

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту

ЛОВСЬКА АЛЬОНА ОЛЕКСАНДРІВНА



УДК 629.4.02.001.5

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ РОЗРАХУНКІВ КОНСТРУКЦІЙ ВАГОНІВ
ШЛЯХОМ УРАХУВАННЯ НАДНОРМОВАНИХ РЕЖИМІВ ПРИ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора 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 консультант – доктор технічних наук, професор
Фомін Олексій Вікторович,
Державний університет інфраструктури та технологій, кафедра вагонів та вагонного господарства, професор кафедри.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Капіца Михайло Іванович,
Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
кафедра локомотивів, завідувач кафедри;

доктор технічних наук, професор
Бейгул Олег Олексійович,
Дніпровський державний технічний університет,
кафедра машинобудування, завідувач кафедри;

доктор технічних наук, професор
Полянський Олександр Сергійович,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, кафедра технології машинобудування і ремонту машин, професор кафедри.

Захист відбудеться «21» квітня 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 «19» березня 2021 р.

В. о. ученого секретаря
спеціалізованої вченої ради



О. М. Огар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. Перспективи техніко-економічного розвитку України зумовлюють підвищення ефективності експлуатації залізничного рухомого складу, як провідної галузі транспортної системи. Для конкурентоспроможності залізничного рухомого складу на сучасному етапі розвитку транспортної галузі важливим є створення інноваційних конструкцій. Досягти цього можливо шляхом урахування на стадії проектування уточнених динамічних навантажень, які виникають при наднормованих режимах експлуатації (залізнично-поромні перевезення, маневрове співударяння, падіння брила вантажу на несучу конструкцію вагона, дія ударних навантажень на кришку люка напіввагона, дія циклічних навантажень на несучу конструкцію напіввагона при використанні вібротриболомашин для дорозвантаження кузова, розвантаження кузова грейферним ковшем, відкриття кришки люка без торсіонного механізму тощо). Це сприятиме зменшенню пошкоджень вагонів в експлуатації, підвищенню безпеки руху, екологічної безпеки перевезень вантажів, покращенню інтероперабельності (контейнерні перевезення (суховантажні та контейнери-цистерни), залізнично-поромні, контрейлерні тощо).

У відповідності до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (від 30 травня 2018 р. № 430-р) для підвищення ефективності перевізного процесу у міжнародному сполученні необхідним є впровадження в експлуатацію високоефективного рухомого складу з покращеними техніко-економічними, експлуатаційними та екологічними характеристиками. Нормативна база згідно якої здійснюється проектування рухомого складу не відображає особливостей навантажень несучих конструкцій при наднормованих режимах, що зумовлює необхідність її уточнення та доповнення для створення високоефективного рухомого складу.

Зважаючи на згадане, дисертаційна робота присвячена розвитку наукових основ розрахунків конструкцій вагонів шляхом урахування наднормованих режимів при експлуатації, зокрема залізнично-поромні перевезення поїздів комбінованого транспорту, маневрові співударяння вагонів-платформ, завантажених контейнерами або контейнерами-цистернами з урахуванням технологічних зазорів. Це дозволить знизити матеріалоемність вагонів, підвищити вантажопідйомність, збільшити середні швидкості руху в завантаженому та порожньому станах, покращити антикорозійні та антифрикційні властивості, збільшити термін служби та зменшити загальну виробничу та експлуатаційну собівартість.

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), Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки, затвердженою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2008 року № 1259, Стратегічними пріоритетними напрямками інноваційної діяльності на 2011-2021 роки.

Дослідження за темою дисертаційної роботи проводились дисертантом при виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт: «Створення концептуально

нових вантажних вагонів модульного типу, як основа забезпечення позицій України на ринках залізничних вантажоперевезень та машинобудування» (№0117U000564); «Фундаментальні основи створення адекватно-спрямованого напружено-деформованого стану мультифункціональних модулів вагоноконструкцій з можливостями перспективного широкого машинобудівного застосування» (№0119U100437); «Інноваційні засади створення ресурсозберігаючих конструктивів вагонів шляхом урахування уточнених динамічних навантажень та функціонально-адаптивних флеш-концептів» (№0120U102037); «Розроблення концептуальних засад для відновлення ефективного функціонування застарілих вантажних вагонів» (№0120U104943).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є вирішення науково-прикладної проблеми – покращення ефективності функціонування вагонів шляхом урахування наднормованих режимів при експлуатації.

Для досягнення поставленої мети вирішені такі науково-прикладні задачі:

- проаналізувати наукові дослідження з визначення навантаженості конструкцій вагонів при наднормованих режимах;
- сформуувати математичні моделі для визначення динамічної навантаженості контейнерів та контейнерів-цистерн у складі комбінованих поїздів при перевезенні на залізничному поромі з урахуванням таких схем їх взаємодії: відсутність переміщень вагона-платформи та контейнера відносно початкового положення; наявність переміщень вагона-платформи при коливаннях залізничного порому та нерухомість контейнерів відносно рами; наявність переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів відносно рами вагона-платформи.
- визначити динамічну навантаженість несучих конструкцій вагонів при використанні в'язких стяжок для закріплення на палубах залізничних поромів;
- дослідити динамічну навантаженість контейнерів та контейнерів-цистерн, розміщених на вагонах-платформах при маневровому співударянні;
- сформуувати математичні моделі для визначення динамічної навантаженості контейнерів та контейнерів-цистерн з урахуванням пружних, в'язких та пружно-в'язких зв'язків у фітингах;
- провести теоретичне обґрунтування впровадження в'язких зв'язків в несучі конструкції вагонів з труб круглого перерізу з метою зменшення динамічної навантаженості в експлуатації;
- провести теоретичне обґрунтування створення вагонів зчленованого типу з труб круглого перерізу, обладнаних новими концептами упряжних пристроїв;
- провести теоретичне обґрунтування мультифункціональних виконань несучих конструкцій вагонів;
- провести експериментальне дослідження міцності вагона при наднормованих режимах навантажень;
- провести техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень щодо удосконалення несучих конструкцій вагонів та контейнерів при наднормованих режимах навантажень.

Об'єкт дослідження – процеси виникнення, сприйняття та перерозподілу навантажень в конструктивах вагонів, а також їх інноваційного розвитку.

Предмет дослідження – закономірності функціонування конструктивів вагонів при наднормованих режимах експлуатації; дослідження, а також моделювання динамічної навантаженості та мультифункціональне виконання їх складових.

Методи дослідження. При виконанні дисертаційної роботи використовувалися такі теорії та методи досліджень: сучасні методи математичної статистики при дослідженні пошкоджень несучих конструкцій вагонів в експлуатації; класичні методи складання диференціальних рівнянь руху механічних систем, зокрема, метод Лагранжа II роду, при дослідженні динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів при наднормованих режимах експлуатації; методи теоретичної механіки при визначенні стійкості контейнерів та контейнерів-цистерн на вагонах-платформах; метод скінчених елементів при визначенні основних показників міцності та комп'ютерному моделюванні динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів; метод Фішера для перевірки адекватності сформованих моделей; метод математичного планування експерименту при визначенні оптимальних параметрів несучих елементів транспортних засобів з труб круглого перерізу; сучасні методи експериментальних досліджень при визначенні навантаженості вагона-платформи при наднормованих режимах експлуатації; метод визначення проектного строку служби для визначення проектного строку служби удосконалених несучих конструкцій вагонів.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків, рекомендацій, які захищаються обумовлені використанням сучасних методів математичного моделювання, коректними допущеннями, підтверджуються задовільною збіжністю розрахункових і експериментальних даних.

Наукова новизна отриманих результатів.

Розвинуті наукові основи розрахунків конструкцій вагонів при наднормованих режимах експлуатації, а саме, при перевезенні поїздів комбінованого транспорту на залізничних поромках, а також маневровому співударянні.

Вперше:

- розроблено метод урахування наднормованих режимів навантаженості несучих конструкцій вагонів в експлуатації, а саме при перевезенні комбінованих поїздів на залізничних поромках та маневрових співударяннях вагонів-платформ, завантажених контейнерами або контейнерами-цистернами з пружними, в'язкими та пружно-в'язкими зв'язками у фітінгах;
- сформовано математичні моделі для визначення динамічної навантаженості контейнерів або контейнерів-цистерн у складі комбінованих поїздів при перевезенні на залізничному поромі з урахуванням таких схем їх взаємодії: відсутність переміщень вагона-платформи та контейнера відносно початкового положення; наявність переміщень вагона-платформи при коливаннях залізничного порому та нерухомість контейнерів відносно рами; наявність переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів відносно рами вагона-платформи;
- отримано аналітичні та графічні залежності динамічної навантаженості суховантажних контейнерів та контейнерів-цистерн при перевезенні у складі

комбінованих поїздів на залізничних поромках, що дозволяють визначити стійкість контейнерів, а також контейнерів-цистерн на вагонах-платформах;

- отримано залежності динамічної навантаженості суховантажних контейнерів та контейнерів-цистерн, розміщених на вагонах-платформах при маневрових співударяннях з урахуванням пружних, в'язких або пружно-в'язких зв'язків у фітінгах.

Дістали подальший розвиток:

- доопрацьовано математичну модель динамічної навантаженості несучої конструкції вагона при дії повздовжньої сили на нього з урахуванням застосування концепту упряжного пристрою автозчепу. Модель дозволяє отримати закономірності динамічної навантаженості вагонів з несучими елементами із труб круглого перерізу;

- доопрацьовано математичні моделі динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів з урахуванням використання пружних або в'язких зв'язків із засобами комбінованих перевезень (залізничний пором, вагон-платформа, контейнер), що дозволяють отримати закономірності їх динамічної навантаженості при експлуатації.

Удосконалено:

- науковий підхід щодо проектування несучих конструкцій вагонів, зокрема, обґрунтовано доцільність заповнення зчленованих оболонки, які є боковими та торцевими стінами напіввагонів, енергопоглинаючим матеріалом, а також використання пружних елементів в несучих конструкціях вагонів (напіввагон, вагон-платформа, критий вагон).

Практичне значення отриманих результатів.

Запропоновані практичні рішення щодо покращення ефективності функціонування вагонів в експлуатації.

- сформовані скінчено-елементні моделі вагонів, які дозволяють визначити їх динамічну навантаженість, а також міцність при наднормованих режимах та можуть бути використані при проведенні відповідних науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт;

- удосконалені та запатентовані: несучі конструкції вагонів, контейнерів та контейнерів-цистерн, пристрій для закріплення вагона відносно палуби залізничного порому, ударно-тяговий прилад (Патенти України: 122328, 111572, 134400, 134913, 135552, 136743, 138422, 145433);

- запропоновані доповнення нормативного документу ДСТУ 7598-2014 “Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)”, шляхом врахування наднормованих режимів навантажень вагонів в експлуатації;

- основні положення та рекомендації дисертаційної роботи передані з метою розгляду та подальшого впровадження в ДП “Український науково-дослідний інститут вагонобудування” (м. Кременчук) та ДМЗ “Карпати” (м. Новий Розділ). 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. Наукові публікації [9 – 13, 15– 18, 29, 39 – 43, 46 – 49, 51, 52, 54, 57, 58, 61, 63] опубліковані без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить:

- створення скінчено-елементних моделей несучих конструкцій вагонів та проведення розрахунку на міцність при основних експлуатаційних режимах навантаження – [1, 3, 4, 5, 7, 20, 24, 36, 59, 60];
- створення закономірностей динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів, обладнаних концептом упряжного пристрою – [1, 4, 6, 8, 23];
- створення закономірностей динамічної навантаженості контейнерів та контейнерів-цистерн, розміщених на вагонах-платформах при основних експлуатаційних режимах навантаження – [25, 27, 31, 45];
- створення закономірностей динамічної навантаженості вагонів, контейнерів та контейнерів-цистерн, розміщених на вагонах-платформах при перевезенні у складі комбінованих поїздів на залізничних породах – [14, 21, 22, 28, 30, 33, 44, 50, 53, 55, 56, 62];
- впровадження пружно-в'язких зв'язків в несучі конструкції контейнерів та контейнерів-цистерн, а також вагонів для зменшення динамічної навантаженості в експлуатації – [2, 26, 34, 35, 37, 38];
- створення закономірностей динамічної навантаженості та міцності несучих конструкцій вагонів з труб круглого перерізу при основних експлуатаційних режимах навантаження – [1, 3, 7, 20, 24, 32];
- пошук аналогів вагонів (пристроїв закріплення) та формування заявок на винаходи (корисні моделі) – [19, 64–69].

Апробація результатів дисертації. Основні матеріали результатів дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали схвалення на 23 наукових конференціях:

- Міжнародній науково-практичній конференції “Логістичне управління та безпека руху на транспорті”, СНУ ім. В. Даля, 2015. (Україна, м. Лозова);
- 77, 78 міжнародних науково-технічних конференціях «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», Український державний університет залізничного транспорту, УкрДУЗТ, 2015, 2016. (Україна, м. Харків);
- Міжнародній науково-практичній конференції “Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи”, СНУ ім. В. Даля, 2016. (Україна, м. Трускавець);
- 76, 77, 79 міжнародних науково-практичних конференціях “Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту”, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 2016, 2017, 2019. (Україна, м. Дніпро);
- XIII międzynarodowej naukowopraktycznej konferencji “Dynamika naukowych badań-2017”, 2017. (Republic of Poland, Przemyśl);
- Науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених “Логістичне управління та безпека руху на транспорті”, СНУ ім. В. Даля, 2017, 2018, 2019. (Україна);
- VIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году науки “Проблемы безопасности на транспорте”, БелГУТ, 2017. (Республика Беларусь, г. Гомель);
- VII міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми розвитку транспорту і логістики”, СНУ ім. В. Даля, 2017. (Україна, м. Одеса);
- International scientific and practical conference “Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects”, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2018. (Italy, Rome);
- International Multidisciplinary Conference «Science and technology of the present time: priority development directions of Ukraine and Poland», 2018. (Republic of Poland, Wolomin);

- Міжнародній науково-технічній конференції “Технології та інфраструктура транспорту”, УкрДУЗТ, 2018 р. (Україна, м. Харків);
- VI Міжнародній конференції “Актуальні проблеми інженерної механіки”, ОДАБА, 2019. (Україна, м. Одеса);
- Міжнародній науково-практичній конференції «НАУКА, ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ: ГЛОБАЛЬНІ ТА СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ», 2019. (Чеська Республіка, Прага);
- International scientific and practical conference “Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects”, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2019. (Spain, Salou);
- II Всеукраїнській конференції «Вагони нового покоління: із XX в XXI сторіччя», УкрДУЗТ, 2019 р. (Україна, м. Харків);
- 9th International Scientific Conference [on] Research and Development of Mechanical Elements and Systems, IRMES, 2019. (Serbia, Kragujevac);
- 8 Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», УкрДУЗТ, 2019. (Україна, м. Харків);
- IX міжнародній науково-практичній конференції «Транспорт і логістика: проблеми та рішення», СНУ ім. В. Даля, 2019 (Україна, м. Одеса).

В повному обсязі результати дисертаційної роботи доповідались та були схвалені на розширеному семінарі кафедр експлуатації та ремонту рухомого складу, інженерії вагонів та якості продукції, а також спеціалізованих комп’ютерних систем 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 69 наукових працях, в тому числі: 1 монографії, що опублікована англійською мовою в іноземному видавництві (Естонія, м. Талін); 15 наукових статтях, що індексуються наукомеричними базами даних SCOPUS та/або WoS (з них 3 – першого квартілю (Q1), 5 – 2 квартілю (Q2)); 9 публікаціях в матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються наукометричними базами SCOPUS та/або WoS; 11 статтях в наукових фахових виданнях України (з них 8 – без співавторів); 8 патентах України на винаходи та корисні моделі та 25 додаткових працях та працях апробаційного характеру.

Структура і обсяг роботи. Дисертація має вступ, шість розділів, висновки, список використаних джерел з 213 найменувань та 3 додатки. Повний обсяг дисертації складає 406 сторінок, в тому числі 264 сторінки основного тексту, 32 таблиці, 234 рисунки, 55 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету 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 розвитку наукових основ розрахунків конструкцій вагонів шляхом урахування наднормованих режимів при експлуатації та удосконалень. Досліджено основні пошкодження несучих конструкцій вагонів при наднормованих режимах навантажень. Проведено огляд питань щодо визначення динамічної навантаженості

та міцності несучих конструкцій вагонів при експлуатаційних режимах, а також заходів щодо удосконалень їх конструкцій.

У створення науково-технічного заділу з удосконалень несучих конструкцій вагонів значний вклад внесли науковці Всесоюзного науково-дослідного інституту залізничного транспорту (м. Москва), Московського державного університету шляхів сполучення (м. Москва), Білоруського державного університету транспорту (м. Гомель), Брянського державного університету транспорту (м. Брянськ), Санкт-Петербурзького державного університету шляхів сполучення (м. Санкт-Петербург), ВАТ “НВЦ Вагони” (м. Москва), Філії “Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту” (м. Київ), Українського державного університету залізничного транспорту (м. Харків), Державного університету інфраструктури та технологій (м. Київ), Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (м. Сєвєродонецьк), Дніпровського національного університету залізничного транспорту (м. Дніпро), Ростовського державного університету шляхів сполучення (м. Ростов) та ін.

Питання визначення динамічної навантаженості та міцності вагонів, а також відповідних удосконалень 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, 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. Путято, 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.

При цьому подальший розвиток питань визначення динамічної навантаженості та міцності вагонів при наднормованих режимах, а також удосконалень їх конструкцій є досить важливою та актуальною задачею.

Аналіз існуючих нормативних документів з питань проектування вагонів встановив, що вони не відображають повною мірою наднормованих режимів навантажень вагонів. Це викликає пошкодження несучих конструкцій вагонів в експлуатації, необхідність проведення позапланових видів ремонту та може впливати на безпеку руху залізничного транспорту.

У **другому розділі** дисертаційної роботи проведено визначення динамічної навантаженості та міцності контейнерів у складі комбінованих поїздів, а також несучих конструкцій вагонів при перевезенні на залізничних поромках.

До уваги прийняті три схеми взаємодії контейнерів з рамою вагона-платформи:

– відсутність переміщень вагона-платформи з контейнерами відносно палуби. Тобто при коливаннях залізничного порому вагон-платформа та контейнери,

- розміщені на ньому, повністю повторюють траєкторію коливань судна (рисунок 1, а);
- наявність переміщень вагона-платформи відносно палуби та відсутність переміщень контейнерів відносно рами вагона-платформи (рисунок 1, б);
 - наявність переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів відносно рами вагона-платформи (рисунок 1, в).

Розглянуто кутові переміщення вагона-платформи з контейнерами навколо повздовжньої осі X на кут θ (еквівалент коливань бічна хитавиця в динаміці вагонів), як випадку найбільшої навантаженості несучої конструкції вагона-платформи з контейнерами, а також забезпечення їх стійкості відносно палуби. Для визначення динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію контейнера у складі комбінованого поїзда при перевезенні на залізничному поромі використано математичну модель (1).

$$\left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q} + \left(\Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q} = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \quad (1)$$

де $q = \theta$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню залізничного порому з комбінованими поїздами навколо повздовжньої осі. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому.

D – вагове водовитіснення; B – ширина залізничного порому; h – висота борта; Λ_θ – коефіцієнт опору коливанням; z_g – координата центру ваги; p' – вітрове навантаження; $F(t)$ – закон дії зусилля, яке збудує рух залізничного порому з комбінованими поїздами, розміщеними на його палубах.

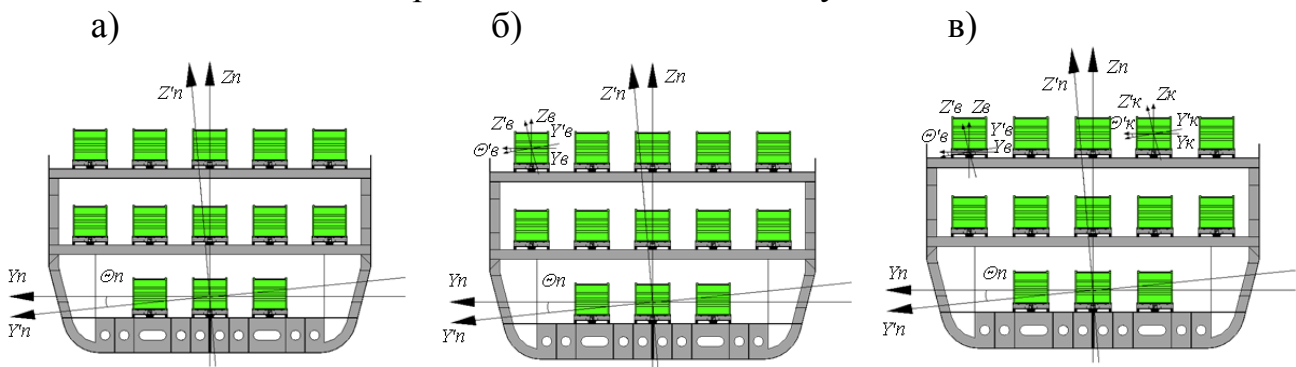


Рисунок 1 – Розрахункові схеми для дослідження кутових переміщень навколо повздовжньої осі вагона-платформи з контейнерами, розміщеними на залізничному поромі: при відсутності переміщень вагона-платформи з контейнерами відносно палуби – а; при наявності переміщень вагона-платформи відносно палуби та відсутності переміщень контейнерів відносно рами вагона-платформи – б; при наявності переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів відносно рами вагона-платформи – в.

Розрахунки проведені стосовно залізничного порому “Герои Шипки”, що рухається акваторією Чорного моря. В якості базової моделі вагона-платформи обрана модель 13-4012, а контейнера – модель 1СС, масою брутто 24 т.

Для розв’язання диференціального рівняння (1) використано програмний комплекс Mathcad, для чого воно зводилося до нормальної форми Коші, після цього інтегрувалося за методом Рунге – Кутта. Початкове переміщення та швидкість

прийняті рівними нулю. На рисунку 2 наведено прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи з контейнерами, що розміщений на крайній від фальшборта колії верхньої палуби залізничного порому при кутових переміщеннях навколо повздовжньої осі. Найбільша величина прискорення виникає при курсовому куті хвилі по відношенню по корпусу залізничного порому $\chi = 120^\circ$. Загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта вагон-платформу з контейнерами, склала близько $0,25g$. Для визначення прискорень, які діють на вагон-платформу з контейнерами при перевезенні залізничним поромом з урахуванням можливих переміщень вагона відносно палуби в умовах хвилювання моря (рисунк 1, б), сформовано математичну модель (2).

$$\begin{cases} \left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q}_1 + \left(\Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q}_1 = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \\ I_\theta^{ВПФ} \cdot \ddot{q}_2 = p'_{ВПФ} \cdot \frac{h_{ВПФ}}{2} + M_{ВПФ}^\Pi, \end{cases} \quad (2)$$

де $q_1 = \theta_1$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню залізничного порому навколо повздовжньої осі; $q_2 = \theta_2$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню вагона-платформи з контейнерами навколо повздовжньої осі. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому; $I_\theta^{ВПФ}$ – момент інерції вагона-платформи з контейнерами відносно повздовжньої осі; $p'_{ВПФ}$ – вітрове навантаження на бокову проекцію вагона-платформи з контейнерами, розміщеного на верхній палубі залізничного порому; $h_{ВПФ}$ – висота бокової проекції вагона-платформи з контейнерами; $M_{ВПФ}^\Pi$ – момент сил, що виникає між вагоном-платформою та палубою залізничного порому при кутових переміщеннях навколо повздовжньої осі.

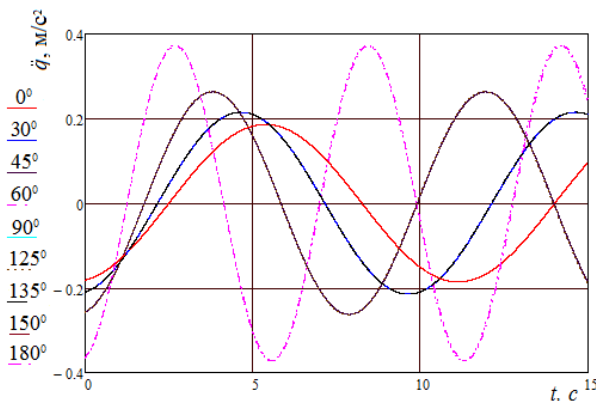


Рисунок 2 – Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи з контейнерами при коливаннях залізничного порому

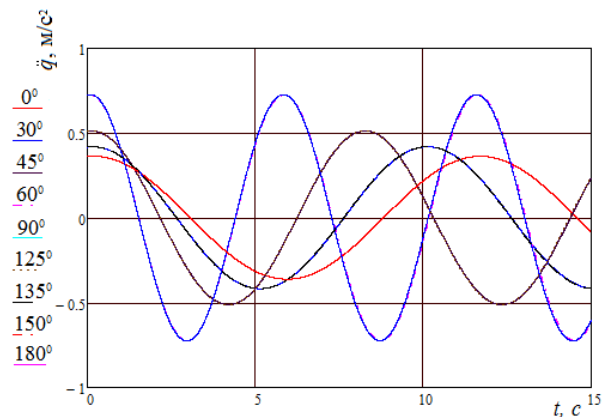


Рисунок 3 – Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи з контейнерами з урахуванням можливих переміщень відносно палуби

Перше рівняння математичної моделі характеризує переміщення залізничного порому в умовах хвилювання моря, а друге – вагона-платформи з контейнерами відносно палуби. В сформованій математичній моделі не враховано ударну дію

морських хвиль на корпус залізничного порому з вагонами, розміщеними на його борту. Результати розрахунків наведені на рисунку 3.

Загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта вагон-платформу з контейнерами, склала близько 0,3g. Отримані результати дозволяють зробити висновок, що дана величина прискорення перевищує прискорення, яке діє на контейнер, розміщений на вагоні-платформі з урахуванням жорсткого закріплення відносно палуби майже на 20 %.

З метою визначення прискорень при наявності переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів відносно рами вагона-платформи сформовано математичну модель, яка враховує кутові переміщення елементів системи (“залізничний пором – вагон-платформа – контейнер”) навколо повздовжньої осі (рисунк 1, в)). При визначенні моменту сил, що виникає між вагоном-платформою та палубою взята до уваги горизонтальна складова ваги бруто з урахуванням сили тертя між складовими вагона. При визначенні моменту сил між вагоном-платформою та контейнерами до уваги прийнята горизонтальна складова ваги бруто контейнерів, сили тертя між фітинговими упорами та фітингами, а також геометрія фітингового упору.

$$\begin{cases} \left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q}_1 + \left(\Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q}_1 = p'_{3П} \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \\ I_{ВПФ}^\theta \cdot \ddot{q}_2 = p'_{ВПФ} \cdot \frac{h_{ВПФ}}{2} + M_{ВПФ}^П + M_{ВПФ}^К, \\ I_K^\theta \cdot \ddot{q}_3 = p'_K \cdot \frac{h_K}{2} + M_K^{ВПФ}, \end{cases} \quad (3)$$

де $q_1 = \theta_1$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо повздовжньої осі залізничного порому; $q_2 = \theta_2$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо повздовжньої осі вагона-платформи; $q_3 = \theta_3$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо повздовжньої осі контейнера. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому; $I_{ВПФ}^\theta$ – момент інерції вагона-платформи відносно повздовжньої осі; $p'_{ВПФ}$ – вітрове навантаження на бокову проекцію вагона-платформи, розміщеного на верхній палубі залізничного порому; $h_{ВПФ}$ – висота бокової проекції вагона-платформи; $M_{ВПФ}^К$ – момент сил, що виникає між вагоном-платформою та контейнерами при кутових переміщеннях навколо повздовжньої осі; I_K^θ – момент інерції контейнера; h_K – висота бокової поверхні контейнера; p'_K – вітрове навантаження на бокову поверхню контейнера; $M_K^{ВПФ}$ – момент сил, що виникає між контейнером та вагоном-платформою при кутових переміщеннях навколо повздовжньої осі.

На підставі проведених розрахунків встановлено, що найбільші величини прискорень виникають при курсових кутах хвилі по відношенню до корпуса залізничного порому $\chi = 60^\circ$ та $\chi = 120^\circ$. Результати розрахунків наведені на рисунку 4. При цьому максимальні прискорення контейнера склала близько 2,5 м/с²,

вагона-платформи – близько $1,8 \text{ м/с}^2$. Чисельні значення прискорень приведені без урахування складової прискорення вільного падіння. Загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта вагон-платформу, склала близько $0,4g$, а на контейнера, розміщені на ньому, близько $0,47g$.

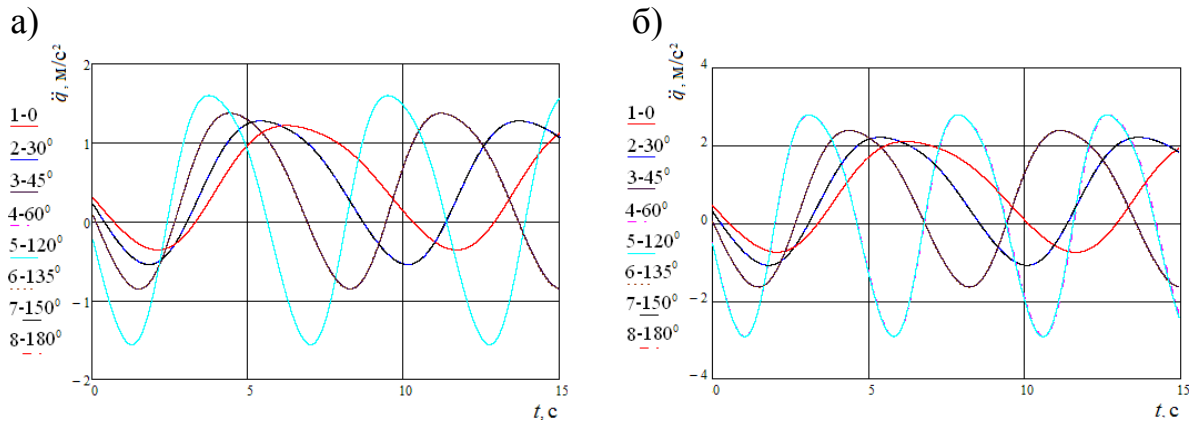


Рисунок 4 – Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи з контейнерами при перевезенні залізничним поромом з урахуванням можливих переміщень відносно початкового положення: вагон-платформа – а; контейнер – б

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що дана величина прискорення перевищує прискорення, яке діє на контейнер, розміщений на вагоні-платформі з урахуванням жорсткого закріплення відносно палуби майже на 50 %, а при наявності переміщень вагона-платформи відносно палуби та відсутності переміщень контейнера відносно рами на 35 %.

Для визначення динамічної навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні на залізничному поромі сформовано математичні моделі (4) – (6). Розрахункові схеми наведені на рисунку 5.

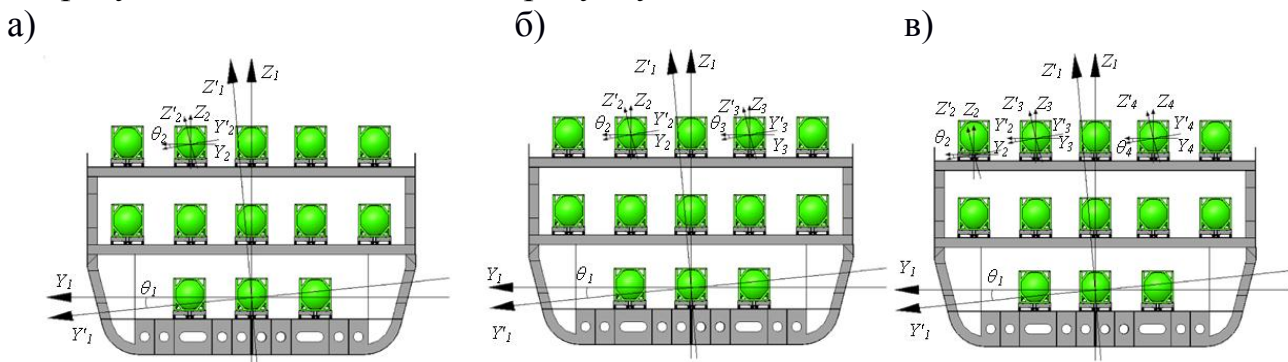


Рисунок 5 – Розрахункові схеми для дослідження кутових переміщень навколо повздовжньої осі вагона-платформи з контейнерами-цистернами, розміщеними на залізничному поромі: при відсутності переміщень вагона-платформи з контейнерами-цистернами відносно палуби – а; при наявності переміщень контейнера-цистерни відносно рами та відсутності переміщень вагона-платформи – б; при наявності переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів-цистерн відносно рами вагона-платформи – в

У якості вагона-прототипу обрано вагон-платформу моделі 13-4012. Дослідження проведені стосовно контейнера-цистерни типорозміру 1СС, завантаженого бензином до 95 % місткості котла. Враховано, що перевезення контейнерів-цистерн здійснюється на залізничному поромі типу “Герои Шипки” через акваторію Чорного моря. Рух наливного вантажу описувався сукупністю математичних маятників у відповідності до схеми, розробленої Богомазом Г. І.

$$\begin{cases} \left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{\theta}_1 + \left(\Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{\theta}_1 = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \\ I_{ij} \cdot \ddot{\theta}_2 - m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\theta}_1 + g \cdot m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \theta_2 = 0, \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{\theta}_1 + \left(\Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{\theta}_1 = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \\ \left(I_{0i} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}^2 \right) \cdot \ddot{\theta}_2 + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\theta}_3 - g \cdot \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \right) \cdot \theta_2 = M_K^{\text{ВПФ}}, \\ I_{ij} \cdot \ddot{\theta}_3 - m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\theta}_2 + g \cdot m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \theta_3 = 0, \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{\theta}_1 + \left(\Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{\theta}_1 = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \\ I_{\text{ВПФ}} \cdot \ddot{\theta}_2 = p'_{\text{ВПФ}} \cdot \frac{h_{\text{ВПФ}}}{2} + M_{\text{ВПФ}}^{\text{П}} + M_{\text{ВПФ}}^{\text{К}}, \\ \left(I_{0i} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}^2 \right) \cdot \ddot{\theta}_3 + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\theta}_4 - g \cdot \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \right) \cdot \theta_3 = M_K^{\text{ВПФ}}, \\ I_{ij} \cdot \ddot{\theta}_4 - m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\theta}_3 + g \cdot m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \theta_4 = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Початок системи координат розміщений у центрі мас залізничного порома.

D – вагове водовитіснення; B – ширина залізничного порома; h – висота борта залізничного порома; Λ_0 – коефіцієнт опору коливанням; z_g – координата центру ваги залізничного порома; p' – вітрове навантаження; $F(t)$ – закон дії зусилля, яке збурює рух залізничного порома з комбінованими поїздами, розміщеними на його палубах; $I_{\text{ВПФ}}$ – момент інерції вагона-платформи відносно повздовжньої осі; $p'_{\text{ВПФ}}$ – вітрове навантаження на бокову проекцію вагона-платформи; $h_{\text{ВПФ}}$ – висота бокової проекції вагона-платформи; $M_{\text{ВПФ}}^{\text{П}}$ – момент сил, який виникає між вагоном-платформою та палубою залізничного порома; $M_{\text{ВПФ}}^{\text{К}}$ – момент сил, який виникає між вагоном-платформою та контейнером-цистерною; I_{ij} – момент інерції маятника; m_{ij} – маса j -го маятника у i -му контейнері-цистерні; c_{ij} – відстань від площини $z_i=0$ до точки закріплення j -го маятника у i -му контейнері-цистерні; l_{ij} – довжина j -го маятника; I_{0i} – приведений момент інерції i -го контейнера-цистерни та наливного вантажу, що не бере участі в русі відносно котла; z_{ci} – висота центру ваги контейнера-цистерни; m_i – маса тіла, яке еквівалентне i -му контейнеру-цистерні з

частиною наливного вантажу, що не бере участі в переміщенні відносно котла; $M_K^{ВПФ}$ – момент сил, що виникає між контейнером-цистерною та вагоном-платформою.

Результати розрахунку у вигляді залежностей прискорень, які діють на контейнер-цистерну від курсових кутів хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому, наведені на рисунку 6.

Встановлено, що при відсутності переміщень вагона-платформи та контейнерів-цистерн відносно початкового положення загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта вагон-платформу з контейнерами-цистернами, склала близько 0,3g. При наявності переміщень контейнера-цистерни відносно рами та відсутності переміщень вагона-платформи відносно палуби загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта контейнер-цистерну склала близько 0,6g. Для випадку переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів-цистерн відносно рами загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта контейнер-цистерну склала близько 0,9g (рисунок 7). Максимальні прискорення, які діють на контейнер-цистерну, відповідають курсовим кутам морської хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому – 60° та 120°.

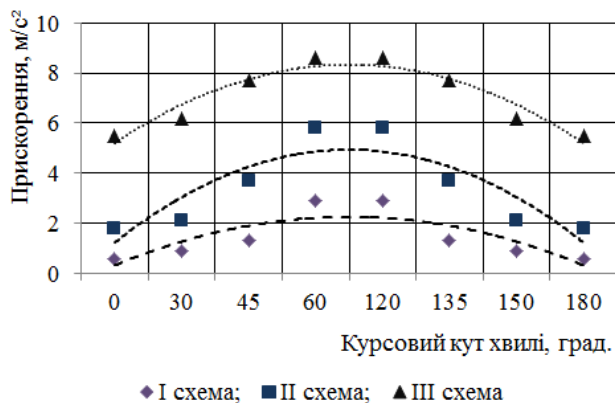


Рисунок 6 – Прискорення, які діють на контейнер-цистерну з урахуванням різних схем взаємодії з вагоном-платформою

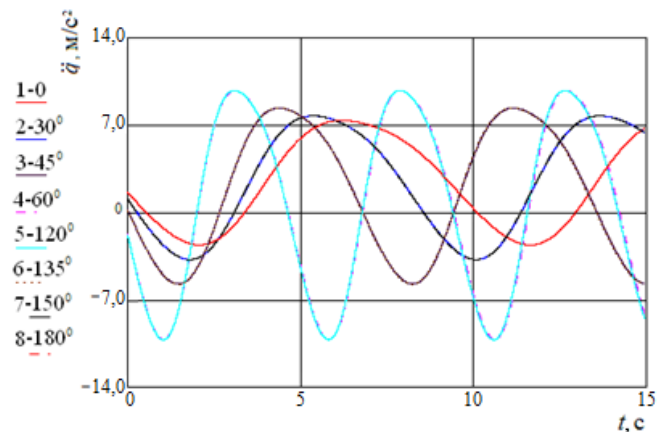


Рисунок 7 – Прискорення, які діють на контейнер-цистерну при наявності переміщень відносно рами та вагона-платформи відносно палуби

Для оцінки стійкості контейнерів відносно рами вагона-платформи проведені дослідження коефіцієнту стійкості рівноваги k_c при кутових переміщеннях залізничного порому навколо повздовжньої осі (рисунок 8).

Для забезпечення стійкості рівноваги контейнера повинна виконуватися умова:

$$k_c = \frac{M_{відн}}{M_{пер}} \geq 1, \quad (7)$$

де $M_{відн}$ – величина відновлюючого моменту; $M_{пер}$ – величина перекидаючого моменту.

$$M_{пер} = p'_k \cdot \frac{h_k}{2} + M_{бр} \cdot (g \cdot \sin \theta + \ddot{q}_k) \cdot \frac{h_k}{2}, \quad (8)$$

$$M_{\text{відн}} = P_{\text{бр}} \cdot \cos \theta \cdot \frac{B_K}{2} + n_{\phi} \cdot \left(M_{\text{бр}} \cdot (g \cdot \sin \theta + \ddot{q}_k) \right) \cdot \frac{h_{\phi}}{2}, \quad (9)$$

де $M_{\text{бр}}$ – маса брутто контейнера; \ddot{q}_k – прискорення, яке діє на контейнер при кутових переміщеннях навколо повздовжньої осі; $P_{\text{бр}}$ – вага брутто контейнера; B_K – ширина контейнера; n_{ϕ} – кількість фітингових упорів на які здійснюється обпирання контейнера при кутових переміщеннях навколо повздовжньої осі; h_{ϕ} – висота фітингового упора.

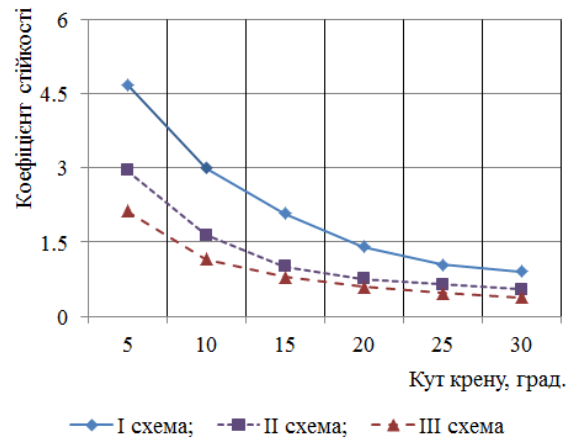
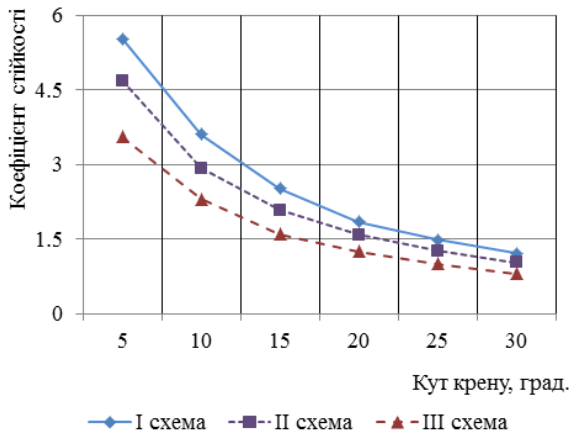


Рисунок 8 – Залежність коефіцієнту стійкості контейнера відносно рами вагона-платформи від кутів крену

Рисунок 9 – Залежність коефіцієнту стійкості контейнера-цистерни відносно рами вагона-платформи від кутів крену

При цьому поріг стійкості встановлюється у випадку коли величини відновлюючого та перекидаючого моментів рівні між собою. Проведені дослідження дозволили зробити висновок, що коефіцієнт стійкості контейнера має значення менше 1 при наявності переміщень фітингів відносно фітингових упорів. Стійкість контейнера забезпечується при кутах крену залізничного порому до 25° .

Встановлено, що стійкість контейнера-цистерни для найбільш несприятливого випадку навантаження забезпечується при куті крену до 10° (рисунок 9). При другій схемі стійкість контейнера-цистерни забезпечується при кутах крену до 12° , при першій – до 25° .

Для забезпечення стійкості контейнерів при перевезенні у складі комбінованих поїздів на залізничних поромках запропоновано постановку зйомних надбудов на несучу конструкцію вагона-платформи. Для зменшення динамічної навантаженості контейнерів здійснюється використання на внутрішніх поверхнях надбудов вагона-платформи матеріалу з в'язкими властивостями.

З метою пом'якшення навантажень від ланцюгових стяжок на кузова вагонів пропонується здійснювати не жорсткий зв'язок між ними, а в'язкий, посередництвом використання спеціального пристрою – демпферу між кузовом та палубою (рисунок 10).

Пристрій для закріплення вагона відносно палуби залізничного порому складається з жорсткого стрижня 1 на кінці якого розміщений гак 2 для закріплення

за кузов вагона. Виконуючим органом пристрою є гідравлічний демпфер, до складу якого входить корпус 3. Всередині корпусу розміщений поршень 4 з дросельними отворами 5. Нижня частина пристрою складається з перехідника 6 з різьбовою нарізкою для регулювання довжини пристрою, жорсткого стрижня 7 та гака 8 для закріплення за палубний рим.

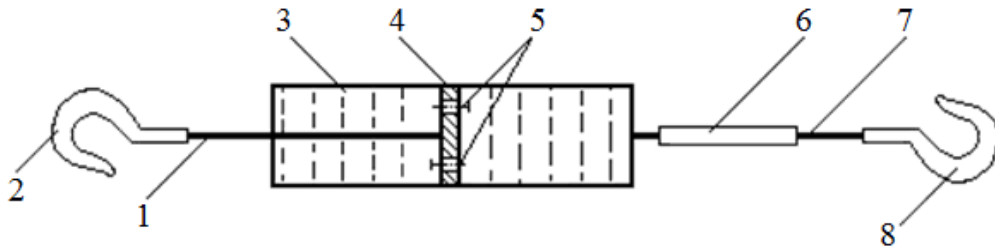


Рисунок 10 – Пристрій для закріплення вагона на палубі залізничного порома

Для закріплення одного вагона на палубі використовується вісім таких пристроїв – по чотири з кожного боку. З метою визначення прискорень кузова напіввагона при закріпленні його на палубі за допомогою запропонованих пристроїв здійснено математичне моделювання. Для цього складено розрахункову схему, наведену на рисунку 11.

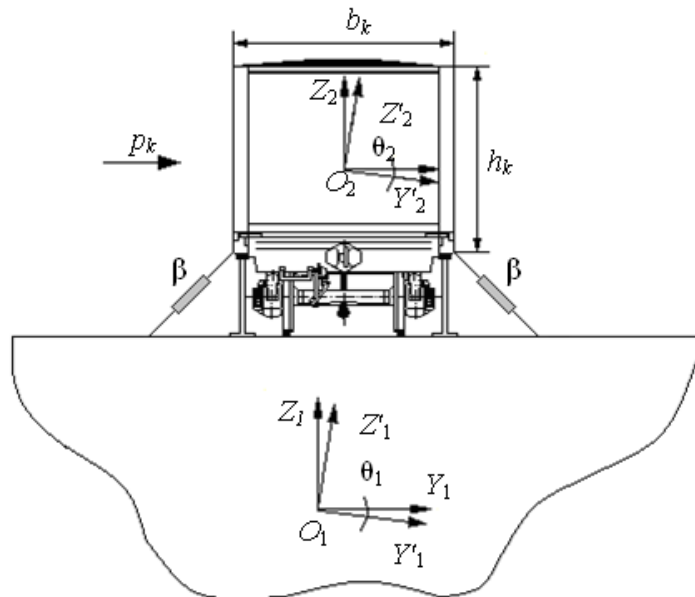


Рисунок 11 – Розрахункова схема для визначення динамічної навантаженості кузова напіввагона

При цьому система диференціальних рівнянь (10) враховує кутові переміщення залізничного порому навколо повздовжньої осі, а також кузова вагона відносно палуби. Встановлено, що при використанні між кузовом вагона та палубою в'язкого зв'язку стає можливим знизити величини прискорень, які діють на несучу конструкцію вагона на 30 %.

$$\begin{cases} \frac{D}{12 \cdot g} \cdot (B^2 + 4 \cdot z_g^2) \cdot \ddot{q}_1 + \left(\Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \right) \cdot \dot{q}_1 = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \\ I_k \cdot \ddot{q}_2 + \beta \cdot \frac{e_k}{2} \cdot \dot{q}_2 = p_k \cdot \frac{h_k}{2} + F_\beta, \end{cases} \quad (10)$$

де q_1, q_2 – узагальнені координати, що відповідають кутовому переміщенню навколо повздовжньої осі, відповідно, залізничного порому та кузова вагона; D – вагове водовитіснення; B – ширина залізничного порому; h – висота борта залізничного порому; Λ_0 – коефіцієнт опору коливанням; z_g – координата центру ваги; p' – вітрове навантаження; $F(t)$ – закон дії зусилля, яке збурює рух залізничного порому з вагонами, розміщеними на його палубах; I_k – момент інерції кузова вагона відносно повздовжньої осі; β – коефіцієнт в'язкого опору, що створюється пристроєм; e_k – ширина кузова; p_k – вітрове навантаження на бокову стіну; h_k – висота бокової стіни кузова; F_β – момент сил, який виникає між кузовом та палубою.

Для забезпечення надійності закріплень кузовів пасажирських вагонів на залізничних поромках запропоновано встановлення на їх шворневих балках спеціальних вузлів (рисунок 12). Принцип дії вузла заснований на роботі гідравлічного демпфера, що дозволяє знизити величину динамічної навантаженості кузова.

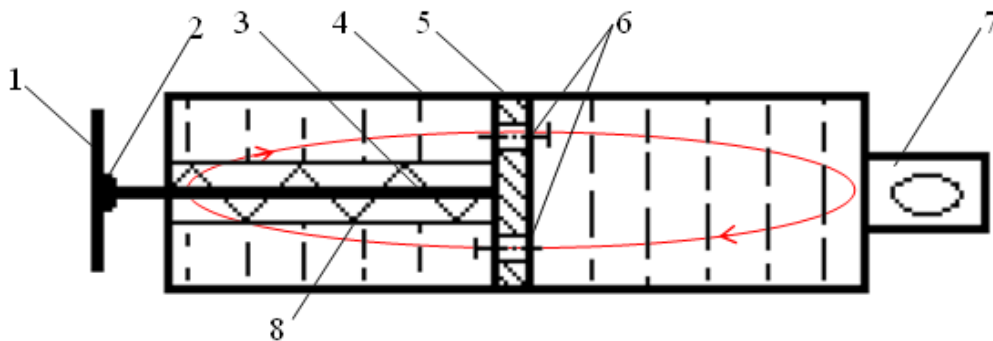


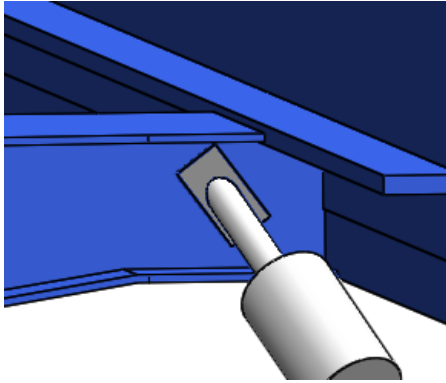
Рисунок 12 – Вузол для закріплення кузова вагона на палубі

При передачі навантаження через провужину 7 на вузол від гака ланцюгової стяжки здійснюється переміщення поршня 5 зі штоком 3 відносно корпусу 4. При цьому відбувається перетікання робочої рідини через відкритий дросельний отвір 6 та створення опору переміщенню поршня. Відпускна пружина 8 стискається. Переміщення поршня 5 у початкове положення здійснюється за рахунок відпускної пружини 8. При зворотному переміщенні поршня 5 процес перетікання здійснюється через інший дросельний отвір 6. Енергія, що утворюється при цьому розсіюється у навколишнє середовище. В зоні взаємодії штока 3 з опорною частиною 1 вузла, яка кріпиться до вертикального листа шворневої балки здійснюється шарнірне з'єднання 2. Це дозволяє у випадку відсутності необхідності використання вузла перемістити його у горизонтальне положення (рисунок 13).

З урахування використання вузла для закріплення кузова вагона на палубі максимальні прискорення, які діють на нього виникають при курсових кутах хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому 60° та 120° і складають близько

1,3 м/с². Важливо зазначити, що при цьому робоча речовина, яка буде створювати в'язкий опір між кузовом та палубою повинна мати коефіцієнт в'язкого опору від 2 кН·с/м до 4,2 кН·с/м. З урахуванням запропонованого рішення максимальні прискорення, які діють на кузов вагона зменшуються на 30% у порівнянні з типовою схемою закріплення відносно палуби.

а)



б)

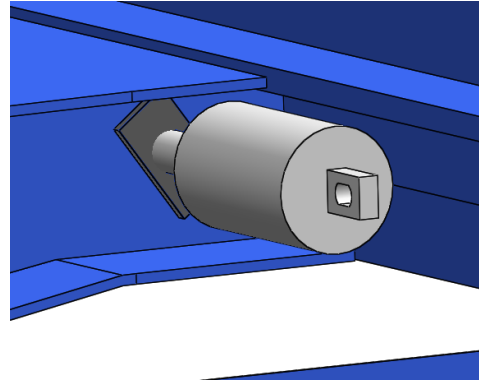


Рисунок 13 – Положення вузла для закріплення кузова вагона на палубі: при закріпленні кузова вагона – а; при відсутності закріплення – б

Проведено розрахунок на міцність несучої конструкції кузова пасажирського вагона з урахуванням запропонованої схеми закріплення на палубі. Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають у накладці, яка імітує опорну частину вузла та складають близько 120 МПа, тобто не перевищують допустимі.

У **третьому розділі** дисертаційної роботи проведено визначення динамічної навантаженості вагона-платформи з контейнерами та контейнерами-цистернами при маневровому співударянні. Дослідження проведені стосовно контейнера типорозміру 1 СС. Встановлено, що при наявності зазорів між фітинговими упорами вагона-платформи та фітингами контейнера, прискорення, що діють на їх несучі конструкції складають, відповідно, близько 90 м/с² та 110 м/с². При повздовжній навантаженості вагона-платформи з контейнерами-цистернами, розміщеними на ньому, максимальні прискорення отримані для випадку, коли зазори між фітинговими упорами та фітингами дорівнюють 30 мм. При цьому прискорення складають близько 300 м/с². Отримані результати підтверджені комп'ютерним моделюванням динамічної навантаженості вагона-платформи з контейнерами та контейнерами-цистернами, розміщеними на ньому при маневровому співударянні.

Для зменшення ударних навантажень між фітингами та фітинговими упорами при маневровому співударянні, в випадку коли динамічне навантаження перевищує силу тертя між горизонтальними площинами фітингів та фітингових упорів, пропонується встановлення у фітинги пружних, в'язких або пружно-в'язких елементів (рисунок 14). Для визначення динамічної навантаженості контейнера при маневровому співударянні з урахуванням заходів щодо удосконалення сформовано математичну модель (11), яка враховує переміщення контейнера, розміщеного на вагоні-платформі.

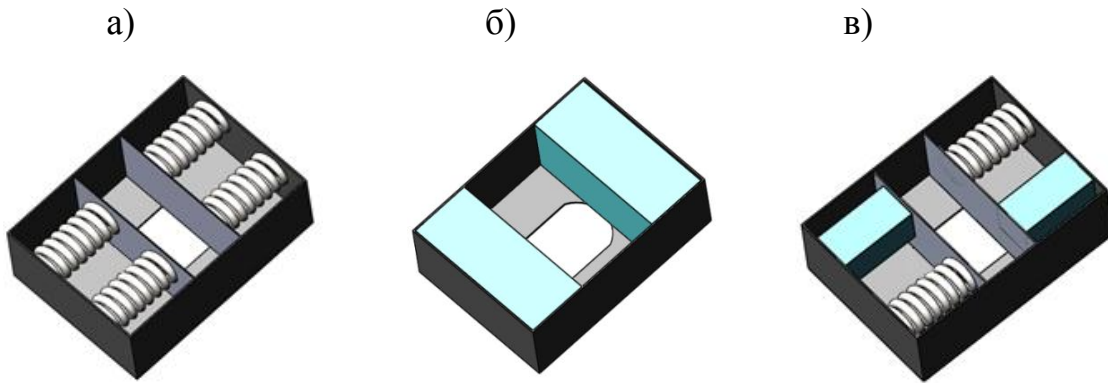


Рисунок 14 – Удосконалені конструкції фітингів
 а) з пружними елементами; б) з в'язкими елементами; в) з пружно-в'язкими елементами

Схема дії сил між фітингом та фітинговим упором при маневровому співударянні наведена на рисунку 15. В моделі враховано силу сухого тертя, яка виникає при переміщенні фітингів відносно горизонтальних площин фітингових упорів та пружний зв'язок між ними. Дослідження динамічної навантаженості контейнера проводилося у плоскій системі координат.

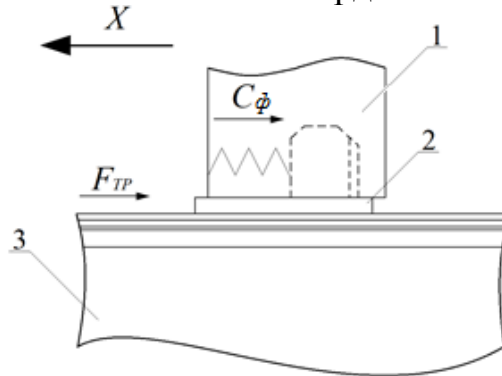


Рисунок 15 – Схема дії сил між фітингом та фітинговим упором при маневровому співударянні
 1 – фітинг; 2 – фітинговий упор; 3 – повздовжня балка вагона-платформи

При складанні моделі прийнято припущення, що контейнер завантажений умовним вантажем з використанням максимально-допустимої вантажопідйомності. Тобто в розрахунках враховано повну вагу бруто контейнера.

$$\begin{cases} M_{ВПФ}^{повн} \cdot \ddot{q}_1 = P_{y\partial} - \sum_{i=1}^n (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + C_{\phi} (q_1 - q_2)), \\ M_k \cdot \ddot{q}_2 = (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + C_{\phi} \cdot (q_1 - q_2)), \end{cases} \quad (11)$$

де $M_{ВПФ}^{повн}$ – маса-бруто вагона-платформи; $P_{y\partial}$ – величина повздовжньої сили, що діє на автозчеп; n – кількість контейнерів, розміщених на вагоні-платформі; F_{TP} – сила тертя між фітинговими упорами та фітингами; M_k – маса контейнера; C_{ϕ} – жорсткість пружних елементів у фітингах; q_1, q_2 – координати, що визначають

переміщення, відповідно, вагона-платформи та контейнера відносно повздовжньої осі.

На підставі проведених розрахунків отримано прискорення, які діють на контейнер, розміщений на вагоні-платформі при маневровому співударянні (рисунок 16, а)).

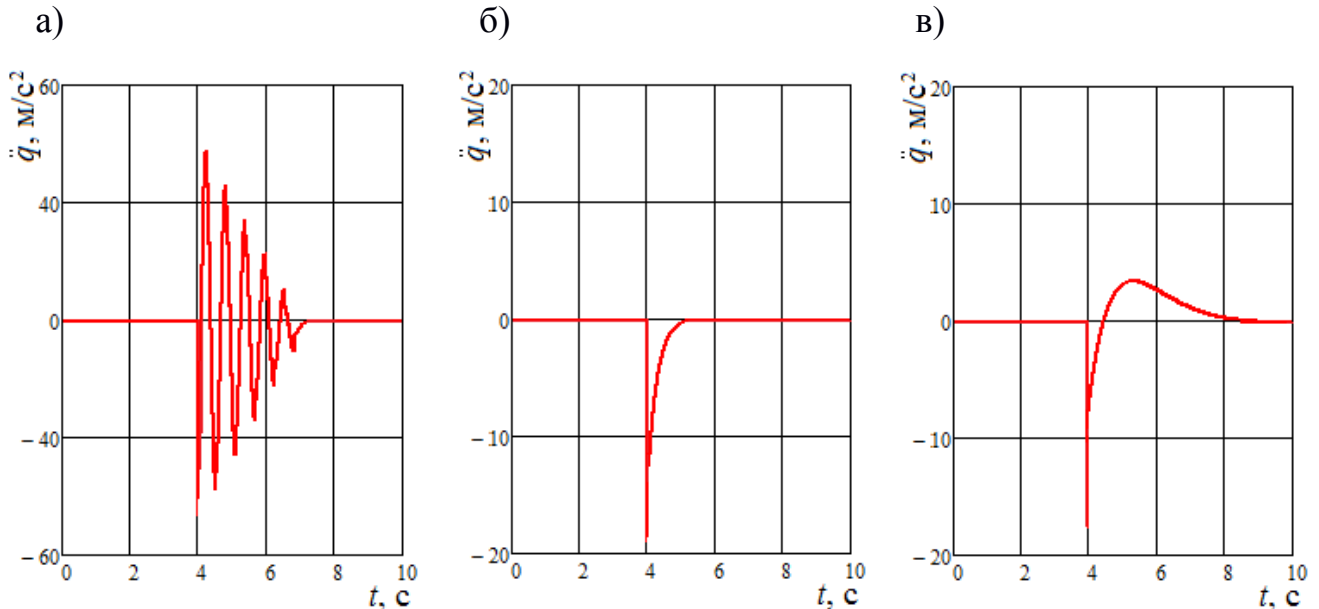


Рисунок 16 – Прискорення, які діють на контейнер, розміщений на вагоні-платформі при маневровому співударянні

- а) при пружному зв'язку у фітингах; б) при в'язкому зв'язку у фітингах;
в) при пружно-в'язкому зв'язку у фітингах

Дана величина прискорення склала близько 50 м/с^2 ($\approx 5g$), тобто перевищує нормативну величину прискорення на 60%. Отже, пружний зв'язок між фітингами та фітинговими упорами при даній розрахунковій схемі не компенсує у повній мірі величину динамічного навантаження, яке діє на контейнер.

Також розглянутий випадок в'язкої взаємодії фітингів з фітинговими упорами. Математична модель динамічної навантаженості контейнера при маневровому співударянні з урахуванням наявності у фітингах в'язкого зв'язку наведена нижче.

$$\begin{cases} M_{ВПФ}^{повн} \cdot \ddot{q}_1 = P_{y0} - \sum_{i=1}^n (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + \beta_\phi (\dot{q}_1 - \dot{q}_2)), \\ M_k \cdot \ddot{q}_2 = (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + \beta_\phi (\dot{q}_1 - \dot{q}_2)), \end{cases} \quad (12)$$

де β_ϕ – коефіцієнт в'язкого опору у фітингах.

Прискорення, які діють на контейнер з в'язкими зв'язками у фітингах, розміщений на вагоні-платформі при маневровому співударянні, наведено на рисунку 16, б). При завданій величині в'язкого опору у фітингах прискорення склало близько 20 м/с^2 ($\approx 2g$) та не перевищує нормативну величину. При цьому в'язкий опір переміщенню контейнера повинен знаходитися в діапазоні 10 – 50 кН·с/м.

Для зменшення динамічної навантаженості контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при маневровому співударянні також розглянутий варіант виконання фітингів з пружно-в'язкими зв'язками. Математична модель для визначення динамічної навантаженості контейнера наведена нижче.

$$\begin{cases} M_{ВПФ}^{повн} \cdot \ddot{q}_1 = P_{y\partial} - \sum_{i=1}^n (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + C_\phi (q_1 - q_2) + \beta_\phi (\dot{q}_1 - \dot{q}_2)), \\ M_k \cdot \ddot{q}_2 = (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + C_\phi \cdot (q_1 - q_2) + \beta_\phi (\dot{q}_1 - \dot{q}_2)). \end{cases} \quad (13)$$

Результати проведених розрахунків показали, що при значенні жорсткості пружного елемента 20 кН/м та коефіцієнта в'язкого опору 30 кН·с/м прискорення, які діють на контейнер, розміщений на вагоні-платформі при маневровому співударянні складають близько 20 м/с² ($\approx 2g$), (рисунок 16, в)) та знаходяться в межах допустимих.

Для визначення динамічної навантаженості контейнера-цистерни при маневровому співударянні з урахуванням наявності у фітингах пружних зв'язків сформовано математичну модель (14). У якості наливного вантажу прийнятий бензин. Рух наливного вантажу описувався сукупністю математичних маятників. На підставі проведених розрахунків отримано прискорення, які діють на контейнер-цистерну, розміщений на вагоні-платформі при маневровому співударянні (рисунок 17, а)). Дана величина прискорення склала близько 40 м/с² ($\approx 4g$), тобто знаходиться в межах допустимих. При цьому загальна жорсткість пружних елементів на один контейнер-цистерну повинна знаходитися в діапазоні 420 – 530 кН/м.

$$\begin{cases} M_{ВПФ}^{повн} \cdot \ddot{q}_1 = P_{y\partial} - \sum_{i=1}^n (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + C_\phi (q_1 - q_2)), \\ M_k \cdot \ddot{q}_2 = \sum_{i=1}^n (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + C_\phi \cdot (q_1 - q_2) + M_M \cdot l \cdot q_3), \\ I_{HB} \cdot \ddot{q}_3 = M_M \cdot l \cdot \ddot{q}_2 - g \cdot M_M \cdot l \cdot q_3, \end{cases} \quad (14)$$

де $M_{ВПФ}^{повн}$ – маса-брутто вагона-платформи; $P_{y\partial}$ – величина повздовжньої сили, що діє на автозчеп; F_{TP} – сила тертя між фітинговими упорами та фітингами; M_k – маса контейнера-цистерни; C_ϕ – жорсткість пружних елементів у фітингах; M_M – маса маятника, який імітує переміщення наливного вантажу у контейнері-цистерні; l – довжина підвісу маятника; I_{HB} – момент інерції маятника; q_1, q_2, q_3 – координати, що визначають переміщення, відповідно, вагона-платформи, контейнера-цистерни та наливного вантажу відносно повздовжньої осі.

Для зменшення динамічної навантаженості контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі при маневровому співударянні також розглянутий варіант виконання фітингів з в'язкими зв'язками. Математична модель динамічної навантаженості контейнера-цистерни при маневровому співударянні з урахуванням наявності у фітингах в'язкого зв'язку наведена нижче.

$$\begin{cases} M_{ВПФ}^{повн} \cdot \ddot{q}_1 = P_{y0} - \sum_{i=1}^n (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + \beta_\phi (\dot{q}_1 - \dot{q}_2)), \\ M_k \cdot \ddot{q}_2 = \sum_{i=1}^n (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + \beta_\phi (\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + M_M \cdot l \cdot q_3), \\ I_{HB} \cdot \ddot{q}_3 = M_M \cdot l \cdot \ddot{q}_2 - g \cdot M_M \cdot l \cdot q_3, \end{cases} \quad (15)$$

β_ϕ – коефіцієнт в'язкого опору у фітингах.

Прискорення, які діють на контейнер-цистерну з в'язкими зв'язками у фітингах, розміщений на вагоні-платформі при маневровому співударянні наведено на рисунку 17, б).

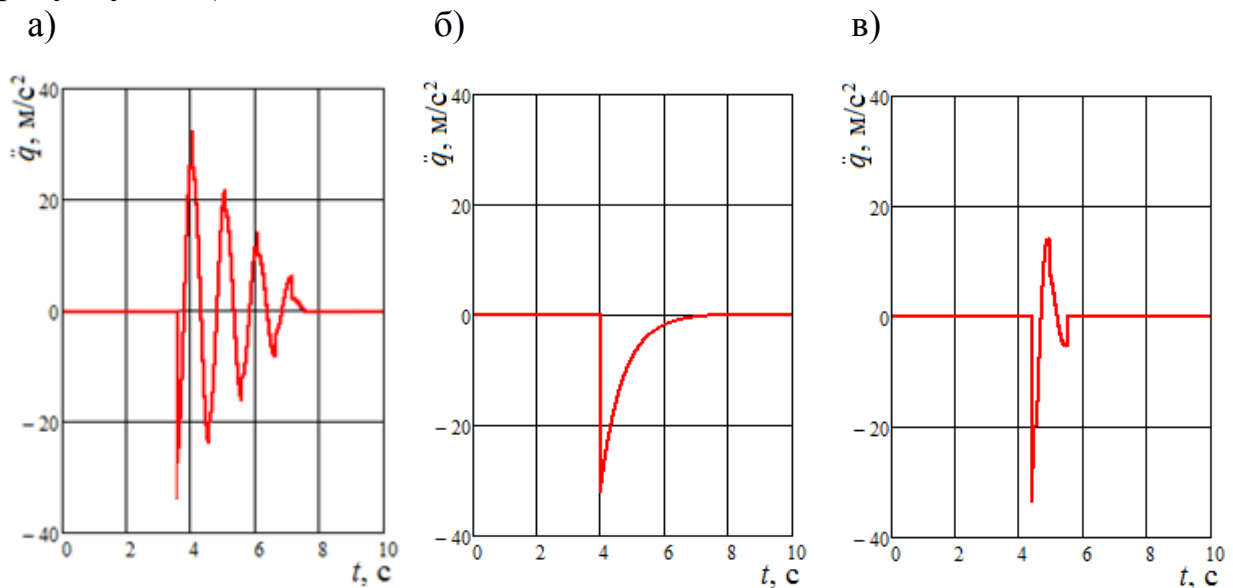


Рисунок 17 – Прискорення, які діють на контейнер-цистерну, розміщений на вагоні-платформі при маневровому співударянні

- а) при пружному зв'язку у фітингах; б) при в'язкому зв'язку у фітингах;
в) при пружно-в'язкому зв'язку у фітингах

При завданій величині в'язкого опору у фітингах прискорення склало близько 40 м/с^2 ($\approx 4g$) та не перевищує нормовану величину. При цьому загальний в'язкий опір переміщенню одного контейнера-цистерни повинен знаходитися в діапазоні 9 – 54 кН·с/м.

Для визначення динамічної навантаженості контейнера-цистерни при маневровому співударянні з урахуванням наявності у фітингах пружно-в'язкого зв'язку сформовано математичну модель (16). Прискорення, які діють на контейнер-цистерну з урахуванням пружно-в'язкого зв'язку у фітингах, наведено на рисунку 17, в). При цьому жорсткість пружного елемента прийнята рівною 480 кН/м та коефіцієнт в'язкого опору 30 кН·с/м. Максимальна величина прискорення складає близько 40 м/с^2 ($\approx 4g$) та не перевищує нормовану величину. Отримані результати підтверджені комп'ютерним моделюванням динамічної навантаженості вагона-платформи з контейнерами та контейнерами-цистернами, розміщеними на ньому при маневровому співударянні.

$$\begin{cases} M_{ВПФ}^{новн} \cdot \ddot{q}_1 = P_{y0} - \sum_{i=1}^n (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + c(q_1 - q_2) + \beta_\phi(\dot{q}_1 - \dot{q}_2)), \\ M_k \cdot \ddot{q}_2 = \sum_{i=1}^n (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + c(q_1 - q_2) + \beta_\phi(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + M_M \cdot l \cdot \dot{q}_3), \\ I_{HB} \cdot \ddot{q}_3 = M_M \cdot l \cdot \ddot{q}_2 - g \cdot M_M \cdot l \cdot q_3, \end{cases} \quad (16)$$

Проведено дослідження міцності фітингових упорів вагона-платформи та фітингів контейнерів при маневровому співударянні з урахуванням запропонованих удосконалень. При цьому стає можливим знизити максимальні еквівалентні напруження, які діють у фітингових упорах майже у три рази (рисунок 18), а у фітингах контейнера – майже у сім (рисунок 19).

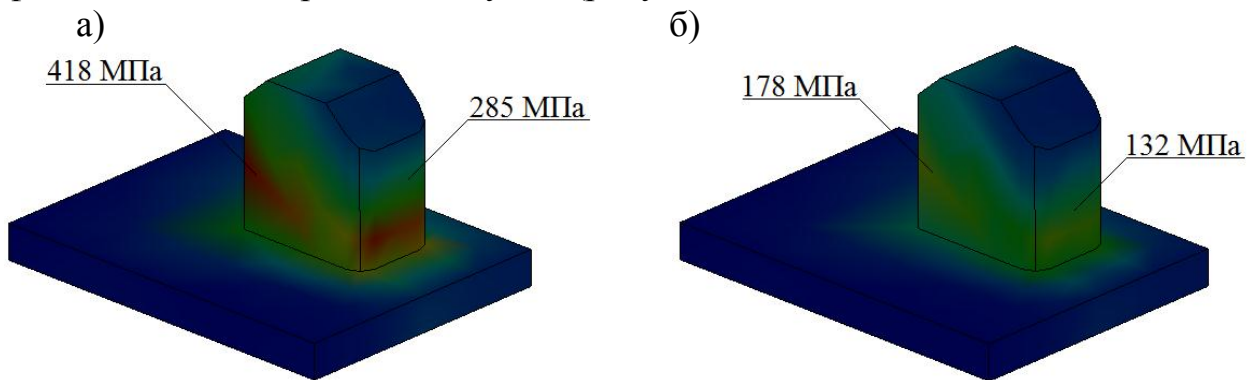


Рисунок 18 – Напружений стан фітингових упорів вагона-платформи
а) типова схема взаємодії; б) удосконалена схема взаємодії

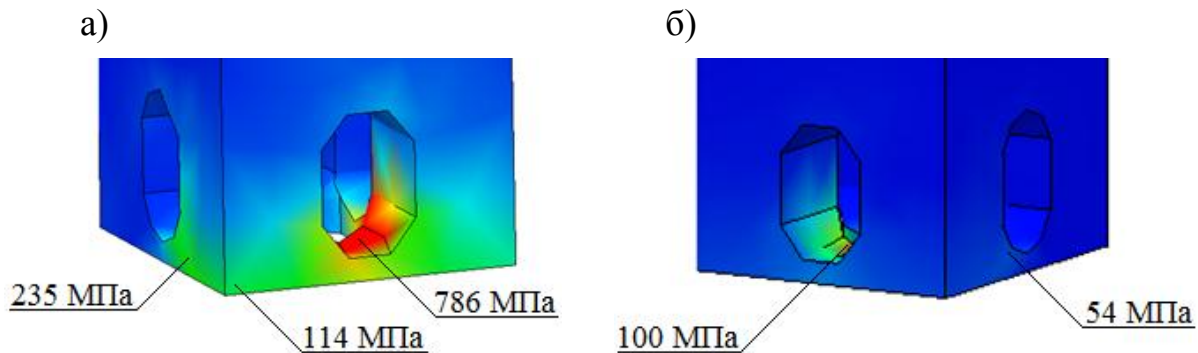


Рисунок 19 – Напружений стан фітингів контейнерів
а) типова схема взаємодії; б) удосконалена схема взаємодії

У четвертому розділі проведено обґрунтування впровадження в'язких зв'язків в несучі конструкції вагонів з труб круглого перерізу для зменшення динамічної навантаженості в експлуатації. Для зменшення динамічних навантажень, які діють на несучі конструкції залізничних вагонів пропонується здійснити виключення упряжних пристроїв автозчепів із конструкцій та перекласти їх функції по поглинанню енергії, яка виникає від дії експлуатаційних навантажень, на хребтову балку, а також верхні та нижні обв'язування бокових стін, які

пропонується виконувати із труб круглого перерізу та заповнювати матеріалом з демпфуючими та антикорозійними властивостями.

Для визначення динамічних навантажень, які діють на кузова вагонів при маневровому співударянні, як випадку найбільшої навантаженості їх несучих конструкцій у експлуатації, використано математичну модель, сформовану проф. Богомазом Г. І. Модель була складена для визначення прискорень, як складових динамічного навантаження, що діють на вагон-платформу з контейнерами-цистернами при маневровому співударянні. Тому в рамках даного дослідження вона доопрацьована для визначення прискорень, що сприймаються вагоном при дії повздовжньої сили удару. Результати досліджень дозволили зробити висновок, що прискорення, яке діє на несучу конструкцію вагона при маневровому співударянні складає близько 40 м/с². Для визначення прискорень, які діють на несучу конструкцію вагона з урахуванням заповнення труб круглого перерізу матеріалом з демпфуючими та антикорозійними властивостями, проведено математичне моделювання:

$$M'_B \cdot \ddot{x}_B + M' \cdot \ddot{\varphi}_B = S_a - \beta \cdot \dot{x}_B, \quad (17)$$

$$I_B \cdot \ddot{\varphi}_B + M' \cdot \ddot{x}_B - g \cdot \varphi_B \cdot M' = l \cdot F_{TP} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2) + l(C_1 - C_2), \quad (18)$$

$$M_B \cdot \ddot{z}_B = C_1 + C_2 - F_{TP} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 + \text{sign} \dot{\Delta}_2), \quad (19)$$

де

$$M'_B = M_B + 2 \cdot m_T + \frac{n \cdot I_{KП}}{r^2}; \quad M' = M_B \cdot h; \quad C_1 = k_1 \cdot \Delta_1; \quad C_2 = k_2 \cdot \Delta_2; \quad (20)$$

$$\Delta_1 = z_B - l \cdot \varphi_B; \quad \Delta_2 = z_B + l \cdot \varphi_B \quad (21)$$

де M_B – маса несучої конструкції вагона; I_B – момент інерції вагона відносно повздовжньої осі; S_a – величина повздовжньої сили удару в автозчеп; m_T – маса візка; β – коефіцієнт в'язкого опору матеріалу, яким заповнені елементи несучої конструкції вагону; $I_{KП}$ – момент інерції колісної пари; r – радіус середнезношеного колеса; n – кількість осей візка; l – половина бази вагона; F_{TP} – абсолютне значення сили сухого тертя у ресорному комплекті; k_1, k_2 – жорсткість пружин ресорного підвішування візків вагона; x_B, φ_B, z_B – координати, що визначають, відповідно, повздовжнє, кутове навколо поперечної осі та вертикальне переміщення вагона.

Результати визначення прискорень, які діють на несучу конструкцію вагона при наявності речовини з в'язкими властивостями у його складових елементах дозволили зробити висновок, що ефективність даного рішення досягається при значенні коефіцієнту в'язкого опору не вище 120 кН·с/м. Прискорення, яке діє на несучу конструкцію вагона при маневровому співударянні склало близько 34 м/с², та нижче на 10% від величини прискорення, отриманого при типовій схемі сприйняття навантажень хребтовою балкою вагона. З метою реалізації впровадження запропонованої схеми сприйняття повздовжніх навантажень хребтовою балкою

вагона передбачається зміна конструктивних особливостей автозчепних пристроїв, а саме виключення упряжних пристроїв, а також задніх упорів та перекладання їх функцій на менш складні за конструкцією елементи (рисунок 20).

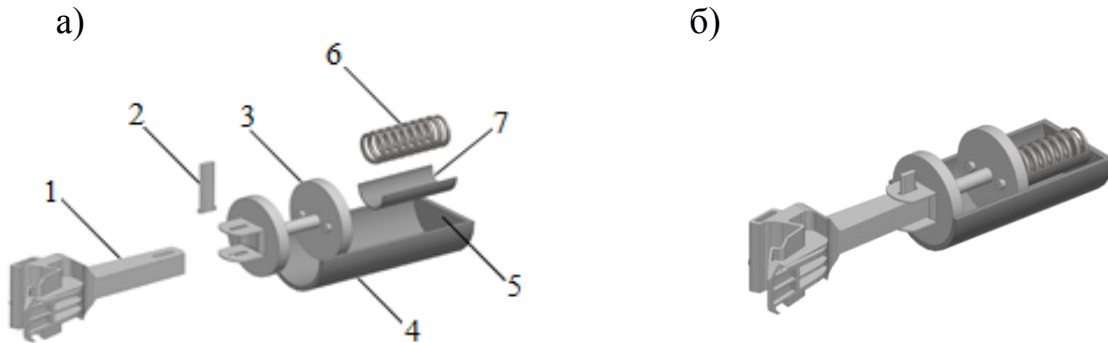


Рисунок 20 – Концепт упряжного пристрою автозчепу: складові концепту – а; концепт у збірці – б; 1 – корпус; 2 – клин; 3 – адаптер; 4 – хребтова балка, виконана з труби круглого перерізу; 5 – днище; 6 – пружина; 7 – телескопічний елемент

Впровадження розробленого концепту пропонується здійснювати на вагонах зчленованого типу з труб круглого перерізу (рисунок 21).

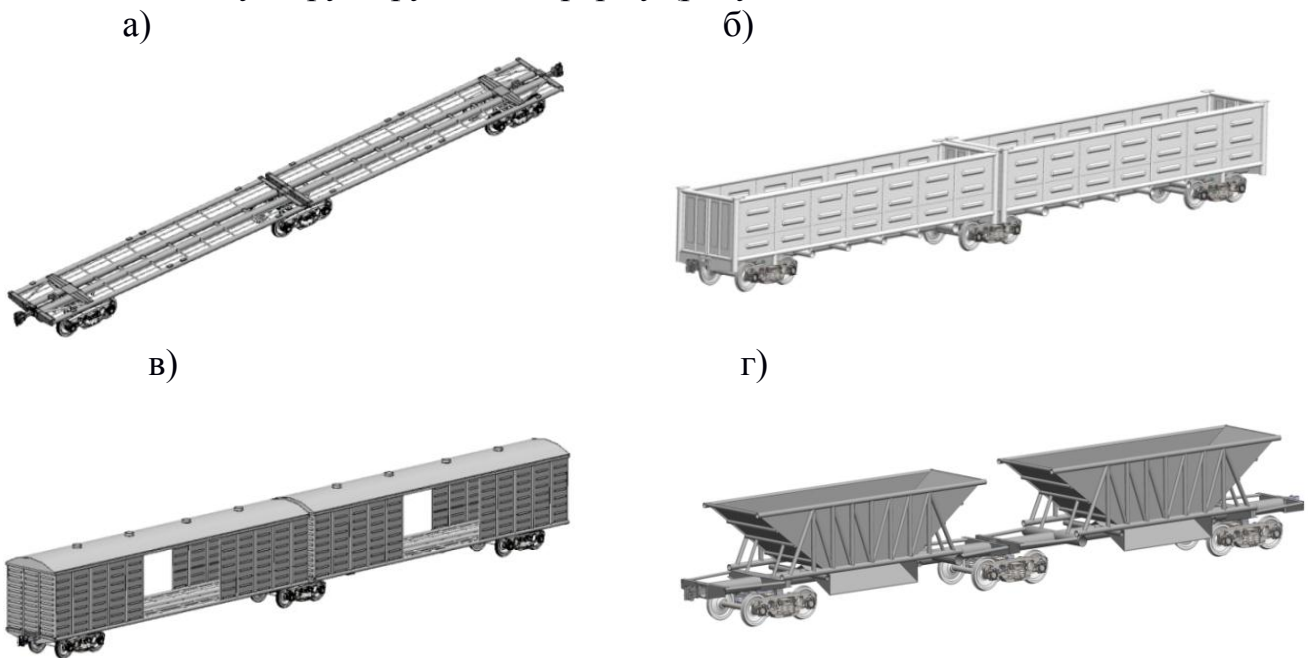


Рисунок 21 – Вагони зчленованого типу з труб круглого перерізу: вагон-платформа – а; напіввагон – б; критий вагон – в; вагон-хопер – г

Проведено моделювання динамічної навантаженості вагонів зчленованого типу з труб круглого перерізу. Встановлено чисельні значення прискорень, які діють на них при повздовжній навантаженості несучих конструкцій. З урахуванням використання концептів упряжних пристроїв на вагонах зчленованого типу стає можливим знизити їх динамічну навантаженість майже на 10%.

У п'ятому розділі висвітлені особливості мультифункціональних виконань несучих складових вантажних вагонів. Для зменшення динамічної навантаженості

вагона в експлуатації запропоновано використання у якості енергопоглинаючого матеріалу в складових конструкції піноалюмінію. Одним з найбільш раціональних варіантів використання піноалюмінію в вагонних конструкціях є впровадження його у якості наповнювача у складові вагонів, які мають замкнений переріз. Наприклад, несучі конструкції вагонів з труб круглого перерізу. Розглянуто ефективність впровадження піноалюмінію в хребтову балку напіввагона, як найбільш навантаженого вузла несучої конструкції (рисунок 22, а). Також розглянутий варіант виконання несучої конструкції напіввагона з зчленованих оболонок, заповнених піноалюмінієм (рисунок 22, б, в).

Для обґрунтування запропонованого рішення використано математичну модель (17) – (19). При цьому в рівнянні (17) замість сили в'язкого опору враховано силу пружного опору.

Встановлено, що з урахуванням використання піноалюмінію у якості наповнювача хребтової балки максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію напіввагона складають $35,7 \text{ м/с}^2$, що нижче на 3,5% у порівнянні з трубною конструкцією без наповнювача. Результати розрахунку на міцність несучої конструкції напіввагона з урахуванням запропонованих рішень показали, що максимальні еквівалентні напруження зменшуються майже на 5% у порівнянні з типовою конструкцією.

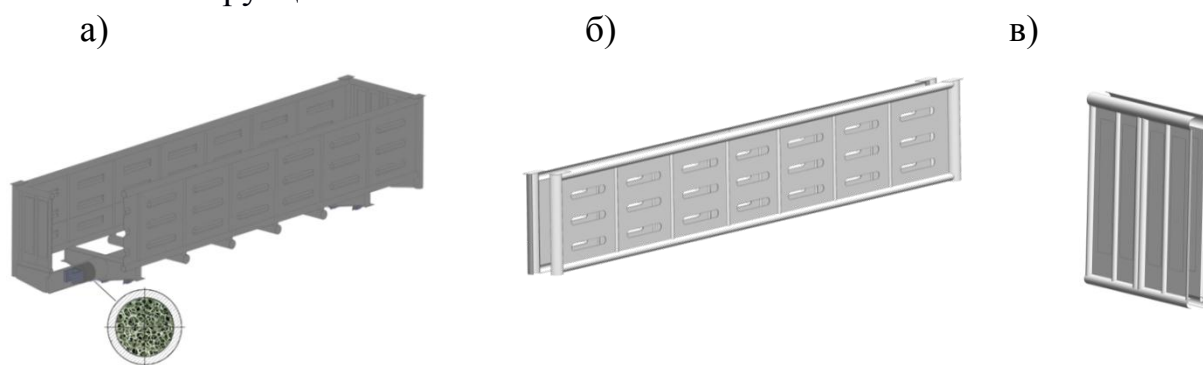


Рисунок 22 – Несуча конструкція напіввагона із труб круглого перерізу з використанням піноалюмінію у якості наповнювача: переріз кузова – а; стіна бокова – б; стіна торцева – в

При використанні піноалюмінію в конструкції напіввагона з зчленованих оболонок максимальні еквівалентні напруження зменшуються на 12% у порівнянні з типовою конструкцією.

Для зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів та підвищення втомної міцності при експлуатаційних режимах пропонується впровадження в найбільш навантажені елементи їх рам пружних елементів. Підвищення втомної міцності здійснюється шляхом зменшення динамічної навантаженості основних несучих елементів рами за рахунок опору сил сухого тертя між вертикальними частинами горизонтальних листів, під якими розміщуються пружні елементи, та стінок П-подібного профілю. Дослідження проведені стосовно напіввагона, вагона-платформи та критого вагона (рисунок 23).

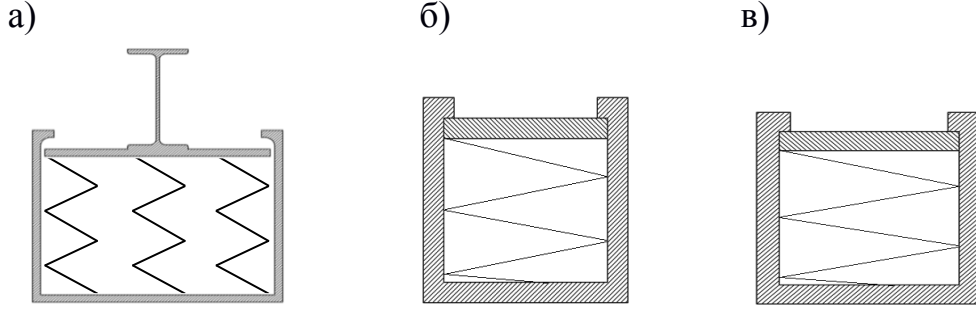


Рисунок 23 – Розміщення пружних елементів в основних несучих елементах вагонів: хребтова балка напіввагона – а; повздовжня балка довгобазного вагона-платформи – б; хребтова балка критого вагона – в

Рівняння, які описують коливання несучих конструкцій напіввагона та критого вагона при русі у порожньому стані стиковою нерівністю мають вигляд

$$M_1 \cdot \ddot{q}_1 + C_{1,1} \cdot q_1 + C_{1,2} \cdot q_2 + C_{1,3} \cdot q_3 = -F_{TP} \cdot \left(\text{sign}(\dot{\delta}_1) + \text{sign}(\dot{\delta}_2) \right), \quad (22)$$

$$M_2 \cdot \ddot{q}_2 + C_{2,1} \cdot q_1 + C_{2,2} \cdot q_2 + B_{2,2} \cdot \dot{q}_2 = F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{\delta}_1) + k(\eta_1 + \eta_2) + \beta(\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2), \quad (23)$$

$$M_3 \cdot \ddot{q}_3 + C_{3,1} \cdot q_1 + C_{3,3} \cdot q_3 + B_{3,3} \cdot \dot{q}_3 = F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{\delta}_2) + k(\eta_3 + \eta_4) + \beta(\dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4), \quad (24)$$

де M_i – інерційні коефіцієнти елементів коливальної системи (кузов вагона та дві ходові частини); C_{ij} – характеристики пружності елементів коливальної системи, які визначаються значеннями коефіцієнтів жорсткості пружин; B_{ij} – функція розсіювання; q_i – узагальнені координати, що відповідають поступальному переміщенню відносно вертикальної осі, відповідно, кузова вагона, першого та другого візків; k – жорсткість колії; β – коефіцієнт демпфірування; F_{TP} – сила тертя у ресорному комплекті; δ_i – деформації пружних елементів ресорного підвішування; $\eta(t)$ – нерівність колії.

Стосовно несучої конструкції вагона-платформи, завантаженого чотирма контейнерами типорозміру 1СС, рівняння руху мають вигляд

$$M_1 \cdot \ddot{q}_1 + C_{1,1} \cdot q_1 + C_{1,2} \cdot q_2 + C_{1,3} \cdot q_3 = -F_{TP} \cdot \left(\text{sign}(\dot{\delta}_1) + \text{sign}(\dot{\delta}_2) \right) + \sum_{i=1}^4 F_z, \quad (25)$$

$$M_2 \cdot \ddot{q}_2 + C_{2,1} \cdot q_1 + C_{2,2} \cdot q_2 + B_{2,2} \cdot \dot{q}_2 = F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{\delta}_1) + k(\eta_1 + \eta_2) + \beta(\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2), \quad (26)$$

$$M_3 \cdot \ddot{q}_3 + C_{3,1} \cdot q_1 + C_{3,3} \cdot q_3 + B_{3,3} \cdot \dot{q}_3 = F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{\delta}_2) + k(\eta_3 + \eta_4) + \beta(\dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4), \quad (27)$$

$$M_4 \cdot \ddot{q}_4 = F_z + M_4 \cdot g, \quad (28)$$

$$F_z = -k_k (q_1 - q_4), \quad (29)$$

де M_1 – маса несучої конструкції вагона-платформи; M_2, M_3 – маса, відповідно, першого та другого за ходом руху візків; M_4 – маса контейнера; C_{ij} – характеристики пружності елементів коливальної системи, які визначаються значеннями

коефіцієнтів жорсткості пружин; k_k – жорсткість пружного зв'язку, який моделює взаємодію контейнера з фітинговими упорами вагона-платформи; B_{ij} – функція розсіювання; k – жорсткість колії; β – коефіцієнт демпфірування; F_{TP} – сила тертя у ресорному комплекті; δ_i – деформації пружних елементів ресорного підвішування; $\eta(t)$ – нерівність колії.

При цьому зв'язок кузова з ходовою частиною описувався як послідовне пружне з'єднання. Встановлено, що запропоновані рішення дозволяють зменшити динамічну навантаженість напіввагона на 25% у порівнянні з вагоном-прототипом, несучої конструкції вагона-платформи – на 15%, критого вагона – на 20%.

У шостому розділі проведено експериментальне дослідження міцності вагона-платформи при типовій схемі взаємодії фітингів з фітинговими упорами, а також з урахуванням удосконалень. При цьому використаний метод електричного тензометрування. До уваги прийняті дві схеми взаємодії фітингів з фітинговими упорами: типова та пружна (рисунок 24).

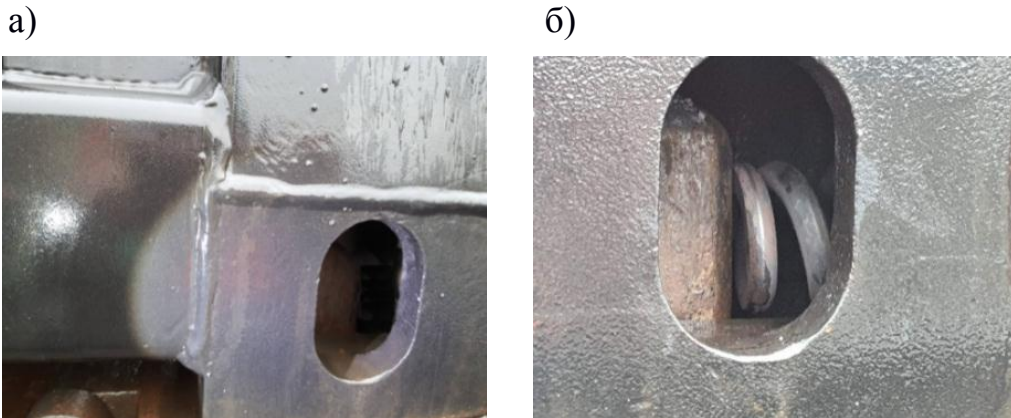


Рисунок 24 – Взаємодія фітинга з фітинговим упором: типова – а; пружна – б

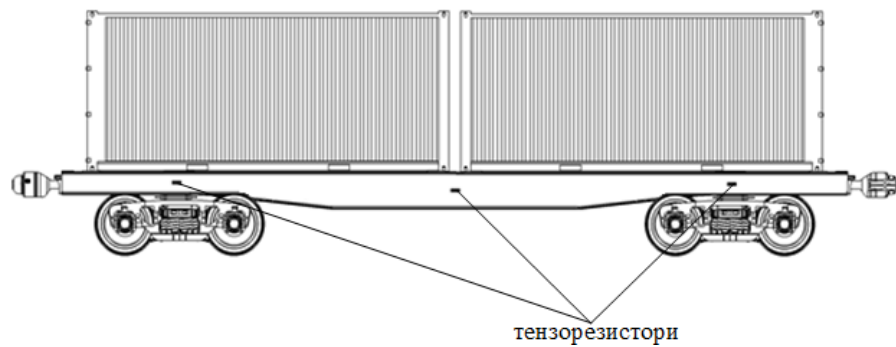
Під час випробувань використовувалися тензорезистори з базою 10 мм та опором 200 Ом. Схема розміщення тензорезисторів на несучій конструкції вагона-платформи наведена на рисунку 25. Для визначення сили удару в автозчеп здійснювався монтаж тензорезисторів на нього. Також для визначення прискорень несучої конструкції вагона-платформи, а, відповідно, і сили удару використаний акселерометр, що прикріплювався до несучої конструкції вагона-платформи.

Перед монтажем тензорезисторів проводилося сушіння поверхні несучої конструкції вагона-платформи будівельним феном. Для кріплення пластин з компенсаційними тензорезисторами використано бітумну стрічку (рисунок 26).

Розміщення тензорезисторів на шворневій балці вагона-платформи наведено на рисунку 27. Під виходи тензорезисторів на пластини наклеювалися ізоляційні стрічки для виключення взаємодії виходів з пластинами. Схема підключення тензорезисторів наведена в технічному описі та інструкції по експлуатації на тензометричний підсилювач 32-х каналний.

Дослідження проведені в діапазоні швидкостей співударяння: 3 – 6 км/год., 6 – 10 км/год. та більше 10 км/год.

а)



б)

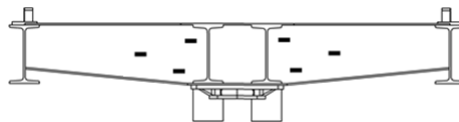
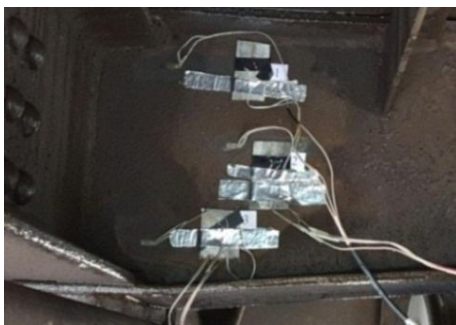


Рисунок 25 – Схема розміщення тензорезисторів на несучій конструкції вагона-платформи: на основній повздовжній балці рами – а; на шворневій балці – б



Рисунок 26 – Пластина з компенсаційним тензорезистором

а)



б)



Рисунок 27 – Розміщення тензорезисторів на шворневій балці вагона-платформи: лівий вертикальний лист – а; правий вертикальний лист – б

Напруження, які діють у вертикальному листі шворневої балки наведені на рисунку 28. Максимальна розбіжність між результатами математичного та фізичного експерименту при типовій схемі взаємодії вагона-платформи з контейнерами склала 17,0%, а при пружній – 17,5%. Проведено верифікацію моделей навантаженості несучої конструкції вагона-платформи з контейнерами за F-критерієм. Встановлено, що гіпотеза про адекватність підтверджується.

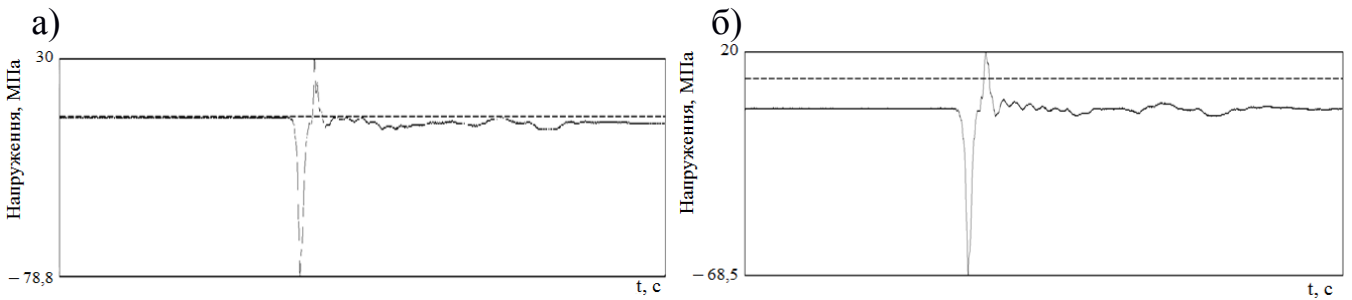


Рисунок 28 – Напруження в несучій конструкції вагона-платформи: типова взаємодія фітингів з фітинговими упорами – а; пружна взаємодія фітингів з фітинговими упорами – б

Всі запропоновані в роботі рішення щодо удосконалення несучих конструкцій вагонів мають техніко-економічне обґрунтування. Економічний ефект досягається за рахунок зменшення витрат на позапланові види ремонту вагонів. Економічний ефект від впровадження концепту фітингів контейнерів досягається на другий рік реалізації проекту та дорівнює 430,29 тис. грн. Економічний ефект від впровадження в'язких стяжок для закріплення вагонів на палубах залізничних поромів досягається на другий рік та складає 6357,6 тис. грн. Економічний ефект від впровадження піноалюмінію у якості наповнювача хребтової балки рами з труб круглого перерізу досягається на перший рік реалізації проекту та складає 3164,28 тис. грн.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано наукові дослідження з визначення навантаженості конструкцій вагонів при наднормованих режимах. Встановлено, що питанням визначення динамічної навантаженості вагонів при наднормованих режимах, зокрема, перевезення поїздів комбінованого транспорту на залізничних поромах, маневрове співударяння вагона-платформи з контейнерами та контейнерами-цистернами з урахуванням технологічних зазорів, не приділялося належної уваги. Аналіз нормативних документів з питань проектування вагонів встановив, що вони не відображають повною мірою наднормованих режимів їх навантажень. Це викликає пошкодження несучих конструкцій вагонів в експлуатації та необхідність проведення позапланових видів ремонту. Тому актуальним стає розвиток наукових основ розрахунків конструкцій вагонів при наднормованих режимах експлуатації, а також створення рішень щодо їх удосконалень.

2. Сформовано математичні моделі для визначення динамічної навантаженості контейнерів та контейнерів-цистерн у складі комбінованих поїздів при перевезенні на залізничному поромі з урахуванням таких схем їх взаємодії: відсутність переміщень вагона-платформи та контейнера відносно початкового положення; наявність переміщень вагона-платформи при коливаннях залізничного порому та нерухомість контейнерів відносно рами; наявність переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів відносно рами вагона-платформи, що дозволило сформулювати новий метод урахування наднормованих режимів навантаженості

несучих конструкцій вагонів при перевезенні у складі комбінованих поїздів на залізничних поромках. Отримано закономірності динамічної навантаженості суховантажних контейнерів та контейнерів-цистерн при перевезенні у складі комбінованих поїздів на залізничних поромках, що дозволяють визначити стійкість контейнерів та контейнерів-цистерн на вагонах-платформах.

Встановлено, що при відсутності переміщень вагона-платформи та контейнерів або контейнерів-цистерн відносно початкового положення загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта вагон-платформу з контейнерами склала близько 0,25g, а з контейнерами-цистернами – 0,3g. Для випадку наявності переміщень вагона-платформи при коливаннях залізничного порому та нерухомості контейнерів відносно рами встановлено, що загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта вагон-платформу з контейнерами, склала близько 0,3g. При наявності переміщень контейнера-цистерни відносно рами та відсутності переміщень вагона-платформи відносно палуби прискорення, які діють на контейнер-цистерну дорівнюють 0,6g. При наявності переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів або контейнерів-цистерн відносно рами вагона-платформи загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта контейнер склала близько 0,47g, а на контейнер-цистерну – 0,9g. При цьому стійкість контейнера забезпечується при кутах крену залізничного порому до 25° . Для забезпечення безпеки перевезень наливних вантажів у контейнерах-цистернах морем важливим є дотримання кутів крену залізничного порому до 10° . Проведено комп'ютерне моделювання динамічної навантаженості вагона-платформи з контейнерами та контейнерами-цистернами при перевезенні залізничними поромками. Отримані результати верифіковані за F-критерієм. Удосконалено несучу конструкцію вагона-платформи з метою забезпечення стійкості контейнерів при перевезенні залізничними поромками шляхом постановки зйомних надбудов на раму. Для зменшення динамічної навантаженості контейнерів на внутрішніх поверхнях надбудов використовується матеріал з в'язкими властивостями. Запропоновані технічні рішення обґрунтовані відповідними розрахунками.

3. Визначено динамічну навантаженість несучих конструкцій вагонів при використанні в'язких стяжок для закріплення на палубах залізничних поромків. Для цього доопрацьовано математичну модель динамічної навантаженості вагона з урахуванням використання в'язких зв'язків з палубою, що дозволило отримати закономірність його динамічної навантаженості при коливаннях залізничного порому. Дослідження проведено для випадку кутових переміщень залізничного порому навколо повздовжньої осі. Встановлено, що при використанні в'язких стяжок між кузовом та палубою стає можливим знизити величини прискорень, які діють на несучу конструкцію вагона на 30 %. Важливо зазначити, що при цьому робоча речовина, яка буде створювати в'язкий опір між кузовом та палубою повинна мати коефіцієнт в'язкого опору від 1,8 кН·с/м до 4,2 кН·с/м. Отримані результати підтверджені шляхом комп'ютерного моделювання. Запропоновані рішення є можливим використовувати і при закріпленні несучих конструкцій пасажирських вагонів на палубі.

4. Досліджено динамічну навантаженість контейнерів та контейнерів-цистерн, розміщених на вагонах-платформах при маневровому співударянні. Встановлено, що при наявності зазорів між фітинговими упорами вагона-платформи та фітингами контейнера, прискорення, що діє на їх несучі конструкції складає, відповідно, близько 90 м/с^2 та 110 м/с^2 . При повздовжній навантаженості вагона-платформи з контейнерами-цистернами, розміщеними на ньому, максимальні прискорення отримані для випадку, коли зазори між фітинговими упорами та фітингами дорівнюють 30 мм. При цьому прискорення складають близько 300 м/с^2 ;

5. Сформовано математичні моделі для визначення динамічної навантаженості контейнерів та контейнерів-цистерн з урахуванням пружних, в'язких та пружно-в'язких зв'язків у фітингах, які дозволяють отримати закономірності їх динамічної навантаженості при маневрових співударяннях. Розроблено новий метод урахування наднормованих режимів навантаженості несучої конструкції вагона-платформи, завантаженої контейнерами та контейнерами-цистернами при маневрових співударяннях з пружними, в'язкими та пружно-в'язкими зв'язками у фітингах. Результати досліджень довели, що прискорення, які діють на контейнер та контейнер-цистерну з в'язкими та пружно-в'язкими зв'язками у фітингах, розміщені на вагоні-платформі при маневровому співударянні складають, відповідно, близько 20 м/с^2 та 40 м/с^2 і не перевищує нормативних величин. Запропоновані заходи щодо удосконалення схеми взаємодії вагона-платформи з контейнерами та контейнерами-цистернами дозволяють знизити максимальні еквівалентні напруження, які діють у фітингових упорах майже у три рази, а у фітингах – майже у сім.

6. Проведено теоретичне обґрунтування впровадження в'язких зв'язків в несучі конструкції вагонів з труб круглого перерізу з метою зменшення динамічної навантаженості в експлуатації. Для цього доопрацьовано математичну модель динамічної навантаженості несучої конструкції вагона при дії повздовжньої сили на нього з урахуванням застосування концепту упряжного пристрою автотягача. Модель дозволяє отримати закономірності динамічної навантаженості чотиривісних вагонів з несучими елементами із труб круглого перерізу. Встановлено, що прискорення, яке діє на несучу конструкцію вагона при цьому нижче на 10% від величин прискорень, отриманих при типовій схемі сприйняття навантажень хребтовою балкою вагона. Ефективність даного рішення досягається при значенні коефіцієнту в'язкого опору не вище $120 \text{ кН}\cdot\text{с/м}$.

7. Проведено теоретичне обґрунтування створення вагонів зчленованого типу з труб круглого перерізу, обладнаних новими концептами упряжних пристроїв. Для цього доопрацьовано математичну модель динамічної навантаженості несучої конструкції вагона при дії повздовжньої сили на нього з урахуванням застосування концепту упряжного пристрою автотягача. Встановлено, що при використанні концепту упряжного пристрою на вагонах зчленованого типу стає можливим знизити їх динамічну навантаженість майже на 10%.

8. Проведено теоретичне обґрунтування мультифункціональних виконань несучих конструкцій вагонів.

8.1 Для зменшення динамічної навантаженості напіввагона в експлуатації проведено обґрунтування використання у якості енергопоглинаючого матеріалу

піноалюмінію. Для цього доопрацьовано математичну модель динамічної навантаженості вагона з урахуванням використання пружних зв'язків в хребтовій балці, що дозволило отримати закономірність його динамічної навантаженості при маневровому співударянні.

Запропоновано новий науковий підхід щодо проектування несучих конструкцій вагонів, зокрема, обґрунтовано доцільності заповнення зчленованих оболонки, які є боковими та торцевими стінами напіввагонів, енергопоглинаючим матеріалом. Встановлено, що з урахуванням використання піноалюмінію, у якості наповнювача хребтової балки, максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції напіввагона зменшуються майже на 5%, а переміщення – на 12% у порівнянні з несучою конструкцією напіввагона з труб круглого перерізу без наповнювача.

8.2 Запропоновано використання пружних елементів в несучих конструкціях вагонів для зменшення динамічної навантаженості в експлуатації. Для цього доопрацьовано математичну модель динамічної навантаженості вагона з урахуванням використання пружних зв'язків в хребтовій балці, що дозволило отримати закономірності динамічної навантаженості при коливаннях підскакування.

Запропоновано новий науковий підхід щодо проектуванні несучих конструкцій вагонів, зокрема, використання пружних елементів в несучих конструкціях вагонів (напіввагон, вагон-платформа, критий вагон).

Встановлено, що впровадження пружних елементів в несучі конструкції вагонів сприятиме зменшенню їх динамічної навантаженості у порівнянні з вагонами-прототипами: напіввагон – на 25%, вагон-платформа – на 15%, критий вагон – на 20%.

9. Проведено експериментальне дослідження міцності вагона при наднормованих режимах навантажень. При цьому проводилися натурні випробування на міцність вагона-платформи з використанням методу електричного тензометрування.

До уваги прийняті дві схеми взаємодії фітингів з фітинговими упорами: типова, а також пружна. Максимальна розбіжність між результатами математичного та фізичного експерименту при типовій схемі взаємодії фітингів з фітинговими упорами склала 17,0%, а при пружній – 17,5%. Проведено верифікацію моделей навантаженості несучої конструкції вагона-платформи за F-критерієм. Встановлено, що гіпотеза про адекватність підтверджується.

10. Проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень щодо удосконалення несучих конструкцій вагонів та контейнерів при наднормованих режимах навантажень. При цьому економічний ефект досягається за рахунок зменшення витрат на позапланові види ремонту вагонів. Економічний ефект від впровадження концепту фітингів контейнерів досягається на другий рік реалізації проекту та дорівнює 430,29 тис. грн. Економічний ефект від впровадження в'язких стяжок для закріплення вагонів на палубах залізничних поромів досягається на другий рік та складає 6357,6 тис. грн. Розрахунок економічного ефекту від впровадження піноалюмінію у якості наповнювача хребтової балки рами з труб круглого перерізу показав, що дане рішення є

доцільним. Захід окуповується на перший рік реалізації проекту та складає 3164,28 тис. грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Fomin O. V., Lovska A. O., Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P. The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2017. №6. С. 89–96. (видання індексується в базі Scopus).
2. Fomin O., Lovska A., Kulbovskiy I., Holub H., Kozarchuk I., Kharuta V. Determining the dynamic loading on a semi-wagon when fixing it with a viscous coupling to a ferry deck. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 2/7 (98). P. 6–12. (видання індексується в базі Scopus).
3. Fomin O., Lovska A., Masliyev V., Tsymbaliuk A., Burlutski O. Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 1/7 (97). P. 33–40. (видання індексується в базі Scopus).
4. Fomin O., Lovska A., Daki O., Bohomia V., Tymoshchuk O., Tkachenko V. Determining the dynamic loading on an open-top wagon with a two-pipe girder beam. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 3/7 (99). P. 18–25. (видання індексується в базі Scopus).
5. Fomin O., Lovska A., Skliarenko I., Klochkov Yu. Substantiating the optimization of the loadbearing structure of a hopper car for transporting pellets and hot agglomerate. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 1/7 (103). P. 65–74. (видання індексується в базі Scopus).
6. Fomin O., Lovska A., Kovtun O., Nerubatskyi V. Defining patterns in the longitudinal load on a train equipped with the new conceptual couplers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 2/7 (104) P. 33–40. (видання індексується в базі Scopus).
7. Фомін О. В., Ловська А. О. Дослідження доцільності застосування круглих труб в якості елементів несучих систем залізничних вагонів-платформ. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля*. 2015. №1(218). С. 38–45.
8. Fomin O. V., Gorbunov N. I., Lovskaya A. A. Prospective concept of the draft system of open boxcars. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2016. Вип. 6 (101). Частина 1. С. 76–85.
9. Ловська А. О. Визначення навантаженості контейнерів у складі комбінованих поїздів при перевезенні залізничним поромом. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2017. Вип. 6 (72) С. 49– 60.
10. Ловська А. О. Особливості моделювання динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля*. 2017. №4(234). С. 138–145.
11. Ловська А. О. Дослідження міцності несучих конструкцій контейнерів у складі комбінованих поїздів при перевезенні залізничним поромом. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування*. 2018. Вип. 29 (1305). С. 62–68.
12. Ловська А. О. Моделювання навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин*. 2018. Вип. 33. С. 28–32.
13. Ловська А. О. Визначення стійкості контейнера-цистерни відносно рами вагона-платформи при перевезенні на залізничному поромі. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2019. № 1 (79). С. 139– 150.

14. Ловська А. О., Рибін А. В. Особливості дослідження динамічної навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні на залізничному поромі. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля*. 2019. №3 (251). С. 117–122.

15. Ловська А. О. Вплив тиску насипного вантажу на стійкість контейнера при перевезенні залізничним поромом. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. Серія: Динаміка і міцність машин. 2019. № 1. С. 23–27.

16. Ловська А. О. Визначення навантаженості контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при пружно-в'язкій взаємодії фітінгів з фітінговими упорами. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2019. Вип. 184. С. 6–19.

17. Ловська А. О. Особливості комп'ютерного моделювання навантаженості контейнера з пружно-в'язкими зв'язками у фітінгах при експлуатаційних режимах. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології»*. 2019. Вип. 33. Т. 2. С. 28–37.

18. Вагон-платформа зчленованого типу для перевезення контейнерів: пат. 122328 Україна, МПК В61D 3/08 (2006.01), В61D 3/10 (2006.01), В61D 3/20 (2006.01), В60P 7/13 (2006.01), В60P 7/08 (2006.01), В61F 1/08 (2006.01), В61F 1/02 (2006.01). а2017 04241; заявл. 28.04.17; опубл. 26.10.20, Бюл. № 20.

19. Критий вагон: пат. 111572 Україна, МПК (2016.01) В61D 3/00, В61F 1/00, В61F 1/02 (2006.01), В61F 1/08 (2006.01), В61D 17/04 (2006.01), В61D 17/08 (2006.01), В61D 17/12 (2006.01). а2015 09003. заявл. 18.09.2015; опубл. 10.05.2016. Бюл. №9.

Публікації у виданнях інших держав:

20. Fomin O., Lovska A. Concept of freight wagons made of round pipes. Tallinn: Scientific Route. 2020. p. 72. doi: <https://doi.org/10.21303/978-9916-9516-3-7>

21. Fomin O., Lovska A. Improvements in passenger car body for higher stability of train ferry. *Engineering Science and Technology an International Journal*. 2020. Vol. 23. Issue 6. P. 1455–1465. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.08.010> (видання індексується в базі Scopus, Q1, WoS).

22. Lovska Alyona, Fomin Oleksij, Pištěk Václav, Kučera Pavel. Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry. *Applied Science*. 2020. №10. 5710. doi:10.3390/app10165710 (видання індексується в базі Scopus, Q1, WoS).

23. Lovska Alyona, Fomin Oleksij, Pištěk Václav, Kučera Pavel. Calculation of loads on carrying structures of articulated circular-tube wagons equipped with new draft gear. *Applied Science*. 2020. №10, 7441. doi:10.3390/app10217441 (видання індексується в базі Scopus, Q1, WoS).

24. Fomin Oleksij, Gerlici Juraj, Lovskaya Alyona, Kravchenko Kateryna, Prokopenko Pavlo, Fomina Anna, Hauser Vladimir. 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*. 2019. Vol. 21, Issue 1. P. 28–34. (видання індексується в базі Scopus, Q2).

25. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Radkevych Valentyna, Horban Anatoliy, Skliarenko Inna, Gurenkova Olga. The dynamic loading analysis of containers placed on a flat wagon during shunting collisions. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. Vol. 14, No. 21. P. 3747–3752. (видання індексується в базі Scopus, Q2).

26. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Daki Olena, Bohomia Volodymyr, Tymoshchuk Olena, Prokopenko Pavlo. The substantiation of the concept of creating containers with viscous-elastic connections in fitting. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. Vol. 14, No. 15. P. 2771–2776. (видання індексується в базі Scopus, Q2).

27. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Gorobchenko Oleksandr, Turpak Serhii, Kyrychenko Iryna, Burlutski Oleksii. Analysis of dynamic loading of improved construction of a tank container under operational load modes. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2019. No. 2. P. 61–70. (видання індексується в базі Scopus, Q2).

28. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Pištěk, Václav, Kučera Pavel. Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry. *MM SCIENCE JOURNAL*. 2020. MARCH. P. 3728–3733. (видання індексується в базі Scopus, Q2, WoS).

29. Alyona Lovska. Simulation of loads on the carrying structure of an articulated flat car in combined transportation. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. 7 (4.3). P. 140–146. (видання індексується в базі Scopus).

30. Lovskaya Alyona, Fomin Oleksij, Gerlici Juraj, Kravchenko Kateryna, Pavlo Prokopenko, Tomas Lack. Improvement of the bearing structure of the wagon-platform of the articulated type to ensure the reliability of the fixing on the deck of the railway ferry. *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 254. (видання індексується в базі WoS).

31. Fomin Oleksij, Gerlici Juraj, Lovskaya Alyona, Gorbunov Mykola, Kravchenko Kateryna, Prokopenko Pavlo, Lack Tomas. Dynamic loading of the tank container on a flat wagon considering fittings displacement relating to the stops. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 234. (видання індексується в базі Scopus, WoS).

32. Fomin Oleksij, Gerlici Juraj, Lovskaya Alyona, Kravchenko Kateryna, Prokopenko Pavlo, Fomina Anna, Hauser Vladimír. 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. (видання індексується в базі Scopus).

33. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Píštěk Václav, Kučera Pavel. Dynamic load computational modelling of containers placed on a flat wagon at railroad ferry transportation. *VIBROENGINEERING PROCEDIA*. 2019. Vol. 29. P. 118–123. (видання індексується в базі Scopus).

34. Fomin O., Gerlici J., Lovska A., Kravchenko K., Fomina Yu., Lack T. Determination of the strength of the containers fittings of a flat wagon loaded with containers during shunting. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 659. 012056. doi:10.1088/1757-899X/659/1/012056. (видання індексується в базі Scopus).

35. Fomin O., Lovska A., Bazyl L., Radkevych O., Skliarenko I. Determination of the strength of the flat wagon fitting stops by elastic viscous interaction with fittings of the tank container. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. 012008. doi:10.1088/1757-899X/708/1/012008. (видання індексується в базі Scopus).

36. Fomin Oleksij, Vatulia Glib, Lovska Alyona. Formation of flash-concept for a resource-saving articulated hopper car to transport hot pellets and agglomerate. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 166. 07002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016607002>. (видання індексується в базі Scopus).

37. Fomin O., Lovska A., Lack T., Bykovets N., Shatkovska H., Kravchenko K. Determination of the strength of a flat wagon by elastic viscous interaction with tank containers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 776. 012015. doi:10.1088/1757-899X/776/1/012015. (видання індексується в базі Scopus).

38. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Píštěk Václav, Kučera Pavel. The research of the influence of viscous interaction between wagon and container on the dynamic load during transportation by rail ferry. *VIBROENGINEERING PROCEDIA*. 2020. Vol. 31. P. 62–67. <https://doi.org/10.21595/vp.2020.21439>. (видання індексується в базі Scopus).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

39. Ловська А. О. Особливості конструкції та перевірочних розрахунків на міцність несучої системи вагону-платформи із круглих труб. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті*: зб. тез міжнародної науково-практичної конференції. (Лозова, 4 – 8 травня 2015 р.). Лозова: СНУ ім. В. Даля, 2015. С. 25 – 26.

40. Ловська А. О. Обґрунтування доцільності оптимізації та комп'ютерне моделювання міцності кузову напіввагону з використанням у якості несучих елементів конструкції круглих труб. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: матеріали 77 міжнародної науково-технічної конференції. (Харків, 21–23 квітня 2015 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2015. С. 63–64.

41. Ловська А. О. Дослідження динамічних навантажень, що діють на несучі конструкції кузовів вагонів при комбінованих перевезеннях. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: матеріали 78 міжнародної науково-технічної конференції. (Харків, 26–28 квітня 2016 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2016. С. 39–40.

42. Ловська А. О. Дослідження динамічного навантаження вагона-платформи з контейнерами, розміщеними на ньому при маневровому співударянні. *Інновації інфраструктури*

транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи: зб. тез міжнародної науково-практичної конференції. (Трускавець, 11–17 квітня 2016 р.). Трускавець: СНУ ім. В. Даля, 2016. С. 108–110.

43. Ловська А. О. Уточнення величин динамічних навантажень, що діють на несучі конструкції кузовів вагонів при перевезенні залізничними поромами. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту*: матеріали 76 міжнародної науково-практичної конференції. (Дніпропетровськ, 19–20 травня 2016 р.). Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2016. С. 49–50.

44. Ловська А. О., Ялова І. В. Дослідження динамічних навантажень, які діють на вагон-платформу з контейнерами при перевезенні на залізничному поромі. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту*: матеріали 77 міжнародної науково-практичної конференції. (Дніпро, 11–12 травня 2017 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2017. С. 53–55.

45. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Дослідження динамічної навантаженості несучих конструкцій контейнерів при перевезенні на вагонах-платформах. *Dynamika naukowych badań-2017: materiały XIII międzynarodowej naukowopraktycznej konferencji*. (Przemyśl, 07–15 lipca 2017 roku). Przemyśl: Nauka i studia, 2017. С. 24–26.

46. Ловська А. О. Визначення динамічної навантаженості удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при комбінованих перевезеннях. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті*: збірник наукових праць науково-практичної конференції студентів та молодих вчених. (Лиман, 5–7 жовтня 2017 р.). Лиман: СНУ ім. В. Даля, 2017. С. 92–94.

47. Ловская А. А. Особенности математического моделирования динамической нагруженности несущих конструкций контейнеров, размещенных на вагонах-платформах при эксплуатационных режимах нагружения. *Проблемы безопасности на транспорте: VIII-я Международная научно-практическая конференция, посвященная Году науки*. (Гомель, 23–24 ноября 2017 г.). Гомель: БелГУТ, 2017. С. 116–117.

48. Ловська А. О. Дослідження динамічних навантажень, які діють на вагон-платформу зчленованого типу з контейнерами при експлуатаційних режимах навантаження. *Проблеми розвитку транспорту і логістики*: збірник тез VII-ї міжнародної науково-практичної конференції. (Одеса, 26–28 квітня 2017 р.). Одеса: СНУ ім. В. Даля, 2017. С. 97–98.

49. Alyona Lovska. Research of loads on carrying structures of containers in combined trains in rail ferry transportation. *Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects*: Theses of international scientific and practical conference. (Italy, May 2018). Italy: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2018. P. 71–74.

50. Ловська А. О., Рибін А. В. Визначення навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі. *Science and technology of the present time: priority development directions of Ukraine and Poland*: International Multidisciplinary Conference. (Wolomin, 19–20 October 2018). Wolomin, 2018. С. 110–111.

51. Ловська А. О. Комп'ютерне моделювання навантаженості контейнера-цистерни при експлуатаційних режимах. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті*: збірник наукових праць науково-практичної конференції студентів та молодих вчених. (Київ, 16–17 листопада 2018 р.). Київ: СНУ ім. В. Даля, 2018. С. 114–116.

52. Ловська А. О. Моделювання навантаженості несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при комбінованих перевезеннях. *Технології та інфраструктура транспорту*: тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції. (Харків, 14–16 травня 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 125–126.

53. Ловська А. О., Фомін О. В., Горбань А. В., Скок П. О. Дослідження динамічної навантаженості контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом. *Актуальні проблеми інженерної механіки*: Тези доповідей VI Міжнародної конференції. (Одеса, 20–24 травня 2019 р.). Одеса: ОДАБА, 2019. С. 198–200.

54. Ловська А. О. Математичне моделювання динамічної навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні на залізничному поромі. *Проблеми та перспективи розвитку*

залізничного транспорту: матеріали 79 міжнародної науково-практичної конференції. (Дніпро, 16–17 травня 2019 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2019. С. 55–56.

55. Ловська А. О., Рибін А. В. Моделювання навантаженості контейнера типорозміру 1СС при перевезенні на залізничному поромі. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті*: збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених. (Лиман, 14–16 листопада 2019 р.). Лиман: СНУ ім. В. Даля, 2019. С. 96–99.

56. Ловська А. О., Рибін А. В. Визначення стійкості контейнера типорозміру 1СС при перевезенні залізничним поромом. *НАУКА, ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ: ГЛОБАЛЬНІ ТА СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ*: Міжнародна науково-практична конференція. (Прага, 27–28 грудня 2019 р.). Прага, 2019. С. 54–56.

57. Lovska Alyona. Research of dynamic loading of a container located on a flat wagon at visco-elastic interaction between fittings and fitting stops. *Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects*: Theses of international scientific and practical conference. (Salou, 4–11 May 2019). Salou: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2019. P. 57–58.

58. Ловська А. О. Дослідження динамічної навантаженості контейнерів з пружно-в'язкими зв'язками у фітингах при експлуатаційних режимах. *Вагони нового покоління: із ХХ в ХХІ сторіччя*: тези доповідей II Всеукраїнської конференції. (Харків, 23–25 квітня 2019 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2019. С. 13–14.

59. Fomin Oleksij, Gerlici Juraj, Lovska Alyona, Kravchenko Kateryna, Fomina Yuliia, Lack Tomas. Determination of the strength of the containers fittings of a flat wagon. *Research and Development of Mechanical Elements and Systems, IRMES 2019: Book of Abstracts for the 9th International Scientific Conference [on].* (Kragujevac, 5–7 September 2019.). Kragujevac, 2019. P. 228–229.

60. Фомін О. В., Ловська А. О., Чимшир В. І., Букатова О. М., Яренчук Л. Г. Особливості визначення навантаженості несучої конструкції кузова напіввагона зчленованого типу з круглих труб. *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті*: тези доповідей 8-ої Міжнародної науково-технічної конференції. (Харків, 20–22 листопада 2019 р.). Харків, УкрДУЗТ, 2019. С. 95–96.

61. Ловська А. О. Визначення динамічної навантаженості контейнерів при експлуатаційних режимах. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення*: збірник наукових праць ІХ-ї міжнародної науково-практичної конференції. (Одеса, 22–24 травня 2019 р.). Одеса: СНУ ім. В. Даля, 2019. С. 81–84.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

62. Lovskaya Alyona, Gerlici Juraj, Fomin Oleksij, Kravchenko Kateryna, Fomina Yuliia, Lack Tomas. Special aspects of determining the dynamic load of the tank container during its transportation in an integrated train set by a railway ferry. *TRANSBALTICA XI: Transportation Science and Technology Proceedings of the International Conference TRANSBALTICA*. Vilnius, Lithuania, 2019. P. 580–590.

63. Ловська А. О. Дослідження динамічної навантаженості вагона-платформи з контейнерами при перевезенні на залізничному поромі. *Залізничний транспорт України*. 2017. № 2. С. 16–20.

64. Контейнер-цистерна: пат. 134400 Україна, МПК (2019.01) В61D 3/00, В61D 3/20 (2006.01), В61D 5/00, В65D 88/06 (2006.01), В65D 88/12 (2006.01). u2018 12988; заявл. 27.12.18; опубл. 10.05.19, Бюл. № 9.

65. Вагон-платформа для перевезення контейнерів: пат. 134913 Україна, МПК В61D 3/08 (2006.01), В61D 3/20 (2006.01). u2018 13016; заявл. 28.12.18; опубл. 10.06.19, Бюл. №11.

66. Контейнер-цистерна: пат. 135552 Україна, МПК (2019.01) В65D 88/12 (2006.01), В61D 3/00, В61D 3/20 (2006.01). u2018 12989. заявл. 27.12.18; опубл. 10.07.19, Бюл. № 13.

67. Пристрій для закріплення вагона відносно палуби залізничного порома: пат.136743 Україна, МПК (2019.01) В60Р 7/08 (2006.01), В60Р 7/135 (2006.01), В60Р 3/06 (2006.01), В63В 25/00. u2019 03401. заявл. 04.04.19; опубл. 27.08.19, Бюл. №16.

68. Ударно-тяговий прилад залізничного вагона: пат. 138422 Україна, МПК В65G 11/16 (2006.01), В65G 11/18 (2006.01). u2019 05595; заявл. 23.05.19; опубл. 25.11.19, Бюл. №22.

69. Вагон-платформа зчленованого типу для перевезення контейнерів: пат. 145433 Україна, МПК (2020.01) В61D 3/00, В61D 3/08 (2006.01), В61F 1/08 (2006.01). u2020 04117; заявл. 07.07.20; опубл. 10.12.20, Бюл. № 23.

АНОТАЦІЯ

Ловська А. О. Розвиток наукових основ розрахунків конструкцій вагонів шляхом урахування наднормованих режимів при експлуатації. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора 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 актуальної наукової задачі для залізничного транспорту – розвитку наукових основ розрахунків конструкцій вагонів шляхом урахування наднормованих режимів при експлуатації та їх удосконалень. Запропоновано методи розрахунків динамічної навантаженості та міцності несучих конструкцій вагонів при наднормованих режимах: перевезення поїздів комбінованого транспорту на залізничних поромках, а також маневрові співударяння вагонів, в тому числі вагонів-платформ, завантажених контейнерами або контейнерами-цистернами.

Обґрунтовано впровадження принципів мультифункціональності та мультиматеріальності на стадії проектування несучих конструкцій вагонів, контейнерів, а також контейнерів-цистерн. Проведено експериментальне дослідження міцності несучої конструкції вагона-платформи з контейнерами із урахуванням типової схеми взаємодії фітингів з фітинговими упорами, а також при пружній. Проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень щодо удосконалень несучих конструкцій вагонів та контейнерів при наднормованих режимах навантажень. Отримані результати розрахунків підтвердили доцільність прийнятих рішень.

Ключові слова: транспортна механіка, залізничний транспорт, рухомий склад залізниць, вагони, наднормовані режими, комбіновані перевезення.

АННОТАЦИЯ

Ловская А. А. Развитие научных основ расчетов конструкций вагонов путем учета наднормируемых режимов при эксплуатации. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора 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 актуальной научной задачи для железнодорожного транспорта – развитию научных основ расчетов конструкций вагонов путем учета наднормируемых режимов при эксплуатации и их

усовершенствований. Предложены методы расчетов динамической нагруженности и прочности несущих конструкций вагонов при наднормируемых режимах: перевозки поездов комбинированного транспорта на железнодорожных пароммах, а также маневровые соударения вагонов, в том числе вагонов-платформ, загруженных контейнерами или контейнерами-цистернами.

Обоснованно внедрение принципов multifunctionality и multimateriality на стадии проектирования несущих конструкций вагонов, контейнеров, а также контейнеров-цистерн. Проведено экспериментальное исследование прочности несущей конструкции вагона-платформы с контейнерами с учетом типовой схемы взаимодействия фитингов с фитинговыми упорами, а также при упругой. Проведено технико-экономическое обоснование предложенных решений по усовершенствованию несущих конструкций вагонов и контейнеров при наднормируемых режимах нагружений. Полученные результаты расчетов подтвердили целесообразность принятых решений.

Ключевые слова: транспортная механика, железнодорожный транспорт, подвижной состав железных дорог, вагоны, наднормируемые режимы, комбинированные перевозки.

SUMMARY

Lovska A. O. Development of scientific foundations for calculating wagon structures by taking into account the above-norm cases of their operation. – Manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor 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 solving a relevant scientific problem for railway transport – the development of scientific foundations for calculating wagon structures by taking into account the above-norm cases of their operation and improvements. In this regard, in the dissertation work, methods for calculating the dynamic loading and strength of the load-bearing structures of wagons in the following above-norm cases are proposed: transportation of combined transport trains on railway ferries and shunting collision.

For the first time, a procedure was proposed for taking into account the above-norm cases of dynamic loading of the load-bearing structures of wagons in operation (transportation of flat wagons with containers (tank containers) on railway ferries). This made it possible to form the basic requirements for the safe operation of wagons under these conditions, as well as to propose measures to improve their designs. These improvements consist in the use of viscous connections in the interaction of combined transport vehicles with each other to reduce dynamic loading during operation: the use of a viscous tie between the load-bearing structure of the wagon and the deck of the railway ferry, the use of flat wagons with superstructures having a viscous connection with the side walls of containers.

To reduce dynamic loading of the load-bearing structures of the flat wagon and containers, as well as tank containers, the use of elastic, viscous or viscoelastic connections between fitting supports and fittings is proposed. The proposed solutions are

substantiated by the results of mathematical and computer modelling of dynamic loading of the flat wagon loaded with containers and tank containers during shunting collision, taking into account the loading of 3.5 MN acting on the rear support of the automatic coupler. Verification of the developed models of dynamic loading is carried out.

The results of scientific substantiation of implementation of the concept of an automatic coupler harness in the load-bearing structures of wagons made of round pipes, as well as articulated wagons, created on the basis of wagons made of round pipes, are presented. It is established that acceleration acting during shunting collision on the load-bearing structure of a wagon equipped with the concepts of harnesses is lower by 10% than acceleration values obtained in case of the typical scheme of load supported by the spine beam of the wagon.

Principles of multifunctionality in the design of load-bearing structures of wagons are proposed. These principles are implemented in the load-bearing structures of wagons made of round pipes by using energy-absorbing material as filler of their components. It is also proposed to use elastic and frictional connections in the load-bearing structures of wagons to reduce dynamic loading and increase fatigue strength. This solution is implemented in the load-bearing structures of a gondola car, a long-base structure of a flat wagon, as well as a covered wagon. The research results showed that taking into account the proposed solutions it becomes possible to reduce dynamic loading of the load-bearing structures of wagons in comparison with prototype wagons: the gondola car – by 25%, the flat wagon – by 15%, the covered wagon – by 20%.

Experimental studies of the strength of the wagon load-bearing structure were carried out taking into account the proposed improvements. At the same time, field studies of the strength of the load-bearing structure of the flat wagon with containers are carried out, taking into account the typical scheme of interaction, as well as elastic one. The research is conducted using the method of electric strain gauging. The tests are carried out in accordance with the developed "Test programme and methods".

The mounting locations of strain gauges on the load-bearing structure of the flat wagon are determined by the results of theoretical calculations and the obtained stress distribution fields. In this case, strain gauges with a base of 10 mm and resistance of 200 Ohms are used.

The studies are conducted in the range of collision speeds: 3 – 6 km/h, 6 – 10 km/h and more than 10 km/h. The results of the conducted research allowed determining the specified values of strength indicators of the flat wagon load-bearing structure and confirm the results of theoretical research. The maximum discrepancy between the results of mathematical and physical experiment in the typical scheme of interaction of the flat wagon with containers is 17.0%, and in the elastic one – 17.5%.

All the solutions proposed in the work to improve the load-bearing structures of wagons have a feasibility study. The scientific and practical results of the dissertation work are the basis for the creation of innovative designs of wagons, which make it possible to increase the efficiency of the operation of railway transport.

Key words: transport mechanics, railway transport, rolling stock of railways, wagons, above-norm modes, combined transportation.

ЛОВСЬКА АЛЬОНА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 629.4.02.001.5

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ РОЗРАХУНКІВ КОНСТРУКЦІЙ ВАГОНІВ
ШЛЯХОМ УРАХУВАННЯ НАДНОРМОВАНИХ РЕЖИМІВ ПРИ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск



доц. Равлюк В. Г.

Підписано до друку 18.03.2021.
Формат паперу 60x84 1/16. Папір для множних апаратів
Друк цифровий. Умовн. друк. арк. 1,9. Обл.-вид. арк. 2,0
Тираж 120 прим.

Надруковано у копіцентрі «Panda-Print»
(ФО-П Панарін В.С.)
61050, м. Харків, м. Фейєрбаха, 11-б