

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна

ЛАВРЕНКО ДМИТРО ТРОХИМОВИЧ



УДК 629.463.2.023

**ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВАГОНІВ-ЦИСТЕРН ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ЇХ
КОНСТРУКЦІЇ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України на кафедрі «Вагони та вагонне господарство».

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Мямлін Сергій Віталійович,
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту ім. академіка В.Лазаряна
проректор з наукової роботи

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кельріх Мусій Борисович,
Державний економіко-технологічний університет
транспорту, завідувач кафедри вагонів

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Науменко Надія Юхимівна,
Інститут технічної механіки Національної академії
наук України і Національного космічного агентства
України, в. о. завідуючого відділом динамічних
багатовимірних механічних систем

Захист відбудеться 28 квітня 2009 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Академіка Лазаряна, 2.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України.

Автореферат розіслано 27 березня 2009 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д.т.н., професор



І.В.Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Останнє десятиріччя в країнах Співдружності незалежних держав спостерігалася тенденція стійкого зростання виробництва валового внутрішнього продукту, що супроводжується збільшенням споживання промисловістю сировини, і, як наслідок, збільшенням попиту на залізничні вантажоперевезення, особливо на перевезення нафтопродуктів. Це сприяло відновленню виробництва на провідних машинобудівних підприємствах цистерн рамного типу. У 2003 році попит на ці вагони досяг свого максимального показника. Насичення ринку цистернами для перевезення нафтопродуктів відбувалося до 2005 року. Таким чином, був сформований робочий парк з конструкціями цистерн на декілька десятків років із застарілими техніко-економічними параметрами.

На теперішній час, не дивлячись на наслідки світової системної кризи, потреба в цистернах та іншому рухомому складі залізниць не тільки збереглася, а й набула особливого значення, тому що велика кількість спеціалізованих вагонів-цистерн вичерпала свій термін експлуатації і потребує заміни.

В умовах ринкової конкуренції виробники вантажних вагонів удосконалюють якість своєї продукції, покращують техніко-економічні параметри, збільшують довговічність та надійність її вузлів і деталей, при одночасному зниженні металоємності. Тим більше, що це не стільки побажання виробників, скільки вимоги залізниць.

Одним з напрямків покращення техніко-економічних параметрів цистерн і зниження металоємності є удосконалення їх конструкцій. Тому тема даної дисертаційної роботи, яка направлена на створення вагонів-цистерн з покращеними техніко-економічними параметрами шляхом удосконалення їх конструкції, є дуже актуальною та вчасною для залізничного транспорту України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Напрямок досліджень дисертації відповідає концепції реформування транспортного сектора України, програмі підвищення безпеки руху на залізницях України, затвердженої наказом «Укрзалізниця» № 547-Ц від 15.10.2001 р., проектом Державної програми розвитку рейкового рухомого складу залізниць України в 2006 – 2015 рр. Робота відповідає напрямкам досліджень і розробок кафедри вагонів та вагонного господарства Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. За темою дисертації виконані наступні науково-дослідні роботи «Розрахунок параметрів перспективного візка для вантажного вагону моделі 18-1711» (№ держреєстрації 0107U001829), «Удосконалення параметрів ресорного підвішування візків вантажних вагонів» (№ держреєстрації 0106U005705), у яких автор є виконавцем і автором звітів.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є покращення технічних характеристик вагонів-цистерн за рахунок удосконалення конструкції окремих елементів та вузлів і за рахунок зниження їх металоємності.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз існуючих конструкцій спеціалізованих вагонів-цистерн;
- проаналізувати наукові публікації, присвячені теоретичним і експериментальним дослідженням міцностних і динамічних якостей цистерн;
- розробити математичну модель просторових коливань вагону-цистерни для вивчення його динамічних якостей;
- розробити математичні моделі напружено-деформованого стану вагону-цистерни при русі по залізничній колії;
- удосконалити конструкцію окремих вузлів цистерни;
- визначити початкові параметри для проведення необхідних динамічних і міцностних розрахунків;
- провести теоретичні дослідження динамічних і міцністних якостей вагонів-цистерн;
- провести експериментальні дослідження міцностної і динамічної навантаженості вагонів-цистерн в реальних умовах експлуатації;
- виконати техніко-економічне обґрунтування розроблених технічних рішень з удосконалення спеціалізованих вантажних вагонів.

Об'єкт дослідження – процес динамічної навантаженості вантажних вагонів.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан вагонів-цистерн при експлуатаційних режимах навантаження.

Метод дослідження. В теоретичних дослідженнях використовується теорія диференціальних і інтегральних рівнянь, а також методи чисельного інтегрування. При проектуванні конструкції та його елементів використовувались методи автоматизованого проектування, а при виконанні розрахунків на міцність – метод кінцевих елементів. При обробці результатів експериментальних досліджень застосовувались методи теорії ймовірності і математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів. У роботі пропонується вирішення науково-технічної задачі, що пов'язані з покращенням технічних характеристик вагонів-цистерн і зниженням їх металоємності.

В результаті виконання досліджень отримані наступні наукові результати:

- вперше розроблено математичну модель для визначення і оцінки напружено-деформованого стану цистерни безрамної конструкції, яка враховує реальний стан кузова під час руху цистерни залізничною колією і дозволяє оцінити його міцностні характеристики в динаміці протягом певного часу;

- удосконалено метод розрахунку міцностних характеристик вагону-цистерни в частині урахування зміни сил в місцях спирання кузова на візки та урахування динамічних процесів в зв'язках між кузовом і візками;

- удосконалено математичну модель напружено-деформованого стану цистерни в частині формування розрахункових навантажень залежно від збурень, що діють з боку колії;

- удосконалено математичну модель просторових коливань вагонів-цистерн, яка на відміну від існуючих моделей дозволяє оцінювати разом з динамічними показниками і міцностні властивості.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати, отримані при виконанні дисертаційної роботи, знайшли своє відображення при проектуванні, організації виробництва і виготовленні наступних видів рухомого складу: цистерни для нафтопродуктів моделі 15-1717, цистерни для нафтопродуктів типу «Схід-Захід» моделі 15-1826 на ВАТ «Азовмаш» (м. Маріуполь).

Результати досліджень і конструкторські розробки, отримані в ході підготовки дисертаційної роботи, впроваджені в Головному спеціалізованому конструкторському бюро з вагонобудування (ТОВ «ГСКБВ») ВАТ «Азовмаш», на кафедрі вагонів та вагонного господарства Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, про що свідчать відповідні акти впровадження.

Особистий внесок здобувача. Публікації за темою дисертації [1, 19] надруковані без співавторів. В роботах, виконаних у співавторстві, автору належить наступне:

В статті [2] виконана класифікація основних конструктивних схем вагонів-цистерн в частині з'єднання котла з рамою. В статті [3] запропонована оригінальна конструктивна схема безрамної цистерни. У роботах [4, 17, 18] удосконалено математичну модель напружено-деформованого стану цистерни в частині формування розрахункових навантажень залежно від збурень, що діють з боку колії, та виконані теоретичні дослідження міцностних якостей несучих елементів цистерн. У роботах [5, 12 – 15, 22] розроблені конструктивні рішення зливних приладів для цистерн з нижнім зливом. В публікаціях [6, 24] запропоновані безрамні конструкції цистерн в габариті 02-ВМ та 1-ВМ. В патентах [7 – 9] запропоновані нові технічні рішення з підвищення об'єму котлів сучасних цистерн. У патентах [10, 11] розроблені конструктивні рішення в частині з'єднання котла з полурамами в безрамній цистерні. В статті [16] автором запропонована нова конструкція кузова цистерни типу «Схід-Захід». В роботах [20, 21] виконана розрахункова оцінка міцності екіпажної частини та основних елементів цистерни. В роботах [23, 25] запропоновані техніко-економічні параметри перспективних цистерн типу «Схід-Захід». У роботі [26] виконано оцінку економічної ефективності нових технічних рішень в конструкціях вантажних вагонів.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи були оприлюднені на IV і V Міжнародних науково-технічних конференціях «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты» (Росія, м. Санкт-Петербург, 2005 р., 2007 р.), LXVI, LXVII, LXVIII Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (м. Дніпропетровськ 2006 р., 2007 р., 2008 р.), VI Міжнародній виставці-симпозіумі з судноплавства, суднобудування, розвитку портів і торгівлі (м. Одеса, 2 – 5 вересня 2004 р.), II науково-практичній міжнародній конференції «Внедрение наукоемких технологий на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте» (Крим, Алушта, 5 – 9 червня 2006 р.), I і II Міжнародних науково-технічних конференціях молодих фахівців ВАТ «Азовмаш» (м. Маріуполь, 2006 р., 2008 р.), XII Міжнародній конференції проблеми механіки залізничного транспорту (м. Дніпропетровськ 2008 р.), науково-технічних радах ТОВ «ГСКБВ», наукових семінарах кафедри вагонів та вагонного господарства Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Публікації. В результаті виконання досліджень за темою дисертації опубліковано 26 наукових праць, в тому числі: 6 статей в наукових фахових виданнях, що входять до переліку ВАК України, 11 тез доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях, 8 патентів на корисні моделі і 1 патент на промисловий зразок.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 6 розділів, висновків, переліку використаної літератури, додатків. Основний зміст дисертації викладений на 126 сторінках, крім того 9 таблиць на 8 сторінках, 19 рисунків на 17 сторінках. Список використаних джерел на 18 сторінках, 11 додатків на 107 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульована мета і задачі роботи, її наукова новизна і практичне значення, наведено дані про особистий внесок здобувача в наукові публікації та дані про апробацію результатів.

В першому розділі наведені результати аналізу характерних конструкцій існуючих вагонів-цистерн, який показав, що найбільш перспективним загальносвітовим тенденціям в галузі цистернобудування, є створення цистерн безрамної конструкції, оскільки це надає ряд суттєвих переваг над цистернами рамних конструкцій, а саме, зниження металоємності, збільшення вантажопідйомності і об'єму котла.

За результатами аналізу особливостей конструктивних рішень, реалізованих у цистернах з урахуванням світового досвіду, дана класифікація характерних конструктивних схем цистерн в частині з'єднання котла з рамою.

В рамках аналізу досліджень, що проводився для удосконалення конструкції цистерн, виконано огляд досліджень в галузі вивчення динамічних і міцностних якостей вантажних вагонів та цистерн.

Основи прикладних методів дослідження власних і вимушених коливань і стійкості руху рейкових екіпажів були розроблені в роботах М.Ф. Веріго, С.В. Вершинського, В.Н. Данілова, С.М. Куценка, В.А. Лазаряна, В.Б. Меделя, І.І. Челнокова. Також в рішення цієї проблеми великий внесок зробили такі вчені як: П.С. Анісимов, І.В. Бірюков, Є.П. Блохін, Г.І. Богомаз, Ю.П. Бороненко, В.М. Бубнов, Г.П. Бурчак, В.О. Браташ, А.М. Годицький-Цвірко, О.Л. Голубенко, Л.Й. Грачева, П.Т. Гребенюк, В.Д. Данович, Ю.В. Демін, О.О. Долматов, А.В. Донченко, В.П. Ефімов, І.П. Ісаєв, Л.А. Кальницький, А.О. Камаєв, В.А. Камаєв, М.Б. Кельріх, О.Я. Коган, О.М. Коняєв, М.Л. Коротенко, В.М. Котуранов, М.М. Кудрявцев, О.А. Львов, Л.А. Манашкін, С.В. Мямлін, І.Г. Морчіладзе, Н.Ю. Науменко, Н.О. Радченко, С.Ф. Редько, Ю.С. Ромен, А.М. Савоськін, О.М. Савчук, М.М. Соколов, Т.О. Тібілов, С.П. Тимошенко, В.П. Ткаченко, О. В. Третьяков, В.Ф. Ушкалов, В.М. Філіппов, В.Д. Хусідов, Ю.М. Черкашин, Л.А. Шадур, та інші наукові співробітники різних науково-дослідних і навчальних закладів СНД: Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (СУНУ), Державного економіко-технологічного університету транспорту, Української державної академії залізничного транспорту (УкрДАЗТ), Всеросійського науково-дослідного інституту залізничного транспорту, Українського науково-дослідного інституту вагонобудування, Московського державного університету шляхів сполучень (МІТ), Санкт-Петербурзького державного університету шляхів сполучення, ВНІІ вагонобудування Росії і його філій Тверського і Ризького, БІТМа, ХПІ, РІЗТа, ОмІТта, Уралвагонзаводу та інших організацій, а також закордонні дослідники: Р. Богач, І. Бомель, Ф.В. Картер, В. Кік, Д.Л. Кофман, Л. Лінгайтис, Р. Марье, Х. Трує, А. Худзікевич, Г. Шеффель.

Запропонована конструктивна схема безрамної цистерни, яка дозволяє вирішити завдання із зниження металосмності, зниження центру тяжіння вагону за рахунок максимально-можливого наближення котла до напіврам, збільшення об'єму котла і доведення його до максимально допустимого в межах вписування в необхідний габарит.

Визначено основні напрямки та етапи розв'язання поставлених завдань.

В другому розділі вибрано і описано розрахункову схему (рис. 1), розроблено математичну модель просторових коливань чотирирівної цистерни, що виникають при її русі, як по ізольованій нерівності колії, так і по реальним нерівностям. В основу даної моделі покладено теоретичні розробки, запропоновані академіком Всеволодом Арутюновичем Лазаряном і потім розвинені в працях професорів Богомаза Г.І., Блохіна Є.П., Дановича В.Д., Коротенка М.Л., Ушкалова В.Ф., а також представниками інших наукових шкіл Челнокова І.І., Бороненка Ю.П., Соколова М.М. та ін..

Для оцінки динамічної навантаженості окремих елементів вагону і вагону в цілому необхідно визначити зусилля, що діють між окремими елементами вагону.

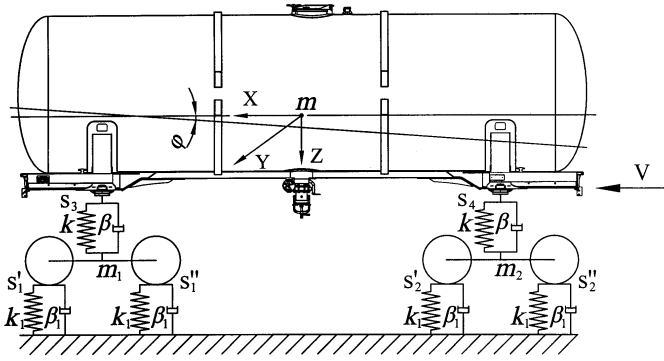


Рис. 1. Розрахункова схема цистерни

Оскільки цистерна – це специфічний тип рухомого складу, який має особливі умови руху як в навантаженому, так і в порожньому стані. Визначення сил, що діють на кузов цистерни є дуже важливим завданням при проектуванні і оцінці міцності вагону.

Для визначення зусиль між кузовом безрамної цистерни і надресорними балками візків запропоновано математичний опис та виконано коректування основної математичної моделі.

При виланні надресорних балок відносно кузова в площині спирання п'ятника на підп'ятник діє момент сили сухого тертя:

$$s_{\Phi i} = s_{\Phi} \text{sign} \Delta_{\Phi i}, \quad (1)$$

де s_{Φ} – амплітудне значення моменту.

При перекочуванні кузова на п'яті виникає момент, перекидаючий кузов, який дорівнює

$$M_{\Theta i} = \frac{mg}{2} \cdot h \Theta, \quad (2)$$

а також момент

$$M_i = \frac{mg}{2} \cdot d_i, \quad (i = 1, 2).$$

Плече d_i будемо рахувати таким, що змінюється за лінійним законом по мірі збільшення бокової качки кузова відносно надресорної балки від нуля до свого найбільшого значення, яке дорівнює $\frac{d}{2}$, коли п'ята становиться на кромку. Таким чином, лінійна залежність між d_i та $\Delta_{\Theta i}$ має місце в межах повороту на кут Δ_1 . Аналітично цю залежність можна виразити наступним чином:

$$d_i = \frac{d}{2} \left\{ \frac{|\Delta_{\Theta i}|}{\Delta_1} + \left[1 - \frac{|\Delta_{\Theta i}|}{\Delta_1} \right] \sigma_0 [|\Delta_{\Theta i}| - \Delta_1] \right\} \cdot \text{sign} \Delta_{\Theta i}, \quad (i = 1, 2) \quad (3)$$

де $\sigma_0 [|\Delta_{\Theta i}|]$ – одинична функція.

При боковому хитанні кузова відносно надресорної балки виникають моменти, що діють на кузов і на надресорну балку, які викликані зусиллями в ковзунах s_{Oij} . При типових ковзунах первинно між ними є зазор Δ_0 , після вибору якого виникають ударні зусилля; відстань між ковзунами дорівнює

$$\Delta_{Oij} = \Delta_{\Theta i} \cdot (b_3 - (-1)^j \cdot d_i), \quad (i, j=1, 2) \quad (4)$$

Якщо припустити, що при боковому хитанні кузова відносно надресорної балки має місце проковзування п'яти по підп'ятнику, то відстань між ковзунами визначається як:

$$\Delta_{Oij} = \Delta\Theta_i \cdot b_3, \quad (i, j=1, 2), \quad (5)$$

де $2b_3$ – відстань між ковзунами одного візка.

Аналітичний вираз для сили s_{Oij} при типових ковзунах запишеться як:

$$s_{Oij} = K_o \cdot [(-1)^j \cdot \Delta_{Oij} - \Delta_o] \cdot \sigma_o \cdot [(-1)^j \cdot \Delta_{Oij} - \Delta_o], \quad (6)$$

де $K_o = \text{tg}\alpha_o$ – контактна жорсткість між ковзунами.

Крім описаних вище сил, до кузова прикладені наступні зусилля і моменти сил інерції:

$$m\ddot{X}, \quad m\ddot{Y}, \quad m\ddot{Z}, \quad I_x\ddot{\Phi}, \quad I_y\ddot{\phi}, \quad I_z\ddot{\psi},$$

де m – маса кузова, I_x, I_y, I_z – головні центральні моменти інерції кузова відносно осей X, Y, Z відповідно.

Складено і описано розрахункову схему для проведення досліджень з оцінки міцностних характеристик моделі кузова цистерни безрамної конструкції в динаміці у часі.

Для моделювання напружено-деформованого стану цистерни при русі залізничною колією, в досліджуваній розрахунковій схемі між тілами системи мають місце наступні зв'язки: а) кузов цистерни – основа колії (2 зв'язки на вагон). Припускаємо між основою колії і кузовом цистерни наявність пружного зв'язку, що імітує центральне ресорне підвішування візка; б) п'ятник – підп'ятник (2 зв'язки на вагон); в) ковзун кузова – ковзун візка (4 зв'язки на вагон).

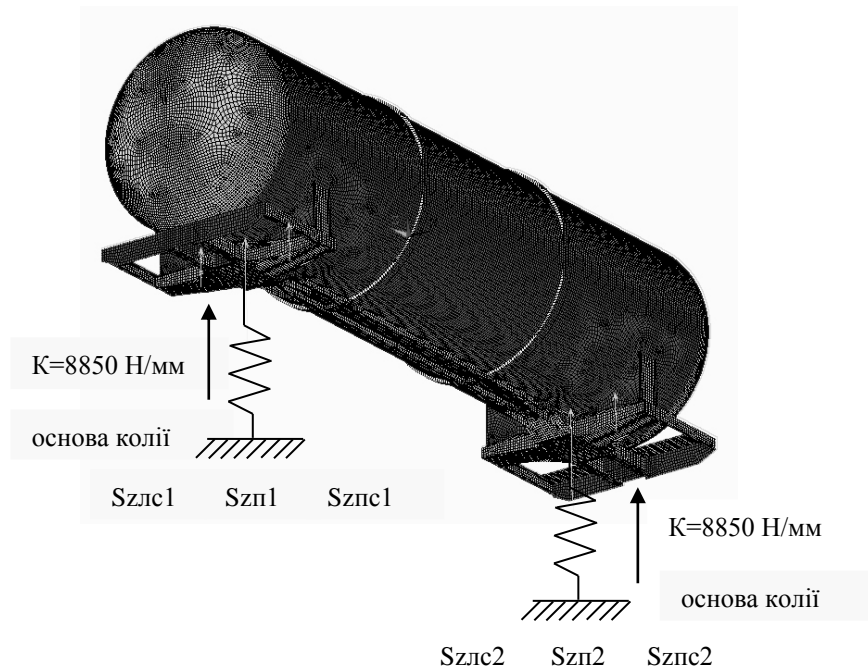


Рис. 2. Розрахункова схема для моделювання напружено-деформованого стану цистерни при русі залізничною колією

Для опису розрахункової схеми при моделюванні напружено-деформованого стану цистерни під час руху залізничною колією використовується математична модель кузова, яку створено на етапі виконання оцінки напружено-деформованого стану цистерни.

На рис.2 зображена розрахункова схема для моделювання напружено-деформованого стану цистерни при русі залізничною колією.

При наявності названих зв'язків кузов сприймає на себе вертикальні динамічні навантаження, які визначають динамічну навантаженість вагону в цілому.

При створенні математичної моделі цистерни, що імітує її рух залізничною колією з реальними нерівностями, згідно описаній вище розрахунковій схемі, був вибраний програмний комплекс ANSYS. При цьому сформована математична модель дозволяє оцінити його міцностні характеристики в динаміці протягом часу.

Центральне ресорне підвішування моделюється за допомогою одного кінцевого елемента COMBIN14, який описує необхідні характеристики ресорного підвішування в середовищі ANSYS. Жорсткість пружного зв'язку відповідає жорсткості ресорного підвішування візка моделі 18-100 і складає 8850 Н/мм. При створенні розрахункової схеми один кінець кінцевого елемента COMBIN14 зв'язаний з п'ятником в центрі перетину шкворневої і хребтової балки, а інший кінець позбавлений всіх ступенів свободи, тобто затиснений. Далі вибрані граничні умови і розрахункові режими для навантаження цистерни.

Підготовка математичної моделі до розрахунку передбачає завдання граничних умов і навантажень. Розрахункова схема має наступні закріплення: а) у п'ятникових вузлах (в точках перетину шкворневих і хребтових балок), при цьому п'ятники обмежені від зсуву вздовж осі OX; б) в центрі кузова цистерни, в двох симетричних місцях на стрингерах, вводиться закріплення від подовжнього переміщення вздовж осі OZ.

Кузов цистерни під час руху сприймає наступні види постійних і змінних за часом вертикальних навантажень:

Постійні навантаження – це навантаження від елементів конструкції, тиск в котлі від дії тиску випарювання рідини, навантаження від дії ваги вантажу.

Змінні за часом вертикальні навантаження - це вертикальна сила в лівому ковзуні першого візка $Sz_{лс1}$, вертикальна сила в п'ятнику першого візка $Sz_{п1}$, вертикальна сила в правому ковзуні першого візка $Sz_{пс1}$, вертикальна сила в лівому ковзуні другого візка $Sz_{лс2}$, вертикальна сила в п'ятнику другого візка $Sz_{п2}$, вертикальна сила в правому ковзуні другого візка $Sz_{пс2}$.

Для підготовки вихідних даних для моделювання напружено-деформованого стану вагону-цистерни, що імітує рух по адекватним реальним ділянкам колії, виконано моделювання просторових коливань вагону-цистерни з використанням пакету прикладних програм DYNRAIL. При цьо-

му розглядається випадок руху навантаженої цистерни прямолінійними і криволінійними ділянками колії різного радіусу, а саме, радіусом 200 м, 300 м і 600 м. Підвищення зовнішньої рейки над внутрішньою складає 150 мм. Результати цих розрахунків для цистерни отримані у вигляді осцилограм, на яких по осі абсцис відображено пройдений шлях в метрах, а по осі ординат – сили в ковзунах і в п'ятниках кузова цистерни в Ньютонах. Для прикладу на рис. 3 наведено осцилограми вертикальних сил для першого візка вагону.

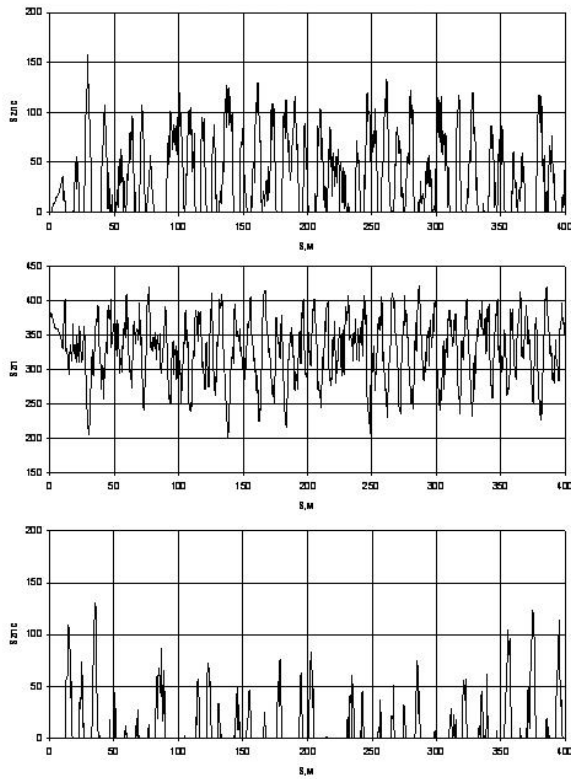


Рис. 3. Вертикальні сили першого візка цистерни (ділянка колії радіусом 300 м)

Довжина ділянки обмежена до величини 50 м. Ділянки вибрані виходячи з найбільшого значення навантажень.

Оцифровані дані осцилограм цих ділянок, використані при проведенні теоретичних досліджень міцностних властивостей кузова цистерни в динаміці, в зв'язку з чим автором були розроблені спеціальні комп'ютерні прикладні програми для проведення розрахунків перехідних динамічних процесів.

Для виконання розрахунку перехідних динамічних процесів руху цистерни ділянкою залізничної колії вибраний програмний комплекс ANSYS, а розрахунок перехідних динамічних процесів виконувався повним методом.

Основне використання рівняння руху при дослідженні перехідних динамічних процесів має наступний вигляд:

$$[\dot{I}] \{\ddot{U}\} + [C] \{\dot{U}\} + [K] \{U\} = \{F(t)\}, \quad (8)$$

Дослідження динамічної навантаженості цистерн здійснювалося на візках різних конструкцій (18-100 і 18-1711).

За отриманими динамічними процесами, в результаті оцифрування осцилограм, отримані масиви чисел, які потім використовувалися для виконання оцінки міцностних характеристик кузова цистерни в динаміці у часі.

На осцилограмах вісь абсцис представлено ділянкою колії довжиною 400 м, яку проходить цистерна, а вісь ординат представлена значеннями сил в Ньютонах в скользунах і п'ятнику кожного візка, які передаються на кузов цистерни.

Для спрощення завдання дослідження, у кожному випадку

де $[M]$ - матриця мас; $[C]$ - матриця демпфування; $[\hat{E}]$ - матриця жорсткості; $\{\ddot{U}\}$ - вектор вузлових прискорень; $\{\dot{U}\}$ - вектор вузлових швидкостей; $\{U\}$ - вектор вузлових переміщень; $\{F(t)\}$ - вектор навантажень.

Для будь-якого поточного значення часу t ці рівняння можна вважати набором рівнянь статичної рівноваги, які враховують сили інерції $[\hat{I}]\{\ddot{U}\}$ та сили демпфування $[C]\{\dot{U}\}$.

В третьому розділі виконана розрахункова оцінка міцності екіпажної частини цистерни, яка показала, що сумарна напруженість не перевищує нормативних навантажень при поєднанні нормативних навантажень на всіх основних розрахункових режимах.

Виконана розрахункова оцінка стійкості обичайки котла від зовнішнього тиску свідчить про те, що стійкість забезпечується за умови установки шпангоутів і, що при цьому значення коефіцієнта запасу стійкості суттєво вище за мінімальне допустиме значення $[n]=1,1$, який для цистерни з діаметром котла 3060 мм складає 3,505, а для цистерни з діаметром котла 3200 мм складає 3,305.

В роботі запропоновано конструкцію кріплення котла до напіврам цистерни, яке виконано у вигляді з'єднання з поздовжніх елементів жорсткості типу стрінгерів, розташованих в нижній створюючій котла, і поперечних елементів жорсткості у вигляді шпангоутів, що дозволяє зменшити товщину листів обичайки і днищ з 9,5 – 10 мм до 8 мм. Це, у свою чергу, дозволяє знизити металоємність конструкції в цілому і підвищити вантажопідйомність цистерни.

Маса тари для безрамної цистерни з внутрішнім діаметром котла 3060 мм зменшена в порівнянні з рамною цистерною моделі 15-1754 на 1613 кг, що складає 2,3 %, при збільшенні на таку ж величину вантажопідйомності до 70,1 т відносно 68,5 т в моделі 15-1754.

Маса тари для безрамної цистерни з внутрішнім діаметром котла 3200 мм зменшена в порівнянні з рамною цистерною моделі 15-1755 на 1736 кг, що складає 2,48 %, при збільшенні на таку ж величину вантажопідйомності до 70,0 т відносно 67,5 т в моделі 15-1755.

За результатами виконаних розрахунків методом перехідних динамічних процесів можна визначити напруженість і переміщення, які виникають в будь-якому вузлі кінцево-елементної моделі кузова цистерни в конкретний момент часу як в графічному, так і в оцифрованому вигляді.

З метою проведення теоретичних досліджень та подальшого аналізу були вибрані 4 характерних вузла: № 29943, № 31421, № 56495, № 94800.

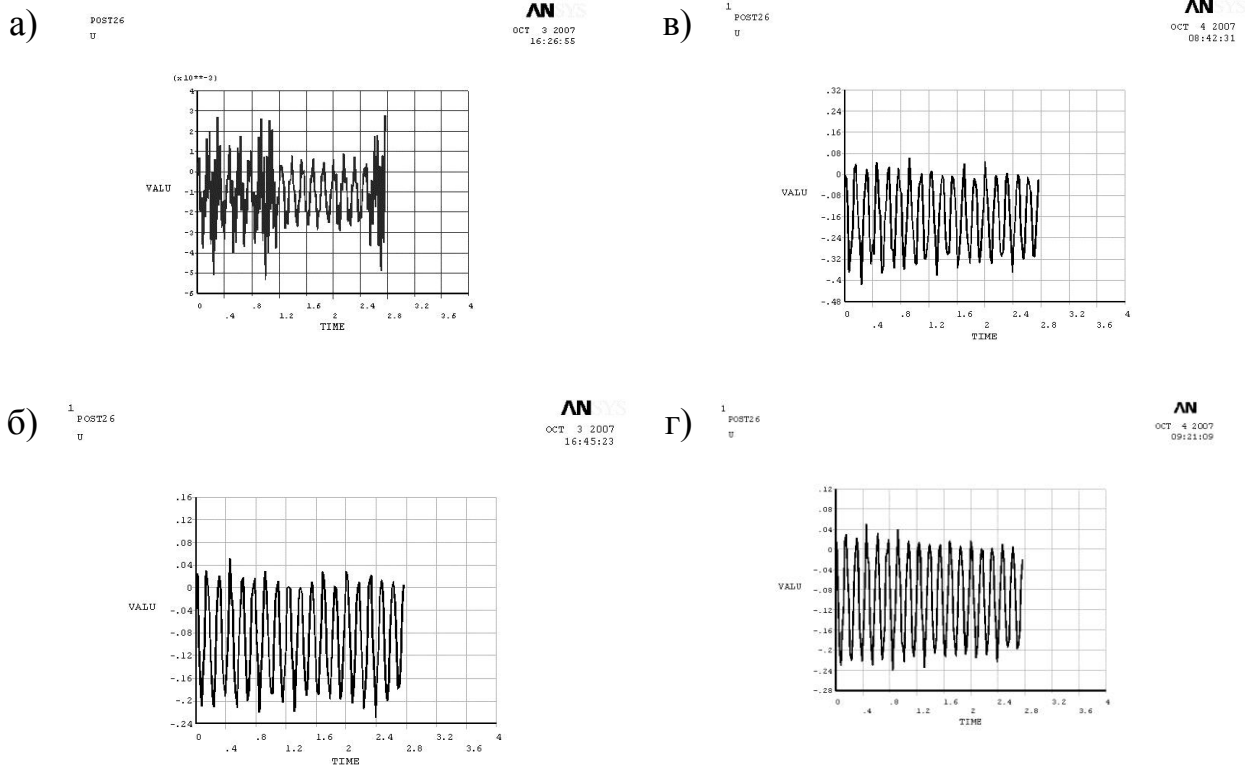


Рис. 4. Вертикальні переміщення у вузлах:
 а) – № 29943; б) – № 94800; в) – № 31421; г) – № 56495

Аналіз отриманих результатів розрахунків дає підставу стверджувати, що найбільші значення вертикальних переміщень спостерігаються у вузлі № 56495, а найменші – у вузлі № 29943. Вертикальні переміщення у вузлах у бік зменшення розташовуються в наступній послідовності: № 56495, № 31421, № 94800, № 29943. На рис. 4 зображені осцилограми вертикальних переміщень у вказаних вузлах, отримані в результаті виконаного розрахунку, під час руху цистерни криволінійною ділянкою колії радіусом 300 м зі швидкістю 65 км/г.

Аналіз отриманих осцилограм з еквівалентною напруженістю дозволив зробити висновок, що частота і амплітуда коливань в кожному окремо взятому вузлі на різних ділянках колії змінюються залежно від рівня збурень з боку колії. Значення переміщень у вузлах залежно від швидкості і вписування в криволінійні ділянки колії радіусом 600 м, 300 м, 200 м також чутливі до рівня та характеру нерівності колії. Тому розроблена в роботі математична модель для визначення і оцінки напружено-деформованого стану цистерни безрамної конструкції ураховує збурення, що діють з боку колії, при формуванні розрахункових навантажень. Це робить математичне моделювання більш адекватним реальній конструкції цистерни, про що свідчить співставлення з експериментом. За результатами виконаного розрахунку під час руху цистерни криволінійною ділянкою колії радіусом 300 м із швидкістю 65 км/ч отримані осцилограми з еквівалентною напруженістю, яка виникає у вибраних вузлах цистерни (рис. 5).

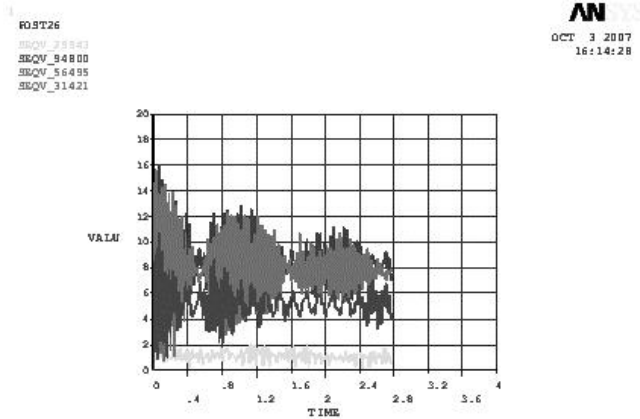


Рис. 5. Еквівалентна напруга у вузлах
№ 29943, № 94800,
№ 56495, № 31421
переміщення вздовж осей Y, X, Z).

Четвертий розділ присвячений експериментальним дослідженням дослідного зразка цистерни безрамної конструкції для нафтопродуктів моделі 15-1717. В програму випробувань прототипу цистерни були включені статичні випробування на міцність, випробування на зіткнення, втомні ударні випробування і ударні ресурсні випробування до руйнування.

При проведенні статичних випробувань визначалися деформації в елементах конструкції цистерни від дії навантажень дорівнюючих розрахунковим.

В процесі проведення випробувань на зіткнення визначалися деформації від дії подовжніх сил при зіткненні, швидкість набігання вагона-бійка, сила удару в автозчепку і кількість ударів.

При проведенні утомних ударних випробувань вимірювалися швидкість набігання вагона-бійка, сила удару в автозчепку і кількість ударів.

При проведенні ударних випробувань до руйнування контролювалися залишкові деформації при дії статичних і ударних навантажень.

У всіх досліджених зонах конструкції цистерни головна і еквівалентна напруженість задовольняє вимогам «Норм...», при цьому залишкові деформації були відсутні.

Випробування на втомленість при дії ударних навантажень від 2,5 НМ і вище показали, що міцність конструкції цистерни забезпечується.

При ударних ресурсних випробуваннях до руйнування, при всіх виявлених пошкодженнях, порушення герметичності котла не відбулося.

В результаті проведення експериментальних досліджень міцностних якостей вагонів-цистерн запропонованих конструкцій підтверджено вірність прийнятих технічних рішень.

П'ятий розділ присвячено удосконаленню окремих деталей та вузлів конструкції вагона-цистерни які сприяють покращенню технічних характеристик вагона в цілому. Розроблено оригінальний зливний пристрій потрій-

Запропонований метод можна використовувати для аналізу поведінки будь-якого вузла кузова вантажного вагону в динаміці залежно від часу. Але, якщо разом із значеннями зусиль в підп'ятнику і ковзунах цистерни враховувати зусилля на неї від дії ударно-тягових пристроїв, то можна стверджувати про практично повну інформацію стосовно напружено-деформованого стану кузова цистерни і її будь-якого вузла окремо (напруженість і пе-

ного ступеню захисту для залізничних цистерн з нижнім зливом : а) нової побудови (рис. 6); б) експлуатаційного парку; в) безрамної конструкції. Запропоновані в роботі конструкції зливних пристроїв дозволяють забезпечити збереження вантажів, що перевозяться в залізничних цистернах, підвищити безпеку навколишнього середовища, а також забезпечити зручність і безпеку обслуговуючого персоналу при виконанні зливно-наливних операцій.

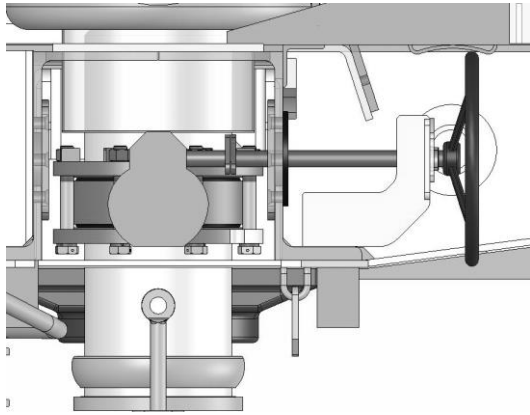


Рис. 6. Зливний пристрій
потрійного ступеню захисту

Економічний ефект полягає в тому, що впровадження модернізованого зливного пристрою на цистернах дозволить виключити втрати нафтопродуктів і інших хімічних вантажів при їх експлуатації.

Шостий розділ присвячено розробці перспективної конструкції цистерни зниженої металоемності для нафтопродуктів в габариті 02-ВМ і в габариті 1-ВМ.

Розроблена залізнична цистерна є суцільнонесучою конструкцією (рис. 7). Особливістю котла такої цистерни є тонка оболонка, підсилена кільцевими елементами жорсткості у вигляді шпангоутів. Таке технічне рішення дозволило забезпечити міцність конструкції при мінімальній металоемності.

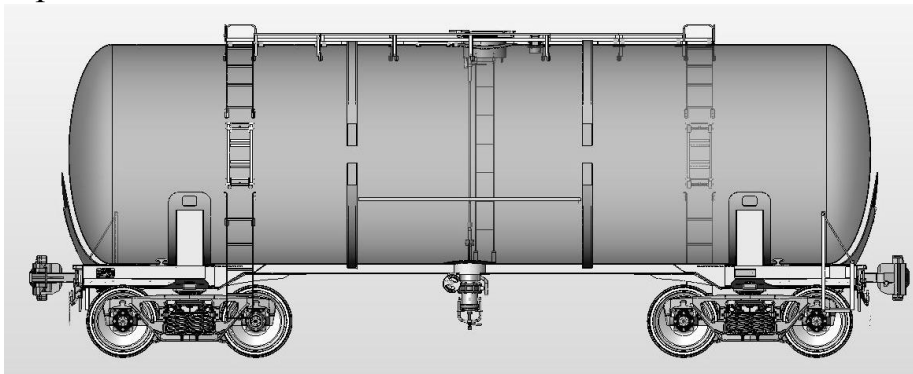


Рис. 7. Загальний вид моделі цистерни безрамної конструкції
зниженої металоемності з внутрішнім діаметром котла 3060 мм

У табл.1 представлені основні техніко-економічні параметри перспективних безрамних цистерн для нафтопродуктів в габариті 02-ВМ і в габариті 1-ВМ та нових цистерн рамної конструкції моделей 15-1754 (габарит 02-ВМ), 15-1755 (габарит 1-ВМ) с базою 7800 мм, розрахунковим статичним навантаженням від колісної пари на рейки 23,5 кН з конструкційною швидкістю 120 км/г.

Порівняння техніко-економічних параметрів і розмірів цистерн рамної конструкції моделей 15-1754 (02-ВМ) і 15-1755 (1-ВМ) з перспективними цистернами безрамної конструкції в габариті 02-ВМ і габариті 1-ВМ

Найменування параметра	Величина параметра або розміру цистерни			
	15-1754 (02-ВМ)	15-1755 (1-ВМ)	Ø 3060 мм (02-ВМ)	Ø 3200 мм (1-ВМ)
Вантажопідйомність, т	68,5	67,5	70,1	70,0
Маса тари, т	25,0 ^{+0,5} _{-0,75}	25,8±0,7	23,4 ^{+0,5} _{-0,75}	24±0,7
Об'єм котла, м ³				
- повний	79,2±0,4	87,0±0,4	79,2±0,4	87,0±0,4
- корисний, не більш	76,0	83,52	76,0	83,52
Діаметр котла, мм	3060	3200	3060	3200
Товщина листів котла, мм:				
- верхній лист	9,5	9,5	8	8
- бічні листи	9,5	9,5	8	8
- броньовий лист	9,5	9,5	8	8
- днище	9,5	10,0	8	8

В цистерні з внутрішнім діаметром котла 3060 мм центр тяжіння був знижений на 60 мм, а для цистерн з внутрішнім діаметром котла 3200 мм - на 48 мм.

Котел за допомогою опорних вузлів жорстко з'єднаний з кінцевими рамами на ділянках перетину шкворневих балок і кінцевих хребтових балок. Між кінцевими рамами встановлені поздовжні балки таврового перерізу, які сполучені з котлом через поздовжні листові накладки на всій їх довжині. Така конструкція забезпечує спільність роботи кінцевих рам та котла і стійка до дії всіх видів експлуатаційних навантажень.

Результати виконання роботи впроваджені при проектуванні цистерн на ВАТ «Азовмаш» і ТОВ «ГСКБВ», при виконанні теоретичних і експериментальних досліджень на підприємстві «Азовмаштест» і в ГНДЛ вагонів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Економічний ефект від використання запропонованих технічних рішень із кріплення котла до кузова складає 1560 тис. грн. на кожних 1000 цистерн.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень запропоновано вирішення актуальної науково-технічної задачі з покращення технічних характеристик вагонів-цистерн шляхом удосконалення їх конструкції. Виконані в роботі дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. В результаті аналізу особливостей конструктивних рішень, реалізованих у вагонах-цистернах з урахуванням світового досвіду, дана класифікація характерних конструктивних схем вагонів-цистерн в частині з'єднання котла з рамою.

2. В роботі дано нове рішення науково-технічної проблеми із зниження металоємності вагонів-цистерн і покращенню їх технічних характеристик шляхом вдосконалення конструкцій на основі створення цистерн у безрамному конструктивному виконанні, що дозволяє знизити масу тари цистерни і одночасно підвищити її вантажопід'ємність.

3. Вирішено завдання із зниження металоємності цистерни також за рахунок підкріплення тонкостінного котла подовжніми елементами жорсткості у вигляді стрінгерів, розташованих в нижній створюючій котла і кільцевими елементами жорсткості у вигляді шпангоутів. Запропонована принципово нова конструкція кріплення котла безрамної цистерни до напіврам, яка дозволяє забезпечити високі міцнісні характеристики цистерни і передачу подовжніх зусиль від котла до напіврам і, навпаки, у поєднанні з надійною і технологічною установкою котла на напіврамах.

При цьому маса тари для безрамної цистерни з внутрішнім діаметром котла 3060 мм зменшена в порівнянні з рамною цистерною моделі 15-1754 на 1613 кг, що складає 2,3 %, при збільшенні на таку ж величину вантажопідйомності 70,1 т відносно 68,5 т в моделі 15-1754.

Для безрамної цистерни з внутрішнім діаметром котла 3200 мм маса тари зменшена на 1736 кг відносно моделі 15-1755, що складає 2,48 %, при збільшенні вантажопідйомності до 70,0 т відносно 67,5 т.

4. Вирішено завдання, направлене на зниження центру тяжіння цистерни за рахунок максимально-можливого наближення котла до напіврам. Для безрамних цистерн з внутрішнім діаметром котла 3060 мм центр тяжіння був зменшений на 60 мм, а для цистерн з внутрішнім діаметром котла 3200 мм центр тяжіння був зменшений на 48 мм.

5. Вирішено завдання, направлене на збільшення об'єму котла цистерни. При стандартній довжині по осях зчеплення автоточок 12020 мм збільшено об'єм котла в габариті 02-ВМ до 80 м³, а в габариті 1-ВМ до 88 м³. При цьому збережені існуючі допуски на поперечний зсув котла відносно осі колії.

6. Описано розрахункову схему і розроблено математичну модель просторових коливань чотиривісної цистерни, що виникають при русі залізничною колією з реальними нерівностями.

7. Виконана оцінка міцності екіпажної частини цистерни, яка показала, що сумарна напруженість не перевищує нормативних навантажень, які допускаються при сполученні на всіх основних розрахункових режимах.

8. Для підготовки вихідних даних для моделювання напружено-деформованого стану цистерни, що імітує рух по адекватним реальним ділянках колії, виконано моделювання просторових коливань цистерни на прямолінійних і криволінійних ділянках колії різних радіусів (200 м, 300 м і

600 м). Результати цих розрахунків для цистерни отримані у вигляді осцилограм.

9. Вперше розроблено математичну модель для визначення і оцінки напружено-деформованого стану цистерни безрамної конструкції, яка враховує реальний стан кузова під час руху цистерни залізничною колією і дозволяє оцінити його міцностні характеристики в динаміці протягом певного часу. При цьому математична модель в якості змінних за часом навантажень дозволяє враховувати вертикальні коливання кузова для оцінки його міцностних характеристик.

10. Удосконалено метод розрахунку міцностних характеристик вагону-цистерни в частині урахування зміни сил в місцях спирання кузова на візки та урахування динамічних процесів в зв'язках між кузовом і візками.

11. Удосконалено математичну модель напружено-деформованого стану цистерни в частині формування розрахункових навантажень залежно від збурень, що діють з боку колії;

12. Удосконалено математичну модель просторових коливань вагонів-цистерн, яка на відміну від існуючих моделей дозволяє оцінювати разом з динамічними показниками і міцностні властивості.

13. Для проведення теоретичних досліджень міцностних властивостей кузова цистерни в динаміці автором розроблені в середовищі ANSYS спеціальні прикладні програми, призначені для виконання розрахунків перехідних динамічних процесів повним методом, де використовувалися оцифровані дані осцилограм, отримані на етапі моделювання просторових коливань цистерни. За результатами виконаних розрахунків визначено напружено-деформований стан кузова цистерни.

14. Аналіз отриманих осцилограм з еквівалентною напруженістю дозволив зробити висновок, що частота і амплітуда коливань в кожному окремо взятому вузлі на різних ділянках колії змінюються залежно від рівня збурень з боку колії. Значення переміщень у вузлах залежно від швидкості і вписування в криволінійні ділянки колії радіусом 600 м, 300 м, 200 м також чутливі до рівня та характеру нерівності колії. Тому розроблена в роботі математична модель для визначення і оцінки напружено-деформованого стану цистерни безрамної конструкції враховує збурення, що діють з боку колії, при формуванні розрахункових навантажень. Це робить математичне моделювання більш адекватним реальній конструкції цистерни, про що свідчить співставлення з експериментом.

15. Результати проведених випробувань дослідного зразка безрамної цистерни для перевезення нафтопродуктів показали, що у всіх досліджених зонах конструкції цистерни головна і еквівалентна напруженість задовольняє вимогам «Норм...», при цьому залишкові деформації відсутні.

16. Виконано порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень і отримано розбіжності в межах 15%, що дозволяє зробити висновок про задовільну збіжність результатів.

17. В рамках виконання вимог європейських норм розроблена конструкція зливного пристрою потрібного ступеню захисту.

Результати виконання роботи впроваджені при проектуванні цистерн на ВАТ «Азовмаш» і ТОВ «ГСКБВ» та при виконанні теоретичних і експериментальних досліджень на підприємстві «Азовмаштест» і в ГНДЛ вагонів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна. В результаті виконання техніко-економічного обґрунтування розроблених технічних рішень визначено, що економічний ефект від удосконалення конструкції вагонів-цистерн складає 1560 тис. грн на кожні 1000 цистерн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Лавренко Д.Т. Математическая модель пространственных колебаний вагонов-цистерн / Д.Т. Лавренко // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2008. – Вып.14. – С. 126 - 136.

2. Бубнов В.М. Тенденции в совершенствовании конструктивных схем железнодорожных цистерн для перевозки нефтепродуктов / В.М. Бубнов С.В. Мямлин, Д.Т. Лавренко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 11. – С. 138 – 140.

3. Бубнов В.М. Особенности цистерны безрамной конструкции для перевозки светлых нефтепродуктов / В.М. Бубнов, С.В. Мямлин, Д.Т. Лавренко, А.А. Никитченко // Збірник наукових праць КУЕТТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2006. – Вип. 10. – С. 48 – 51.

4. Мямлин С.В. Определение напряженно-деформированного состояния цистерны от воздействия вертикальных колебаний при ее движении по железнодорожному пути / С.В. Мямлин, В.М. Бубнов, Д.Т. Лавренко // Залізничний транспорт України. – 2008. – № 4.– С. 20 – 24.

5. Бубнов В.М. Сливной прибор с тройной степенью защиты для вагонов-цистерн, предназначенных для перевозки грузов 3 класса опасности / В.М. Бубнов, С.В. Мямлин, Д.Т. Лавренко // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты. Сборник научных статей. – Санкт-Петербург, 2007. – Вып. 4.– С. 58 – 61.

6. Бубнов В.М. Особенности конструкции безрамной цистерны пониженной металлоемкости / В.М.Бубнов, С.В. Мямлин, Д.Т. Лавренко // Залізничний транспорт України. – 2007. – № 4. – С. 50 – 52.

7. Пат. 12504 Україна, МПК В61D 5/06. Залізнична цистерна / Бубнов В.М., Марінюк В.С., Калугин А.В., Гетьман Ю.Г., Лавренко Д.Т., Нікітченко А.А.; заявник та патентовласник ТОВ «ГСКБВ», ВАТ «МЗВМ», ВАТ «АЗОВЗАГАЛЬМАШ». – № u200507130; замовл. 18.07.2005; опубл. 15.02.2006, Бюл. № 2.

8. Пат. 53250 U1 Российская федерация, МПК В61D 5/06. Железнодорожная цистерна / Бубнов В.М., Маринюк В.С., Калугин А.В., Гетьман Ю.Г., Лавренко Д.Т., Никитченко А.А.; заявитель и патентообладатель ООО «ГСКБВ», ОАО «МЗТМ», ОАО «Азовобщемаш». – № 2005123946/22; заявл. 27.07.2005; опубл. 10.05.2006, Бюл. № 13.

9. Пат. 12574 Україна, Залізнична цистерна / Бубнов В.М., Маринюк В.С., Калугин А.В., Гетьман Ю.Г., Лавренко Д.Т., Никитченко А.А.; заявник та патентовласник ТОВ «ГСКБВ», ВАТ «МЗВМ», ВАТ «АЗОВЗАГАЛЬМАШ». – № s200500982; замовл. 18.07.2005; опубл. 15.08.2006, Бюл. № 8.

10. Пат. 27950 Україна, МПК В61D 5/06. Залізнична цистерна / Бубнов В.М., Маринюк В.С., Мямлін С.В., Попов С.І., Лавренко Д.Т., Никитченко А.А.; заявник та патентовласник ТОВ «ГСКБВ». – № u2007 05544; замовл. 21.05.2007; опубл. 26.11.2007. Бюл. № 19.

11. Пат. 69474 U1 Российская Федерация, МПК В61D 5/06. Железнодорожная цистерна / Бубнов В.М., Маринюк В.С., Мямлин С.В., Попов С.И., Лавренко Д.Т., Никитченко А.А.; заявитель и патентообладатель ООО «ГСКБВ». – № 2007121340/22; заявл. 06.06.2007; опубл. 27.12.2007, Бюл. № 36.

12. Пат. 8099 Україна, МПК В61D 5/00. Зливний пристрій залізничної цистерни / Бубнов В.М., Маринюк В.С., Лавренко Д.Т., Клопков Л.Н., Калугін А.В., Попов С.И., Мямлін С.В.; заявник та патентовласник ТОВ «ГСКБВ», ВАТ «МЗВМ», ВАТ «АЗОВЗАГАЛЬМАШ». – № u200500453; – замовл. 17.01.2005; опубл. 15.07.2005, Бюл. № 7.

13. Пат. 46253 U1 Российская Федерация, МПК В61D 5/00. Сливное устройство железнодорожной цистерны / Бубнов В.М., Маринюк В.С., Лавренко Д.Т., Клопков Л.Н., Калугин А.В., Попов С.И., Мямлин С.В.; заявитель и патентообладатель ООО «ГСКБВ», ОАО «МЗТМ», ОАО «Азовобщемаш». – № 2005102351/22; заявл. 31.01.2005; опубл. 27.06.2005. Бюл. № 18.

14. Пат. 12690 Україна, МПК F16H 55/17, В61D 5/00. Зливний пристрій залізничної цистерни / Бубнов В.М., Маринюк В.С., Лавренко Д.Т., Калугін А.В., Попов С.И., Мямлін С.В.; заявник та патентовласник ТОВ «ГСКБВ», ВАТ «МЗВМ», ВАТ «АЗОВЗАГАЛЬМАШ». – № u200508533 – замовл. 05.09.2005; опубл. 15.02.2006. Бюл. № 2.

15. Пат. 52373 U1 Российская Федерация, МПК В61D 5/00, В65D 39/00 Сливное устройство железнодорожной цистерны / Бубнов В.М., Маринюк В.С., Лавренко Д.Т., Калугин А.В., Попов С.И., Мямлин С.В.; заявитель и патентообладатель ООО «ГСКБВ», ОАО «МЗТМ», ОАО «Азовобщемаш». – № 2005128460/22; заявл. 12.09.2005; опубл. 27.03.2006. Бюл. № 9.

16. Бубнов В.М. Конструктивные особенности кузова вагона-цистерны типа Восток-Запад / В.М. Бубнов, С.В. Мямлин, Д.Т. Лавренко // Проблемы та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: матеріали IV міжнар. наук-практич. конф., 26-27 лютого 2008 р.: тези доп. – К., 2008. – С. 15-16.

17. Мямлин С.В. Определение напряженно-деформированного состояния цистерны от воздействия вертикальных колебаний при ее движении по железнодорожному пути / С.В. Мямлин, В.М. Бубнов В.М., Д.Т. Лавренко // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: 68 междунар. науч.-практич. конф., 22–23 мая 2008 г.: тезисы докл. – Д., 2008. – С.54 – 57.

18. Мямлин С.В. Изучение напряженного состояния основных несущих элементов вагонов-цистерн / С.В. Мямлин, В.М. Бубнов, Д.Т. Лавренко // Проблемы механики железнодорожного транспорта. Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава, энергосбережение: XII междунар. конф 28 – 30 мая 2008 г.: тезисы докл. – Д., 2008. – С.108 – 109.

19. Лавренко Д.Т. Визначення напружено-деформованого стану цистерн від дії вертикальних коливань при її русі по залізничній колії / Д.Т. Лавренко // Проблемы механики железнодорожного транспорта. Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава, энергосбережение: XII междунар. конф 22 – 23 мая 2008 г.: тезисы докл. – Д., 2008. – С. 32.

20. Бубнов В.М. Разработка конструкции безрамной цистерны и анализ проектных решений / В.М. Бубнов, С.В. Мямлин, Д.Т. Лавренко // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: LXVI междунар. науч.-практич. конф., 11-12 мая 2006 г.: тезисы докл. – Д., 2006. – С. 79-80.

21. Бубнов В.М. Разработка конструкции безрамной цистерны и анализ проектных решений / В.М. Бубнов, С.В. Мямлин, Д.Т. Лавренко, А.А. Никитченко // Внедрение наукоемких технологий на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте: II науч.-практич. междунар. конф., 5 - 9 июня 2006 г.: тезисы докл. – Крым, Алушта, 2006 г. – С. 66.

22. Бубнов В.М. Создание сливного прибора с тройной степенью защиты для вагонов-цистерн / В.М. Бубнов, С.В. Мямлин, Д.Т. Лавренко // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: IV междунар. науч.-технич. конф., 6 - 9 июля 2005 г.: тезисы докл. – СПб., 2005. – С. 34-36.

23. Бубнов В.М. Требования к вагонам-цистернам «Восток-Запад» / В.М. Бубнов, Д.Т. Лавренко // Проблемы механики ж.д. тр-та: Динамика, прочность и безопасность движения подвижного состава: XI междунар. конф. 26 - 29 мая 2004 г.: тезисы докл. – Д.: Изд-во Полный компьютерный сервис, 2004. – С. 53.

24. Бубнов В.М. Опыт создания конструкций безрамных цистерн пониженной металлоемкости / В.М. Бубнов, С.В. Мямлин, Д.Т. Лавренко // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: V междунар. науч.-технич. конф., 4 - 6 июля 2007 г.: тезисы докл. – СПб., 2007. – С. 46-48.

25. Письменный Е.А. Разработка современного подвижного состава для мультимодальных перевозок / С.В. Мямлин, Е.А. Письменный, В.М. Бубнов, Д.Т. Лавренко // Морские и речные перевозки. Вопросы экономического взаимодействия, функционирования и развития: труды Междунар. научно-

практ. конф., 1-2 сентября 2004 г.: тезисы докл. – Одесса: Судходство Медиа Центр, 2004. – С. 144 – 146.

26. Яловой А.И. Оценка экономической эффективности новых технических решений в конструкциях грузовых вагонов / А.И. Яловой, А.Е. Лозовая, Д.Т. Лавренко // Проблемы экономики транспорта: труды IV Междунар. науч. конф., 28-29 апреля 2005 г.: тезисы докл. – Днепропетровск, 2005. – С. 96 – 97.

АНОТАЦІЯ

Лавренко Д.Т. Покращення технічних характеристик вагонів-цистерн шляхом удосконалення їх конструкції. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – Рухомий склад залізниць і тяга поїздів. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2009.

Дисертація присвячена покращенню технічних характеристик вагонів-цистерн шляхом удосконалення їх конструкції. Запропонована конструктивна схема безрамної цистерни, що дозволяє вирішити задачі зі зниження металоемності, понизити центр тяжіння вагона за рахунок максимально-можливого наближення котла до напіврам, збільшити об'єм котла з метою довести його до максимально можливого в рамках вписування в необхідний габарит. Визначені техніко-економічні показники вагона-цистерни безрамної конструкції. Вперше розроблено математичну модель для визначення і оцінки напружено-деформованого стану цистерни безрамної конструкції, яка враховує реальний стан кузова під час руху цистерни залізничною колією і дозволяє оцінити його міцнісні характеристики з урахуванням динамічної навантаженості. Удосконалено метод розрахунку міцнісних характеристик вагону-цистерни в частині урахування зміни сил в місцях спирання кузова на візки та урахування динамічних процесів в зв'язках між кузовом і візками. Удосконалено математичну модель напружено-деформованого стану цистерни в частині формування розрахункових навантажень залежно від збурень, що діють з боку колії. Удосконалено математичну модель просторових коливань вагонів-цистерн, яка на відміну від існуючих моделей дозволяє оцінювати разом з динамічними показниками і міцнісні властивості. Економічний ефект від удосконалення конструкції вагонів-цистерн складає 1560 тис. грн на кожні 1000 цистерн.

Ключові слова: вагон-цистерна, безрамна конструкція, динамічна навантаженість, напружено-деформованій стан, просторові коливання, перехідні динамічні процеси.

АННОТАЦИЯ

Лавренко Д.Т. Улучшение технических характеристик вагонов-цистерн путем совершенствования их конструкции. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог и тяга поездов. Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна. Днепропетровск, 2009.

Диссертация посвящена улучшению технических характеристик вагонов-цистерн путем совершенствования их конструкции. Предложена конструктивная схема безрамной цистерны, которая позволяет решить задачи по снижению металлоемкости, понизить центр тяжести вагона за счет максимально-возможного приближения котла к полурамам, увеличить объем котла с целью довести его до предельно возможного в рамках вписывания в требуемый габарит. Определены технико-экономические показатели вагона-цистерны безрамной конструкции. Описана расчетная схема и сформирована математическая модель пространственных колебаний четырехосного грузового вагона, возникающих вследствие его движения по изолированной неровности пути. Впервые разработана математическая модель для определения и оценки напряженно-деформированного состояния цистерны безрамной конструкции, которая учитывает реальное состояние кузова при движении цистерны по железнодорожному пути и позволяет оценить его прочностные характеристики с учетом динамической нагруженности. Усовершенствован метод расчета прочностных характеристик вагона-цистерны в части учета изменения сил в местах опирания кузова на тележки с учетом динамических процессов в связях между кузовом и тележками. Усовершенствована математическая модель напряженно-деформированного состояния цистерны в части формирования расчетных нагрузок в зависимости от возмущений, действующих со стороны пути. Усовершенствована математическая модель пространственных колебаний вагонов-цистерн, которая в отличие от существующих моделей позволяет оценивать наряду с динамическими показателями и прочностные свойства. Для проведения теоретических исследований прочностных свойств кузова вагона-цистерны в динамике автором разработаны в среде ANSYS специальные прикладные программы, предназначенные для выполнения расчетов переходных динамических процессов полным методом, где использовались оцифрованные данные осциллограмм, полученные на этапе моделирования пространственных колебаний вагона-цистерны. По результатам выполненных расчетов возможно определять напряжения и перемещения, которые возникают в любом узле модели кузова цистерны в конкретный момент времени как в графическом, так и в цифровом виде. В рамках выполнения требований европейских норм разработана конструкция сливного прибора с тройной степенью защиты. В результате выполнения технико-экономического обоснования разработанных технических решений

определено, что экономический эффект от совершенствования конструкции вагонов-цистерн составляет 1560 тис. грн. на каждые 1000 цистерн.

Ключевые слова: вагон-цистерна, безрамная конструкция, динамическая нагруженность, напряженно-деформированное состояние, пространственные колебания, переходные динамические процессы.

SUMMARY

Lavrenko D.T. Improvement of technical characteristics of tank-cars by development their construction. – The manuscript.

The dissertation on competition for an academic degree of candidate of technical sciences on speciality 05.22.07 – Railway rolling stock and train traction. Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. Dnepropetrovsk, 2009.

Dissertation is devoted to improvement of technical characteristics of tank-cars by development of their construction. The frameless construction of tank-car is proposed, that allows to solve a problem by decreasing of steel intensity, to decrease the centre of gravity of tank-car due to highest possible approaching of tank to shot frames, to increase the volume of tank with the aim to lead it to maximum volume in the framework of entering required external dimensions. Technical and economic characteristics of frameless construction tank-car are determined. Analytical model is described and simulator spatial oscillation is made up for tank-wagon, during its motion at isolated track irregularity. For the first time the simulator for determine and valuation of mode of frameless construction tank-car deformation was developed, that takes account of real state of body at moving of tank-car on track and allows to evaluate its strength properties with taking into account of dynamic loading. Calculation method of strength properties of tank-car is improved in the area of change forces at lean places body on bogies, taking into account dynamic processes at ties between body and bogies. The simulator of mode deformation of tank-car is improved in the area of calculation loading forming depending on disturbance, acting from the direction of track. The simulator of spatial oscillations of tank-car is improved, that in contrast to existent simulators allows to evaluate as dynamic characteristics as strength properties. Special computer programs are developed by author in program complex ANSYS for carrying out theoretical treatments of tank-car body strength properties in dynamics. In the frame of carrying-out of European standards requirements a project of discharge device equipped by three shut-off devices for new-build tank-cars is developed. As a result of technical and economic substantiation of developed technical solutions is determined that a total effect from perfection of tank-cars construction is equal to 1560 thousands of grn. at every of 1000 cars.

Keywords: tank-wagon, short-frame construction, dynamic loading, mode of deformation, space oscillations, transient dynamics processes.

Лавренко Дмитро Трохимович

ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВАГОНІВ-ЦИСТЕРН ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ЇХ
КОНСТРУКЦІЇ

Автореферат

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку «25» березня 2009 р. Формат 60x48 1/16.
Папір для множних апаратів. Ризограф. Ум. друк арк. 0,9. Обл.-вид. 1,0
Тираж 100 прим. Замовлення № _____.

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
ДК 1315 від 31.03.2003

Адреса університету та дільниці оперативної поліграфії ДІТу:
49010, Дніпропетровськ, 10, вул. Академіка Лазаряна, 2, www.diitrvv.dp.ua