Ростов н/Д, 2012. – 96 с.

45. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 162 с.

46. Дьомін Ю. В., Черняк Г. Ю. Основи динаміки вагонів: навч. посіб. Київ: КУЕТТ, 2003. 269 с.

47. Дьяконов В. МАТНСАD 8/2000: специальный справочник. СПб.: Питер, 2000. 592 с.

48. Железнодорожный транспорт: Энциклопедия / Гл. ред. Н.С. Коначев. -М.:БРЭ, 1994.-553 с.

49. Законодавство України. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року[Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80>(дата звернення 20.11.2018). – Назва з екрана.

50. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в теории сооружений и механических сплошных сред / О.К. Зенкевич, И. Чанг. М.: Недра, 1974. 233 с.

51. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике / О.К. Зенкевич М.: Мир, 1975. 541 с.
52. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України ЦП-0269.
53. Камаев В. А. Сравнение различных алгоритмов оптимизации параметров рессорного подвешивания железнодорожных экипажей // Вопросы транспортного машиностроения. Тула: Тул. политехи, ин-т, 1997.-С. 84-95.
54. Кара С.В. Підвищення міцності та покращення показників динаміки елементів ходової частини вантажних вагонів шляхом конструктивного вдосконалення: Дис. канд. техн. наук / С.В. Кара. – Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2018. – 146 с.
55. Карпов Б.М. Некоторые вопросы методики выбора оптимальных параметров грузовых вагонов. -М.: Транспорт, 1972. -с 20-26.
56. Кирьянов Д. В. Mathcad 13. СПб.: БХВ. Петербург, 2006. 608 с.
57. Кобищанов В.В., Лозбинов В.П. Строительная механика вагонов. Брянск. БГТУ. 2009г. 168с.
58. Конструирование и расчет вагонов: учеб. Для вузов ж.-д. трансп. [Текст] / [Лукин В. В., Шадур Л. А., Котуранов В. Н. и др.; под общ. ред. Анисимова П. С.]. — М: УМК МПС России, 2011. — 688 с.
59. Конюхов А. В. Основы анализа конструкций в ANSYS: Учебное пособие. – Казань: КГУ, 2001. — 102 с.
60. Котуранов В.Н. Нагруженность элементов конструкции вагонов: учебник для вузов / В.Н. Котуранов, В.Д. Хусидов и др. М.: Транспорт, 1991.
61. Котуранов В.Н. Строительная механика и надёжность вагонов: учеб. пособие / В.Н. Котуранов, А.И. Быков, О.К. Буренков. М.: МИИТ, 1988.-99 с.
62. Кочнов А.Д., Черкашин Ю.М. Методы расчета показателей надежности элементов конструкции вагона при постепенных отказах / Современные методы расчета вагонов на прочность, надежность и



устойчивость. Сб. науч. тр. ВНИИЖТ/ Под ред. С.В. Вершинского, М.: Транспорт, 1986. – С. 87-98.

63. Лазарян В. А. Динамика вагонов: Устойчивость движения и колебания. / В. А. Лазарян. – М.: Машиностроение. – 1964. – 256 с.

64. Лазарян В. А. К вопросу проектирования продольного профиля железных дорог / В. А. Лазарян, Е. П. Блохин. // Исследование колебаний подвижного состава. – Днепропетровск. – 1977. – С. 71-73.

65. Лазарян В. А. О математическом моделировании движения поезда по переломам продольного профиля пути / В. А. Лазарян, Е. П. Блохин // Совершенствование норм проектирования. Труды Московского института инженеров железнодорожного транспорта – 1974. – Вып. 444. – С. 83-123.

66. Лазарян В.А. Динамика транспортных средств: Избранные труды. К.: Наукова думка, 1985. - 528 с.

67. Лазарян В.А. Исследование неустановившихся режимов движения поездов. -М.: Трансжелдориздат. 1949. – 135 с.

68. Лазарян В.А. О математическом моделировании движения поезда по переломам продольного профиля пути / В.А. Лазарян, Е.П. Блохин // Совершенствование норм проектирования. – М.: МИИТ, 1974. – Вып. 444. – С. 83-123.

69. Лазарян В.А. Обобщенные функции в задачах механики / В.А. Лазарян, С.И. Конашенко. – Киев: Наук. думка, 1974. – 191 с.

70. Лукин В. В. Вагоны. Общий курс: Учебник для вузов ж.-д. трансп./ Лукин В. В., Анисимов П.С., Федосеев., под ред. В.В. Лукина. –М.: Маршрут. 2004. – 424 с.

71. Лукин В.В. Конструирование и расчет вагонов [Текст] / В.В. Лукин, Л.А. Шадур, В.И. Котуранов, А.А. Хохлов, П.С. Анисимов. – М.: УМК МПС России, 2000. – 731 с.

72. Лукин, В.В. Выбор рациональных параметров грузовых вагонов /учеб. пособие /В.В. Лукин. Омск: ОмИИТ, 1985. - 84 е., ил.

73. Мороз, В.І. Формалізоване описання конструкції кузовів сучасних залізничних напіввагонів / Мороз В.І., О.В. Фомін, Братченко О.В., Фомін В.В.// Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: збірник наукових праць. – Серія: «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – № 11(985). – С. 24-29.

74. Мямлин С.В. Выбор конструктивной схемы и параметров тележки грузовых вагонов для перспективных условий эксплуатации: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Мямлин Сергей Витальевич. – Днепропетровск, 1995. – 142 с.

75. Мямлин С.В. Методика моделирования пространственных колебаний железнодорожного экипажа / С.В. Мямлин // Залізничний транспорт України. – 2001. – № 2. – С. 2 – 5.

76. Мямлин С.В. Программа моделирования пространственных колебаний подвижного состава / С.В. Мямлин // Залізничний транспорт України. – 2000. – № 3. – С. 52 – 54.

77. Нагруженность элементов конструкции вагона / под ред. В.Н. Котуранова ; М. : Транспорт, 1991. – 238 с.

78. Некоторые результаты испытаний грузовых вагонов в условиях эксплуатации / Ю.В. Демин, В.А. Калашник, М.Л. Коротенко и др. -Труды ДИИТ, 1981. Вып.220/28. - с 34-40.

79. Никольский, Е.Н. Расчет несущих конструкций вагона по методу конечных элементов: Учебное пособие. – Брянск: БИТМ, 1982. – 99 с.

80. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). ВНИИВ-ВНИИЖТ. М., 1983.

81. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) и изменения и дополнения [Текст]. – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996 г. – 354 с.

82. Орлова А.М. Техничко-економическое обоснование применения комплексной модернизации ходовых частей грузовых вагонов с установкой износостойких элементов компании А.Стаки и АмстедРейл / А.М.Орлова,

В.С.Лесничий, Харитонов Б.В. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. - 2008. - Вип. 23. - С. 76-82.

83. Основные положения методики проведения ФСА. Методические указания. М., Информ-ФСА, 1991г.

84. Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов. М. Машиностроение, 1991г., под ред В.П.Мишина.

85. ОСТ 24.050.34-84 Проектирование и изготовление стальных сварных конструкций вагонов. Технические требования [Текст] / Министерство тяжелого и транспортного машиностроения. Москва. 1984 г.

86. ОСТ 32.153-2000 Металлопрокат для кузовов грузовых вагонов нового поколения. Технические требования.

87. Павлюков А.Э., Черепков О.В. Оценка влияния величин износа основных узлов грузовых вагонов на безо-пастность движения / А.Э. Павлюков, О.В. Черепков // Транспорт Урала. - №2 (37), 2013. – С. 20–27.

88. Памятка УИС/ОСЖД 430-4 ОР. Вагоны грузовые. Движение по сетям железных дорог с шириной колеи 1435 мм и 1520 мм. Технические условия и испытания на соответствие техническим условиям.

89. Памятка ОСЖД О+Р 516. Грузовые вагоны сообщения между железными дорогами колеи 1435 мм и железными дорогами колеи 1520 мм. Технические предписания и технические условия для допуска вагонов.

90. Памятка ОСЖД О+Р-500. Габариты подвижного состава и приближения строений. Варшава, 30 сентября - 4 октября 1996.

91. Памятка ОСЖД О+Р-535. Унификация и размещение ступенек, концевых площадок, переходных мостиков, поручней, канатных крюков и воздухозапорных кранов грузовых вагонов 20.11.1998.

92. Патент України на корисну модель № 142162 МПК (2020.01) В61D 3/00 В61D 3/18 (2006.01) 4-х вісний думпкар // Фомін О.В., Склярєнко І.Ю., Левченко О.В., Фоміна А.М., Прокопенко П.М. (Україна); власник:

Державний університет інфраструктури та технологій – № у 2019 07841; заявка 11.07.2019; публ. 25.05.2020, Бюл.№ 10

93. Патент України на корисну модель № 142163, МПК (2020.01) B61D 3/00 B61D 3/18 (2006.01) Універсальний критий вагон // Фомін О.В., Склярєнко І.Ю., Скок П.А., Фоміна А.М., Прокопенко П.М. (Україна); власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № у 2019 07842; заявка 26.03.2019 ; 25.05.2020, Бюл.№ 10

94. Патент України на корисну модель № 214487 МПК (2018.01) B61D 17/00 /Спосіб виготовлення зварювальної конструкції надп'ятника піввагона// Фомін О.В., Бурлуцький О.В., Логвіненко О.А., Горбунов М.І., Фоміна А.М. (Україна); власник: автори. – № а2017 10934; заявка 09.11.2017; публ. 10.04.2018, Бюл.№ 7.

95. Патент України на корисну модель № 129970, МПК (B61D 5/06 (2006.01)) Залізнична цистерна / Горбунов М.І., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Кара С.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № у201804499; заявка 24.04.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22/2018.

96. Патент України на корисну модель № 129971, МПК (B61D 5/06 (2006.01)) Залізнична цистерна / Горбунов М.І., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Кара С.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № у201804500; заявка 24.04.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22/2018.

97. Патент України на корисну модель № 129972, МПК (B61D 5/06 (2006.01)) Залізнична цистерна / Горбунов М.І., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Кара С.В., Фоміна А.М., Лебедев В.С. (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № у201804502; заявка 24.04.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22/2018.

98. Патент України на корисну модель № 130206, МПК (2018.01) B61D 17/00 (2018.01) B61D 3/00 Кришка люка універсального піввагона / Горбунов М.І., Кара С.В., Фомін О.В., Коваленко В.В., Ловська А.О., Фоміна А.М. (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № у 2018 06586; заявка 11.06.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22.

99. Патент України на корисну модель № 130207, МПК (2018.01) B61D 17/00 B61D 17/16 (2018.01) B61D 3/00 Кришка люка універсального піввагона / Горбунов М.І., Кара С.В., Фомін О.В., Коваленко В.В., Ловська А.О., Фоміна А.М. (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № у 2018 06587; заявка 11.06.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22.

100. Патент України на корисну модель № 130258, МПК (2018.01) B61D 3/00, Піввагон глуходонний // Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Цимбалюк А.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № у 2018 07212; заявка 26.06.2018 ; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22

101. Патент України на корисну модель № 131586, МПК (2006): B61D 7/00, B61D 17/00, Критий вагон-хопер для перевезення зерна // Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Цимбалюк А.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № у 2018 07208; заявка 26.06.2018; публ. 25.01.2019, Бюл.№ 2/2019

102. Патент України на корисну модель № 134401, МПК (2006), B61D 3/00, Піввагон глуходонний// Фомін О.В., Прокопенко П.М., Обуховський В.В., Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № у2018 12990; заявка 27.12.2018; публ. 10.05.2019, Бюл. № 9

103. Патент України на корисну модель № 134986, МПК (2006) B61D 7/00 B61D 17/00, Критий вагон-хопер для перевезення зерна // Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № у 201900306; заявка 11.01.2019; публ. 10.06.2019, Бюл. № 11

104. Патент України на корисну модель № 139756, МПК 5/06 (2006.01) Залізнична цистерна // Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № у 2019 00309; заявка 11.01.2019 ; публ. 27.01.2020, Бюл.№ 2.

105. Патент України на корисну модель №122862, МПК (2017.01) B21D 1/00 B61D 3/00 Спосіб термічної правки обв'язування верхнього піввагона // Фомін О.В., Горбунов М.І., Бурлуцький О.В., Логвіненко О.А.,

Фоміна А.М (Україна); власник: автори – № у 2017 08878; заявка 05.09.2017; публ. 25.01.2018, Бюл.№ 2

106. Патент України на корисну модель №131587, МПК (2016) B61D 7/00, B61F 1/14 (2006.01) Критий вагон-хопер для перевезення мінеральних добрив // Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Цимбалюк А.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № у 2018 07209; заявка 26.06.2018; публ. 25.01.2019, Бюл.№ 2/2019

107. Патент України на корисну модель №134983, МПК B61D 3/08 (2006.01) Універсальний вагон-платформа // Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № у 201900302; заявка 11.01.2019; публ. 10.06.2019, Бюл. № 11

108. Патент України на корисну модель №135562, МПК (2006): B61D 7/00, B61D 17/00, Критий вагон-хопер для перевезення мінеральних добрив // Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № у201900308; заявка 11.01.2019; публ. 10.07.2019, Бюл. № 13.

109. Перницкий С.И.. Многофункциональность. Направления исследований и некоторые способы реализации, ТРИЗ – Конференция – 2007, Россия.

110. Пигунов, В. В. Строительная механика вагонов / В. В. Пигунов, А. В. Пигунов. – Гомель, БелГУТ, 2013. – 203 с.

111. Пигунов, В. В. Строительная механика и несущая способность вагонов / В. В. Пигунов, А. В. Пигунов. – Гомель, БелГУТ, 2007. – 81 с.

112. Писаренко Г.С. та ін. Опір матеріалів: Підручник / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський; За ред. Г.С. Писаренка. – 2-ге вид., допов. і переробл. – К.: Вища шк., 2004. – 655 с.: іл.

113. Половинкин, А.И. Основы инженерного творчества [Текст]/ А.И. Половинкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368с.

114. Полувагон с глухим кузовом [Електроний ресурс]. Доступ. <http://ukbv.ru/ru/kontraagentam/documentation/vagons/1915-12-197-02>

115. Правила пользования вагонами в международном сообщении (ППВ). Приложение №1 к Договору о ППВ. Действует с 1 января 1956 года (переиздано с изменениями и дополнениями на 1 июня 2004 года).

116. Протокол наради під головуванням директора з технічної політики Укрзалізниці ЦЦТех №5/26 2015.

117. Разуметов Я.О. Повышение прочности боковых рам тележек грузовых вагонов: Дис. канд. техн. наук / Я.О. Разуметов. – Санкт-Петербург, 2014. – 145 с.

118. РД 24.050.37-95 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. - М.; 1995 г.

119. Сенько В.И. Анализ причин повреждения и возможности продления срока службы боковых рам тележек грузовых вагонов / В.И. Сенько, М.И.Пастухов, С.В. Макеев, И.Ф. Пастухов . – Гомель : Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. №4, 2010. – С. 13 – 18.

120. Совершенствование грузовых вагонов на железных дорогах США. Железные дороги мира. 2001. - №1. - С. 15-16.

121. Соколов М.М. Динамическая нагруженность вагона / Соколов М.М., Хусидов В.Д., Минкин Ю.Г. М.: Транспорт, 1981. 206 с.

122. Соколов С.И. Исследование динамики и прочности вагонов. [С.И. Соколов, В.В. Новарро, Г.Ф. Левенсон и др.] – М.: Машиностроение, 1976. – 224 с.

123. Специализированные грузовые вагоны // Железные дороги мира №2 февраль 2003.

124. Строительная механика. Стержневые системы / А. Ф. Смирнов [и др.] ; под ред. А.Ф.Смирнова ; М. : Стройиздат, 1981. – 512 с.

125. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. Москва, 2003г. Утверждены МПС России 27.05.2003 №ЦМ-943. - 408 с.

126. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. – М.: Наука, т.1,2, 1965.

127. Туранов Х.Т., Ситников С.А. Математическое моделирование сил, действующих на вагон при скатывании с горки / Х.Т. Туранов, С.А. Ситников. – Луганск : Вісник СЛУ ім. В.Даля. №12, Ч. 1, 2011. – С. 225 – 236.

128. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. – Нормативні акти Верховної Ради України [Електронний ресурс] : [Інтернет-портал]. – Електронні дані. – [Київ: офіційний веб-портал Верховної Ради України, 1994-2018]. – Режим доступу: [http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/984\\_011](http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/984_011)).

129. Устич П.А. Надежность рельсового нетягового подвижного состава / П.А. Устич, В.А. Карпыч, М.Н. Овечников. – М.: ИГ “Вариант”, 1999. – 415 с.

130. Фомин, А.В. Экспериментальная оценка показателей качества движения вагонов в составе поезда / А.В. Фомин, П.Н. Прокопенко, А.Н. Фомина // РЕСПУБЛИКАНСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МОЛОДЕЖЬ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ» (с международным участием, «Академия «Болашак», Казахстан, 2019

131. Фомін О.В. Контрольні випробування вантажного вагона з метою оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Бурлуцький О.В., Фоміна А.М. // «Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». Том 30 (69) Ч.2 № 3, 2019 – С.177-182 DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/31> (наукове фахове видання України)

132. Фомін О.В., Математичні моделі варіації характеристик п'ятен нагріву при термічній правці верхніх обв'язувань піввагонів // Фомін О.В., Бурлуцький О.В., Горбунов М.І., Логвіненко О.А., Фоміна А.М. // Логістичне управління та безпека руху на транспорті: Збірник наукових праць за матеріалами Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та



молодих вчених, Северодонецьк-Лиман, 5-7 жовтня 2017 року – Северодонецьк: вид-во Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2017. –С. 180 – 184

133. Фомін, О. В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів: монографія [Текст] / О. В. Фомін. – Київ: ДЕТУТ, 2014 – 299 с.

134. Фомін, О. В. Дослідження доцільності застосування круглих труб в якості елементів несучих систем залізничних вагонів-платформ [Текст] / О. В. Фомін, А. О. Ловська Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля (218), 2015. – С. 38-45.

135. Фомін, О.В. Експериментальне оцінювання показників якості руху вагона-платформи в умовах експлуатації / О.В. Фомін, П.М. Прокопенко , А.М. Фоміна // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології». – Київ: ДУІТ, 2018. – Вип. 32-33. – С. 135-146 (*наукове фахове видання України*)

136. Фомін, О.В. Ключові особливості методики проведення експлуатаційних динамічних випробувань легковагового вантажного вагона / Фомін О.В. , Горбунов М.І. , Прокопенко П.М., Фоміна А.М. // Тези LXXV-ої наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2019. – 298

137. Фомін, О.В. Теоретичне оцінювання залишкового ресурсу вагопвірного вагона / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Сова С.С., Фоміна А.М. // Транспортні технології та безпека дорожнього руху. Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції, Запоріжжя, 14–15 квітня 2020 р. [Електронний ресурс] / Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. С. 47-49

138. Фомін, О.В. Технічне оцінювання залишкової несівної здатності металоконструкцій напіввагона / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Фоміна А.М. // Транспортні системи та технології: проблеми та перспективи розвитку.

Тези доповідей Регіональної науково-практичної конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених, аспірантів і учнів 12 квітня 2019 року [Електронний ресурс] / – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019 – С.24–26.

139. Фомін, О.В. Удосконалення несучої конструкції вагона-хопера з метою конструктивної протидії виникненню пошкоджень / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Фоміна А.М., Омельченко В.О. // Вісник сертифікації залізничного транспорту, - м. Дніпро: ДП «ДОСЗТ», 2019. – № 02/54 (12/2019). – С. 5-16

140. Фомін, О.В., Ключові аспекти ідеології створення перспективних конструкцій рухомого складу / О.В. Фомін, М.І. Горбунов, А.М. Фоміна // Тези LXXIV-ої наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2018. – 298 с.

141. Фомін, О.В. Математичне моделювання процесу термічної правки балки хребтової вантажних вагонів-платформ / Фомін О.В., Логвіненко О.А., Бурлуцький О.В, Шелест Д.А., Фоміна А.М. // Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Сєверодонецьк: СНУ ім. В.Даля, 2019. – № 3(251) – С. 186-190 (наукове фахове видання України)

142. Цыган, Б.Г. Вагоностроительные конструкции. Изготовление, модернизация, ремонт: монография / Б.Г. Цыган, А.Б. Цыган. – Кременчуг: Издательство «Кременчуг», 2005. – 752 с.

## ДОДАТОК А

### АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА КОПІЇ ОТРИМАНИХ ПАТЕНТІВ

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Директору з наукової роботи  
Східноукраїнського національного  
університету імені  
Володимира Даля

О.Б. Целіщев

2021 р.



**АКТ**

**про впровадження результатів дисертаційної роботи  
в навчальний процес Східноукраїнського національного університету  
імені Володимира Даля**

Результати:

1. Розроблені математичні описання розробки та впровадження мультифункціональних складових вантажних вагонів;
2. Розроблені мультифункціональні концепти складових вантажних вагонів;

дисертаційної роботи «Удосконалення конструкцій вантажних вагонів шляхом розроблення їх мультифункціональних складових» виконаної Фоміною Анною Миколаївною впроваджено в навчальний процес кафедри «Залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин».

Вказані результати наукових та прикладних досліджень з впровадження інноваційних принципів функціонування, як основи мультифункціональних складових вантажних вагонів дозволять покращити їх техніко – економічні показники та суттєво зменшити обсяги негативного накопичення напружень, і як наслідок скоротити втомні пошкодження.

Результати створеного наукового обґрунтування удосконалення конструкцій вантажних вагонів шляхом розроблення їх мультифункціональних складових включені до курсів лекцій, практичних та лабораторних занять дисциплін: «Комп'ютерне забезпечення інженерної творчості», «Методологія інженерної діяльності та винахідництва на рухомому складі», «Методи наукових досліджень», «Організація і проведення експериментальних досліджень на залізничному транспорті». Окремі положення дисертації використовуються при виконанні курсових проектів та магістерських атестаційних робіт при навчанні студентів спеціальності 273 – «Залізничний транспорт».

Виконавець роботи  А.М. Фоміна

Завідувач кафедри, на якій впроваджено  
результати дисертаційної роботи  М.І. Горбунов

Директор ННІ ТіБ  С.В. Кузьменко

ЗАТВЕРДЖУЮ



Заступник директора філії  
«Панютинський завод» ДП «Укрзалізниця»  
вагоноремонтний

Шейко Р.А.

## АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи  
Фоміної Анни Миколаївни  
на тему: «Удосконалення конструкцій вантажних вагонів шляхом  
розроблення їх мультифункціональних складових»

Цим актом підтверджується, що на Філії «Панютинський вагоноремонтний завод» впроваджені результати комплексу науково-дослідних робіт проведених Фоміною Анною Миколаївною, які увійшли до її дисертації «УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ШЛЯХОМ РОЗРОБЛЕННЯ ЇХ МУЛЬТИФУНКЦІОНАЛЬНИХ СКЛАДОВИХ» представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Зокрема використовуються науково обгрунтовані рекомендації та пропозиції з розроблення та впровадження мультифункціональних складових вантажних вагонів з метою поліпшення їх техніко-економічних показників на основі створення та використання в їх конструкціях інноваційних принципів функціонування за умов забезпечення безпеки руху.

Впровадження інноваційних принципів функціонування як основи мультифункціональних складових вантажних вагонів дозволить покращити їх роботу по сприйняттю та перерозподілу експлуатаційних навантажень та суттєво зменшити обсяги негативного накопичення напружень, і як наслідок скоротити втомні пошкодження.

Практична розробка удосконалених конструкцій вантажних вагонів дозволить суттєво зміцнити позиції України на світових ринках вантажоперевезень та транспортного машинобудування, а також скоротити витрати на оновлення вітчизняного парку рухомого складу та собівартість залізничних перевезень.

Головний конструктор

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to the Chief Designer.

Капустін І.Л.

Головний технолог

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to the Chief Technologist.

Сидоренко К.В.

## ДОДАТОК Б

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

**Основні наукові результати дисертації опубліковані в наступних наукових працях:**

1. Fomin, Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, and Vladimir Hauser. "Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry." *Communications-Scientific letters of the University of Zilina* 21, no. 1 (2019): 28-34. <https://doi.org/10.26552/com.C.2019.1.28-34> (*періодичне іноземне (словацьке) наукове видання, яке проіндексоване у базі даних Scopus та віднесене до другого квартилю – Q 2*)
2. Фомін, О.В. Експериментальне оцінювання показників якості руху вагона-платформи в умовах експлуатації / О.В. Фомін, П.М. Прокопенко, А.М. Фоміна // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології». – Київ: ДУІТ, 2018. – Вип. 32-33. – С. 135-146 (*наукове фахове видання України*)
3. Фомін, О.В. Математичне моделювання процесу термічної правки балки хребтової вантажних вагонів-платформ / Фомін О.В., Логвіненко О.А., Бурлуцький О.В., Шелест Д.А., Фоміна А.М. // Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Сєверодонецьк: СНУ ім. В.Даля, 2019. – № 3(251) – С. 186-190 (*наукове фахове видання України*)
4. Фомін О.В. Контрольні випробування вантажного вагона з метою оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Бурлуцький О.В., Фоміна А.М. // «Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». Том 30 (69) Ч. 2 № 3, 2019 – С. 177-182 DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/31> (*наукове фахове видання України*)

### Наукові праці апробаційного характеру:

5. Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Alyona Lovskaya, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina and Vladimir Hauser Research of the strength of the bearing structure of the flat wagon body from round pipes during transportation on the railway ferry// MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 235. 00003 (DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823500003>) (матеріали міжнародної науково-практичної конференції, видання проіндексоване у базі даних Scopus).

6. Фомін О.В., Математичні моделі варіації характеристик пятен нагріву при термічній правці верхніх обв'язувань піввагонів // Фомін О.В., Бурлуцький О.В., Горбунов М.І., Логвіненко О.А., Фоміна А.М. // Логістичне управління та безпека руху на транспорті: Збірник наукових праць за матеріалами Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих вчених, Сєвєродонецьк-Лиман, 5-7 жовтня 2017 року – Сєвєродонецьк: вид-во Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2017. –С. 180 – 184

7. Фомін, О.В., Ключові аспекти ідеології створення перспективних конструкцій рухомого складу / О.В. Фомін, М.І. Горбунов, А.М. Фоміна // Тези LXXIV-ої наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2018. – 298 с.

8. Фомин, А.В. Экспериментальная оценка показателей качества движения вагонов в составе поезда / А.В. Фомин, П.Н. Прокопенко, А.Н. Фомина // РЕСПУБЛИКАНСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МОЛОДЕЖЬ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ» (с международным участием, «Академия «Болашак», Казахстан, 2019

9. Фомін, О.В. Технічне оцінювання залишкової несівної здатності металокопункцій напіввагона / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Фоміна А.М. // Транспортні системи та технології: проблеми та перспективи розвитку. Тези доповідей Регіональної науково-практичної конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених, аспірантів і учнів 12 квітня 2019 року [Електронний ресурс] / – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019 – С.24–26.

10. Фомін, О.В. Ключові особливості методики проведення експлуатаційних динамічних випробувань легковагового вантажного вагона / Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Фоміна А.М. // Тези LXXV-ої наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2019. – 298

11. Фомін, О.В. Теоретичне оцінювання залишкового ресурсу вагопвірного вагона / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Сова С.С., Фоміна А.М. // Транспортні технології та безпека дорожнього руху. Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції, Запоріжжя, 14–15 квітня 2020 р. [Електронний ресурс] / Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. С. 47-49

**Додатково відображають наукові результати дисертації:**

12. Фомін, О.В. Удосконалення несучої конструкції вагона-хопера з метою конструктивної протидії виникненню пошкоджень / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Фоміна А.М., Омельченко В.О. // Вісник сертифікації залізничного транспорту, - м. Дніпро: ДП «ДОСЗТ», 2019. – № 02/54 (12/2019). – С. 5-16

13. Патент України на корисну модель № 129970, МПК (B61D 5/06 (2006.01)) Залізнична цистерна / Горбунов М.І., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Кара С.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № u201804499; заявка 24.04.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22/2018.

14. Патент України на корисну модель № 129971, МПК (B61D 5/06 (2006.01)) Залізнична цистерна / Горбунов М.І., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Кара С.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № u201804500; заявка 24.04.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22/2018.

15. Патент України на корисну модель № 129972, МПК (B61D 5/06 (2006.01)) Залізнична цистерна / Горбунов М.І., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Кара С.В., Фоміна А.М., Лебедєв В.С. (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № u201804502; заявка 24.04.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22/2018.

16. Патент України на корисну модель №122862, МПК (2017.01) B21D 1/00 B61D 3/00 Спосіб термічної правки обв'язування верхнього піввагона // Фомін О.В., Горбунов М.І., Бурлуцький О.В., Логвіненко О.А., Фоміна А.М

(Україна); власник: автори – № у 2017 08878; заявка 05.09.2017; публ. 25.01.2018, Бюл.№ 2

17. Патент України на корисну модель № 214487 МПК (2018.01) B61D 17/00 /Спосіб виготовлення зварювальної конструкції надп'ятника піввагона// Фомін О.В., Бурлуцький О.В., Логвіненко О.А., Горбунов М.І., Фоміна А.М. (Україна); власник: автори. – № а2017 10934; заявка 09.11.2017; публ. 10.04.2018, Бюл.№ 7.

18. Патент України на корисну модель № 130206, МПК (2018.01) B61D 17/00 (2018.01) B61D 3/00 Кришка люка універсального піввагона / Горбунов М.І., Кара С.В., Фомін О.В., Коваленко В.В., Ловська А.О., Фоміна А.М. (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № у 2018 06586; заявка 11.06.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22.

19. Патент України на корисну модель № 130207, МПК (2018.01) B61D 17/00 B61D 17/16 (2018.01) B61D 3/00 Кришка люка універсального піввагона / Горбунов М.І., Кара С.В., Фомін О.В., Коваленко В.В., Ловська А.О., Фоміна А.М. (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № у 2018 06587; заявка 11.06.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22.

20. Патент України на корисну модель № 130258, МПК (2018.01) B61D 3/00, Піввагон глуходонний // Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Цимбалюк А.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № у 2018 07212; заявка 26.06.2018 ; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22

21. Патент України на корисну модель № 131586, МПК (2006): B61D 7/00, B61D 17/00, Критий вагон-хопер для перевезення зерна // Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Цимбалюк А.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № у 2018 07208; заявка 26.06.2018; публ. 25.01.2019, Бюл.№ 2/2019

22. Патент України на корисну модель №131587, МПК (2016) B61D 7/00, B61F 1/14 (2006.01) Критий вагон-хопер для перевезення мінеральних добрив // Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Цимбалюк А.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № у 2018 07209; заявка 26.06.2018; публ. 25.01.2019, Бюл.№ 2/2019

23. Патент України на корисну модель № 134401, МПК (2006), B61D 3/00, Піввагон глуходонний// Фомін О.В., Прокопенко П.М., Обуховський



В.В., Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u2018 12990; заявка 27.12.2018; публ. 10.05.2019, Бюл. № 9

24. Патент України на корисну модель №134983, МПК В61D 3/08 (2006.01) Універсальний вагон-платформа // Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u 201900302; заявка 11.01.2019; публ. 10.06.2019, Бюл. № 11

25. Патент України на корисну модель № 134986, МПК (2006) В61D 7/00 В61D 17/00, Критий вагон-хопер для перевезення зерна // Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u 201900306; заявка 11.01.2019; публ. 10.06.2019, Бюл. № 11

26. Патент України на корисну модель №135562, МПК (2006): В61D 7/00, В61D 17/00, Критий вагон-хопер для перевезення мінеральних добрив // Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u201900308; заявка 11.01.2019; публ. 10.07.2019, Бюл. № 13.

27. Патент України на корисну модель № 139756, МПК 5/06 (2006.01) Залізнична цистерна // Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u 2019 00309; заявка 11.01.2019 ; публ. 27.01.2020, Бюл.№ 2.

28. Патент України на корисну модель № 142162 МПК (2020.01) В61D 3/00 В61D 3/18 (2006.01) 4-х вісний думпкар // Фомін О.В., Скляренко І.Ю., Левченко О.В., Фоміна А.М., Прокопенко П.М. (Україна); власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № u 2019 07841; заявка 11.07.2019; публ. 25.05.2020, Бюл.№ 10

29. Патент України на корисну модель № 142163, МПК (2020.01) В61D 3/00 В61D 3/18 (2006.01) Універсальний критий вагон // Фомін О.В., Скляренко І.Ю., Скок П.А., Фоміна А.М., Прокопенко П.М. (Україна); власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № u 2019 07842; заявка 26.03.2019 ; 25.05.2020, Бюл.№ 10