

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Державний університет інфраструктури та технологій

ФЕДОСОВ-НІКОНОВ ДМИТРО ВЯЧЕСЛАВОВИЧ



УДК 629.463.62.023

**ПОКРАЩЕННЯ МІЦНІСНИХ ЯКОСТЕЙ ДОВГОБАЗНИХ
ВАГОНІВ-ПЛАТФОРМ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ЇХ
КОНСТРУКЦІЙ ТА МЕТОДІВ РОЗРАХУНКІВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України та у Державному підприємстві «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» Міністерства економічного розвитку і торгівлі України

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
ФОМІН Олексій Вікторович, Державний університет інфраструктури та технологій, «Вагони та вагонне господарство», професор кафедри.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
МАРТИНОВ Ігор Ернстович, Український державний університет залізничного транспорту, кафедра «Вагони», завідувач кафедри;

кандидат технічних наук, доцент
МУРАДЯН Леонтій Абрамович, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра «Вагони та вагонне господарство», доцент кафедри.

Захист відбудеться “18” грудня 2018 р. о 10⁰⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.820.01 в Державному університеті інфраструктури та технологій, Україна, 03049, м. Київ – 49, вул. Івана Огієнка, 19, ауд. № 305 а.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Державного університету інфраструктури та технологій, Україна, 03049, м. Київ – 49, вул. Івана Огієнка, 19

Автореферат розіслано “____” листопада 2018 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради К 26.820.01,
к. т. н., доцент



В.М. Молчанов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Починаючи з 2000-х років особливо гостро зріс попит на довгобазні платформи, що дозволяють істотно розширити номенклатуру вантажів, які перевозять залізничним транспортом. Для задоволення попиту підприємства-виробники одночасно з модернізацією наявних моделей платформ, почали виробляти й нові, які мають конструктивні і якісні відмінності.

Відсутність досвіду конструювання таких одиниць рухомого складу виявило ряд істотних недоліків, основними з яких є низька міцність при дії динамічних (знакозмінних) навантажень, і як наслідок, недостатня довговічність і надійність. Найбільш небезпечним для експлуатації довгобазних платформ стала поява втомних тріщин в нижніх полицях і стінках поздовжніх балок рами – хребтових і бічних, а також у зварних вузлах з'єднання конструкції.

Поява тріщин в рамах довгобазних платформ протягом нетривалого періоду експлуатації (пробіг склав від 8 тис. до 190 тис. км., термін експлуатації – від 1 до 9 місяців) зумовило прийняття рішення про заборону експлуатації багатьох моделей як в СНД, так і в Україні. За узагальненими даними російського Інженерного центру вагобудування ушкодження виявлені у 13% конструкцій нових довгобазних платформ. Так, довгобазні платформи моделі 13-4147 і моделі 13-7031, українських виробників вагонів, на стадії попередніх випробувань дослідного зразка були рекомендовані на доопрацювання.

Основною причиною появи втомних тріщин є недосконалість рами довгобазної платформи, підвищення динамічних напружень при русі, зниження фактичної межі витривалості матеріалу при підвищеній концентрації напружень, зазначене є результатом недосконалості використаних методів розрахунків.

Вирішенням даного питання є проведення поглиблених теоретичних досліджень, створення розрахункових схем, що враховують різні конструктивні особливості, розробки математичних моделей, які найбільш реально відображають умови динамічного впливу, проведення необхідного обсягу експериментальних досліджень та аналізу результатів.

Тому тема даної дисертаційної роботи, яка спрямована на дослідження динаміко-міцнісних якостей і створення довгобазної платформи з поліпшеними міцнісними властивостями, що відповідає вимогам нормативної документації, є актуальною і своєчасною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у відповідності з діючими Державними програмами і концепціями: «Реформування транспортного комплексу України»; «Реструктуризації на залізничному транспорті України» (від 1998 р.); «Розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на 2000-2004р.», затвердженою Кабінетом Міністрів України від 30.12.2000 р. Дисертація відповідає основним напрямкам реформування транспортного сектору України, програмою

підвищення безпеки руху на залізницях України, затвердженої наказом Укрзалізниці № 547-Ц від 15.10.2001 р., проектом Державної програми розвитку рейкового рухомого складу залізниць України на 2006 - 2015 рр., Комплексній програмі оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 - 2020 роки, затвердженій наказом Мінтрансв'язку від 14.10.2008 за № 1259, а також планам науково-дослідних робіт ДП «УкрНДІВ», що виконують у рамках галузевих програм Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та госпдоговорів з різними підприємствами галузі.

Дисертант є керівником та виконавцем науково-дослідних робіт на замовлення підприємств за темами: «Проведення попередніх випробувань вагона-платформи моделі 13-7031 в обсязі достатньому для пред'явлення на МВК» (договір № 695 від 09.01.2007р.), «Проведення сертифікаційних випробувань вагона-платформи моделі 13-7031 в обсязі достатньому для пред'явлення на МВК» (договір № 934/2641.07ИЦ від 16.11.2007р.), «Дослідження міцнісних якостей, характеристик конструкції вагона-платформи моделі 13-4147» (договір № 605 від 25.10.2010 р.), «Дослідження міцносних якостей конструкції вагона-платформи моделі 13-4147» (договір № 724 від 14.05.2013 р.) та ін.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є вирішення наукового-прикладного завдання – покращення міцнісних якостей довгобазних вагонів-платформ шляхом удосконалення їх конструкцій та методів розрахунків, визначення їх раціональних параметрів шляхом створення комп'ютерних моделей і алгоритмів для дослідження динамічного навантаження платформ.

Для досягнення поставленої мети були поставлені та вирішені наступні основні задачі:

1. Провести аналіз існуючих конструкцій довгобазних вагонів-платформ.
2. Провести аналіз експериментальних досліджень, умов експлуатації і пошкоджень рам довгобазних платформ.
3. Виконати теоретичні дослідження динаміко-міцнісних якостей довгобазних платформ.
4. Розробити математичну модель просторових коливань довгобазної платформи.
5. Розробити математичну модель напружено-деформованого стану довгобазної платформи, що враховує знакозмінні навантаження які виникають в конструкції при русі по нерівностях колії.
6. Визначити вихідні силові та конструктивні параметри для проведення необхідних динаміко-міцнісних розрахунків.
7. Провести порівняльний аналіз результатів теоретичних розрахунків та експериментальних даних, отриманих при проведенні попередніх випробувань довгобазної універсальної платформи.
8. За результатами порівняльного аналізу розглянути варіанти удосконалення довгобазної платформи з метою підвищення міцності конструкції.

9. Провести розрахункові дослідження динаміко-міцнісних якостей вдосконаленої конструкції довгобазної платформи, порівняти отримані результати з нормативними.

10. Виконати техніко-економічне обґрунтування рішень щодо постановки на виробництво вдосконалених довгобазних платформ.

Об'єкт дослідження – динаміко-міцнісні процеси, що відбуваються в конструкціях довгобазних вагонів-платформ.

Предмет дослідження – просторові коливання та напружено-деформовані стани (далі – НДС) довгобазних вагонів-платформ при дії знакозмінних навантажень.

Методи досліджень. Для досягнення поставленої мети, при виконанні експериментальних досліджень і обробки отриманих результатів, в роботі використані методи математичного моделювання, теорія диференціальних та інтегральних рівнянь, автоматизованого проектування, метод скінченних елементів (далі – МСЕ), методи теорії ймовірностей, сучасні методи експериментальних досліджень рухомого складу.

Достовірність і обґрунтованість результатів дисертаційної роботи обумовлені обґрунтованою постановкою завдань, використанням теоретичних та експериментальних методів дослідження НДС, що мінімізують похибку досліджень, сучасними методами обробки результатів, використанням сучасного обладнання, високим ступенем збіжності результатів теоретичних досліджень з експериментальними даними випробувань (розбіжність не перевищує 11 %), отримані висновки та рекомендації не суперечать вже відомим.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

Вперше:

- створена процедура оцінювання НДС рами довгобазного вагона-платформи в залежності від різних видів експлуатаційних навантажень, яка на відміну від існуючих враховує особливості вантажів (контейнерів різних типорозмірів, труб і т. д.) що плануються до перевезень;

- розроблений метод уточненої оцінки коефіцієнта запасу опору втомі в залежності від конструктивного варіанту рами довгобазного вагона-платформи.

Удосконалено:

- розрахункову модель для визначення та дослідження напружено-деформованого стану довгобазного вагона-платформи в частині формування експлуатаційних навантажень з урахуванням реальних величин вертикальних збуджень зі сторони колії;

- математичну модель просторових коливань довгобазної платформи, яка на відміну від існуючих дозволяє оцінювати разом з динамічними показниками й показники опору втомі.

Набула подальшого розвитку:

- процедура визначення раціональних параметрів несучих елементів конструкції довгобазних вагонів-платформ з урахуванням різних схем завантаження контейнерами та іншими вантажами.

Практичне значення отриманих результатів.

Наукові результати, отримані під час виконання дисертаційної роботи та практичні рекомендації були використані при проектуванні, конструктивному удосконаленні і виготовленні на підприємствах ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (акт впровадження від 15.01.2018 р.) та ПАТ «Дніпровагонмаш» (акт впровадження від 23.01.2018 р.) довгобазних платформ моделей 13-7031 та 13-4147 відповідно.

Розроблені методики статичних та динамічних досліджень в залежності від конструктивного виконання та умов експлуатації довгобазних платформ, визначені допустимі схеми завантаження контейнерами різних типорозмірів для виконання вимог безпеки руху.

Основні теоретичні дослідження та результати випробувань були використані на кафедрі «Вагони та вагонне господарство» ДУІТ у навчальному процесі (довідка про використання у навчальному процесі від 16.01.2018 р.).

В ДП «УкрНДІВ» (акт впровадження від 25.01.2018 р.) результати дисертаційної роботи використовуються під час розробки методик, проведення та опрацювання результатів експериментальних досліджень на міцність та опір втомі вантажних вагонів.

Особистий внесок здобувача - планування, підготовка та проведення теоретичних та експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, проведення теоретичних досліджень та розробка наукових положень та висновків. Автором отримані самостійно основні результати теоретичних та експериментальних досліджень, що наведені в роботі. Автором виконано аналіз сучасних конструкцій платформ, розроблено розрахункову схему для дослідження напружено-деформованого стану. Створено скінченно-елементні моделі для дослідження напружено-деформованого стану вагона-платформи. На підставі аналізу результатів дослідження запропоновано варіант удосконалення конструкції вагона-платформи, виконано оцінку напружено-деформованого стану та техніко-економічного обґрунтування удосконаленої конструкції. Виконано техніко-економічне обґрунтування щодо виробництва удосконалених довгобазних вагонів-платформ.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи, її основні положення доповідались, обговорювались та були схвалені на конференціях:

- V міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми і перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології» (Київ, 2011 р.);

- 71-й, 72-й, 75-й, 76-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпро);
- XIII міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту» (м. Дніпро, 2012р.);
- 74 международной научно-технической конференции кафедр академии, инженерно-технических работников железных дорог, предприятий и организаций Украины и других стран (Харків, 2012 р.);
- III международной партнерской конференции «Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов» (Ялта, 2012 р.)
- XLIV науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Сучасні проблеми залізничного транспорту» (Київ, 2014);
- міжнародній науково-практичній конференції «Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи» (м. Трускавець, СНУ ім. В. Даля, 2016 р.).

Дисертаційна робота в повному обсязі доповідалася та була схвалена на:

- засіданні науково-технічної ради Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (Кременчук, 2017 р.);

- розширеному засіданні кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій (Київ, 2018 р.) за участю членів спеціалізованої вченої ради К 26.820.01.

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 9 основних наукових праць у формі статей (7 в фахових наукових виданнях України (1 з них без співавторів) та 2 включено до міжнародних науково-метричних баз), 10 праць апробаційного характеру в формі тез доповідей на конференціях, 3 праці, які додатково відображають наукові результати дисертації.

Структура й обсяг дисертації. Повний обсяг дисертації складає 198 сторінок друкованого тексту й містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел зі 157 найменувань на 16 сторінках, 67 рисунків та 28 таблиць, 6 додатків на 55 сторінках. Основна частина роботи викладена на 112 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи й показано зв'язок теми дисертаційної роботи з науковими програмами, сформульовано мету та задачі дослідження, наведено наукову новизну, практичну цінність та рівень апробації одержаних результатів, кількість публікацій за темою та особистий внесок автора.

У першому розділі проведений аналіз конструктивних особливостей довгобазних платформ та пошкоджень їх несучих елементів.

Основними виробниками довгобазних вагонів-платформ в Україні є ПАТ «Дніпровагонмаш», ПАТ «Азовмаш» та ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод». У країнах СНД довгобазні платформи виробляють: ВАТ «Уралвагонзавод», ЗАТ «Брянський машинобудівний завод», ВАТ «Русхиммаш», ВАТ «Алтайвагон» та інші.

В Україні та країнах СНД центральна взаємодія між вагонами через автотцепний пристрій визначає конструкцію рами вагона-платформи, яка переважно складається з балок змінного по висоті перерізу з несучими хребтовою і бічними балками, із зниженою нейтральною віссю поперечного перерізу щодо осі автотцепного пристрою.

В основу сучасних конструкцій довгобазних вагонів-платформ, які останнім часом були розроблені, покладені як класичні схеми з несучими хребтовою і бічними балками (які мають максимально можливу висоту), несучою хребтовою балкою та допоміжними бічними балками (рисунок 1), так і не класичні схеми з укороченою хребтовою балкою і бічними балками, які мають максимально можливу висоту (рисунок 2).

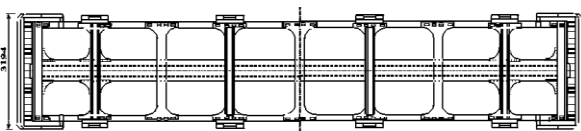


Рисунок 1 - Класична схема з несучою хребтовою (яка має максимально можливу висоту) і бічними балками

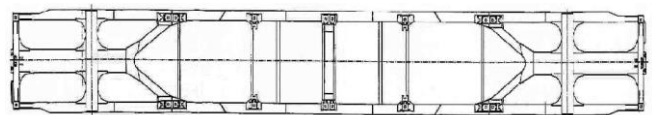


Рисунок 2 - Схема з укороченою хребтовою балкою і бічними балками, які мають максимально можливу висоту

У Європі, Україні та Росії 48% вагонів-платформ мають комбінований тип конструкції з несучими хребтовою і бічними балками, 9% припадає на конструкцію з несучою хребтовою балкою і допоміжними бічними балками та 30% вагонів-платформ – з укороченою хребтовою балкою і бічними балками, які мають максимально можливу висоту. Приблизно 13 % вагонів-платформ мають інші типи конструкцій.

На відміну від країн СНД та Європи на залізничних коліях США і Канади для перевезення автомобілів використовуються 2-х та 3-х ярусні платформи для 10-15 великих автомобілів. Також в США, де розміри габариту рухомого складу дозволяють перевозити контейнери в два рівня виготовляються та експлуатуються вагони-платформи, рама яких складається з несучих бічних балок і має низько опущену колодязіподібну форму. Більшість таких вагонів мають вантажопідйомність понад 70 т. Довжина платформ загального призначення в США становить 18-21 м, платформи не мають бортів. Платформи нових конструкцій мають довжину до 27 м при вантажопідйомності 63,5 т. Значне поширення отримують платформи з глухими або рухомими торцевими стінками для закріплення довгомірних вантажів в поздовжньому напрямку. Платформи для крихких вантажів нерідко обладнують рухомою хребтовою балкою.

Спираючись на досвід виробництва даної продукції в США і Канаді, російські виробники спробували створити аналогічний вагон-платформу під низький габарит країн СНД. Конструкція має низько опущену колодязіподібну форму для розміщення двох 40-футових контейнерів (рисунок 3).



Рисунок 3 - Вагон-платформа для перевезення контейнерів у 2 яруси

Виконані дослідження і аналіз характеру пошкоджень показують, що основними пошкоджуючими факторами руйнувань довгобазних платформ є вертикальні динамічні знакозмінні навантаження, обумовлені нерівностями рейкової колії, конструктивними особливостями довгобазних платформ та умовами розміщення і кріплення вантажів. За статистичними даними експлуатації, найбільша кількість руйнувань і пошкоджень рам довгобазних платформ відбувається в зонах середньої частини і перехідних перерізів (рисунок 4).



Рисунок 4 – Довгобазний вагон-платформа для перевезення контейнерів та довгомірних вантажів. Руйнування хребтової балки у місці «технологічного вікна» гальмівної системи та бокової балки перехідному перерізі

Одним з факторів, який необхідно обов'язково враховувати при проектуванні та розрахунках довгобазних платформ є коефіцієнт концентрації напружень, що враховує зниження опору втоми в зв'язку з місцевими змінами форми і розмірів деталей (зміни перерізу, наявність зварних швів, отворів, вирізів і т. д.) несучої конструкції.

Значний внесок у вивчення динаміко-міцнісних якостей рухомого складу внесли такі вітчизняні й закордонні вчені:

М.Ф. Веріго, С.В. Вершинський, В.М. Данілов, С.М. Куценко, В.А. Лазарян, В.Б. Медель, І.І. Челноков, П.С. Анисімов, І.В. Бірюков, Є.П. Блохин, Г.І. Богомаз, Ю.П. Бороненко, В.М. Бубнов, Г.П. Бурчак, А.Л. Голубенко, Л.О. Грачова, В.Д. Данович, Ю.В. Дьомін, О.О. Долматов, А.В. Донченко, В.П. Єфімов, І.П. Ісаєв, Л.О. Кальницький, В.А. Камаєв, М.Б. Кельріх, О.Я. Коган, М.Л. Коротенко, В.М. Котуранов, М.М. Кудрявцев, О.А. Львов, Л.А. Манашкін, І.Е. Мартинов, І.Г. Морчиладзе, С.В. Мямлін,

Н.Ю. Науменко, М.О. Радченко, О.М. Савчук, М.М. Соколов, С.І. Соколов, Т.А. Тібілов, В.П. Ткаченко, О.В. Третьяков, В.Ф. Ушкалов, В.М. Філіппов, В.Д. Хусідов, Ю.М. Черкашин, Л.А. Шадур, Р. Богач, І. Бомель, Ф. Картер, В. Кік, Д. Кофман, Л. Лінгайтис, А. Худзікевич, Г. Шеффель та інші.

У другому розділі описано програму і методику проведених експериментальних досліджень та наведено результати досліджень. У представленій програмі та методиці розглянуто характеристики об'єкту досліджень, види і послідовність проведення випробувань, дані щодо вимірювальної апаратури, методи досліджень (випробувань), порядок проведення експериментальних досліджень, обробка даних та оцінка їхньої точності. За результатами проведених експериментальних досліджень отримано міцнісні характеристики конструкції довгобазного вагона-платформи. Наведені результати статичних випробувань на міцність від дії вертикального навантаження, випробувань на міцність від дії поздовжнього квазістатичного навантаження, статичних випробувань на міцність під час ремонту й обслуговування вагона, ходових міцнісних випробувань та випробувань на міцність при співударі.

Напружений стан елементів конструкції вагона в умовах експлуатації оцінено відповідно до вимог «Норм для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» ДСТУ 7598:2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)» за I та III розрахунковими режимами:

- сумарні напруження для I режиму розраховують за формулою:

$$(\sigma_{\text{вер}} + \sigma_{\text{позд}} + \sigma_{Pz} + \sigma_{Pn}) < [\sigma]_I, \quad (1)$$

де $\sigma_{\text{вер}}$ – напруження від дії вертикального навантаження брутто, МПа;

$\sigma_{\text{позд}}$ – напруження від дії поздовжнього навантаження брутто, МПа;

σ_{Pz} – вертикальна складова динамічної сили на візок від дії поздовжньої сили інерції, МПа;

σ_{Pn} – поперечна складова поздовжньої квазістатичної сили, МПа;

$[\sigma]_I$ – допустимі напруження в елементах вагона за I режимом, МПа;

- сумарні напруження для III режиму розраховують за формулою :

$$(\sigma_{\text{вер}} + \sigma_{\text{позд}} + \sigma_{\text{дин}} + \sigma_{Pn}) < [\sigma]_{III}, \quad (2)$$

де $\sigma_{\text{вер}}$ – напруження від дії вертикального навантаження брутто, МПа;

$\sigma_{\text{позд}}$ – напруження від дії поздовжнього навантаження брутто, МПа;

$\sigma_{\text{дин}}$ – напруження від дії вертикальної динамічної добавки, МПа;

σ_{Pn} – напруження від дії бокової сили, МПа;

$[\sigma]_{III}$ – допустимі напруження в елементах вагона за III режимом, МПа.

Максимальні сумарні напруження за I розрахунковим режимом склали 264,7 МПа в хребтовій балці, переріз I-I, при допустимому значенні 265 МПа. Максимальні сумарні напруження за III розрахунковим режимом склали 188,5

МПа в хребтовій балці, переріз VI-VI, при допустимому значенні 190 МПа та 194,4 МПа в боковій балці, переріз 0-0, при допустимому значенні 195 МПа.

Максимальне сумарне напруження в конструкції вагона-платформи моделі 13-7031 від дії вертикальних навантажень та режиму співудару, при завантаженні трубами великого діаметру, зафіксовано у хребтовій балці та склало 129,47 МПа при допустимому значенні [295] МПа.

Найбільше сумарне напруження в конструкції вагона-платформи моделі 13-7031 від дії вертикальних навантажень та режиму співудару, при завантаженні 2-ма 40-футовими контейнерами, зафіксовано у хребтовій балці та склало 330 МПа при допустимому значенні [295] МПа.

Мінімальний коефіцієнт запасу опору втомі в хребтовій та бокових балках вагона-платформи моделі 13-7031 при завантаженні двома 40-футовими контейнерами склав 1,1 при допустимому значенні $\geq [1,5]$.

Аналіз результатів випробувань дозволяє встановити, що конструкція вагона-платформи моделі 13-7031 не відповідає вимогам нормативної документації та потребує доопрацювання та підсилення.

У третьому розділі розглянуте питання теоретичного дослідження динамічних і міцнісних якостей довгобазних вагонів-платформ з метою удосконалення конструкції та підвищення її міцнісних характеристик. Для вирішення цього питання розглянемо найбільш повну математичну модель просторових коливань вантажного чотиривісного вагона з трьохелементними двовісними візками, в основу якої покладено математичну модель, запропоновану академіком В.А. Лазаряном та розвинену в працях професорів Є.П. Блохіна, В.Д. Дановича, М.Л. Коротенко, В.Ф. Ушкалова, Г.І. Богомаза, а також представниками інших наукових шкіл І.І. Челноковим, Ю.П. Бороненко, М.М. Соколовим.

Математична модель просторових коливань вантажного вагона передбачає розгляд коливань чотиривісного вантажного вагона, що виникають внаслідок його руху по ізолюваній нерівності колії. При цьому вважаємо, що на обох нитках рейкової колії є однакові нерівності, і тому розглядаємо коливання вагона в його поздовжній площині симетрії. Раму вагона вважатимемо твердим тілом. Силу тертя в демпферах приймаємо пропорційною швидкості стиснення ресорних комплектів. Вагон рухається по пружно-в'язкому колії так, що реакція колії пропорційна як його деформації, так і швидкості цієї деформації.

При зроблених припущеннях розглянемо коливання механічної системи у вигляді чотирьохвісної довгобазної платформи, розрахункова схема якої зображена на рис. 5.

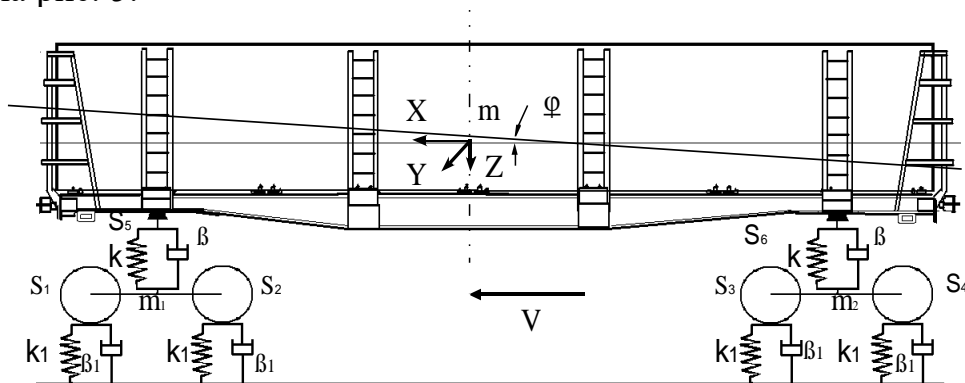


Рисунок 5 - Розрахункова схема платформи

Запишемо вираз рівняння Лагранжа другого роду у вигляді системи диференціальних рівнянь з використанням узагальнених координат і узагальнених швидкостей:

$$\left. \begin{aligned} a_{11}\ddot{q}_1 + 2\beta\dot{q}_1 - 2\beta\dot{q}_3 + 2kq_1 - 2kq_3 &= 0; \\ a_{33}\ddot{q}_3 - 2\beta\dot{q}_1 + 2(\beta + 2\beta_1)\dot{q}_3 - 2kq_1 + 2(k + 2k_1)q_3 &= \\ &= k_1(\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4) + \beta_1(\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2 + \dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4). \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} a_{22}\ddot{q}_2 + a_{27}\ddot{q}_7 + 2\beta l^2\dot{q}_2 + 2\beta l\dot{q}_4 + 2kl^2q_2 + 2klq_4 &= 0; \\ a_{44}\ddot{q}_4 + 2\beta l\dot{q}_2 + 2(\beta + 2\beta_1)\dot{q}_4 + 2klq_2 + 2(k + 2k_1)q_4 &= \\ &= k_1(\eta_1 + \eta_2 - \eta_3 - \eta_4) + \beta_1(\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2 - \dot{\eta}_3 - \dot{\eta}_4); \\ a_{27}\ddot{q}_2 + a_{77}\ddot{q}_7 &= 0. \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} a_{55}\ddot{q}_5 + 2a^2\beta_1\dot{q}_5 + 2a^2k_1q_5 &= -k_1a(\eta_1 - \eta_2) - \beta_1a(\dot{\eta}_1 - \dot{\eta}_2); \\ a_{66}\ddot{q}_6 + 2a^2\beta_1\dot{q}_6 + 2a^2k_1q_6 &= -k_1a(\eta_3 - \eta_4) - \beta_1a(\dot{\eta}_3 - \dot{\eta}_4). \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

Виконаємо виключення з системи диференціальних рівнянь (6) другу похідну циклічної координати q_7 за часом. З рівняння (7) цієї системи отримаємо:

$$\ddot{q}_7 = -\frac{a_{27}}{a_{77}}\ddot{q}_2.$$

Підставивши вираз для \ddot{q}_7 в перше рівняння системи, яка набуде вигляду:

$$\left. \begin{aligned} a_{22}^*\ddot{q}_2 + 2\beta l^2\dot{q}_2 + 2\beta l\dot{q}_4 + 2kl^2q_2 + 2klq_4 &= 0; \\ a_{44}\ddot{q}_4 + 2\beta l\dot{q}_2 + 2(\beta + 2\beta_1)\dot{q}_4 + 2klq_2 + 2(k + 2k_1)q_4 &= \\ &= k_1(\eta_1 + \eta_2 - \eta_3 - \eta_4) + \beta_1(\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2 - \dot{\eta}_3 - \dot{\eta}_4), \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Розглянемо вираз для опису нерівності η_i (де $i = 1, 2, 3, 4$). Для цього сумістимо початок координат з початком нерівності (рис. 7) і приймемо такий вираз для її опису:

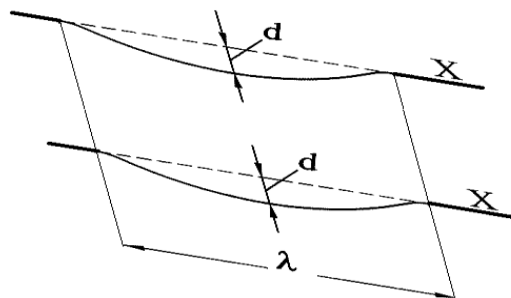


Рисунок 7 - Нерівність колії

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } x < 0 \\ \text{при } 0 < x < \lambda \\ \text{при } x > \lambda \end{array} \right\} \eta = \frac{d}{2} \left(\begin{array}{l} \eta = 0, \\ 1 - \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \\ \eta = 0. \end{array} \right) \quad (9)$$

де d – найбільша глибина;

λ – довжина нерівності.

Вираз для нерівності набуде вигляду:

$$\eta_i = \frac{d}{2} \left[1 - \cos \omega(t - \tau_i) \right] - \frac{d}{2} \left[1 - \cos \omega \left(t - \tau_i - \frac{2\pi}{\omega} \right) \right]. \quad (10)$$

причому $\tau_1 = 0$. Підставивши ці вирази η_i в праві частини диференціальних рівнянь отримаємо диференціальні рівняння коливань вагону під час руху по нерівності колії, описуваної виразами (9).

Дана модель є основою для виконання моделювання просторових коливань довгобазних вагонів-платформ на пружно-в'язкій і інерційній залізничній колії.

Розрахункова схема платформи має 24 рівняння зв'язків. Крім того, система має $11 \cdot 6 + 8 \cdot 2 - 24 = 58$ ступенів свободи. Як узагальнені координати приймаємо такі величини:

$$\begin{aligned} q_1 &= Z, \quad q_2 = \varphi, \quad q_3 = \Theta, \quad q_4 = Y, \quad q_5 = \Phi, \quad q_i = \Theta_i \quad (n=6, 7) \\ q_n &= \Phi_i \quad (n=8, 9), \quad q_n = \Phi_{\sigma ij} \quad (n=10, 13), \quad q_n = Y_{\sigma ij} \quad (n=14, 17), \\ q_n &= Z_{\sigma ij} \quad (n=18 \div 21), \quad q_n = \varphi_{\sigma ij} \quad (n=22 \div 25), \quad q_n = \Phi_{kim} \quad (n=26 \div 29), \\ q_n &= Y_{kim} \quad (n=30 \div 33), \quad q_n = Z_{kim} \quad (n=34 \div 37), \quad q_n = \Theta_{kim} \quad (n=38 \div 41), \\ q_n &= Y_{pij} \quad (n=42 \div 49), \quad q_n = X_{\sigma ij} \quad (n=50 \div 57), \quad q_n = X_{kim} \quad (n=54 \div 57), \quad q_{58} = X \end{aligned} \quad (11)$$

Визначено, що крім сил в ковзунах s_{Oij} та моменту M_i на надресорні балки діють наступні сили, відповідні відносним переміщенням надресорних балок і бічних рам:

$$\begin{aligned} s_{uxij} &= k_{ux} \Delta_{uxij} + \beta_{ux} \dot{\Delta}_{uxij} + F_{ux} \text{sign} \dot{\Delta}_{uxij}, \\ s_{uyij} &= k_{uy} \Delta_{uyij} + \beta_{uy} \dot{\Delta}_{uyij} + F_{uy} \text{sign} \dot{\Delta}_{uyij}, \\ s_{uzij} &= k_{uz} \Delta_{uzij} + \beta_{uz} \dot{\Delta}_{uzij} + F_{uz} \text{sign} \dot{\Delta}_{uzij}, \\ s_{u\Phi ij} &= k_{u\Phi} \Delta_{u\Phi ij} + \beta_{u\Phi} \dot{\Delta}_{u\Phi ij} + F_{u\Phi} \text{sign} \dot{\Delta}_{u\Phi ij}, \end{aligned} \quad (12)$$

де k_{us} ($s = X, Y, Z, \Phi$) – жорсткості ресорного комплексу центрального підвішування візка при вигині (k_{ux}, k_{uy}), стискуванні (k_{uz}), скручуванні ($k_{u\Phi}$), β_{us} – коефіцієнт в'язкого тертя відповідних демпферів (якщо мають місце демпфери

в'язкого тертя), $F_{\sigma s}$ - амплітудні значення сил сухого тертя відповідних демпферів, переміщення надресорних балок відносно бічних рам відповідно в горизонтальному (поперечному), вертикальному напрямках і при виліанні $\Delta_{\sigma s}$ ($s = X, Y, Z, \Phi$) визначаються формулами:

$$\begin{aligned}\Delta_{\sigma yij} &= Y - (-1)^i 1\Phi - h\Theta - Y_{\sigma ij}, \\ \Delta_{\sigma zij} &= Z + (-1)^i 1\varphi + (-1)^j b\Theta_i - Z_{\sigma ij}, \\ \Delta_{\sigma \Phi ij} &= \Phi_i - \Phi_{\sigma ij}, \quad (i, j=1,2)\end{aligned}\quad (13)$$

Сили, що виникають між бічними рамами і колісними парами, визначаються наступними виразами:

$$\begin{aligned}s_{\sigma ximj} &= k_{\sigma x} \Delta_{\sigma ximj} + \beta_{\sigma x} \dot{\Delta}_{\sigma ximj} + F_{\sigma x} \text{sign} \dot{\Delta}_{\sigma ximj} \\ s_{\sigma yimj} &= k_{\sigma y} \Delta_{\sigma yimj} + \beta_{\sigma y} \dot{\Delta}_{\sigma yimj} + F_{\sigma y} \text{sign} \dot{\Delta}_{\sigma yimj} \\ s_{\sigma zimj} &= k_{\sigma z} \Delta_{\sigma zimj} + \beta_{\sigma z} \dot{\Delta}_{\sigma zimj} + F_{\sigma z} \text{sign} \dot{\Delta}_{\sigma zimj} \\ s_{\sigma \Phi imj} &= k_{\sigma \Phi} \Delta_{\sigma \Phi imj} + \beta_{\sigma \Phi} \dot{\Delta}_{\sigma \Phi imj} + F_{\sigma \Phi} \text{sign} \dot{\Delta}_{\sigma \Phi imj}\end{aligned}\quad (14)$$

де $k_{\sigma s}$ ($s = X, Y, Z, \Phi$) – жорсткості комплектів пружин буксової ступені підвішування при вигині ($k_{\sigma x}, k_{\sigma y}$), стискуванні ($k_{\sigma z}$) і скручуванні ($k_{\sigma \Phi}$), $\beta_{\sigma s}$ – коефіцієнт в'язкого тертя відповідних демпферів (якщо встановлені демпфери в'язкого тертя), $F_{\sigma s}$ - амплітудні значення сил сухого тертя відповідних демпферів. Переміщення бічних рам щодо колісних пар відповідно в поздовжньому, поперечному, вертикальному напрямках і при виліанні $\Delta_{\sigma imj}$ визначається формулами:

$$\begin{aligned}\Delta_{\sigma ximj} &= X_{\sigma ij} - X_{kim} + (-1)^j b_1 \Phi_{kim}, \\ \Delta_{\sigma yimj} &= Y_{\sigma ij} - (-1)^m 1_1 \Phi_{\sigma ij} - Y_{kim}, \\ \Delta_{\sigma zimj} &= Z_{\sigma ij} + (-1)^m 1_1 \Phi_{\sigma ij} - Z_{kim} - (-1)^j b_1 \Theta_{kim}, \\ \Delta_{\sigma \Phi imj} &= \Phi_{\sigma ij} - \Phi_{kim}, \quad (i, m, j=1, 2).\end{aligned}\quad (15)$$

Таким чином, розроблена спеціалізована математична модель для вивчення динамічного навантаження вагона-платформи, що рухається по різних ділянках залізничної колії з можливістю визначення зусиль у зв'язках між елементами вагона, які будуть використовуватися при оцінці міцнісних якостей несучих елементів вагона-платформи. Виконано оцінку динамічних показників вагонів-платформ.

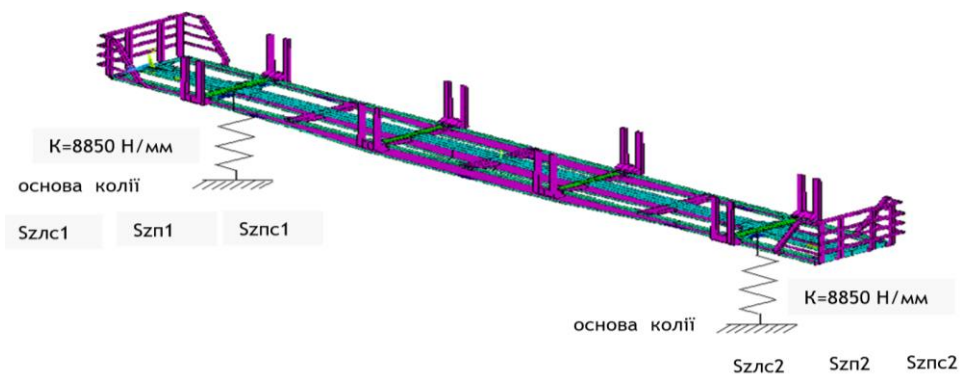


Рисунок 8 - Розрахункова схема для моделювання напружено-деформованого стану довгобазного вагона-платформи під час руху по залізничній колії.

Для вивчення навантажено-деформованого стану довгобазного вагона-платформи розглянуто математичну модель напружено-деформованого стану вагона-платформи під час руху по залізничній колії. Виконано вибір і опис розрахункової схеми та проведено формування математичної моделі просторових коливань довгобазного вагона-платформи і напружено-деформованого стану основних несучих елементів. Визначені розрахункові режими навантаження та вихідні дані для розрахунку, приведена розрахункова схема для моделювання напружено-деформованого стану.

У четвертому розділі виконано розрахунки режимів експериментальних досліджень довгобазного вагона-платформи на міцність. Проведено вдосконалення конструкції та розрахунок модернізованої конструкції на втому.

Розрахунок був виконаний з використанням обчислювального комплексу ANSYS/V11.0, що реалізує метод кінцевих елементів (МКЕ) на ПЕОМ стандарту IBM-PC. Використовується пластинчата кінцево-елементна модель. Для розрахунку використовувалися кінцеві елементи типу SHELL 63. Використовувані кінцеві елементи мають квадратичні функції форми і шість ступенів свободи в кожному вузлу, переміщення вздовж осей x , y , z і повороти навколо цих осей.

Загальний вигляд розрахункової схеми приведений на рисунку 8.

З метою вибору схем завантаження для кінцево-елементного аналізу були визначені згинальні моменти для можливих схем завантаження контейнерами. Схеми розміщення вантажу та максимальні величини згинальних моментів наведені на рисунках 9 – 10.

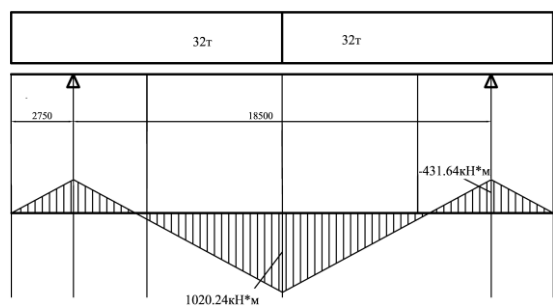


Рисунок 9 – Величини згинальних моментів при завантаженні двома 40-футовими контейнерами

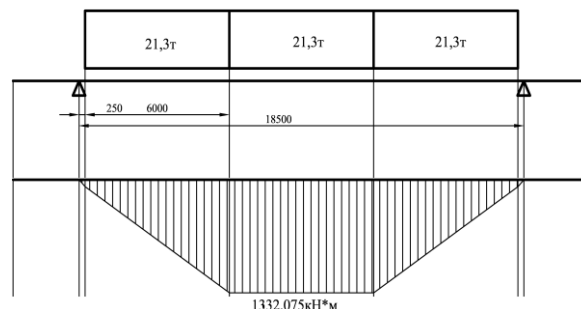


Рисунок 10 – Величини згинальних моментів при завантаженні трьома 20-футовими контейнерами

Визначені зусилля, що діють на раму вагона, при поздовжніх навантаженнях, при співударі та ремонтних режимах навантаження. Розраховано напружено деформований стан вагона від дії сили ваги бруто (рисунок 11 - 14).

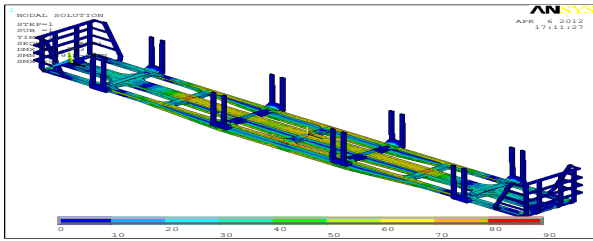


Рисунок 11 – Напруження від дії вертикального статичного навантаження чотирма 20-футовими контейнерами

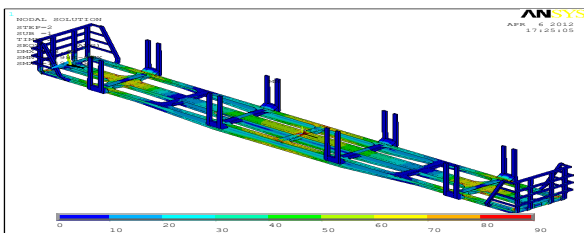
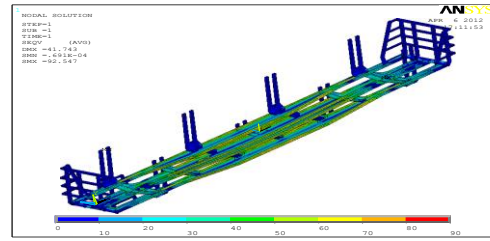


Рисунок 12 – Напруження від дії вертикального статичного навантаження двома 40-футовими контейнерами

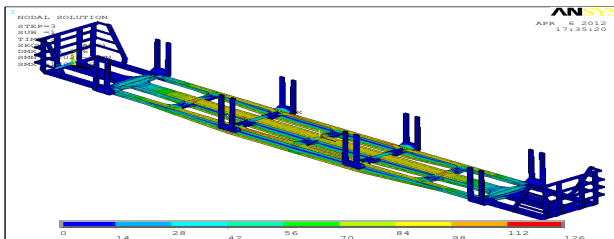
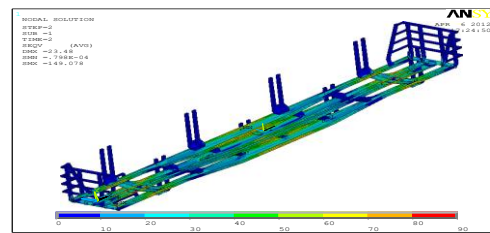


Рисунок 13 – Напруження від дії вертикального статичного навантаження трьома 20-футовими контейнерами

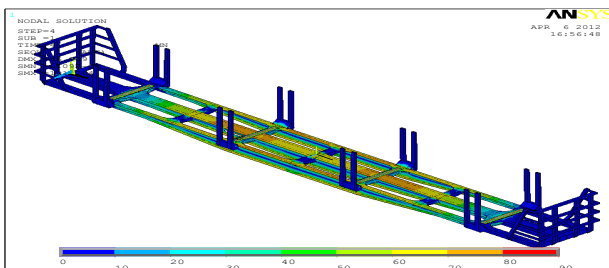
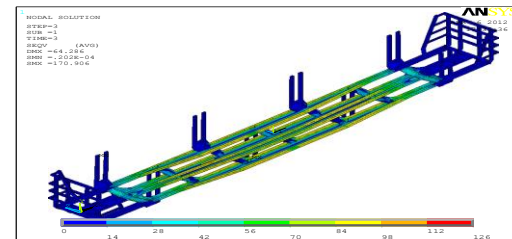
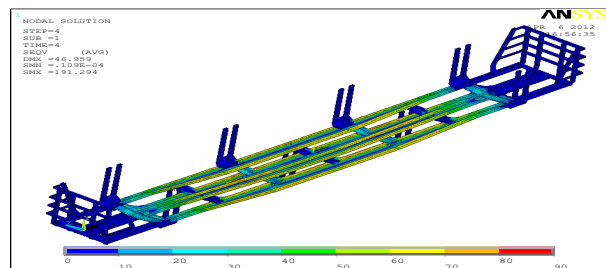


Рисунок 14 – напруження від дії вертикального статичного навантаження двома штабелями труб



Розрахунок елементів рами на втому проводиться для випадку дії на неї максимально допустимих навантажень в перерізах з високим рівнем знакозмінних напружень.

Ефективна частота f_0 визначається в програмному комплексі ANSYS з застосуванням модального аналізу як частота власних коливань завантаженої платформи на ресорах. Для всіх розглянутих режимів завантаження $f_0 = 2,01$ Гц.

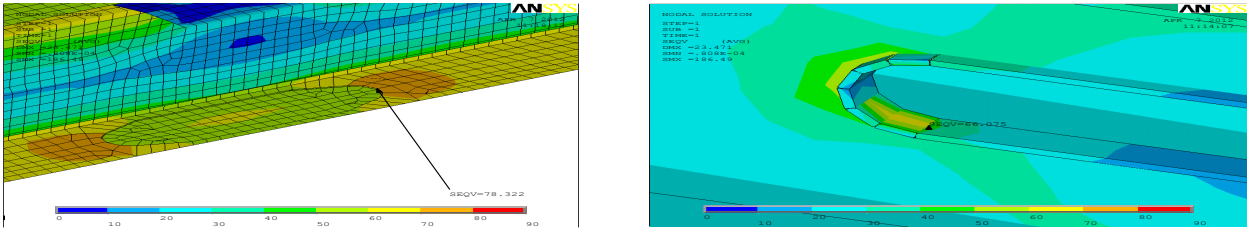


Рисунок 15 – Напружено-деформований стан в зоні шва накладки в центрі бічної балки та у зоні вікна горизонтального важеля хребтової балки до запропонованого доопрацювання

При проведенні стендових випробувань руйнування були виявлені в двох зонах. В перерізі I-I в зоні закінчення накладки і в перерізі III-III хребтової балки на прорізі для горизонтального важеля автогальма. Напружено-деформований стан цих зон при завантаженні двома 40-футовими контейнерами показаний на рисунках 15. Результати розрахунку представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Коефіцієнт запасу опору втомі в зонах руйнувань, завантаження двома 40-футовими контейнерами.

| Елемент | Перері з | Точка | № вузла моделі | Результати розрахунку | | | | |
|----------------|----------|--------|----------------|-----------------------|---------------|------------------------|---------------|------|
| | | | | $\sigma_{ст}$ | $\sigma_{aЭ}$ | $(\bar{k}_{\sigma})_k$ | σ_{aN} | n |
| Хребтова балка | I-I | т. тр1 | 34553 | 66,1 | 27,3 | 5,0 | 37,2 | 1,36 |
| Хребтова балка | III-III | т. тр2 | 64578 | 78,3 | 32,3 | 5,0 | 37,2 | 1,15 |

Як видно з таблиці, значення коефіцієнта запасу опору втомі менше необхідного $[n] = 1,5$. Отже, ці зони потребують підсилення.

Для зони руйнування в перерізі I-I пропонуємо видалити накладку на нижньому поясі, що дозволить знизити концентрацію напружень біля шва і зменшити коефіцієнт концентрації з 5,0 до 2,5.

Для зони руйнування по вікну в перерізі III-III пропонується перенести стиковий шов підсилюючого обода в зону з більш низькими напруженнями, що дозволяє знизити рівень напружень з 66,1 МПа до 5,1 МПа. Напружено-деформований стан зазначених зон після доопрацювання показано на рисунку 16, а результати розрахунку наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Коефіцієнт запасу опору втомі в зонах руйнувань після доопрацювання, завантаження 40-футовими контейнерами.

| Елемент | Переріз | Точка | № узла моделі | Результати розрахунку | | | | |
|----------------|---------|--------|---------------|-----------------------|---------------|------------------------|---------------|-------|
| | | | | $\sigma_{ст}$ | $\sigma_{aЭ}$ | $(\bar{k}_{\sigma})_k$ | σ_{aN} | n |
| Хребтова балка | I-I | т. тр1 | 34553 | 5,1 | 2,1 | 5,0 | 37,2 | 17,67 |
| Хребтова балка | III-III | т. тр2 | 64578 | 71,4 | 29,5 | 2,5 | 116,1 | 3,94 |

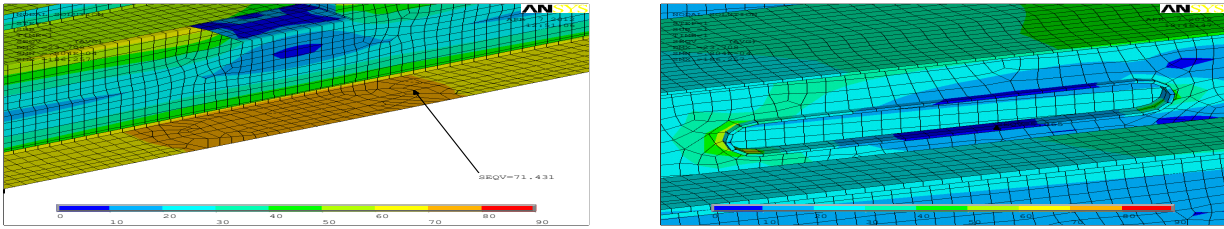


Рисунок 16 – Напружено-деформований стан в зоні шва накладки в центрі бічної балки та у зоні вікна горизонтального важеля хребтової балки після запропонованого доопрацювання

Виконано техніко-економічне обґрунтування рішень щодо постановки на виробництво вдосконалених довгобазних платформ. Економічний ефект від використання одного довгобазного вагона-платформи завдяки скороченню витрат на утримання й обслуговування в експлуатації складе 645,22 тис. грн. на протязі 1 року експлуатації. Термін окупності капіталовкладень, необхідних для придбання 1 вагона становить 1,43 роки.

ВИСНОВКИ

1. За результатами аналізу конструкцій сучасних довгобазних вагонів-платформ визначені їх особливості і дана класифікація характерних конструктивних рішень.
2. Виконано аналіз умов експлуатації та характерних пошкоджень конструкцій сучасних довгобазних вагонів-платформ.
3. Виконаний огляд експериментальних досліджень в області вивчення міцнісних якостей сучасного довгобазного вагона-платформи. Результати проведених досліджень дослідного зразка сучасного довгобазного вагона-платформи моделі 13-7031 показали, що у всіх досліджених зонах конструкції головні та еквівалентні напруження задовольняють вимогам, при цьому залишкові деформації відсутні. Мінімальний коефіцієнт запасу опору втомі в досліджених зонах склав 1,05 та не задовольняє нормативним вимогам ($[n] \leq 1,5$).
4. Проведені теоретичні дослідження динаміко-міцнісних якостей сучасного довгобазного вагона-платформи.
5. Розроблено математичну модель просторових коливань, що передбачає розгляд коливань чотирирівісного довгобазного вагона-платформи, які виникають внаслідок його руху по ізольованій нерівності колії.
6. Виконано опис розрахункової схеми та вперше розроблено математичну модель напружено-деформованого стану довгобазного вагона-платформи, що враховує знакозмінні навантаження, які виникають в конструкції при русі по нерівностях колії, дозволяє оцінити його міцнісні характеристики в динаміці та часі, враховувати вертикальні коливання рами.
7. Вирішена задача щодо визначення вихідних силових та конструктивних параметрів для проведення необхідних динаміко-міцнісних розрахунків. Проведений вибір розрахункових схем навантаження для кінцево-елементного аналізу та визначені згинальні моменти для можливих схем навантаження контейнерами.

8. Проведений порівняльний аналіз результатів теоретичних розрахунків та експериментальних даних, отриманих при проведенні попередніх експериментальних досліджень довгобазного вагона-платформи.

9. За результатами порівняльного аналізу виявлені небезпечні зони (зони руйнувань), де коефіцієнт запасу опору втомі не задовольняє нормативним вимогам ($[n] \leq 1,5$) та розглянуті варіанти удосконалення довгобазної платформи з метою підвищення міцності конструкції.

10. Проведені вдосконалення конструкції довгобазного вагона-платформи. Виконані розрахункові дослідження міцнісних якостей вдосконаленої конструкції довгобазного вагона-платформи. Аналіз отриманих результатів відповідає нормативним вимогам. Коефіцієнт запасу опору втомі в зонах руйнувань після доопрацювання та вдосконалення конструкції забезпечує термін служби довгобазного вагона-платформи протягом 32 років для схеми навантаження 4x20', 2x40' і двома штабелями труб.

11. Виконано техніко-економічне обґрунтування рішень щодо постановки на виробництво вдосконалених довгобазних платформ. Економічний ефект від використання одного довгобазного вагона-платформи завдяки скороченню витрат на утримання й обслуговування в експлуатації складе 645,22 тис. грн. на протязі 1 року експлуатації. Термін окупності капіталовкладень, необхідних для придбання 1 вагона становить 1,43 роки.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. А.В. Донченко, Ю.О. Холод, В.В. Ільчишин, Д.В. Федосов-Ніконов. Дослідження динаміко-міцносних якостей вагона, обладнаного пружно-котковими ковзунами. – Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту, серія „Транспортні системи і технології”, вип.6, Київ 2004, стор. 29-35.

2. В.І. Ткачов, В.А. Серета, Д.В. Федосов-Ніконов, І.М. Лашкевич. Аналіз динамічних якостей універсального довгобазного вагона-платформи при різних схемах завантаження. – Збірник наукових праць державного економіко-технологічного університету транспорту, серія „Транспортні системи і технології”, випуск 15, Київ - ДЕГУТ - 2009, стор. 109-119.

3. Д.В. Федосов – Ніконов. Выбор рациональных схем размещения груза для длиннобазных универсальных платформ. – Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, випуск 129, м. Харків, с. 90-95.

4. Д.В. Федосов-Ніконов, М.Б. Кельріх. Дослідження на міцність конструкції довгобазної платформи. – Науковий журнал «Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля», №1-2016, с. 90-94.

5. А.В. Донченко, Д.В. Федосов-Ніконов. Методика розрахунково-експериментальних досліджень конструкції довгобазної платформи. – Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту, серія „Транспортні системи і технології”, випуск 28, Київ - ДЕГУТ - 2016, стор. 53-60.

6. О.В. Фомін, Д.В. Федосов-Ніконов. Дослідження конструкції довгобазного вагона-платформи на міцність. – Збірник наукових праць

Державного університету інфраструктури та технологій, серія „Транспортні системи і технології”, випуск 31, Київ - ДУІТ - 2017, стор. 140-147.

7. О.В. Фомін, В.М. Іщенко, Д.В. Федосов-Никонов. Довгобазні платформи. Проблеми міцності конструкції – *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – Дніпро: МПА, 2018. – Вип. 2. – С. 84-90.

8. А.В. Фомин, Д.В. Федосов-Никонов Научно-практическое исследование прочности рамы длиннобазной платформы – *Научно-методический журнал «Вестник науки и образования»*, 2018. – 10 (46) С. 8-15.

9. V.M. Ishchenko, D.V. Fedosov-Nikonov. Long Wheelbase Flat Wagons: Structural Strength. – *Metallurgical and Mining Industry «Machine building»*, 2017 – №8, p. 18-23.

Праці апробаційного характеру:

10. Д.В. Федосов-Никонов. Исследование прочностных качеств длиннобазных платформ на знакопеременные нагрузки. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції „Проблеми і перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології”, ДЕТУТ, Київ, 24-25 березня 2011 р., стор. 143.

11. Д.В. Федосов-Никонов. Длиннобазные платформы. Проблемы прочности и безопасности. Матеріали 71 Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта», ДИИТ, м. Дніпропетровськ, 14.04-15.04.2011 р., стор. 85.

12. А.В. Донченко, Д.В. Федосов-Никонов. Прочность конструкции универсальной длиннобазной платформы. Матеріали 72 Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта», ДИИТ, м. Дніпропетровськ, 19.04-20.04.2012 р., с. 75.

13. Д.В. Федосов-Никонов. Анализ экспериментальных исследований прочности и надежности конструкции длиннобазной платформы. Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту», ДИИТ, м. Дніпропетровськ, 23.05-25.05.2012 р., с. 145.

14. А.В. Донченко, Д.В. Федосов-Никонов. Анализ результатов усталостных испытаний длиннобазных платформ. Матеріали 74 Международной научно-технической конференции кафедр академии, инженерно-технических работников железных дорог, предприятий и организаций Украины и других стран, 24.04-25.04.2012 р. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, випуск 129, м. Харків, с. 214.

15. А.В. Донченко, Д.В. Федосов-Никонов. О прочности длиннобазных платформ. Матеріали III международной партнерской конференции «Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов» 21-25.05.2012, г. Ялта, с. 58.

16. Д. В. Федосов-Никонов. О прочности конструкции длиннобазной платформы. Матеріали XLIV науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Сучасні проблеми залізничного транспорту». – К.: ДЕТУТ, 2014. – Ч. 1. – 244. с. 84.

17. А.В. Донченко, Д.В. Федосов-Никонов. О прочности элементов конструкции длиннобазных платформ. Материалы 75 Международная научно-

практическая конференция «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» 14.05. - 15.05.2015, ДИИТ, г. Днепропетровск, с. 157.

18. Д.В. Федосов-Никонов, М.Б. Кельрих. Розрахунково-експериментальний метод оцінювання міцності конструкції довгобазної платформи. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи.», м. Трускавець, СНУ ім. В. Даля, 2016, с.101.

19. Д.В. Федосов – Никонов. Аналіз міцностних якостей конструкції довгобазної платформи. Матеріали 76 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», 19.05.2016-20.05.2016, Дніпропетровськ, 2016, с.21-22.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

20. Звіт про науково-дослідну роботу «Дослідження міцносних якостей конструкції вагона-платформи моделі 13-4147 (заключний)» від 20.02.2014 р., РК0114U001899, ОК0214U008026.

21. Звіт про науково-дослідну роботу «Дослідження міцнісних якостей, характеристик конструкції вагона-платформи моделі 13-4147 (заключний)» від 2011 р., РК0112U000124, ОК U.

22. А.В. Донченко, Д.В. Федосов-Никонов, О.В. Орлов, М.И. Соляник, С.В. Долинский (ПАО «Днепрвагонмаш»). Экспериментальное исследование конструкции длиннобазной платформы. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад», вип. 9, вид. ДП „УкрНДІВ”, м. Кременчук 2013, с. 71-73.

АНОТАЦІЯ

Федосов-Никонов Д.В. Покращення міцнісних якостей довгобазних вагонів-платформ шляхом удосконалення їх конструкцій та методів розрахунків. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.07 – Рухомий склад залізниць і тяга поїздів. – Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, 2018.

Дисертація присвячена актуальному питанню підвищення міцнісних характеристик довгобазних вагонів платформ. Для вибору перспективних конструктивних рішень та визначення раціональних параметрів сучасних вагонів-платформ виконана класифікація вагонів-платформ для перевезення контейнерів з метою аналізу світового досвіду виробництва платформ. Розглянуто конструктивне виконання елементів рам сучасних вагонів-платформ. Розглянуті заходи для зменшення коефіцієнта концентрації напружень в елементах конструкції, які необхідно враховувати при виробництві довгобазних платформ.

Проведений аналіз пошкоджень довгобазних платформ. Встановлені фактори, які суттєво впливають на міцність конструкції довгобазної платформи. Створена процедура оцінювання напружень в рамі довгобазного вагона-платформи в залежності від різних видів корисних навантажень (контейнерів, труб і т. д.) та розроблений метод уточненої оцінки коефіцієнта

запасу опору втомі в залежності від конструктивного варіанту рами довгобазного вагона-платформи.

Удосконалено математичну модель напружено-деформованого стану вагона-платформи в частині формування розрахункових навантажень залежно від збуджень зі сторони колії, яка дозволяє підвищити достовірність визначення напружень в елементах несучої конструкції довгобазного вагона-платформи. Удосконалена математична модель просторових коливань платформи, яка на відміну від існуючих моделей дозволяє оцінювати разом з динамічними показниками й міцнісні властивості.

Теоретично підтверджено доцільність застосування запропонованих технічних рішень щодо удосконалення конструкції довгобазного вагона-платформи та конструктивних змін, які дозволяють зменшити напружено-деформований стан елементів довгобазного вагона-платформи та покращити його міцнісні характеристики.

Аналіз результатів експериментальних досліджень та їх задовільна збіжність з результатами теоретичних досліджень вказують на адекватність математичних моделей напружено-деформованого стану та просторових коливань платформи.

Ключові слова: рама довгобазного вагона-платформи, напружено-деформований стан, математичну модель, коефіцієнт запасу опору втомі, удосконалення конструкції.

SUMMARY

Fedosov-Nikonov D. V. improvement of strength qualities of long-wheelbase cars platforms by improvement of their designs and methods of calculations. - Qualifying scientific work as a manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences (PhD) on a speciality 05.22.07 – railway Rolling stock and traction of trains. - State University of infrastructure and technology, Kyiv, 2018.

The thesis is devoted to the topical issue of improving the strength characteristics of long-wheelbase platform cars. To select promising design solutions and determination of rational parameters of modern flat cars made classification wagons-platforms for transportation of containers for the purpose of the analysis of world experience of production of platforms. Reviewed the structural performance of the frame elements modern flat cars. Measures to reduce the stress concentration factor in the structural elements to be taken into account in the production of long-wheelbase platforms are considered.

The analysis of damages of long-wheelbase platforms is carried out. The factors that significantly affect the structural strength of the long-wheelbase platform are established. A procedure for assessing stresses in the frame of a long-wheelbase platform car depending on different types of payloads (containers, pipes, etc.) has been developed and a method of a refined assessment of the fatigue resistance reserve factor depending on the structural version of the long-wheelbase platform frame has been developed.

The mathematical model of the stress-strain state of the car-platform in part of

the formation of the calculated loads depending on the disturbances from the path, which allows to increase the reliability of the determination of stresses in the elements of the load-bearing structure of the long-wheelbase platform, has been improved. An improved mathematical model of the platform spatial oscillations, which, unlike the existing models, allows to evaluate strength properties together with dynamic parameters.

Theoretically, the expediency of the proposed technical solutions for improving the design of the long-wheelbase platform car and structural changes that reduce the stress-strain state of the elements of the long-wheelbase platform car and improve its strength characteristics is confirmed.

Conformity assessment of construction of the frame of the carriage requirements "Standards ..." I and III modes, impact mode and repair modes was carried out by way of the comparison of the calculated equivalent stresses with the allowable ve-masks in accordance with the "Standards...".

A specific stress-strain state of frame car for I and III, re-presses, regime collisions, and the repair modes pcimci two jacks.

The values of equivalent stresses obtained during calculation and static tests are given.

In the fourth section, the calculation of the frame elements on the second for the case of the maximum permissible loads in sections with a high level of alternating stresses. Static stresses from the weight of the bruto wagon were obtained from the finite element calculation using ANSYS software. The calculation is carried out according to four variants of loading, at which we have the greatest bending moment, determined in terms of strength.

A certain stress-strain state of the car from the action of the gross weight force and the fatigue resistance factor in the areas in which the fracture occurred during the bench tests.

When carrying out bench tests of fracture were detected in two areas: in the section I-I in the area of termination pads and in the section III-III ridge of javorníky-two beams at the slits for a horizontal lever brakes. A certain stress-strain state of these zones when loaded with two 40-foot containers. The calculation results are presented. The values obtained coefc-NTA stock fatigue resistance is less valid [n] = a 1.5. Strengthening of zones of destruction is carried out.

For the fracture zone in the section I-I, an overlay on the lower belt was removed, which allowed to reduce the stress concentration near the seam and reduce the concentration coefficient from 5.0 to 2.5.

For the fracture zone along the window in the section III-III, the transfer of the butt joint of the reinforcing rim to the zone with lower voltages was carried out, which allows to reduce the stress level from 66.1 MPa to 5.1 MPa. The calculation of fracture zones for fatigue resistance is carried out. Positive results were obtained

Analysis of the results of experimental studies and their satisfactory convergence with the results of theoretical studies indicate the adequacy of mathematical models of the stress-strain state and spatial oscillations of the platform.

Keywords: long-wheelbase platform car frame, stress-strain state, mathematical model, fatigue resistance factor, structural improvements

АННОТАЦИЯ

Федосов-Никонов Д. В. Улучшение прочностных качеств длиннобазных вагонов-платформ путем усовершенствования их конструкций и методов расчетов. - Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог и тяга поездов. – Государственный университет инфраструктуры и технологий, Киев, 2018.

Диссертация посвящена актуальному вопросу повышения прочностных характеристик длиннобазных вагонов платформ. Для выбора перспективных конструктивных решений и определения рациональных параметров современных вагонов-платформ выполнена классификация вагонов-платформ для перевозки контейнеров с целью анализа мирового опыта производства платформ. Рассмотрено конструктивное выполнение элементов рам современных вагонов-платформ. Рассмотрены меры для уменьшения коэффициента концентрации напряжений в элементах конструкции, которые необходимо учитывать при производстве длиннобазных платформ.

Проведен анализ повреждений длиннобазных платформ. Установлены факторы, которые существенно влияют на прочность конструкции длиннобазной платформы. Создана процедура оценки напряжений в раме длиннобазного вагона-платформы в зависимости от различных видов полезных нагрузок (контейнеров, труб и т. д.) и разработан метод уточненной оценки коэффициента запаса сопротивления усталости в зависимости от конструктивного варианта рамы длиннобазного вагона-платформы.

Усовершенствована математическая модель напряженно-деформированного состояния вагона-платформы в части формирования расчетных нагрузок в зависимости от возмущений со стороны пути, которая позволяет повысить достоверность определения напряжений в элементах несущей конструкции догребазного вагона-платформы. Усовершенствованная математическая модель пространственных колебаний платформы, которая в отличие от существующих моделей позволяет оценивать вместе с динамическими показателями и прочностные свойства.

Теоретически подтверждена целесообразность применения предложенных технических решений по совершенствованию конструкции длиннобазного вагона-платформы и конструктивных изменений, которые позволяют уменьшить напряженно-деформированное состояние элементов длиннобазного вагона-платформы и улучшить его прочностные характеристики.

Анализ результатов экспериментальных исследований и их удовлетворительная сходимость с результатами теоретических исследований указывают на адекватность математических моделей напряженно-деформированного состояния и пространственных колебаний платформы.

Ключевые слова: рама длиннобазного вагона-платформы, напряженно-деформированное состояние, математическая модель, коэффициент запаса сопротивления усталости, усовершенствования конструкции.

ФЕДОСОВ-НІКОНОВ ДМИТРО ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

УДК 629.463.62.023

**ПОКРАЩЕННЯ МІЦНІСНИХ ЯКОСТЕЙ ДОВГОБАЗНИХ
ВАГОНІВ-ПЛАТФОРМ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ЇХ
КОНСТРУКЦІЙ ТА МЕТОДІВ РОЗРАХУНКІВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку 16.11.2018 р. Обсяг 0,9 друк. арк.
Формат 60x84 1/16. Тираж 100 прим. Папір офсетний.
Замовлення № 1115

Надруковано згідно з оригіналом автора

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 525 від 10.07.2001 р.
Друкарня & видавництво «Про-Графіка Лтд»
39621, м. Кременчук, вул. Чумацький шлях, 3
тел. (067) 12-12-518