

Міністерство транспорту України  
Дніпропетровський державний технічний університет  
залізничного транспорту

На правах рукопису

УДК: 629.4.539.4

629.4.023, 14

Колбун Віктор Вікторович

ДОСЛІДЖЕННЯ УДАРНОЇ ВИТРИВАЛОСТІ ОБЛАДНАННЯ  
ТА КУЗОВІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

05.22.07 – Рухомий склад залізниць і тяга поїздів

Автореферат  
дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата технічних наук

НТБ  
ДНУЗТ

Дніпропетровськ 1996

Робота виконана в Дніпропетровському державному технічному університеті залізничного транспорту.

Науковий керівник доктор технічних наук,  
професор Л. А. Манашкин

Науковий консультант кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
С. А. Костица

Офіційні опоненти доктор технічних наук,  
професор В. В. Дьомін  
кандидат технічних наук,  
доцент І. Г. Барбас

Провідне підприємство Управління Придніпровської  
залізниці

Захист відбудеться "22" <sup>04</sup> \_\_\_\_\_ 1996р. о <sup>14</sup> \_\_\_\_\_ год. в  
ауд. <sup>301</sup> на засіданні спеціалізованої Ради  
Д 03.04.02 в Дніпропетровському державному технічному  
університеті залізничного транспорту за  
адресою: 320010, Дніпропетровськ, 10 вул. Академіка

ітися в бібліотеці

"03" \_\_\_\_\_ 1996г.

ж примірниках, що завірені  
и до спеціалізованої Ради

доцент *Петров* Д. В. Петрович

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**А к т у а л ь н і с т ь** теми. Залізничний транспорт, на частку якого в минулому приходилась половина вантажообігу країни, необхіден для здійснення багатомасштабних перевезень, які забезпечують нормальне функціонування великих підприємств, що забезпечують життєдіяльність промисловорозвинутої країни. Для перевезень вантажів сільського господарства, лісів та інших промислових товарів, необхідні ізотермічні і спеціалізовані вагони.

Обладнання рефрижераторних вагонів є найбільш складним і коштовним порівняно з обладнанням інших типів вантажних вагонів. В той же час умови експлуатації рефрижераторних вагонів, особливо автономних (АРВ), аналогічні умовам експлуатації вантажних вагонів інших типів. Зовнішній скловий вплив на вагон приводить до кінематичного збудження коливань елементів обладнання.

Інтенсивні ударні позовонкі навантаження і стаціонарні коливання, які обумовлені рухом вагону по нерівностях шляху, приводять до ушкодження вагонів і перевезених вантажів, тому важливе значення при створенні вагонів мають зипробування, розрахунки та інше, що спрямовані на забезпечення потрібної несучої здібності вагону і обладнання рухомого складу.

Серед усіх навантажень, ударні навантаження - найбільш інтенсивні, викликають коливання всієї конструкції і в більшості випадків, виявляються визначними при оцінці довговічності обладнання вагонів.

У зв'язку з висловленим вище є актуальним проведення експериментальних і теоретичних досліджень, які зв'язані з оцінкою при позовонних ударах експлуатаційної навантаженості і витривалості вантажних і рефрижераторних вагонів, а також їх обладнання, з метов перевірки і забезпечення спроможності несучої здібності вагонів довговічності обладнання при проектуванні і модернізації.

**М е т а** заданої роботи - узагальнення досвіду ДІІТу і інших підприємств в галузі організації ресурсних випробувань, серед інших, рефрижераторного рухомого складу і розробка методик і технологій проведення ресурсних випробувань вагонів на ударну витривалість, яка дозволяє відтворити еквівалентні по силі дії умови експлуатації, за порівнянно короткий період часу.

**С к о в и і** напрями дослідження:

- вивчення навантаженості вагонів і елементів обладнання при співаударах під час маневрових операцій і перехідних режимах руху поїздів;
- розробка методики проведення випробувань вагонів на ударну витривалість;
- теоретичне і експериментальне дослідження напружено-деформованого стану несучих елементів холодильного агрегату ФАН-036/7 і перегородки АРВ;
- експериментальне дослідження навантаженості гальмового обладнання і трубопроводів вантажних вагонів при поздожних ударах;
- експериментальне дослідження міцності поперечних балок рами вагону-термосу при експлуатації;
- оцінка строків служби елементів, які вийшли зі строю під час ресурсних випробувань.

**М е т о д и дослідження.** Для вирішення поставлених завдань в роботі використовуються результати експериментальних досліджень із записом динамічних процесів і наступним статистичним і спектральним обробкам. Теоретичні дослідження напружено-деформованого стану елементів здійснювались з використанням засобу кінцевих елементів у формі засобу переміщень. Результати теоретичних досліджень зрівняні з результатами натурних випробувань. Оцінка довговічності елементів по результатам випробувань засновувалась на теорії ймовірності, математичній статистиці, статистичній теорії подібності стохастичного зруйнування.

**Н а у к о в а п о в і д н о с т ь :**

- на основі аналізу динамічних властивостей і навантаженості різних елементів і обладнання рефрижераторного вагону розроблена методика форсованих прискорених випробувань вагонів на ударну витривалість, що дозволяє оцінювати міцність, витривалість і довговічність вузлів і конструкцій при дії експлуатаційних навантажень;
- встановлено, що на формування сили в азотчелі при поздожних ударах виявляє вплив не тільки робота функційних нау тертя у поглинаючих апаратах, але і ударна взаємодія з н'ятникових вузлах візків, які виникають через конструкційні зазори;
- визначені заходи ушкоджуючої дії на несучі елементи рами, торцевих стін, навісного обладнання рефрижераторних вагонів, поперечних балок вагону-термосу, гальмових систем вантажних вагонів;
- досліджені особливості навантаження гальмової системи універсальної платформи при співаударах вагонів, визначені заходи ушкоджуючої дії на гальмову систему платформи;

-експериментально визначен коефіцієнт концентрації, який обумовлен різьбон на трубах гальмової системи;  
- розроблені моделі і застосований засіб кінцевих елементів для дослідження міцності рами машинного боку, кріпінного щиту, рамок випаровувача, дифузора холодильного агрегату ФАН-056/7, а також несучої конструкції перегородки рефрижераторного вагону.

П р а к т и ч н е значення. Розроблена методика дозволяє на стадії доробок дослідних зразків вантажних вагонів визначати конструктивно "слабкі" елементи, оцінювати їх строк служби, а також виявляти брак виробництва на стадії випуску серійної продукції. Проведені випробування дослідного зразку агрегату ФАН-056/7, виявлені недоліки, дані рекомендації по їх ліквідуванню. Повторні випробування доробленого агрегату ФАН-056/7 показали ефективність запропонованих конструктивних заходів для підсилення агрегатів, що дозволило починаючи з 1984 року купувати в Німеччині рефрижераторні вагони з такими агрегатами. Випробування вагонів-термосів конструкції "сандвіч" виявили недостатню міцність поперечних балок рами вагону, елементів кріплення гальмового обладнання, вантажних дверей та інших елементів, що дозволило в період дії контракту на купівлю цих вагонів прийняти заходи по усуненню виявлених недоліків за рахунок заводу-виробника. Випробування показали недостатню міцність перегородок між машинним відділенням і вантажним приміщенням рефрижераторних вагонів, дані пропозиції по їх підсиленню. Проведені випробування гальмових систем вагону для мінеральних добрив і універсальної платформи, виявлені недоліки і дані рекомендації по усуненню причин, які викликають вихід з експлуатації вантажних вагонів, по виходу зі строя елементів гальмового обладнання.

В п р о в а д к е н н я результатів. Запропонована в роботі методика проведення ресурсних випробувань передана Головному управлінню вагонного господарства МПС РФ, ВО Брянський машинобудівний завод, Вагонобудівному заводу в м. Десау (Німеччина), ВО "Стахановський вагонобудівний завод", Дніпродзержинському вагонобудівному заводу, ВО "Уралвагонзавод", Використана ВНИІВ (м. Москва) при розробці нормативного документу по випробуваннях вантажних вагонів. Результати досліджень, які проведені за запропонованою методикою, використані Головним управлінням вагонного господарства МПС при виробленні вибор до систем рефрижераторних і вантажних вагонів при їх купівлі у вагонобудівних заводів. Методика випробувань використовується Дніпропетровським державним технічним університетом залізнич-

ного транспорту для проведення прискорених ударних випробувань різноманітних вагонів.

Випробування рухомого складу дозволили доказати недостатню міцність несучої конструкції і трубопроводів холодильного агрегату ФАН-056/3, які виготовлені із алюмінієвих сплавів. І замінити їх агрегатами ФАН-056/7 з несучими елементами із сталі і трубопроводами із міді. На стадії випробувань дослідженого зразку агрегату ФАН-056/7, виявлені конструктивні недоліки, досліджені причини які їх викликають, дані рекомендації по їх усуненню і використані заводськ-виробником. Виявлена недостатня міцність перегородок старих вагонів для установки на них нових понад більш важких холодильних агрегатів ФАН-056/7Е (Ем). Розроблені рекомендації по підсиленню перегородок старотипних вагонів. Проведені випробування на ударну витривалість гальмових систем мінераловоза і платформи дозволили дати висновок про можливість збільшення строку міждеповського ремонту за цілісності гальмових систем. Випробування вагонів-термосів виявили "слабкі" вузли цієї конструкції, розроблені пропозиції по їх усуненню використані як при будівництві нових вагонів, так і при модернізації тих, що експлуатуються.

В с о б и т а участь автора в одержанні результатів, які викладені в дисертації, передано в наступному:

- участь в розробці методик прискорених ресурсних випробувань вагонів на ударну витривалість;
- керівництво випробуваннями ресурсераторних вагонів, вагонів-термосів, платформ, мінераловоза при перезірці, відробці методики і проведенні випробувань;
- участь у розробці заводу по підвищенню довговічності окремих елементів вагонів, які проходять випробування;
- розробка кінцева-елементних моделей стелів вагонів і виконання розрахунків;
- проведення лабораторних експериментів по визначенні коефіцієнту концентрації в трубах, внесеного різьбю.

А п р о б а ц і я роботи. Основні положення роботи докладані на Всесоюзній конференції "Проблеми механіки залізничного транспорту" (м. Дніпропетровськ, 1964); Всесоюзній науково-технічній конференції "Перспективи розвитку вагонубудування" (м. Москва, 1968); Всесоюзній конференції "Проблеми механіки залізничного транспорту" (м. Дніпропетровськ, 1968); Всесоюзній науково-технічній конференції "Методи і засоби діагностування технічних засобів залізничного транспорту" (м. Омськ, 1969); міському семінарі по загальній механіці (м. Дніпропет-

ровськ, 1998); сумісному семінарі кафедр "Теоретична механіка" і "Будівельна механіка" (м. Дніпропетровськ, 1996), а також неодноразово на наукових нарадах представників ІМС СРСР, ДІІТу і заводу Вагонбау Десау.

П у б л і к а ц і ї. За матеріалами дисертації опубліковані 9 друкованих робіт.

С т р у к т у р а роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти глав, укладення, списку літератури і двох додатків.

Робота містить в собі 146 сторінки машинописного тексту, 82 малюнка, 35 таблиць, список літератури складається із 145 найменувань.

### ЗМІСТ РОБОТИ

В с т у п містить в собі обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи.

В п е р ш і й главі освітлені основні досягнення у дослідженнях динамічної навантаженості рухомого складу при позовних ударах, перехідних режимах руху поїздів, оцінці статистичних характеристик динамічної навантаженості, засобів оцінки опору багатациклової стомленості і надійності транспортних екіпажів.

Велике внесок у розвиток цих засобів зробили В.А.Лазарян і його школа, С.В.Вершинський, О.М.Годицький-Цвірко, Л.М.Нікольський та інші. В останні роки ці питання знайшли розвиток у роботах вчених СНД: Я.Г.Барбаса, Е.П.Блокіна, Г.І.Богсиза, Ю.П.Бороненка, Л.О.Грачової, П.Г.Гребенника, В.М.Данилова, В.В.Дьоміна, В.Г.Іноземцева, І.П.Ісаєва, В.А.Камасва, З.О.Каракаш'яна, Б.Г.Кегліна, М.Б.Кельріха, Н.А.Костенка, Г.В.Костіна, В.Н.Котуранова, М.Н.Кудряцева, Л.Д.Кузьмича, С.М.Куценка, Ф.Ш.Лозбинева, О.А.Львова, Л.А.Манашкіна, Е.М.Нікольського, М.А.Панькіна, В.С.Плоткіна, А.О.Радзиковського, А.І.Річкалова, А.М.Савоськіна, О.М.Савчука, М.М.Соколова, В.Ф.Ушкалова, В.Д.Хусідова, Ш.М.Черкашина, Л.А.Шадуря, О.В.Юрченка та інших авторів.

Статистичний розподіл позовних навантажень, що наведен в "Нормах для розрахунку і проектування нових і модернізованих вагонів залізниць ІМС колії 1520 мм (несамохідних)" 1983 року, як показали дослідження, які проводились в БІТМі та ДІІТі, треба скоректувати з урахуванням вирішуваних задач.

У роботах відзначається, що спектр швидкостей співударів у теперішній час притерпів певні зміни. По наданим ВНІВ з мовір-

ність 0,999 квидкість співударів вагонів не підвищує 15,5 км/г. Робиться висновок, що теоретичні і особливо експериментальні дослідження напружено-деформованого стану рухомого складу в умовах експлуатації, і зокрема при співударах вагонів, в актуальних питаннях і дослідженнях в цій галузі приділяється велика увага.

Давться характеристика і критика існуючих методи ударних випробувань, які запропоновані раніше.

В наданій роботі умови навантаження обладнання і вагону в цілому поришуються за поздовжники силими, що діють через автозчеп на вагон. Такий підхід зумовлений критеріями настання граничного стану вагону: параметричними і функціональними відмовами, які приводять до порушення температурного режиму перевезення вантажа у рефрижераторних вагонах чи зв'язані із загрозою безпеки руху поїздів. Такими відмовами, які не можна усунути силами обслуговувачої бригади (для рефрижераторних секцій) або які вимагають виведення рухомої одиниці з експлуатації можна вважати: утворення тріщин елементів обладнання з рідкою (газоподібною) робочою середою; деформаційні зміни елементів несучих конструкцій (зруйнування, втрата стійкості) та інше. У відношенні до таких відмов можна стверджувати, що поява їх пов'язана з накопичуванням стокдених ушкоджень, які обумовлені роботом елементів в умовах, коли підвищуються межа витривалості матеріалу, з якого виготовлен елемент конструкції чи обладнання. Оскільки, багаторічними дослідженнями ДІІТа встановлено, що напруження і деформації несучих елементів вагону і обладнання мають практично завжди лінійну залежність від поздовжніх сил в автозчепі, ото такий підхід є цілком закономірним. Крім того, встановлено, що найбільшу ушкоджувачу дію на вантажні вагони магистральних шляхів, за винятком некормованих умов навантаження-розвантаження, роблять поздовжні сили, що виникають при маневрових операціях і перехідних режимах руху вагонів у складі поїздів.

У д р у г і й главі стисло описана конструкція АРВ, описані місця установки датчиків при проведенні випробувань. Давться порівняльні технічні дані агрегатів, які сприяли утворенню агрегату ФАА-058/7, і їх недоліки.

При експериментальних дослідженнях встановлено, що значном силою в автозчепі є при перехідних режимах руху вагону у поїзді, коли відбувається різка зміна режиму тяги і впливають удари між вагонами, які виникають через різницю відносних швидкостей вагонів, а також при маневрових операціях і особливо при

співударах на сортувальних гірках. Навантаження, які виникають при стаціонарних режимах руху, роботі обладнання – не значні порівняно з випередженими і при створенні методики не розглядаються.

Розглядаються різні схеми співударів вагонів. Як основна обрана схема, коли вагон, що випробується із закротоювачем, який поставлен у положення "розцеплене" вільно стоїть між розгонюваним вагоном-білкою і сцепом навантажених вагонів "стілки". При такій схемі співударів за один накат вагону-білка реалізується три співудари вагону, що випробується (1-білка з об'єктом випробувань, 2-об'єкту випробувань зі "стілкою", 3-білка з об'єктом, що стоїть у голові "стілки"), які відображають три різні ситуації співударів вагонів під час маневрів.

Доведена неправомірність заміни при випробуваннях поглинаючих апаратів "жорсткими елементами" для усунення розбросу сил в автозчепі, який виникає за рахунок роботи фрикційних пар поглинаючих апаратів, бо в цьому випадку інерційні навантаження, які діють на обладнання вагону, по спектру навантаження не еквівалентні експлуатаційним.

При зіставленні осцилограм, що записані при співударах двох порожніх АРВ через автозчеп і через буфери, знайдено, що при співударах через буфери на осцилограмі напружень, які виникають у балках рами АРВ, присутні два зриви, але при цьому поглинаючий апарат у роботі не бере участь. Поясненням цьому є процес ударної взаємодії у п'ятикутих вузлах ходових візків, що виникає за рахунок конструктивних зазорів у цьому вузлі.

Раніше при аналізі осцилограм співударів через автозчеп, коли робили фрикційні поглинаючі апарати, таку взаємодію виділити було складно.

В аналізі динамічних напружень, які записані на різних елементах кузова і обладнання рефрижераторного та інших вагонів виявлено, що за один удар несучі елементи рами кузова вагону і навісного обладнання вагону отримують різну ушкоджуючу дію при експлуатації. Отже, довговічність цих елементів в експлуатації буде різною і при випробуваннях це треба враховувати.

На прикладах осцилограм, що приведені і результатів їх обробки показано, що при перехідних режимах руху поїздів (пусках поїзду в хід, гальмуваннях) на автозчепі вагонів діють імпульси сил, які аналогічні одержаним при співударах вагонів, а напруження, які виникають в елементах рами і обладнанні в цьому випадку такі, що їх треба враховувати при накопичуванні стомлюючого ушкодження.

Поздовжні прискорення, які виміряні на різних рівнях по висоті і по довжині кузову вагону, при співударах з різними типами вагонів-біяків, близькі по своїм значенням. Тому, при розрахунках і проектуванні вагонів треба прийняти до уваги рівність значень поздовжніх прискорень як по довжині вагону, так і по висоті, а не зменшувати їх по висоті, як це пропонується робити в "Нормах...".

При розробці методики досліджувалась навантаженість вагону при ударах різними типами вагонів у випадках різного ступеня їх завантаження, які мали також різний рівень завантаження. З аналізу одержаних результатів робиться висновок, що для проведення порівняно довгих випробувань на ударну витривалість краще у вигляді біяка використовувати цистерну з цілком заповненим рідиною кулом. При випробуваннях порожнього вагону частинна пружин, ресорних комплектів знімається для забезпечення нормованої різниці рівней осей автозчепів співударяючих вагонів і збільшення статичного прогибу підвішування.

У т р е т і й главі викладена методика ресурсних випробувань вагонів на ударну витривалість.

Найбільш певні результати прискорених випробувань, якщо еквівалентність дії в експлуатаційному і випробному режимах підтверджуються рівністю накопичених ушкоджень.

Для оцінки довговічності окремих елементів конструкції вагону можна використовувати напруження у найбільш слабкому місці, з точки зору міцності, цієї деталі. Однак, як міра, яка визначає довговічність різних вузлів вагону при статичному механізмі накопичування ушкоджень, коли не виникають пластичні деформації, складно обрати той елемент, напруження в якому будуть характеризувати навантаженість вагону у цілому чи більшості його вузлів. Тому ударна сила, яка діє в автозчепі і в першопрачійно всіх деформацій елементів конструкції і кріплень навісних приладів, і визначає довговічність різноманітних вузлів.

Обмеження, які накладаються на рівні сил, що прикладені до вагону, який досліджується і на прискорення вузлів, навантаження яких перебуває в основному за рахунок сил інерції, приймаються такими, щоб були забезпечені умови надійності навантаження.

При ушкодженнях, які викликає статичними процесами, припускається, що починаючи з визначеного рівня, будь-яке навантаження, з'являючись кожний раз, викликає визначену кількість дефектів в матеріалі елемента, іншими словами - визначене ушкодження елемента. Якщо вважати, що накопичування ушкоджень діється у відповідності з лінійною моделлю, і визначати залежність

числа циклів від рівня сили у відповідності з кривою втоми з показником ступеня  $n$ , можна, користуючись наданими про розподіл ударних сил у експлуатації, з точністю до постійного множника отримати потенціал ушкодження на протязі одного року експлуатації ( $D_1^m$ ).

Показник ступеня  $n$  кривої втоми залежить від багато яких факторів, в тому числі від засоби прикладення навантаження і його міри. Враховуючи рекомендації нормативних документів і літератури по стомленим зруйнуванням, досвід експлуатації і проведення стомлених випробувань, керівні матеріали, що узгоджені виконавцем і замовником вагонів, прийнято для більшості елементів несучої конструкції вагону  $n=4$ , для елементів обладнання  $n=3$ .

Навич статистичні дані про експлуатаційні навантаження, підраховані потенціали наробки відмов і злісуювань за і рік експлуатації для різноміртних елементів кузову і обладнання вагону.

Прискорення проведення випробувань здійснюється шляхом створення за один накат вагону-бійка трьох співударів вагону, який випробовується а також застосовуючи форсувані навантаження, допустимого рівня. Величина потенціалу ушкоджень при випробуваннях  $D_{ii}^m$  визначається по формулам

$$D_{ii}^m = \sum_{i=1}^{N_0} (S_{1i}^m + S_{2i}^m + S_{3i}^m),$$

де  $S_{1i}$ ,  $S_{2i}$ ,  $S_{3i}$  - сили, які вимірані відповідно при 1, 2 і 3 ударах 1-го циклу навантажування;  $N_0$  - обсяг випробувань у циклах навантажування форсуваними силами.

Припиняються випробування в момент, коли наробка  $D_{ii}^m$  по найбільш довговічким вузлам або вагону у цілому досягає наробки, відповідно строку служби цих вузлів, які визначені шляхом множення відповідної наробки  $D_1^m$  на кількість років служби.

Оцінка строку служби ( $T_i$ ) відмовившого у процесі випробувань елементу визначається як

$$T_i = D_{ii}^m / D_1^m.$$

Оцінка довговічності із заданим довірчим ймовірністю проводиться у припущенні експоненціального закону розподілу. Цей закон використовується у розрахунках звичайно при розгляді відмов у тих випадках, коли явищами старіння і зносу можна знехтувати, а також при дослідженні надійності багатоконпонентних вузлів, підлягають дії деякого стабільного механізму відмов,

наприклад, зруйнування внаслідок багаторазового додатка ударних навантажень. При визначенні довговічності вузлів і деталей за результатами випробувань одиничного зразка, вагону у цілому, приймається до уваги, що він складається із деяких однотипних і приблизно однаково навантажених елементів. Далі приводяться формули для розрахунку довірчих кордонів довговічності для трьох планів випробувань найбільш часто використовуваних при ресурсних випробуваннях.

У ч е т в е р т і й главі приведені результати випробувань і досліджень напружено-деформованого стану навісного обладнання вантажних вагонів: несучих елементів, холодильного агрегату ФАЛ-056/7; рами дизельгенераторного агрегату АРВ; повітропроводу і кріплення гальмового обладнання вагону для мінеральних добрив моделі 19-923 і універсальної платформи моделі 13-4012.

Холодильний агрегат ФАЛ-056/7 становить собою моноблок, який монтується на перегородці. В її верхній частині, між машинним і вантажним відділеннями.

При випробуваннях АРВ з дослідними агрегатами ФАЛ-056/7 було реалізовано 9178 ударів. При випробуваннях, в основному, реалізувалися сили першого удару триударного циклу у діапазоні 1,5-1,7МН. Основні відмови зареєстровані при випробуваннях: поломки опорних профілів рами машинного боку; ослаблення кріплення елементів управління роботом холодильної установки, які розташовані у приладному ящику; тріщини корпусу приладного ящика; зруйнування кріплення вентиляторів випаровувача і дифузора, на якому вони кріпляться. Виявлені ушкодження вимагали додаткових досліджень міцності цих елементів.

Кінцево-елементна модель рами машинного боку агрегату ФАЛ-056/7 уявляє собою стержневу розрахункову схему. Для перевірки вірності розробленої моделі результати розрахунків порівнювались з результатами вимірювань напружень на рамі машинного боку при застосуванні статичного навантаження, розбіжність результатів не перебільшує 12%, що цілком допустимо. Квазістатичні навантаження, які одержані внаслідок множення ваги відповідного вузла агрегату ФАЛ-056/7 на коефіцієнт динамічності, прикладались у вузлах розрахункової схеми. Результати показали, що зруйнування опорних профілів рами виникло не випадково, підсумкові розрахункові напруження від дії власної ваги і квазістатичного позовного навантаження склали 400МПа (для сталі  $\sigma_{\text{т}}=240\text{МПа}$ ). Розрахунки дозволили вивчити вплив ослаблення кріплення агрегату на перегородці на напружений стан несучих елементів рами агрегату ФАЛ-056/7.

Розроблена розрахункова схема дозволила також перевірити роз-

роблені варіанти підсилення найбільш навантажених елементів рами.

Підсилення опорних профілів призвело до перерозподілу навантажень, крім того підвищились навантаження, які діють на кріпильний щит компресору холодильного агрегату. Щит уявляє собою сталевий лист складної конфігурації. Кріплення щита здійснюється: п'ять болтами до вертикальної частини рами машинного боку і чотири шпильками до компресору, причому використовується ті шпильки, якими здійснено кріплення фланцу електродвигуна до корпусу компресора. При випробуваннях рефрижераторної секції ZB-5 на щиті наклеювались тензодатчики (у доступних місцях), а також вимірювався прискорення компресору для оцінки інерційних навантажень, які діють на щит. Розроблена модель щита і проведені розрахунки дозволили встановити, що найбільшу дію на щит чинять вертикальні динамічні навантаження. Порівняння напружень, що одержані розрахунком в кінцевих елементах відповідних координатно розташованих тензодатчиків з експериментальними даними дало розбіг не більш 8-10%, що цілком припустимо. На другому етапі досліджень за допомогою моделі були визначені зусилля, які діють на шпильки кріплення щита до компресора. Міцнісні розрахунки шпильок на згин і зріз підтвердили невідповідність зруйнування шпильок при випробуваннях секції ZB-5, а пропонувані, підсилені у середній частині шпильки, витримали ресурсні випробування секції ZB-5.

З боку випаровувача холодильного агрегату ФАЛ-058/7 досліджувалась міцність рамок випаровувача, за допомогою яких він кріпиться до умільницької плити агрегату, а також дифузора випаровувача, на якому розташовані вентилятори випаровувача.

Розроблена модель для розрахунків міцності рамок випаровувача дозволила довести достатню міцність рамок випаровувача і тим самим підтвердити, що тріщина, яка виявлена на одному з двох холодильних агрегатів АРВ, є заводським браком при виготовленні.

Недостатня жорсткість і міцність дифузора випаровувача виявилася причиною виходу зі строю вентиляторів випаровувача. Розроблена модель і проведені розрахунки дозволили підтвердити невідповідність зруйнування, а також розробити заходи по підсиленні цього вузла. Зокрема додатковим штиком був закріплен низ дифузора, а також збільшена товщина фланців вентиляторів. Випробування АРВ і ZB-5 з серійними агрегатами ФАЛ-058/7, де реалізовані ці зміни, показали достатню міцність цих вузлів.

В цій главі приведені основні відмови несучих елементів, дизельгенераторного обладнання і пропозиції по їх усунуванню.

Далі приведені результати випробувань повітропроводу і кріп-

лень гальмового обладнання вагону для мінеральних добрив і платформи. Для проведення випробувань на базі діючих інструкцій по експлуатації гальмів була розроблена технологія перевірки цілості і працездатності гальмів у процесі випробувань, вона викладена у додатку і дисертації.

У главі дається спліт динамічних напружень, які виміряні поблизу різбових з'єднань, відзначається, що вони мають лінійну залежність від сили в автозцепі. При силах удару  $< 2,5 \text{ МН}$ , напруження не перебільшують допущених для деталей гальма  $145 \text{ МПа}$ . Порівняння одержаних напружень з наданими аналогічних вимірювань, проведені ВНАІЗТ для порожнього полувагону, показало практичний збіг результатів.

У процесі ресурсних випробувань витіки усувалися 5 разів за час імітації 28 років експлуатації, витіки усувалися після того, як цілість системи припиняла відповідати вимогам інструкції по експлуатації гальмів.

За даними експлуатації відчипних ремонтів вантажних вагонів по причині "не функціонування" гальмового обладнання явище розповсюджене, тому були проведені дослідження по визначенні коефіцієнту концентрації у трубах, що вноситься різбовим з'єднанням. Перерахунком динамічних напружень, які виміряні на гладкій частині труби поблизу різб з урахуванням галтельного переходу, одержан коефіцієнт концентрації 2. По "Нормам..." пропонується приймати коефіцієнт 3.7. Для уточнення були проведені лабораторні випробування на розрив зразків труб без різби і з різбом. По залишковим деформаціям був обчислений коефіцієнт концентрації, для магістральної труби він склав 3,1. З урахування цього коефіцієнту напруження у різбових з'єднаннях при максимально припустимих силах спієударів досягають рівня що допускається.

При випробуваннях гальмової системи платформи встановлено, що за рахунок меншої інерційності кузову, ніж у АРВ і мінераловозі, припустимі прискорення  $10g$  на обладнанні вагону виникають при значно менших силах ударів. За час імітації строку служби платформи 32 років витіки усувалися 4 рази.

Таким чином, по результатам випробувань гальмових систем встановлено, що при належному обслуговуванні гальмових систем під час щорічних деповських ремонтів, не треба без особливої необхідності розвінчувати різбові з'єднання гальмової системи. Тим самим буде поліпшена цілість і зменшені витіки повітря при експлуатації поїздів.

В п'ятій главі приведені результати досліджень міцності перегородки АРВ і рами вагону-термосу.

В процесі багаторічної експлуатації рефрижераторних вагонів старотипове холодильне обладнання, яке не володіло достатньою ударною витривалістю, виходило зі строю. Для заміни цих старотипових агрегатів на базі ФАЛ-056/7 були розроблені агрегати ФАЛ-056/7Е і 056/7ЕМ, які мають більшу масу. Тому були проведені міцнісні розрахунки і випробування перегородки АРВ з метою з'ясування залишкової міцності для настанови більш важких агрегатів. Розроблена модель перегородки і проведені за допомогою НКЕ розрахунки дозволили не тільки показати недостатню міцність існуючої конструкції перегородки, але і запропонувати варіанти її підсилення. В процесі випробувань було підтверджено, що запропоновані заходи по підсиленні перегородки достатні і забезпечують міцність останньої при настанові нових агрегатів.

В цій ж главі приведені результати випробувань вагонів-термосів з конструкцією кузову типу "сендвіч" вписані особливості конструкції: хребтова балка у середній частині (між шкворневими перетинками) за допомогою 21 поперечної балки пов'язана з бічними позовнішніми балками так, що між підлогою і хребтовою балкою з'являється зазор.

При ресурсних випробуваннях у 1989 році було виявлено ряд недоліків конструкції цього вагону, зокрема, встановлено, що підрядність поперечних балок з двотавру №8 не забезпечує міцність конструкції рами при вертикальних коливаннях хребтової балки. Комісійний огляд 12 вагонів-термосів через п'ять років їх експлуатації виявив наявність практично всіх зіпсувань, які визначені при випробуваннях, були розроблені рекомендації по підсиленні рам експлуатуючих вагонів-термосів і знос будуваних. Випробування нового вагону з запропонованими змінами показали достатність підсилення. Модернізовані вагони-термоси також були випробувані. Візнівка строків служби елементів, які спостерігали за результатами випробувань, показали, що їх витривалість підвищилась у 9-37 разів.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблена методика проведення прискорених форсованих випробувань на ударну витривалість, вона заснована на наступних положеннях:

1.1. Враховуючи лінійну залежність напружень у несучих елементах кузову і кріпленнях обладнання вагону від позовнішньої сили в двохчепі, можливо при випробуваннях як величини ушкоджувачої дії використовувати величини позовнішньої сили.

1.2. При проведенні ударних випробувань сила відтворюється з розбігом, тому під час випробувань наробку потенціалу ушкоджень треба визначати по запропонованим у роботі формулам, використовувачи найбільші значення вимірювань у автозчепі сил, або напружень у відповідальному місці. Кількість ударів обмежується числом, коли з визначеним запасом потенціал ушкоджень при випробуваннях порівнюється з потенціалом ушкоджень на протязі нормативного строку експлуатації.

1.3. Показано, що при ударах основні елементи рами кузову, поперечні балки підлоги, торцові стіни, елементи обладнання вагону одержують різну ушкоджуючу дію. Таким чином, при проведенні випробувань на витривалість і довговічність ушкодження цих елементів різне, що приймається до уваги при підрахунках потенціалу, який характеризує рівень нагромаджених ушкоджень.

1.4. При перехідних режимах руху поїздів виникають ударні дії на вагон. Нагромадження стоячених ушкоджень, особливо для порожніх вагонів, які виникають від таких режимів, слід враховувати і їх можливо імітувати співударами вагонів.

1.5. Визначені шіри величини ушкоджуючої дії несучих елементів рами торцевих стін, навісного обладнання рефрижераторних вагонів, поперечних балок вагону термосу, гальмових систем вантажних вагонів.

2. Встановлено, що на формування сили в автозчепі і напружений стан рами впливають не тільки фрикційні пари тертя поглинаючого апарату, але і ударна взаємодія п'ятикилів кузова і підп'ятикилів візків вагону, при обранні конструкційних зазорів у цьому вузлі.

3. Розроблені розрахункові схеми і кінцево-елементні моделі несучої рами агрегату ФАА-050/7 цита компресору, дифузора вентиляторів, випаровувача, перегородки між машинним і вантажним відділеннями АРВ. Результати розрахунків відрізняються від результатів дослідів не більше 12%. Запропоновані варіанти підсилення, ефективність яких підтвержена наступними випробуваннями.

4. Проведен аналіз існуючих методів випробувань гальмових систем вантажних вагонів. Розроблена і затверджена ЦВ МВС альтернативна програма випробувань гальмових систем вантажних вагонів. Із застосуванням запропонованої методики проведено цикл випробувань на ударну витривалість гальмового обладнання вантажних вагонів.

5. Проведені випробування зразків труб, визначен коефіцієнт концентрації, який зумовлен різьбов на трубах гальмової системи.

6. По розробленій методиці проведені випробування вагону-термосу конструкції "сендвіч". Досліджена навантаженість поперечних балок рами вагону-термосу. Запропоновані варіанти підсилення поперечних

балок, вузел кріплення запасного резервуару, гальмового циліндру, трубки яка веде від гальмової магістралі до крану вмикання повіторозподільника, як на вже збудованих вагонах, так і на знов будучих. Ефективність запропонованих варіантів підсилення підтверджена проведеними випробуваннями.

Основний зміст дисертації опубліковано у наступних роботах:

1. Юрченко А.В., Іваницкий Р.П., Колбун В.В. и др. Статический расчет рамы холодильного агрегата ФАД-056/7 с помощью МКЭ. // Днепропетр. ин-т инж. х.-д. трансп. - Днепропетровск. 1982. - 13с. Деп. в ЦНИИ ТЭИ ИПС. - №1862-нд.
2. Іваницкий Р.П., Колбун В.В., Вискребенцев А.Я. К расчету несущих конструкций оборудования автономных рефрижераторных вагонов. // Механ. сб. научн. тр. / ДИИТ - 1983. - Проблемы динамики и прочности железнодорожного подвижного состава. - С.48-52.
3. Вискребенцев А.Я., Іваницкий Р.П., Колбун В.В. Расчет перегородки кузова рефрижераторного вагона постройки ГДР. // Механ. сб. научн. тр. / ДИИТ-1985. - Динамика, нагруженность и надежность подвижного состава. - С.128-135.
4. Брнза А.А., Колбун В.В. Расчет на прочность крепежного цита компрессора холодильного агрегата АРВ. // Механ. сб. научн. тр. / ДИИТ. - 1986. - Динамическая нагруженность железнодорожного подвижного состава С.127-133.
5. Манашкин Л.А., Вискребенцев А.Я., Колбун В.В. Некоторые особенности формирования напряженного состояния кузовов автономных рефрижераторных вагонов при продольных ударах. // Механ. сб. научн. тр. / ДИИТ-1988. - Динамическая нагруженность железнодорожного подвижного состава. - С.97-104.
6. Blochin E.P., Manaschkin L.A., Kolbun V.V., Schnetder M. und Eischelsdorfer D. Dauerstossprüfung von Kuhlwagen. // Glasers Annalen, die Eisenbahntechnik. - 1991-N9-Berlin. - S.282-284.
7. Іваницкий Р.П., Колбун В.В. Обеспечение с помощью МКЭ надежности форсированных испытаний вагонов на ударную выносливость. // Проблемы механики железнодорожного транспорта / Тезисы докл. Всес. конф. (май 1984) - Днепропетровск, 1984 - С.24.
8. Манашкин Л.А., Колбун В.В. Ресурсные испытания грузовых вагонов на выносливость. // Перспективы развития вагоностроения / Тезисы докл. Всес. научн.-техн. конф. - М.: ВНИИВ, 1988. - С.132-133.
9. Манашкин Л.А., Колбун В.В. Об ускоренных ресурсных испытаниях на ударную выносливость тормозных систем грузовых вагонов. // Проблемы механики железнодорожного транспорта / Тезисы докл. Всес. конф. (май 1988) - Днепропетровск, 1988 - С.26.

## АННОТАЦИЯ

Колбун В. В. Исследование ударной выносливости оборудования и кузовов грузовых вагонов. - Рукопись. - Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 - подвижной состав железных дорог и тяга поездов, Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта, Днепропетровск, 1998.

Защитаётся 9 научных статей, которые содержат основные положения методики ускоренных ресурсных испытаний на ударную выносливость грузовых вагонов, а также результаты испытаний и исследования прочности и ударной выносливости рефрижераторных вагонов и их оборудования; тормозных систем вагона для минеральных удобрений и платформ; вагона-термоса конструкции "сэндвич". Учитывая линейную зависимость напряжений в несущих элементах кузова и оборудования вагона от продольной силы в автосцепке, она используется в качестве повреждающего воздействия. Для исследования прочности разработаны расчётные схемы и конечно-элементные модели рамы агрегата ФАА-058/7, вала компрессора, диффузора вентиляторов испарителя, перегородки между машинным и грузовым отделениями рефрижераторного вагона. Проведены расчёты, результаты расчётов сравниваются с результатами испытаний и хорошо согласуются. Даны рекомендации по усилению отказовых при испытанных элементов. Практически все рекомендации проверены последующими испытаниями и использованы при производстве серийной продукции.

## Abstract

V.V. Kolbun. Investigation of the shock endurance of freight cars equipment and bodies. - The manuscript. - The Candidate of Technical Sciences Thesis in the "Railway Rolling Stock and Trains Traction" speciality 05.22.07. Dnepropetrovsk State Technical University of Railway Transport, Dnepropetrovsk, 1998.

Nine scientific articles are being defended. They contain the basic issues of a method developed to perform the accelerated resource tests on the shock endurance of freight cars as well as the results of the tests and investigations on the strength and shock endurance of refrigerator cars and their equipment, of the brake systems of a wagon for mineral fertilizers and a flat car, of a thermostatic "sandwich" type car.

Taking into consideration the linear dependence of strains, arising in the supporting elements of a car body from the longitudinal force in an automatic coupling, this longitudinal

force is used as a damaging factor.

To perform the strength investigations the calculation schemes and the finite-element models were developed for the frame unit FAL-056/7, for the compressor's shield, for the diffuser of an evaporating ventilator, for the partition between the power and freight compartments of a refrigerator car. The calculations have been carried out, their results have been compared with the test results and the good agreement has been obtained.

The recommendations how to strengthen the elements which failed during the tests have been. In fact, all the recommendations have been verified by the subsequent tests and have been used in the serial production.

**Ключові слова:** навантаженість, динамічна напруга, сила удару, автономний рефрижераторний вагон, розрахункова схема.

НТБ  
ДНУЗТ

**КОЛБУН ВІКТОР ВІКТОРОВИЧ**  
**Дослідження ударної витривалості обладнання та**  
**кузовів вантажних вагонів.**

**05.22.07 - Рухомий склад залізниц та тяга поїздів.**

Підписано до друку 15.03.96. Формат 60x84 1/16  
Папір для розмножувальних апаратів. Друк офсетний.  
Ум.-друк. арк.1,0. Обл.-вид. арк. 0,6. Зак. І94.  
Тираж 100 примірників.Безкоштовно.

Адреса дільниці оперативної поліграфії:  
320700, Дніпропетровськ, вул.Акад.Лазаряна, 2.