

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту

РИБІН АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 629.463:629.4.023.1

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

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, доцент
Ловська Альона Олександрівна,
Український державний університет
залізничного транспорту, кафедра
інженерії вагонів та якості продукції,
доцент кафедри.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Сапронова Світлана Юріївна,
Державний університет інфраструктури та технологій,
кафедра вагонів та вагонного господарства,
професор кафедри;

кандидат технічних наук, старший дослідник
Сулим Андрій Олександрович,
ДП “Український науково-дослідний інститут
вагонобудування”, заступник директора з наукової
роботи.

Захист відбудеться «17» грудня 2021 р. о 11.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українському державному університеті залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий « 16 » листопада 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



А. В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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

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

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

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з Національною транспортною стратегією України на період до 2030 року (від 30 травня 2018 р. № 430-р), Стратегічними пріоритетними напрямками інноваційної діяльності на 2011-2021 роки.

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

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

Для досягнення поставленої мети вирішені такі наукові завдання:

- проаналізувати наукові дослідження з удосконалень несучих конструкцій вантажних вагонів для забезпечення їх міцності в експлуатації;
- дослідити особливості навантаженості несучих конструкцій вагонів в експлуатації;

- дослідити навантаженість типової несучої конструкції вагона з урахуванням використання наповнювачів в складових, що мають замкнений переріз;
- запропонувати заходи щодо удосконалення хребтової балки вагона для зменшення її навантаженості в експлуатації;
- сформуувати математичну модель для визначення динамічної навантаженості вагона з замкненою хребтовою балкою, заповненою наповнювачем;
- провести теоретичне обґрунтування створення концепту несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами;
- провести експериментальне дослідження міцності пустотілого стрижня замкнутого перерізу, а також з наповнювачем для обґрунтування запропонованих рішень щодо удосконалення несучої конструкції вагона;
- провести техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень щодо удосконалення несучих конструкцій вантажних вагонів.

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

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

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

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше:

- проведено формалізацію задачі оптимізаційного проектування за критерієм мінімальної матеріалоемності хребтової балки вагона замкнутого перерізу з урахуванням застосування наповнювача;
- отримано залежності динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів з пружним, в'язким та пружно-в'язким наповнювачами в хребтовій балці замкнутого перерізу при найбільш несприятливих експлуатаційних режимах навантажень, зокрема маневрових співударяннях.

Дістали подальший розвиток:

- доопрацьовано математичну модель динамічної навантаженості несучої конструкції вагона при дії повздовжньої сили на нього з урахуванням застосування

наповнювачів з пружними, в'язкими та пружно-в'язкими характеристиками в хребтовій балці. Модель дозволяє отримати динамічне навантаження, яке діє на несучу конструкцію вагона при маневровому співударянні;

Удосконалено:

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

Практичне значення отриманих результатів.

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

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

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

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

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

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

- створення скінчено-елементних моделей несучих конструкцій вантажних вагонів та проведення розрахунку на міцність при основних експлуатаційних режимах – [2, 3, 5, 8, 10, 13];

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

- створення закономірностей динамічної навантаженості несучих конструкцій вантажних вагонів з наповнювачем в хребтовій балці – [4, 6, 9, 11, 12];

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

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

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

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

- III International Scientific and Practical Conference: SCIENCE, EDUCATION, INNOVATION: TOPICAL ISSUES AND MODERN ASPECTS, 2021 (Естонія, м. Талін);

- IV Международная научно-практическая конференция “THEORY AND PRACTICE OF SCIENCE: KEY ASPECTS”, 2021 (Італія, м. Рим);

- III International Scientific and Practical Conference: GLOBAL AND REGIONAL ASPECTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2021 (Dania, Denmark);

- Міжнародній науково-практичній конференції «НАУКА, ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ: АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ», 2021 (Чеська Республіка, Прага);

- III МІЖНАРОДНІЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ: SCIENTIFIC HORIZON IN THE CONTEXT OF SOCIAL CRISES, 2021 (Japan, Tokyo).

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

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

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

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету дисертаційної роботи, об'єкт, предмет та задачі дослідження, відображено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено інформацію про апробації роботи і публікації основних результатів.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану проблеми удосконалення несучих конструкцій вантажних вагонів для забезпечення їх міцності при експлуатаційних режимах шляхом зменшення динамічної навантаженості. Досліджено основні пошкодження несучих конструкцій вантажних вагонів в експлуатації. Проведено літературний огляд питань щодо удосконалень несучих конструкцій вантажних вагонів.

Питання визначення навантаженості, міцності та удосконалень вантажних вагонів висвітлені у працях: П. С. Анісімова, О. Є. Афанасьєва, Є. П. Блохіна, О. А. Битюцького, Г. І. Богомаза, Ю. П. Бороненка, В. М. Бубнова, Т. В. Бутько,

Г. Л. Ватулі, Р. І. Візняка, М. Ф. Веріго, С. В. Вершинського, К. В. Герасимова, В. Ф. Головка, А. П. Горбенка, М. І. Горбунова, В. Л. Горобця, В. М. Данилова, В. Г. Дановича, Р. Ю. Дьоміна, Ю. В. Дьоміна, Г. І. Ігнатенкова, М. Б. Кельріха, В. В. Кобіщанова, В. М. Котуранова, М. Л. Коротенка, С. А. Костриці, М. М. Кудрявцева, В. А. Лазаряна, А. О. Ловської, В. П. Лозбінева, В. В. Лукіна, Л. А. Манашкіна, І. Е. Мартинова, В. Г. Маслієва, В. І. Мороза, І. Г. Морчиладзе, Л. А. Мурадяна, С. В. Мямліна, Є. М. Никольського, Л. М. Никольського, С. В. Панченка, Г. І. Петрова, В. С. Плоткіна, А. В. Путятю, Ю. С. Ромена, М. М. Соколова, В. Ф. Ушкалова, В. М. Філіпова, О. В. Фоміна, О. О. Хохлова, В. Д. Хусідова, Л. А. Шадура, П. В. Шевченка, В. В. Шевченка, І. І. Челнокова, Г. Ю. Черняк та ін.

Важливо сказати, що подальший розвиток питань удосконалень несучих конструкцій вантажних вагонів при експлуатаційних режимах навантажень з метою забезпечення їх міцності та скорочення витрат на утримання є досить важливою та актуальною задачею.

У **другому розділі** дисертаційної роботи проведено визначення особливостей навантаженості несучих конструкцій вантажних вагонів в експлуатації. Розглянуто основні режими та схеми навантажень несучих конструкцій вантажних вагонів. Визначено навантаженість несучих конструкцій основних типів вантажних вагонів при експлуатаційних режимах. Проведені розрахунки встановили, що найбільш навантаженим вузлом несучих конструкцій вагонів є рама. Оскільки при I розрахунковому режимі максимальні еквівалентні напруження близькі до межі плинності, то при підвищених швидкостях співударяння, зносах несучих конструкцій, циклічності дії експлуатаційних навантажень тощо, максимальні еквівалентні напруження в несучих конструкціях вагонів можуть перевищувати допустимі. Така обставина сприяє виникненню пошкоджень та необхідності здійснення позапланових видів ремонту, а відповідно і витрат на утримання рухомого складу. Тому виникає необхідність створення заходів щодо забезпечення міцності несучих конструкцій вантажних вагонів.

В **третьому розділі** проведено дослідження навантаженості несучих конструкцій вагонів з урахуванням використання наповнювачів в їх складових. Для зменшення навантаженості несучих конструкцій вагонів при експлуатаційних режимах розглянуто можливість використання наповнювачів у їх складових, які мають замкнений переріз.

Для визначення доцільності використання наповнювачів в складових несучої конструкції вагона проведено дослідження на прикладі напіввагона, як одного з найбільш поширених типів вагонів в експлуатації. В якості наповнювача розглянутий піноалюміній. Складові несучої конструкції вагона, які запропоновано заповнювати піноалюмінієм, наведено в рисунку 1. Для визначення міцності несучої конструкції напіввагону проведено розрахунок за методом скінчених елементів в програмному комплексі SolidWorks Simulation.

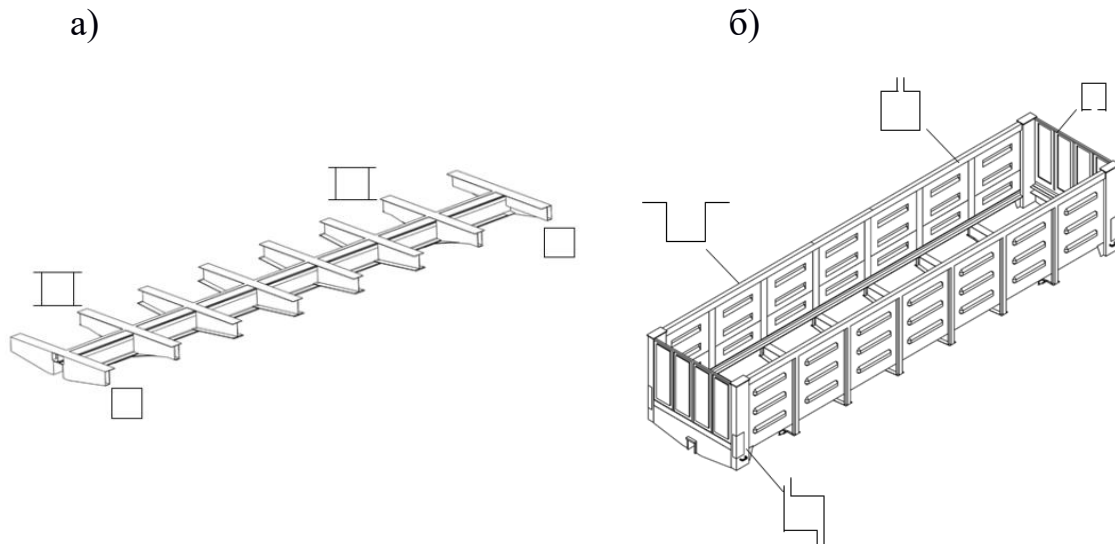


Рисунок 1 – Складові несучої конструкції вагона, які запропоновано заповнювати наповнювачем: рама – а; кузов – б.

Результати розрахунку показали, що з урахуванням застосування наповнювача в складових типової несучої конструкції вагона максимальні еквівалентні напруження в них зменшуються на 12 – 38%. При цьому втомна міцність несучої конструкції напіввагона з наповнювачем збільшується на 7% у порівнянні з типовою конструкцією. Однак при цьому збільшується тара вагона. Тому використання наповнювача доцільно здійснювати в найбільш навантажених елементах несучої конструкції, а саме – хребтовій балці.

Важливо сказати, що типові хребтові балки вантажних вагонів здебільшого представлені Z-подібними профілями або швелерами. У зв'язку з цим необхідною умовою використання наповнювача в хребтовій балці є створення її замкнутої конструкції. При цьому пропонується замість типових профілів, які використовуються у рамах вагонів, використання профілю, замкнутого перерізу (рисунок 2).

Для визначення оптимальної товщини стінки профілю виконання хребтової балки проведено оптимізацію за критерієм мінімуму матеріалоемності. Для цього було проведено попередні розрахунки на міцність рами вагона з урахуванням різної товщини стінок хребтової балки. Всього було проведено 9 варіантів розрахунків з варіюванням товщини стінок хребтової балки в інтервалі 6 – 10 мм. Отримано залежність напружень σ_i в хребтовій балці від товщини стінки t .

При проведенні розрахунків мінімізувалася цільова функція $m = m(t)$, при обмеженні $\sigma \leq [\sigma] = 345 \text{ МПа}$.

При цьому функція $m(t)$ розглядалася як лінійна

$$m(t) = t \cdot a^2 \cdot \rho \Rightarrow \min, \quad (1)$$

де a – сторона профілю, ρ – щільність матеріалу.

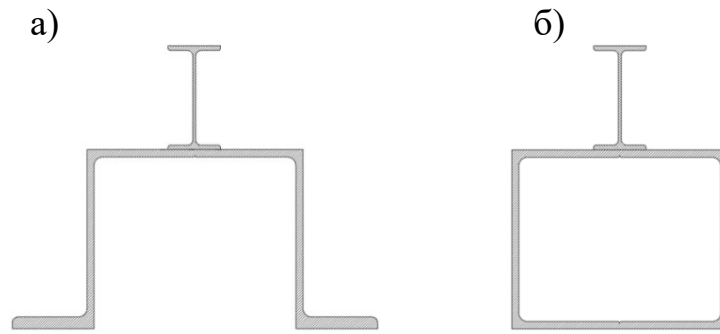


Рисунок 2 – Переріз хребтової балки
а) типова конструкція; б) удосконалена конструкція

Встановлено, що залежність напружень від товщини стінки хребтової балки є близькою до кусково-лінійної, тобто на кожному інтервалі її можна апроксимувати лінійною функцією. На підставі вхідних даних отримано, що допустиме значення напружень досягається на інтервалі $t_6 = 8,5 \text{ мм} \leq t \leq 9,0 \text{ мм} = t_7$ при $\sigma_6 = 384,3 \text{ МПа} \leq \sigma \leq 342,5 \text{ МПа} = \sigma_7$.

Тоді можна записати

$$m(t) = m_1 + \frac{m_9 - m_1}{t_9 - t_1}(t - t_1) = 23,96 + 129,79t. \quad (2)$$

Проведені розрахунки показали, що оптимальною з точки зору мінімальної матеріалоемності є товщина стінки профілю, яка дорівнює 8,97 мм при масі 1188,18 кг. Для покращення міцності хребтової балки в зонах взаємодії зі шворневими при наднормованих режимах навантажень є можливим використання підсилюючих елементів, наприклад, діафрагм чи гофр.

Для визначення навантаженості напіввагона з урахуванням удосконалення конструкції хребтової балки проведено математичне моделювання. Для цього використано математичну модель, сформовану проф. Богомазом Г. І. Важливо сказати, що зазначена модель створена для визначення навантаженості довгобазної конструкції вагона-платформи, завантаженого контейнерами-цистернами. Тому в рамках даного дослідження модель було доопрацьовано.

$$M_{\text{бр}} \cdot \ddot{x} + (M_B \cdot h) \cdot \ddot{\varphi} = P_n - 2P_{\text{тр}}, \quad (3)$$

$$I_B \cdot \ddot{\varphi} + (M_B \cdot h) \cdot \ddot{x} - g \cdot \varphi \cdot (M_B \cdot h) = l \cdot F_{\text{ТР}} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2) + l(k_1 \cdot \Delta_1 - k_2 \cdot \Delta_2), \quad (4)$$

$$M_B \cdot \ddot{z} = k_1 \cdot \Delta_1 + k_2 \cdot \Delta_2 - F_{\text{ТР}} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2), \quad (5)$$

при цьому

$$\Delta_1 = z - l \cdot \varphi; \quad \Delta_2 = z + l \cdot \varphi,$$

де $M_{\text{бр}}$ – маса бруто вагона; M_B – маса несучої конструкції вагона; I_B – момент інерції вагона; P_n – величина повздовжньої сили на задній упор автозчепу; $P_{\text{тр}}$ – сили тертя, які виникають між п'ятниками рами та підп'ятниками візків; l – половина бази вагона; $F_{\text{ТР}}$ – абсолютне значення сили сухого тертя у ресорному комплекті; k_1, k_2 – жорсткість пружин ресорного підвішування візків вагона; x, φ, z – координати, що відповідають, відповідно, повздовжньому, кутовому навколо поперечної осі та вертикальному переміщенню вагона.

Також в ній враховано силу тертя, яка виникає між п'ятниками та підп'ятниками та зумовлену дією повздовжньої сили на задній упор автозчепу. Значення повздовжньої сили, яка діє на задній упор автозчепу, прийнято рівним 3,5 МН. Розв'язок математичної моделі здійснений за методом Рунге-Кутта в програмному комплексі MathCad. Результати розрахунку показали, що максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію напіввагона складають $38,4 \text{ м/с}^2$. Отримана величина прискорення врахована при розрахунках на міцність рами напіввагона. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження зосереджені в зоні взаємодії хребтової балки зі шворневою та складають 328 МПа. Проведені розрахунки дозволяють зробити висновок, що міцність рами напіввагона забезпечується. При цьому максимальні еквівалентні напруження на 5% нижчі за допустимі.

Для зниження собівартості виготовлення та експлуатації вагонів можливим є зменшення їх тари, і відповідного збільшення вантажопідйомності. Досягти цього можливо шляхом удосконалення конструкції модуля рами, на основі застосування SIN-балок в якості його основних несучих елементів, перекритих горизонтальним листом (рисунок 3).

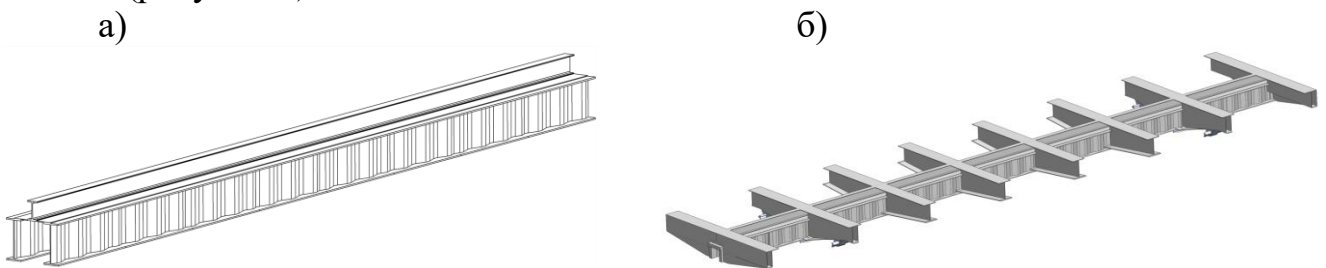


Рисунок 3 – Використання SIN-балок в несучій конструкції напіввагона:
хребтова балка – а; рама – б.

Встановлено, що використання SIN-балок в якості основних несучих елементів рами сприяє зменшенню її маси на 6% у порівнянні з рамою вагона-прототипу. Результати розрахунку на міцність рами напіввагона з використанням SIN-балок показали, що максимальні еквівалентні напруження виникають в зоні взаємодії хребтової балки зі шворневою та складають близько 335,3 МПа і не перевищують допустимі. Однак важливо сказати, що впровадження SIN-балок в якості складових рами напіввагона викличе складнощі при проведенні ремонтних робіт на ній.

З метою зменшення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона з замкненою конструкцією хребтової балки при експлуатаційних режимах є можливим використання наповнювача в хребтовій балці (рисунок 4). У якості наповнювача може бути застосований матеріал, який має пружні, в'язкі або пружно-в'язкі властивості. Розміщення наповнювача передбачається за довжиною хребтової балки між задніми упорами автозчепів.

Для визначення навантаженості несучої конструкції напіввагона з урахуванням заходів щодо удосконалення здійснене математичне моделювання. Розрахункова схема напіввагона наведена на рисунку 5.

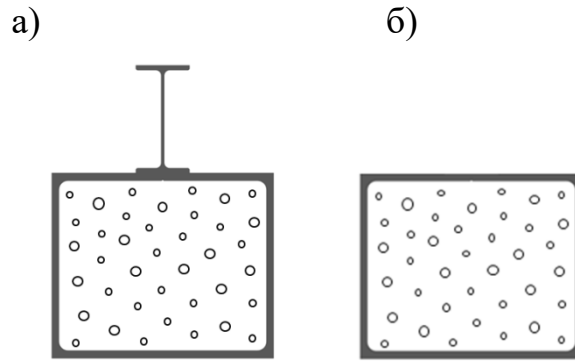


Рисунок 4 – Переріз замкненої конструкції хребтової балки вагона:
напіввагон – а; критий вагон, вагон-платформа, вагон-хопер,
вагон-цистерна – б.

На першепочатковому етапі дослідження проведено математичне моделювання динамічної навантаженості несучої конструкції напіввагона з наповнювачем у хребтовій балці, який має пружні властивості.

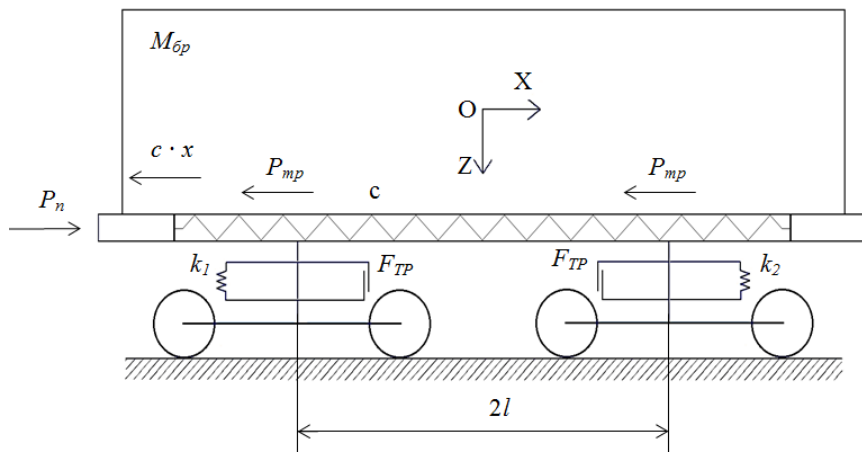


Рисунок 5 – Розрахункова схема вагона

Чисельне значення повздовжньої сили на несучу конструкцію напіввагона прийнято рівним 3,5 МН. У якості прототипу обраний напіввагон моделі 12-757 на типових візках 18-100.

$$M_{бп} \cdot \ddot{x} + (M_B \cdot h) \cdot \ddot{\varphi} = P_n - 2P_{мп} - c \cdot x, \quad (6)$$

$$I_B \cdot \ddot{\varphi} + (M_B \cdot h) \cdot \ddot{x} - g \cdot \varphi \cdot (M_B \cdot h) = l \cdot F_{TP} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2) + l(k_1 \cdot \Delta_1 - k_2 \cdot \Delta_2), \quad (7)$$

$$M_B \cdot \ddot{z} = k_1 \cdot \Delta_1 + k_2 \cdot \Delta_2 - F_{TP} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2), \quad (8)$$

де c – жорсткість матеріалу, яким заповнені елементи несучої конструкції вагону.

Проведені розрахунки показали, що максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію напіввагона складають $37,8 \text{ м/с}^2$ (рисунок б, а). Дана величина прискорення майже на 3% нижча за ту, що отримана для несучої конструкції без

наповнювача. При цьому жорсткість матеріалу, яким заповнена хребтова балка повинна мати значення близько 100 кН/м.

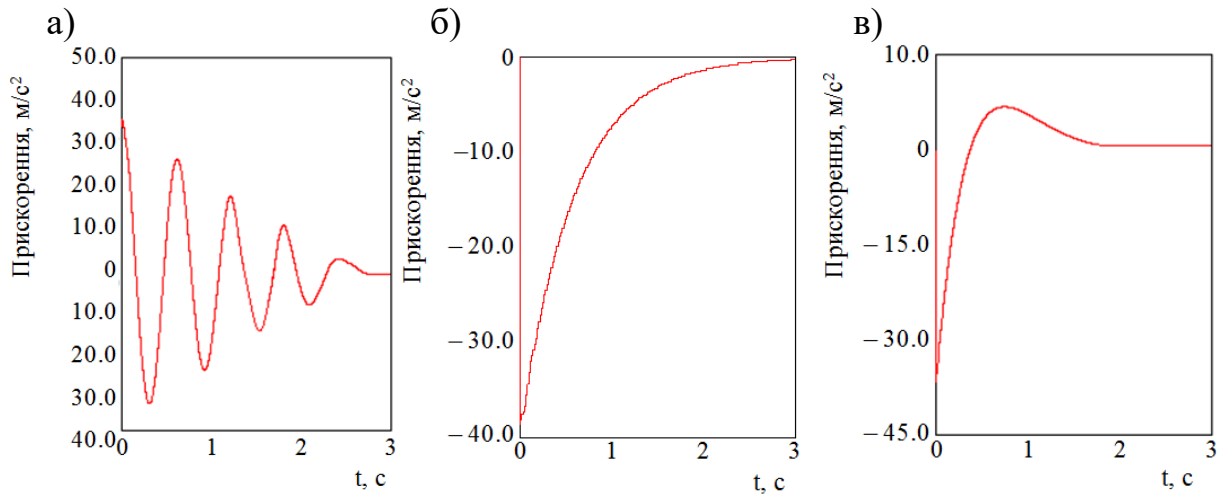


Рисунок 6 – Прискорення несучої конструкції напіввагона з урахуванням використання наповнювача в хребтовій балці: з пружними властивостями – а; з в'язкими властивостями – б; з пружно-в'язкими властивостями – в.

Також розрахунок здійснений з урахуванням використання наповнювача з в'язкими властивостями. Диференціальні рівняння руху напіввагона при цьому мають вигляд

$$M_{\text{оп}} \cdot \ddot{x} + (M_B \cdot h) \cdot \ddot{\varphi} = P_n - 2P_{\text{мп}} - \beta \cdot \dot{x}, \quad (9)$$

$$I_B \cdot \ddot{\varphi} + (M_B \cdot h) \cdot \ddot{x} - g \cdot \varphi \cdot (M_B \cdot h) = l \cdot F_{\text{TP}} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2) + l(k_1 \cdot \Delta_1 - k_2 \cdot \Delta_2), \quad (10)$$

$$M_B \cdot \ddot{z} = k_1 \cdot \Delta_1 + k_2 \cdot \Delta_2 - F_{\text{TP}} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2), \quad (11)$$

де β – коефіцієнт в'язкого опору матеріалу, яким заповнена хребтова балка.

Результати проведених розрахунків показали, що максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію напіввагона складають 36,8 м/с² (рисунок 6, б). Дана величина прискорення на 4% нижча за ту, що отримана для несучої конструкції без наповнювача. При цьому коефіцієнт в'язкого опору матеріалу, яким заповнена хребтова балка повинен мати значення близько 118 кН·с/м.

При застосуванні наповнювача з пружно-в'язкими властивостями математична модель динамічної навантаженості вагона має вигляд:

$$M_{\text{оп}} \cdot \ddot{x} + (M_B \cdot h) \cdot \ddot{\varphi} = P_n - 2P_{\text{мп}} - \beta \cdot \dot{x} - c \cdot x, \quad (12)$$

$$I_B \cdot \ddot{\varphi} + (M_B \cdot h) \cdot \ddot{x} - g \cdot \varphi \cdot (M_B \cdot h) = l \cdot F_{\text{TP}} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2) + l(k_1 \cdot \Delta_1 - k_2 \cdot \Delta_2), \quad (13)$$

$$M_B \cdot \ddot{z} = k_1 \cdot \Delta_1 + k_2 \cdot \Delta_2 - F_{\text{TP}} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2), \quad (14)$$

Результати проведених розрахунків показали, що максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію напіввагона складають $36,9 \text{ м/с}^2$ (рисунок 6, в). Дана величина прискорення на 4% нижча за ту, що отримана для несучої конструкції без наповнювача. При цьому коефіцієнт в'язкого опору матеріалу, яким заповнена хребтова балка повинен мати значення близько $118 \text{ кН}\cdot\text{с/м}$, а жорсткість – близько 80 кН/м . Отже найбільш раціональним з точки зору зниження динамічної навантаженості вагона є використання наповнювачів з в'язкими або пружно-в'язкими властивостями.

Для визначення полів розподілення прискорень в рамі напіввагона проведено комп'ютерне моделювання динамічної навантаженості. Розрахунок здійснений за методом скінчених елементів в програмному комплексі SolidWorks Simulation. Розрахункова схема рами напіввагона наведена на рисунку 7, а. Враховано, що на раму напіввагона діє вертикальне статичне навантаження P_g^{cm} . При цьому використовується повна вантажопідйомність вагона. Також враховано, що на раму діє повздовжнє навантаження, яке прикладалося до заднього упору автотзчепу і приймалося рівним $3,5 \text{ МН}$.

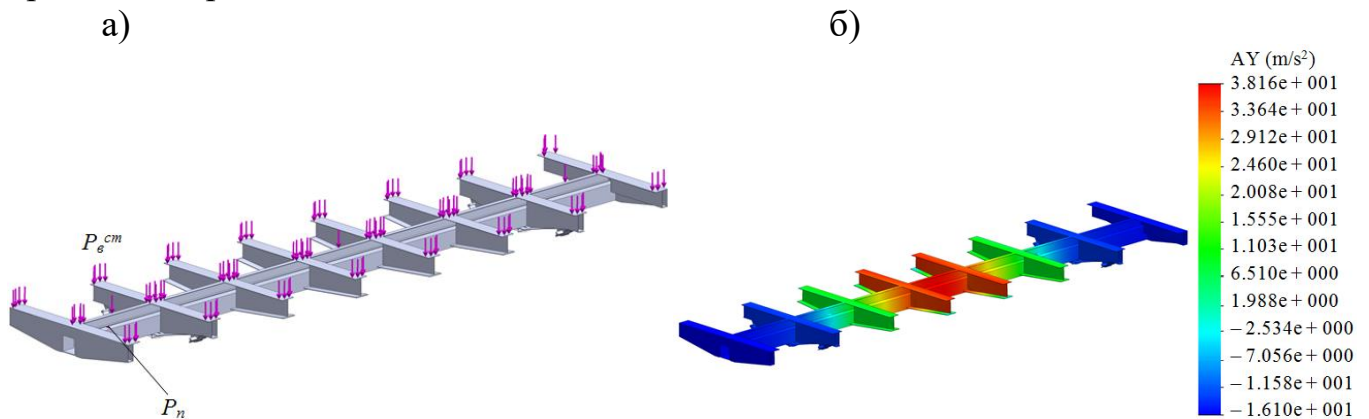


Рисунок 7 – Моделювання динамічної навантаженості рами напіввагона з наповнювачем в хребтовій балці: розрахункова схема – а; поля розподілення прискорень – б.

Результати розрахунку дозволили встановити, що максимальні прискорення зосереджені в середній частині рами напіввагона і складають близько 38 м/с^2 (рисунок 7, б). Для верифікації моделей динамічної навантаженості використано критерій Фішера. Розрахунок проведений для випадку лінійної залежності між силою удару в автотзчеп та величиною прискорень, які виникають при цьому (рисунок 8, а). Розбіжність між результатами математичного та комп'ютерного моделювання динамічної навантаженості рами напіввагона наведена на рисунку 8, б. Максимальний відсоток розбіжності склав $5,7\%$ та виникає при силі удару в автотзчеп $2,9 \text{ МН}$. Проведені розрахунки показали, що гіпотеза про адекватність розробленої моделі не заперечується. Також в рамках дослідження проведено визначення основних показників міцності рами напіввагона. Розрахунок здійснений за схемою, наведеною на рисунку 7, а. Максимальні еквівалентні напруження при цьому зафіксовані в зоні взаємодії хребтової балки зі шворневою та склали

298,5 МПа, що на 9% нижче за напруження, які виникають в конструкції рами без наповнювача.

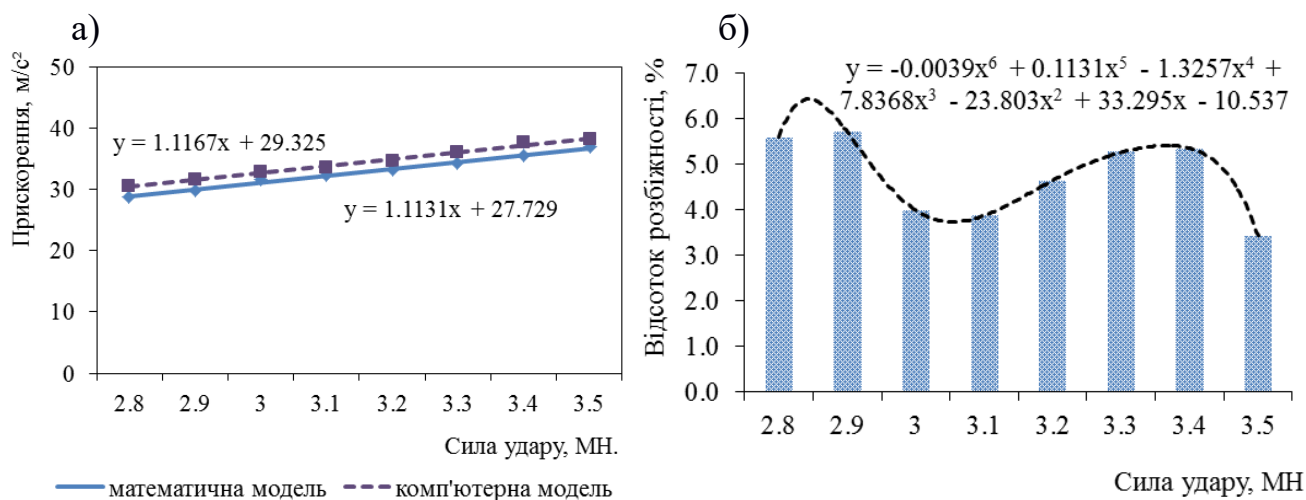
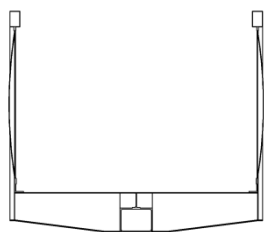


Рисунок 8 – Моделювання динамічної навантаженості рами вагона: залежність прискорень, які діють на раму напіввагона від сили удару в автозчеп – а; розбіжність між результатами математичного та комп'ютерного моделювання – б.

Дана реалізація є ефективною стосовно і інших типів вантажних вагонів.

В **четвертому розділі** дисертаційної роботи проведено обґрунтування створення концепту несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами. Для підвищення об'ємів перевезень вантажів у напіввагонах пропонується концепт несучої конструкції з випуклими стінами (рисунок 9, а). Така конфігурація бокових стін дозволяє підвищити корисний об'єм кузова на 8% у порівнянні з вагоном-прототипом. Величина прогину бокових та торцевих стін визначена з технологічних міркувань, а саме, за умови збереження габариту напіввагона у відповідності до прототипу. При цьому обшивка має змінну за висотою товщину, яка варіює від 4,5 мм (нижня частина) до 3,5 мм (верхня частина).

а)



б)

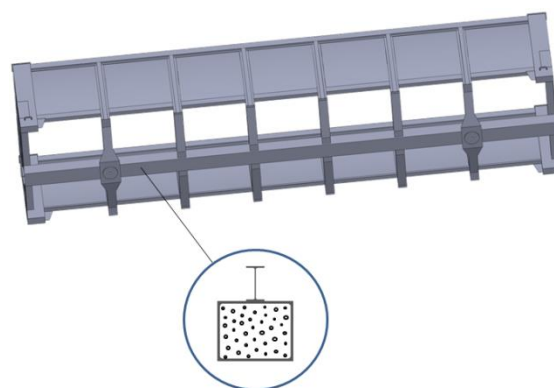


Рисунок 9 – Несуча конструкція напіввагона з випуклими стінами: переріз кузова – а; просторова модель – б.

Для обґрунтування запропонованого рішення проведені розрахунки на міцність несучої конструкції. Результати розрахунку показали, що максимальні еквівалентні

напруження виникають при I розрахунковому режимі (удар) у зоні взаємодії хребтової балки зі шворневою та складають близько 340 МПа, тобто не перевищують допустимі.

Визначено основні показники динаміки несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами. Розрахунок здійснений за умови руху вагона у порожньому стані стиковою нерівністю. При цьому максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію напіввагона в центрі мас не перевищують допустимі та складають близько 0,4g (рисунок 10, а). Коефіцієнт вертикальної динаміки склав близько 0,5 (рисунок 10, б).

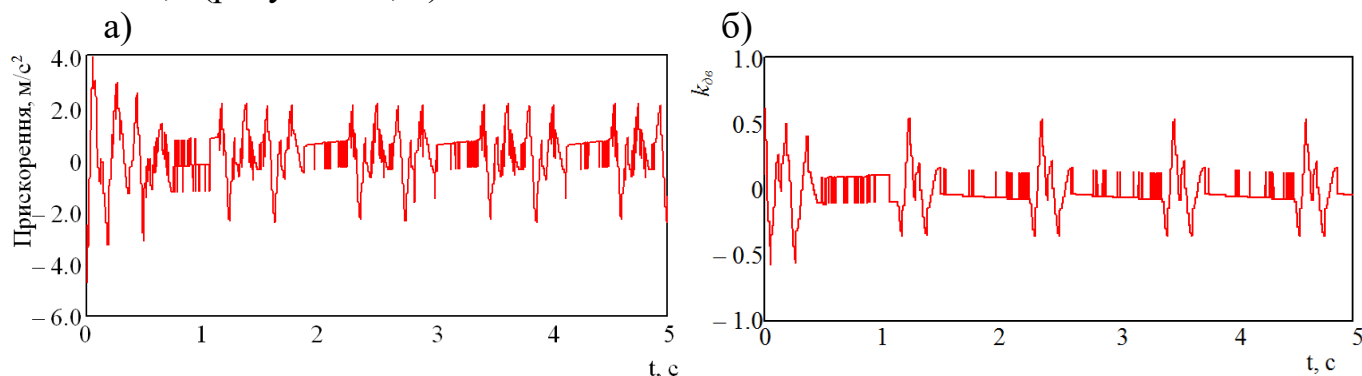


Рисунок 10 – Основні показники динаміки вагона: прискорення кузова в центрі мас – а; коефіцієнт вертикальної динаміки – б.

Визначено проектний строк служби несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами. Встановлено, що проектний строк служби несучої конструкції напіввагона складає не менше 32 років.

Для зменшення динамічної навантаженості концепту несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами пропонується впровадження замкненої конструкції хребтової балки з наповнювачем (рисунок 9, б). Для обґрунтування такого рішення проведено розрахунок на міцність несучої конструкції напіввагона за методом скінчених елементів. Результати розрахунку показали, що максимальні еквівалентні напруження виникають в зоні взаємодії хребтової балки зі шворневою та склали близько 315 МПа. Отримана величина максимальних еквівалентних напружень на 7% нижча за ту, що розрахована для конструкції без наповнювача.

В п'ятому розділі дисертаційної роботи проведено експериментальне дослідження міцності пустотілого стрижня замкненого перерізу, а також з наповнювачем для обґрунтування запропонованих рішень щодо удосконалення несучої конструкції вагона. При цьому використаний метод електричного тензометрування. Випробування стрижнів здійснено на стиск в лабораторних умовах з використанням пресу (рисунок 11, а). Розміщення тензорезисторів на дослідних зразках наведено на рисунку 11, б. Монтаж тензорезисторів здійснений за мостовою схемою. Стискання стрижнів проводилося в діапазоні 40 – 200 кН. При проведенні випробувань кількість дослідних зразків дорівнювала трьом. На підставі проведених досліджень встановлено, що максимальні напруження в пустотілому стрижні при стисканні становить близько 205 МПа.

На другому етапі досліджень проводилося визначення міцності стрижнів з урахуванням використання наповнювача в них. В якості наповнювача був використаний легкий бетон. Проведені дослідження показали, що максимальні напруження в стрижнях складають близько 193 МПа.

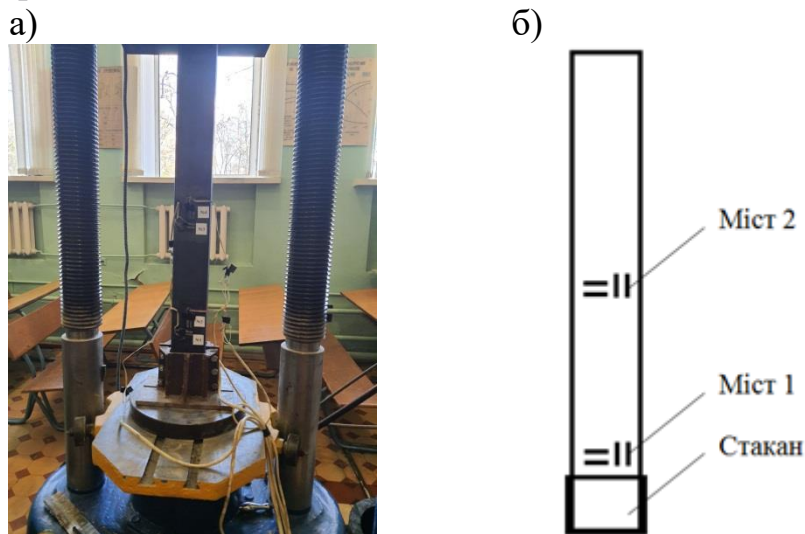


Рисунок 11 – Випробування стрижнів замкнутого перерізу: розміщення стрижня на пресі – а; схема розміщення тензорезисторів на стрижні – б.

З урахуванням застосування наповнювача в стрижні зменшуються напруження, які виникають в ньому на 5,3% у порівнянні з конструкцією без наповнювача. Також при проведенні експерименту здійснено визначення міцності наповнювача при його стисканні. Дослідження проводилися на зразках, розміром 100 x 100 мм до виникнення руйнування дослідних зразків. Встановлено, що максимальні напруження, які виникають у наповнювачі знаходяться в діапазоні 2,89 – 3,04 МПа. Отримані результати сприятимуть створенню напрацювань щодо визначення оптимальних характеристик наповнювачів складових вагонних конструкцій. Для визначення сили зчеплення наповнювача з металевою поверхнею стрижня проводилися випробування на витискування. Встановлено, що навантаження при яких відбувається переміщення наповнювача відносно металевої поверхні стрижня знаходяться в діапазоні 32,8 – 36,2 кН. Отримані результати дозволили визначити силу зчеплення наповнювача з металевою поверхнею. Дана сила врахована при розрахунках на міцність стрижня замкнутого перерізу в ПК "Ліра". Встановлено, що з урахуванням сили зчеплення наповнювача з металевою поверхнею напруження, які виникають в стрижні зменшуються на 5,4% у порівнянні з пустотілим стрижнем. При цьому розбіжність між експериментальними та теоретичними розрахунками стрижнів на міцність склала близько 3%.

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

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано наукові дослідження з удосконалень несучих конструкцій вантажних вагонів для забезпечення їх міцності в експлуатації. Встановлено, що питання удосконалення несучих конструкцій вагонів є досить актуальними, але разом з цим потребують подальшого розвитку, оскільки досі заходам щодо покращення показників міцності вагонів шляхом зменшення їх динамічної навантаженості не приділялося належної уваги.

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

3. Досліджено навантаженість типової несучої конструкції вагона з урахуванням використання наповнювачів в складових, що мають замкнений переріз. З урахуванням застосування наповнювача в складових типової несучої конструкції вагона максимальні еквівалентні напруження в них зменшуються на 12 – 38%.

Встановлено, що втомна міцність несучої конструкції напіввагона з наповнювачем збільшується на 7% у порівнянні з типовою конструкцією. Однак при цьому збільшується тара вагона. Тому використання наповнювача доцільно здійснювати в найбільш навантажених елементах несучої конструкції, а саме – хребтовій балці.

4. Запропоновано заходи щодо удосконалення хребтової балки вагона для зменшення її навантаженості в експлуатації. При цьому пропонується замість типових профілів, які використовуються у рамах вагонів, використання профілю замкнутого перерізу. Визначено оптимальні параметри товщини стінок хребтової балки за критерієм мінімуму матеріалоемності. Проведені розрахунки показали, що оптимальною з точки зору мінімальної матеріалоемності є товщина стінки профілю, яка дорівнює 8,97 мм при масі 1188,18 кг. Проведено розрахунок на міцність рами вагона з удосконаленою хребтовою балкою. Результати розрахунку на міцність підтвердили доцільність прийнятих рішень.

5. Сформовано математичну модель для визначення динамічної навантаженості вагона з замкнутою хребтовою балкою, заповненою наповнювачем. До уваги прийнято наявність наповнювача з пружними, в'язкими та пружно-в'язкими властивостями. Результати проведеного розрахунку показали, що найбільш раціональним з точки зору зниження динамічної навантаженості вагона є використання наповнювачів з в'язкими або пружно-в'язкими властивостями. При використанні наповнювача з в'язкими властивостями максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію напіввагона складають 36,8 м/с². Дана величина прискорення на 4% нижча за ту, що отримана для несучої конструкції без наповнювача.

Проведено комп'ютерне моделювання динамічної навантаженості напіввагона з наповнювачем в несучій конструкції. Встановлено, що максимальні прискорення зосереджені в середній частині рами напіввагона і складають близько 38 м/с^2 . Проведено верифікацію сформованих моделей динамічної навантаженості напіввагона з наповнювачем в несучій конструкції. Результати розрахунків показали, що гіпотеза про адекватність не відхиляється.

6. Проведено теоретичне обґрунтування створення концепту несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами. Така конфігурація бокових стін дозволяє підвищити корисний об'єм кузова на 8% у порівнянні з вагоном-прототипом.

Визначено міцність несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження виникають при I розрахунковому режимі (удар) у зоні взаємодії хребтової балки зі шворневою та складають близько 340 МПа, отже не перевищують допустимі. Розраховано основні показники динаміки несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами. При цьому максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію напіввагона в центрі мас не перевищують допустимі та складають близько $0,4g$. Інші показники динаміки також знаходяться в межах допустимих. Хід руху напіввагона оцінюється як "відмінний". Проектний строк служби несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами складає не менше 32 років.

Для зменшення динамічної навантаженості концепту несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами пропонується впровадження замкненої конструкції хребтової балки з наповнювачем. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження при I розрахунковому режимі (удар) виникають в зоні взаємодії хребтової балки зі шворневою та складають близько 315 МПа. Отримана величина максимальних еквівалентних напружень на 7% нижча за ту, що розрахована для конструкції без наповнювача.

7. Проведено експериментальне дослідження міцності пустотілого стрижня замкненого перерізу, а також з наповнювачем для обґрунтування запропонованих рішень щодо удосконалення несучої конструкції вагона. Дослідження здійснено за методом електричного тензOMETрування у лабораторних умовах. В якості дослідних зразків використано пустотілі стрижні замкненого перерізу, а також з наповнювачем. Встановлено, що з урахуванням застосування наповнювача в пустотілих стрижнях зменшуються напруження, які виникають в них на 5,3% в порівнянні з конструкцією без наповнювача. Максимальні напруження, які виникають у наповнювачі знаходяться в діапазоні 2,89 – 3,04 МПа. Отримані результати сприятимуть створенню напрацювань щодо визначення оптимальних характеристик наповнювачів складових вагонних конструкцій.

Визначено силу зчеплення наповнювача з металевою поверхнею стрижня. Розрахунок на міцність стрижня замкненого перерізу з урахуванням сили зчеплення наповнювача з його поверхнею, здійснений в ПК "Ліра", встановив, що напруження, які виникають в стрижні зменшуються на 5,4% у порівнянні з пустотілим.

8. Проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень щодо удосконалення несучих конструкцій вантажних вагонів. Економічний ефект

досягається за рахунок скорочення витрат на позапланові види ремонтів вагонів. Економічний ефект на шостий рік реалізації проекту складає 2366,496 тис. грн. Економічний ефект наростаючим підсумком в останній рік розрахункового періоду дорівнює 10338,89 тис. грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

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

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

3. Панченко С. В., Фомін О. В., Ватуля Г. Л., Ловська А. О., Павлюченков М. В., Рибін А. В. Обґрунтування впровадження SIN-балок в несучу конструкцію напіввагона. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*. 2021. №42. С. 174 – 183. doi: 10.31498/2225-6733.42.2021.240690

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

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

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

Публікації у виданнях інших держав:

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

8. Fomin O., Lovska A., Rybin A. Peculiarities of determination of strength of universal open wagon frame with girder beam of short-shaped profiles. *The scientific heritage*. 2021, No. 67. С. 44 – 50.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

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

10. Panchenko S., Fomin O., Vatulia G., Ustenko O., Lovska A., Rybin A., Voloshyna L. Determination of loading of a hopper car with an improved design of the spine beam. VIRTUAL INTERNATIONAL CONFERENCE “IN-SERVICE DAMAGE OF MATERIALS, ITS DIAGNOSTICS AND PREDICTION”. (Ternopil, October 11 – 13). Ternopil, 2021. P. 10.

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

12. Ловська А. О., Фомін О. В., Рибін А. В. Особливості визначення динамічних навантажень, які діють на кузов напіввагона з наповнювачем в хребтовій балці.

IV Международная научно-практическая конференция “THEORY AND PRACTICE OF SCIENCE: KEY ASPECTS”. (Рим, 19-20 июля). Рим, 2021. P. 396 – 399.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

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

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

15. Oleksij Fomin, Alyona Lovska, Andrij Rybin. Improving to a passenger car body to ensure reliability of its fastening on a railway ferry. VIII МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ: SCIENTIFIC HORIZON IN THE CONTEXT OF SOCIAL CRISES. (Tokyo, 11-12 квітня). Tokyo, 2021. P. 595 – 597.

16. Піввагон із гофробалками в несучій конструкції: пат. 149128 України, МПК (2006) B61D 3/00. u202102610; заявл. 18.05.21; опубл. 21.10.21, Бюл. № 42/2021.

АНОТАЦІЯ

Рибін А. В. Удосконалення несучих конструкцій вантажних вагонів шляхом використання наповнювачів в їх складових. – Рукопис.

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

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального наукового завдання для залізничного транспорту – удосконаленню несучих конструкцій вантажних вагонів шляхом використання наповнювачів в їх складових. Для зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вантажних вагонів запропоновано використання замкнених профілів хребтових балок, заповнених наповнювачем. Результати розрахунків динамічної навантаженості та міцності несучих конструкцій основних типів вантажних вагонів підтвердили доцільність запропонованого удосконалення.

Також в роботі наведено результати теоретичного обґрунтування створення концепту несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами. Встановлено, що така конфігурація бокових стін дозволяє підвищити корисний об’єм кузова на 8% у порівнянні з вагоном-прототипом. Проведено експериментальне дослідження міцності пустотілих стрижнів замкненого перерізу, а також з наповнювачем. Здійснено техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень щодо удосконалень несучих конструкцій основних типів вантажних вагонів. Отримані результати розрахунків підтвердили доцільність прийнятих рішень.

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

АННОТАЦИЯ

Рыбин А. В. Усовершенствование несущих конструкций грузовых вагонов путем использования наполнителей в их составляющих. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов (273 – железнодорожный транспорт); Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков, 2021.

Диссертация посвящена решению актуального научного задания для железнодорожного транспорта – усовершенствованию несущих конструкций грузовых вагонов путем использования наполнителей в их составляющих. Для уменьшения динамической нагруженности несущих конструкций грузовых вагонов предложено использование замкнутых профилей хребтовых балок, заполненных наполнителем. Результаты расчетов динамической нагруженности и прочности несущих конструкций основных типов грузовых вагонов подтвердили целесообразность предложенного усовершенствования.

Также в работе приведены результаты теоретического обоснования создания концепта несущей конструкции полувагона с выпуклыми стенами. Установлено, что такая конфигурация боковых стен позволяет повысить полезный объем кузова на 8% по сравнению с вагоном-прототипом. Проведено экспериментальное исследование прочности пустотелых стержней замкнутого сечения, а также с наполнителем. Осуществлено технико-экономическое обоснование предложенных решений по усовершенствованию несущих конструкций основных типов грузовых вагонов. Полученные результаты расчетов подтвердили целесообразность принятых решений.

Ключевые слова: транспортная механика, железнодорожный транспорт, подвижной состав железных дорог, вагоны, несущая конструкция, нагруженность конструкции.

SUMMARY

Rybin A. V. Improvements for the bearing structure of a freight car through application of filler in its components. – Manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in the speciality 05.22.07 – rolling stock of railways and train traction (273 – railway transport); Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, 2021.

The thesis is devoted to the solution of the urgent scientific problem for railway transport, i.e. how to improve the bearing structure of a freight car by applying filler in its components. The study proposes the application of filler for the closed profiles of the center sill in order to decrease the dynamic loading on the bearing structure of a freight car. The calculation was made for main types of freight cars and included elastic, viscous, and elastic-viscous fillers. The results of calculation demonstrated that the application of viscous or elastic-viscous fillers is the most efficient technological solution regarding lower dynamic loading and better performance of a freight car. With viscous filler applied

the maximum accelerations to the bearing structure of an open car were 36.8 m/s^2 . This value is 4% lower than that obtained for the bearing structure without filler.

The research also deals with the computer modeling of the dynamic loading on an open car with filler in the bearing structure. The calculation was made with the finite element method in SolidWorks. It was found that the maximum accelerations were concentrated in the middle part of the open car frame; they were about 38 m/s^2 . The models of dynamic loading on an open car with filler in the bearing structure were verified.

Besides, the research presents the results of the theoretical substantiation for the concept of the bearing structure of an open car with convex sidewalls. It is found that such a sidewall profile can improve the useful capacity of the body by 8% in comparison with that for the prototype car.

The strength of the bearing structure of an open car with convex sidewalls was also determined. It was found that the maximum equivalent stresses occurred during Design Mode I (impact) in the contact area between the center sill and the body bolster; they amounted to about 340 MPa and did not exceed the allowable values.

The basic dynamic characteristics for the bearing structure with convex sidewalls were also calculated. The maximum accelerations on the bearing structure of an open car in the center of mass did not exceed the allowable values; they amounted to about 0.4g. Other dynamic characteristics were also within the allowable values. And the motion was estimated as excellent. The design service life of the bearing structure of an open car with convex sidewalls was calculated as no less than 32 years.

It was offered to apply filler in the closed-section center sill to reduce the dynamic loading on the bearing structure of the open car concept with convex walls. It was found that the maximum equivalent stresses during Design Mode I (impact) occurred in the contact area between the center sill and the body bolster; they amounted to about 315 MPa. The value of maximum equivalent stresses obtained was 7% lower than that obtained for the bearing structure without filler.

The application of fillers in the components of the bearing structure of a car with the closed cross-section was substantiated by means of the experimental research into the strength of empty closed cross-section pipes and ones with filler. It is found that filler can decrease stresses in the pipes by 5.3% in comparison with those occurred in the structure without filler.

The research also presents the feasibility study of the solutions on improvements in the bearing structure for the main types of freight cars. The results of calculation confirmed the efficiency of the solutions implemented. The economic benefit can be gained by means of lower costs of out-of-schedule repairs of freight cars.

The research conducted may contribute to higher operational efficiency of railway transport by means of lower maintenance cost and better efficiency, and through collection of exploratory studies on designing innovative structures of rolling stock.

Keywords: transport mechanics, flat cars, bearing structure, structural loading, strength, shunting impact.

РИБІН АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 629.463:629.4.023.1

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

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск



доц. Равлюк В. Г.

Підписано до друку 12.11.2021.
Формат паперу 60x84 1/16. Папір для множних апаратів
Друк цифровий. Умовн. друк. арк. 0,9.
Тираж 100 прим.

Надруковано у копіцентрі «Panda-Print»
(ФО-П Панарін В.С.)
61050, м. Харків, м. Фейєрбаха, 17