

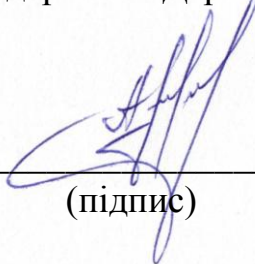
РЕФЕРАТ

роботи на здобуття щорічної премії

Президента України для молодих вчених:

«ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ»

Претендент: **Фомін Олексій Вікторович** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій.



(підпис)

Актуальність теми роботи. В сучасних умовах господарювання, конкуренції зі сторін інших видів транспорту та закордонних залізничних компаній перед вітчизняними залізницями гостро стоїть проблема постійного поліпшення техніко-економічних показників їх рухомого складу, переважна більшість якого приходить на вантажний вагонний парк.

Поліпшення техніко-економічних показників вантажних вагонів пов'язане з науковим обґрунтуванням раціональності конструктивних рішень. При цьому постає протиріччя між розробниками, виробниками, експлуатаційними та ремонтно-обслуговуючими організаціями у їх вимогах до конструкцій вагонів.

Практичні дії в зазначеному напрямку ускладнюються тим, що вантажні вагони, як технічна система характеризуються високим ступенем складності, оскільки об'єднують в якості функціональних елементів нижчі за конструктивною ієрархією технічні системи (модулі: кузова, ходової частини, автозчепного устаткування та гальмового обладнання) та їх підсистеми, які відповідним чином розміщені та зв'язані між собою у просторі і функціонують в реальному часі. Результати аналізу передових розробок суміжних галузей вказують на те, що врахування зазначених конструктивних особливостей вантажних вагонів при їх дослідженнях чи проектуванні в повному обсязі можливо лише при наявності відповідних формалізованих моделей. Проте аналіз світових інформаційних джерел з досліджуваних питань засвідчив недосконалість відповідних розробок.

Аналіз сучасних світових тенденцій створення нових моделей вантажних вагонів засвідчив, що в процесі їх синтезу використовуються аналогові підходи проектування, тобто застосовуються традиційні структурні та функціональні схеми, іде орієнтація на класичні вагонні профілі. При цьому і перше, і друге було розроблено згідно з вимогами середини-кінця минулого сторіччя. Вищевказані фактори стримують процес створення вискоелективних вантажних вагонів нового покоління та обґрунтовують важливість і актуальність розроблення концептуально нової теоретичної основи для їх проектування.

Вищевказане підтверджує, що розроблення інноваційних науково-практичних рішень для поліпшення техніко-економічних показників вантажних

вагонів є актуальною та важливою науково-прикладною проблемою, результати розв'язання якої мають важливе значення для залізничного транспорту України та інших країн світу

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у відповідності з Законом України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» Статтею 4. Стратегічні пріоритетні напрями інноваційної діяльності на 2011-2021 роки; Транспортною стратегією України на період до 2020 року, затвердженою на засіданні Кабінету Міністрів України 20 жовтня 2010 року; Стратегією розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року № 1555-р; Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки, затвердженою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2008 року № 1259.

Тема роботи повною мірою відповідає пріоритетним напрямкам досліджень ініціативи Shift2Rail, що входить до рамкової програми Європейського Союзу з досліджень та інновацій Horizon 2020.

Дослідження за темою роботи виконувалися в рамках госпдоговірних та держбюджетних науково-дослідних робіт: «Удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» з метою поліпшення їх техніко-економічних показників» (№ ДР 0109U001186); «Удосконалення конструкції рами та кузова напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» з метою зниження їх матеріалоемності» (№ 0110U000732); «Розробка нових методів проектування та дослідження механічних систем технічних засобів залізничного рухомого складу» (№ 0111U002237); «Розробка концепції та технічних рішень інноваційного транспортного засобу на основі ресурсу та енергозберігаючих технологій на етапах життєвого циклу» (№ 0115U000645); «Створення концептуально нових вантажних вагонів модульного типу, як основа забезпечення позицій України на ринках залізничних вантажоперевезень та машинобудування» (№ ДР 0117U000564).

Метою роботи є – розроблення інноваційних теоретичних положень, методологічних основ і практичних засобів для поліпшення техніко-економічних показників вантажних вагонів, а саме поліпшення конкурентоздатності продукції вітчизняних вагонобудівників та послуг залізничних транспортних компаній, і зменшення витрат на оновлення парку вантажних вагонів та залізничні вантажоперевезення. **Об'єкт дослідження** – процеси пов'язані зі створенням та удосконаленням вантажних вагонів, їх дослідженнями і ефективним використанням на різних етапах життєвого циклу. **Предмет дослідження** – закономірності розвитку та функціонування конструкцій вантажних вагонів; методи їх проектування, моделювання, дослідження та технічного оцінювання.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше в світі:

- застосовано теорію розвитку технічних систем при розробленні ідеалістично-спрямованої концепції створення конструкцій вантажних вагонів, яка містить: сформульоване поняття ідеальних вантажних вагонів та розроблену процедуру оцінювання ступеня їх ідеальності, наукове обґрунтування необхідності переходу до вантажних вагонів нового покоління, прогнозування перспективних

шляхів розвитку їх конструкцій, забезпечує достатні можливості для генерування вантажних вагонів нового покоління;

- запропоновано науковий підхід створення варіаційних описань конструктивних виконань вантажних вагонів та їх складових, у вигляді конструктивних «I-АБО»-дерев, що є фундаментом для проведення процедур аналізу та синтезу їх конструкцій;

- одержано комплекс багатофакторних математичних залежностей основних показників та параметрів базових елементів несучих систем вантажних вагонів та перспективних їх виконань, що дозволяє істотно підвищити точність проведення відповідних проектувальних робіт та техніко-оцінювальних досліджень їх конструкцій, в тому числі при прогнозуванні строку експлуатації;

- запропоновано структурно-функціональні моделі конструкцій вантажних вагонів, які дозволяють представити вагон у вигляді ряду взаємопов'язаних і взаємодіючих підсистем, та на відміну від традиційних відображень їх конструкцій з максимальною повнотою враховувати основні фактори їх функціонування при дослідженнях та проектуванні.

Дістали подальший розвиток методологічні основи техніко-економічного дослідження конструкцій вантажних вагонів на основі запропонованої процедури проведення функціонально-вартісного аналізу (вартісної інженерії) їх несучих систем, що на відміну від існуючого предметного підходу у фінансовому вигляді дозволяє відобразити функції окремих складових їх конструкцій, рівень використання ресурсів, а також дослідити причини, з яких ці ресурси використовуються.

Удосконалена процедура проектування вантажних вагонів за рахунок розроблення методу створення їх конструктивних складових як балок рівного спротиву сумарній дії експлуатаційних навантажень, а також програмних продуктів автоматизації включених етапів, що дозволяє підвищити ефективність робіт з удосконалення вантажних вагонів.

Практична значимість одержаних результатів та їх впровадження. До основних практичних результатів роботи можна віднести:

- розроблені рекомендації зі скорочення часу та витрат, пов'язаних зі створенням та постановкою нових моделей вантажних вагонів на виробництво, ефективність яких підтверджена при організації вагонобудування на ПрАТ «Донецьксталь» – металургійний завод» (ПрАТ «ДМЗ»);

- розроблені, експериментально випробувані, впроваджені у виробництво на ПрАТ «ДМЗ» та прийняті в серійну експлуатацію на мережі залізниць країн учасників СНД, Грузії, Латвійської республіки, Литовської республіки, Естонської республіки напіввагони моделей 12-9904 та 12-9904-01;

- розроблені та впроваджені на вітчизняних підприємствах: ПрАТ «ДМЗ», ПАТ «Дніпровагонмаш», ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» («УкрНДІВ»), ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» («КВБЗ»), діяльність яких пов'язана з дослідженнями, виготовленням, ремонтами та експлуатацією вантажних вагонів (в тому числі моделей: 12-9745, 20-9749) інноваційні науково-технічні рішення;

- створене програмне забезпечення для визначення раціональних характеристик впроваджуваних складових вантажних вагонів, яке використовується, на вищезазначених підприємствах, при проведенні науково-

дослідних та дослідно-конструкторських робіт зі створення та удосконалення їх конструкцій;

- розроблені комп'ютерні моделі сучасних та перспективних вантажних вагонів, які використовуються при проектуванні та дослідженні їх конструкцій наведеними підприємствами;

- патенто захищені конструкції універсальних та глухонних напіввагонів, критих вагонів, відкритих та критих вагонів-хоперів, вагонів-платформ нового покоління.

Основні теоретичні положення, методологічні основи і практичні засоби, які представлені в роботі, використовуються у навчальному процесі Державного університету інфраструктури та технологій при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціалізацією «Вагони та вагонне господарство» при викладенні дисциплін: Будівельна механіка вагонів, Динаміка вагонів, Основні методи випробування вагонів та визначення подовження терміну служби вагонів, Актуальні проблеми проектування, динаміки та розрахунків нових конструкцій вагонів. Окремі положення роботи використовуються при виконанні магістерських атестаційних робіт при підготовці магістрів зі спеціальності 273 «Залізничний транспорт», спеціалізації «Вагони та вагонне господарство».

Впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, які наведено у додатках Тому 2.

Апробація результатів роботи. Основні матеріали результатів роботи доповідались, обговорювались та отримали схвалення на чисельних міжнародних науково-технічних конференціях. В повному обсязі результати роботи доповідались, обговорювались та були схвалені на науковому семінарі кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій.

Публікації. Основні положення роботи і результати досліджень опубліковані в: 170 наукових працях, в т.ч. 5 монографіях, 3 посібниках, 82 статтях (9 – у виданнях що індексуються базою даних Scopus). Згідно бази даних Scopus загальна кількість посилань на публікації автора, представлені в роботі, складає 44, h-індекс (за роботою) = 6; згідно бази даних Google Scholar загальна кількість посилань - складає 517, h-індекс (за роботою) = 16. Новизну та конкурентоспроможність технічних рішень захищено 11 патентами України на винаходи, 9 патентами України на корисні моделі та 1 свідоцтвом авторського права на твір. За даною тематикою автором захищено 1 докторську та 1 кандидатську дисертації.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Перший розділ містить концептуальні засади запропонованої ідеалістично-спрямованої концепції створення конструкцій вантажних вагонів, у відповідності до якої ідеальний кузов вантажного вагона розглядається як ідеальний конструкт модуля кузова чи ідеальний розумовий/віртуальний об'єкт, який лежить в основі його предметного поняття та визначає смисл. При цьому він характеризується показниками та параметрами, які забезпечать перевезення максимуму вантажу з мінімальною/нульовою собівартістю виготовлення та експлуатаційними витратами у визначених умовах виробничої бази і територіального курсування. Межею випадку ідеалізації модуля кузова

вантажних вагонів є його зменшення (та у кінцевому випадку зникнення) при одночасному збільшенні кількості функцій, які він виконує.

В розділі представлено розроблений алгоритм визначення показників та параметрів ідеального модуля кузова напіввагонів.

Пропонується підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів представляти як ступінь наближення до ідеального виконання, за допомогою розрахунку відстані між двома точками простору, які відповідають ідеальному та порівнюваному вантажному вагону. Скорочення відстані між ідеалом та досліджуваною моделлю вагонів свідчатиме про покращення її ефективності використання. Наведено розроблені шляхи наближення сучасних конструкцій вантажних вагонів до ідеалу.

Другий розділ присвячено розробленню інноваційних наукових основ створення та використання формалізованих описань конструкцій вантажних вагонів, що включає запропоновані методологічні основи: створення варіаційних описань їх конструктивних виконань та структурно-функціональних моделей, проведення функціонально-вартісного аналізу несучих систем вантажних вагонів.

Запропоновано варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів як інтегроване відображення варіантів виконань його системних складових, яке найбільш інформативно представляється у вигляді «І-АБО»-дерева з виділенням функціональних елементів та їх ознак. Побудова загального «І-АБО»-дерева вантажних вагонів виконується у наступному порядку: множину обраних конструктивних їх виконань, для яких побудовані блочно-ієрархічні моделі («І»-дерева), розбивають на декілька груп, кожна з яких складається з найбільш близьких по побудові та функціям елементів; для кожної групи беруть окремі елементи, які відносяться до першого ієрархічного рівня, та будують для них свої «І-АБО»-дерева, де «І»-вершини (відображуються закрашеними колами) на схемі об'єднують обов'язкові елементи та конструктивні ознаки, а вершини «АБО» (відображуються колами) – альтернативні елементи та ознаки. Далі будують загальне «І-АБО»-дерево. При розробці «І-АБО»-дерева будь-якого вантажного вагона необхідно дослідити його проект, виділити основні функціональні елементи та їх істотні конструктивні ознаки і особливості: 1. Конфігурації форми (позначаються на схемі – Ф) профілів які можливо доповнювати зазначенням різних характеристик. 2. Конструктивні матеріали (позначаються на схемі літерами – КМ). 3. Спосіб виконання (позначається на схемі літерами – СВ), серед яких можна виділити: зварювальне з'єднання; болтове з'єднання, складально-зварювальне з'єднання, і т.д.

Структурно-функціональна модель вантажного вагону – це відображення його основних елементів і функціональних зв'язків між ними. При її розробленні можна виділити три етапи. Перший включає розроблення структурного описання, в якості якого доцільно використовувати конструкційні «І»-дерева. На другому етапі визначаються функції кожної з складових. На третьому етапі будується блочно-ієрархічна модель вантажних вагонів з особливостями функціональної взаємодії між складовими.

Результати вищезазначених досліджень доцільно застосовувати при проведенні функціонально-вартісного аналізу (вартісної інженерії) вантажних вагонів, який ґрунтується на твердженні – функції перевтілюють ресурс у

продукт. Розроблена концепція функціонально-вартісного аналізу дозволяє охарактеризувати досконалість виконання несучих елементів вантажних вагонів у фінансовому вигляді (у грошовому еквіваленті). Зазначене відбувається за рахунок фізичного відображення функцій окремих складових конструкцій, рівня використання ресурсів функціями, а також дослідження причин з яких ці ресурси використовуються.

Розділ роботи 3 присвячено висвітленню складових елементів запропонованих методологічних основ дослідження та проектування конструкцій вантажних вагонів. На основі аналізу чисельної кількості профілів різних форм з'ясовано, що перспективними профілями для впровадження у несучі системи вантажних вагонів, є порожнисті профілі, серед яких особливо можна виділити: труби круглі та прямокутні, D-подібні труби (напівтруби) та порожнисті шестигранні профілі. З'ясовано, що впровадження нових профілів можливо робити у двох основних напрямках: з забезпеченням міцністних характеристик не менших ніж у вагона-аналога та з забезпеченням раціональних показників міцності, що виконується за рахунок відшукування та реалізації надлишкових запасів міцності у досліджуваних конструкціях. До того ж визначено, що на зміну основних показників впроваджуваних та базових профілів вантажних вагонів можуть впливати від двох до шести геометричних параметрів. Для автоматизації складових розроблюваних процедур створені відповідні комп'ютерні програмні засоби.

В розділі 4 представлені особливості розроблення та випробування впроваджених у виробництво на ПрАТ «ДМЗ» напіввагонів моделей 12-9904 (рисунок 1) та 12-9904-01; особливості та результати проведених робіт з удосконалення конструкцій: напіввагонів, вагонів платформ, критих вагонів.



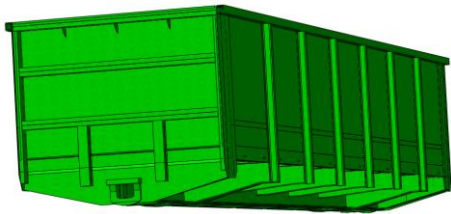
Рисунок 1 – Напіввагон 12-9904 (автор є головним конструктором)

На основі запропонованих та вищеописаних теоретичних та методологічних основ створення конструкцій вантажних вагонів були спроектовані напіввагони моделі 12-9904 та моделі 12-9904-01. Втілення запропонованих

технічних рішень дозволило досягти конкурентоздатного рівня техніко-економічних та експлуатаційних показників спроектованих напіввагонів. Також у розділі наведені результати експериментальних досліджень конструкцій напіввагонів 12-9904 та 12-9904-01 виробництва ПрАТ «ДМЗ», які були проведені за сучасними програмами та методиками досліджень рухомого складу фахівцями ДП «УкрНДІВ» при безпосередній участі автора, як головного конструктора проекту. Метою вказаних робіт було проведення комплексу натурних випробувань напіввагонів для оцінювання відповідності отриманих значень вимогам діючих нормативних документів та технічної документації на

вагони. У відповідності до затверджених програм та методик дослідні зразки напіввагонів піддавались різним видам випробувань, серед яких можна виділити: статичні випробування від дії вертикальних та поздовжніх сил; ходові динамічні випробування вагонів в завантаженому та порожньому режимах; ходові міцнісні випробування; випробування в режимі співударяння; оцінка взаємодії з вагоноперекидачем; випробування від дії ремонтних навантажень; стаціонарні та поїзні гальмові випробування. На основі проведеного комплексу натурних випробувань з'ясовано, що розроблені конструкції напіввагонів відповідають всім необхідним вимогам до вантажних вагонів. А також було з'ясовано, що результати експериментальних досліджень відрізняються від теоретично розрахованих їх значень в межах 4-8 %, що дозволяє зробити висновок про достатню адекватність розроблених комп'ютерних моделей.

Запропоновані та науково обгрунтовані технічні рішення з удосконалення конструкцій вантажних вагонів були реалізовані при модернізації вагонів моделей: 12-9745 та 20-9749 (рисунок 2 а,б).



Комп'ютерна модель (Патент на винахід № 108005)



Фізична модель (Знижено матеріалоємність на 570кг)

а) напіввагон моделі 12-9745



Комп'ютерна модель (Патент на винахід № 101213)



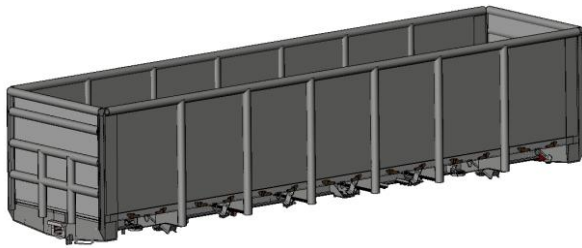
Фізична модель (Знижено матеріалоємність на 1020кг)

б) вагон-хопер для гарячих окатишів та агломерату моделі 20-9749

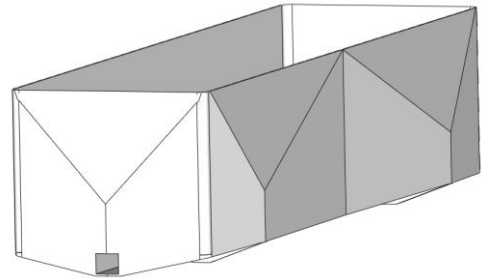
Рисунок 2 – Модернізовані за результатами роботи конструкції вантажних вагонів вітчизняного виробництва

В подальших розділах роботи аналізуються можливості впровадження альтернативних рішень у несучі системи вантажних вагонів на основі забезпечення аналогічних базовому виконанню міцнісних якостей, особливості чого представлено на рисунки 3 а-г. Такі рішення дозволили знизити їх матеріалоємність при виконанні умов визначених у діючих нормативних документах. Всі конструкції були запатентовані. Результати таких робіт засвідчили, що найбільшій ефективності зі зниження матеріалоємності можливо досягти впровадженням круглих труб. З'ясовано, що впровадження круглих труб

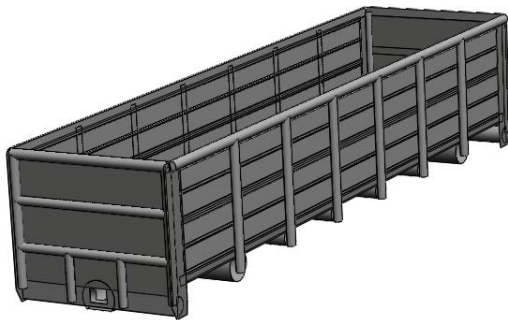
з реалізацією розрахункових резервів міцності у несучі системи вагонів-платформ дозволить знизити їх матеріалоємність на 540 кг, критих вагонів на 1050 кг, напіввагонів з хребтовою балкою із однієї труби на 700 кг та двох труб на 1100 кг.



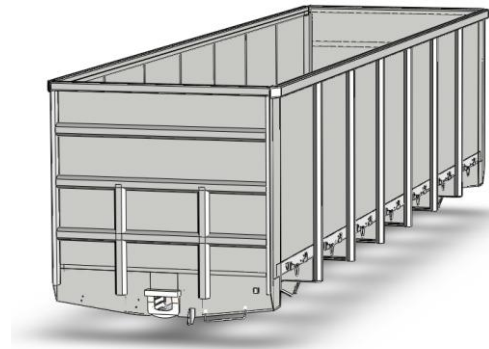
а) модуль кузова напіввагонів із круглих труб



б) суцільний глухдонний модуль кузова напіввагону з композиційних матеріалів



в) модуль кузова напіввагонів з глухим кузовом із напівтруб



г) модуль кузова напіввагонів із шестигранних порожнистих профілів

Рисунок 3 – Просторові геометричні комп'ютерні моделі прототипів напіввагонів

Представлені у розділі результати впровадження запропонованих методів та підходів проектування вантажних вагонів засвідчили їх працездатність та ефективність застосування.

В розділі 5 з'ясовано, що в результаті впровадження запропонованих рішень з удосконалення конструкцій вантажних вагонів лише для напіввагонів можливо отримати економічний ефект у розмірі 4,53 млн грн. при виготовленні їх 100 одиниць.

ВИСНОВКИ

В роботі вирішено актуальну та важливу науково-прикладну проблему – з розроблення інноваційних теоретичних положень, методологічних основ і практичних засобів для поліпшення техніко-економічних показників вантажних вагонів, а саме поліпшення конкурентоздатності продукції вітчизняних вагонобудівників та послуг залізничних транспортних компаній, і зменшення витрат на оновлення парку вантажних вагонів та залізничні вантажоперевезення. Основні результати, висновки та рекомендації роботи полягають у наступному:

1. Вперше запропоновану ідеалістично-спрямовану концепцію створення вантажних вагонів доцільно використовувати як теоретичну основу для науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з генерування їх

конструкцій нового покоління чи глибокої модернізації існуючих зразків. Використання запропонованого поняття ступеня ідеальності вантажних вагонів дозволяє науково обґрунтовувати своєчасність переходу до вагонів нового покоління, а також його можна використовувати при порівняльному техніко-економічному оцінюванні проектів вантажних вагонів у якості основного критерію ефективності.

2. Результати застосування розробленого методу створення конструктивних описань варіантних виконань вантажних вагонів та їх складових у вигляді «І-АБО»-дерев є ефективним та компактним засобом зберігання та представлення великого фонду інформації про існуючі та перспективні технічні рішення в їх конструкціях. Дослідження таких описань надає змогу отримувати нові патентоспроможні зразки вантажних вагонів, а також оперативно адаптувати їх конструкції до індивідуальних технічних завдань замовників вагонів чи їх проектів.

3. Запропоновані структурно-функціональні моделі вантажних вагонів доцільно використовувати при застосуванні сучасних наукових та інженерних підходів, творчих і пошукових методів для їх проектування, зокрема у якості основи для досліджень процесів функціонування їх системних складових, розв'язання трудомістких задач з визначення принципів побудови вантажних вагонів нового покоління та ступеня значимості їх робочих органів і т.д.

4. Для успішного застосування запропонованої процедури функціонально-вартісного аналізу несучих систем вантажних вагонів необхідно мати варіативне описання вантажного вагона та його структурно-функціональну модель. Результати реалізації такого аналізу показують як можливо перерозподілити ресурси, які витрачаються на будівництво вантажних вагонів з максимальною стратегічною користю та є ґрунтовною основою для прийняття рішень відносно модернізацій чи перебудов їх конструкцій. Результати проведення функціонально-вартісного аналізу для несучих систем сучасних вантажних вагонів засвідчили його ефективність та аргументовану можливість зниження собівартості виготовлення їх вузлів на 10-20 %.

5. Результати застосування розробленого методу обґрунтування раціональних параметрів конструктивних складових вантажних вагонів вказали на його працездатність та ефективність. При цьому з'ясовано, що:

5.1 Перспективними профілями для впровадження у несучі системи вантажних, які забезпечать кращі показники міцності, є порожнисті прокатні профілі, серед яких особо можна виділити труби круглі та прямокутні, D-подібні труби та порожнисті шестигранні профілі;

5.2 Впровадження у несучі системи вантажних вагонів перспективних профілів запропонованим аналоговим методом, при якому забезпечуються міцнісні характеристики як у складових вагону-аналогу, дозволяє значно знизити їх матеріалоемності: для круглих труб до 15 %, для прямокутних труб до 9 %, для D-подібних труб до 8 %, для шестигранних порожнистих профілів до 5 %;

5.3 Більшість існуючих конструктивних рішень основних складових у базових несучих системах вантажних вагонів мають в середньому біля 40 % надлишкових запасів міцності;

5.4 Впровадження у несучі системи вантажних вагонів, а саме: напіввагона, вагона-платформи, критого вагона труб круглого перерізу із обґрунтуванням їх раціональних показників міцності дозволило знизити їх матеріалоемність від 15 % до 25 % при виконанні умов визначених у діючих нормативних документах;

5.5 Застосування програмних засобів проведення окремих процедур запропонованої процедури проектування та дослідження несучих систем вантажних вагонів, а саме для: розроблення математичних моделей, які пов'язують основні їх показники з геометричними параметрами та визначення раціональних значень багатокритеріальних та багатофакторних оптимізаційних задач є доцільним та ефективним.

6. Запропоновані та запатентовані технічні рішення з удосконалення конструкцій універсальних та глухононних напіввагонів, критих вагонів, відкритих та критих вагонів-хоперів, вагонів-платформ є ефективними та їх доцільно застосовувати при розробленні зразків нового покоління. Існуючі виробничі бази вітчизняних вагонобудівних та перепрофільованих під вагонобудування вагоноремонтних підприємств дозволяють впроваджувати запропоновані технічні рішення, що підтверджується відповідними документами.

7. Одержані багатофакторні математичні залежності основних показників та параметрів базових елементів несучих систем вантажних вагонів та перспективних їх виконань є адекватними ($\pm 2,5\%$) і їх застосування дозволяє істотно підвищити точність та автоматизованість проектувальних та технічно-оцінювальних досліджень, в тому числі з використання ділових відходів.

8. Ефективність запропонованих технічних рішень з поліпшення техніко-економічних та експлуатаційних показників вантажних вагонів та рекомендацій зі скорочення часу і витрат пов'язаних з їх створенням, постановкою на виробництво підтверджена при організації вагонобудівного виробництва на ПрАТ «ДМЗ». Сказане було втілено протягом двох років від постановки завдання до виходу на проектну потужність – будівництво 100 напіввагонів за місяць. До того ж сказане підтверджується успішною експлуатацією напіввагонів моделей 12-9904 та 12-9904-01 впродовж декількох років на вітчизняній та закордонній мережах залізниць.

9. В результаті комплексного аналізу економічного ефекту від конструкцій вантажних вагонів за їх життєвий цикл з'ясовано. Ключову роль у виробничій собівартості виготовлення вантажного вагону відіграє вартість основних, допоміжних та інших матеріалів, що складає біля 93 % загальної собівартості. Такі дані свідчать про перспективність зниження собівартості вантажних вагонів за рахунок створення їх конструкцій, у яких будуть максимально використовуватися вузлові та базові елементи власного безвідходного виробництва.

10. В результаті впровадження запропонованих рішень з удосконалення конструкцій вантажних вагонів лише для напіввагонів можливо отримати економічний ефект у розмірі 4,53 млн грн. при виготовленні їх 100 одиниць.