

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

**ІВЧЕНКО Володимир Олексійович**

УДК 629.4.027.1.015

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ РЕСОРНОГО ПІДВІШУВАННЯ  
ХОДОВИХ ЧАСТИН ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ**

05.22.07 - рухомий склад залізниць та тяга поїздів

***АВТОРЕФЕРАТ***

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі “Вагони” Київського університету економіки і технологій транспорту Міністерства транспорту та зв’язку України.

**Науковий керівник** – доктор технічних наук, професор

**ДЬОМІН Юрій Васильович,**

Київський університет економіки і технологій транспорту, галузева науково-дослідна лабораторія перспективного рухомого складу і спеціальної техніки, науковий керівник – головний науковий співробітник.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор

**ГОЛОВКО Владислав Федорович,**

Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра “Вагони”, завідувач;

кандидат технічних наук

**ДОНЧЕНКО Анатолій Володимирович,**

Державний Український науково-дослідний інститут вагонобудування, директор.

**Провідна установа** – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра “Вагони”, Міністерство транспорту та зв’язку України, м. Дніпропетровськ.

Захист відбудеться “9” березня 2005 р. о 13<sup>30</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 Української державної академії залізничного транспорту за адресою: *61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.*

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: *61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.*

Автореферат розіслано “7” лютого 2005 р.

спеціалізованої вченої ради

Вчений секретар  
Колесник І.К.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Вступ.** Конкурентоздатність залізничного транспорту на ринку транспортних послуг суттєво залежить від техніко-експлуатаційних характеристик рухомого складу, який використовується для перевезень. Досвід розвитку парку спеціалізованих вантажних вагонів нового покоління в країнах-учасницях УІС (Міжнародний союз залізниць) вказує на сталу тенденцію щодо поліпшення швидкісних характеристик, підвищення рівня безпеки руху й забезпеченості експлуатаційної надійності. У зв'язку з цим значна увага приділяється удосконаленню ходових частин (візків) рухомого складу.

**Актуальність теми.** Завдання підвищення швидкостей руху вантажних поїздів за умови забезпечення безпеки руху й віброзахисту вантажів, чутливих до вібрацій, вимагає нових технічних вирішень стосовно вагонних візків взагалі й зокрема їхнього ресорного підвішування. Тому в теперішній час ведуться інтенсивні роботи зі створення нових ходових частин для вантажних вагонів, у тому числі для спеціалізованих вагонів нового покоління. Передбачено також вдосконалення візків вантажних вагонів експлуатаційного парку з метою збільшення міжремонтних пробігів.

В дисертаційній роботі розв'язується задача з визначення раціональних параметрів силових характеристик ресорного підвішування візків вантажних вагонів й конструктивної реалізації рекомендованих технічних вирішень. Головну увагу приділено дослідженню щодо застосування ресорного підвішування з нелінійною (білінійною) силовою характеристикою і клинових гасителів коливань нових конструкцій.

Оскільки технічні характеристики залізничного рухомого складу в значній мірі визначаються конструктивним виконанням і параметрами ходових частин, тому завдання щодо удосконалення конструкцій ходових частин вантажних вагонів нового покоління, а саме їх ресорного підвішування, є актуальним і має велике значення для технічного переозброєння вагонного парку залізниць України.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота безпосередньо пов'язана з науково-дослідною роботою за темою “Розробка наукових основ створення транспорту для комбінованих перевезень” (№ державної реєстрації 0199U000333), яка виконувалась в Київському університеті економіки і технологій транспорту (КУЕТТ) за завданням Міністерства транспорту України протягом 1999-2003 рр. В рамках даної НДР автором виконані дослідження, результати яких обґрунтовують нові технічні вирішення щодо конструкції ресорного підвішування ходових частин, які сприяють поліпшенню динамічних якостей вантажних вагонів. Запропоновані вирішення засновані на концепції комплексної модернізації візків серійного виробництва, зокрема системи ресорного підвішування.

Конкретні технічні вирішення вузлів візків розроблені за участю автора під час виконання на замовлення Укрзалізниці НДР за темою “Розробка пружних бокових ковзунів і клинових гасителів коливань для модернізації візків вантажних вагонів” (договір № 152/2000 – 858.00 – Цтех від 12.07.2000 р.). За результатами даної роботи визначено напрямки покращення динаміко-експлуатаційних якостей вагонів шляхом удосконалення характеристик ходових частин, реалізації конкретних технічних рішень з розрахунковою перевіркою ефективності модернізації вагонних візків.

Експериментальна частина дисертації виконана у рамках НДР за темою “Дослідження динаміко-експлуатаційних властивостей модернізованих візків типу ДК для вантажних вагонів”, яку розроблено за договором № 188/03-7.03-ЦТех від 22.04.2003 р. між КУЕТТ і Укрзалізницею.

**Мета і задачі дослідження.** *Метою* дисертаційної роботи є наукове обґрунтування і розробка технічних вирішень, спрямованих на забезпечення поліпшених динаміко-експлуатаційних характеристик ходових частин вантажних вагонів нового покоління шляхом удосконалення конструкції ресорного підвішування.

Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні *основні задачі*:

- аналіз техніко-експлуатаційних характеристик ходових частин вантажних вагонів колії 1520 мм і колії 1435 мм, та визначення основних напрямків їх удосконалення;

- дослідження впливу конструкційних особливостей і характеристик ресорного підвішування на динамічні властивості ходових частин вантажних вагонів як у порожньому, так і в завантаженому стані;

- визначення практичних шляхів удосконалення вузлів візків відповідальних за динаміко-експлуатаційні якості вагонів і розробка технічних пропозицій щодо поліпшення характеристик їхнього ресорного підвішування;

- обґрунтування основних технічних характеристик ходових частин вантажних вагонів нового покоління, визначення конструктивної схеми і формування загальних вимог до швидкісних візків.

*Об'єкт дослідження.* Процеси в ресорному підвішуванні вантажних вагонів під впливом силових дій.

*Предмет дослідження.* Динаміко-експлуатаційні характеристики вантажних вагонів з удосконаленою конструкцією ресорного підвішування ходових частин.

*Методи дослідження.* Virішення завдань дисертаційної роботи здійснено на основі системного підходу до вибору конструкційних схем ресорного підвішування візків з використанням методів імітаційного моделювання й статистичного аналізу процесів вимушених коливань вантажних вагонів. Експериментальну перевірку ефективності запропонованих технічних вирішень виконано методами і засобами натурних випробувань рухомого складу залізниць.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- обґрунтовано доцільність використання ресорного підвішування з нелінійними силовими характеристиками, в основу конструкції якого покладено дворезимність пружинного комплекту та стабільність характеристик поверхневого тертя робочих елементів клинового гасителя коливань;

- уточнено розрахункову математичну модель вертикальної динаміки вантажного вагона з використанням завдання випадкових збурень відповідно до узагальнених рекомендацій;

- сформульовано концепційні положення створення ходових частин для спеціалізованих вагонів нового покоління з підвищеними конструкційними швидкостями.

**Практичне значення одержаних результатів:**

- запропоновані технічні вирішення щодо удосконалення конструкції ресорного підвішування дозволяють практично вирішити проблеми недостатнього статичного прогину в порожньому режимі експлуатації вантажних вагонів та стабільності роботи фрикційних гасителів коливань клинового типу;

- розроблений комплекс вимог і рекомендацій щодо вибору конструктивних схем і параметрів ресорного підвішування становлять основи визначення при проектних роботах технічних характеристик ходових частин вантажних вагонів нового покоління, у тому числі з можливістю експлуатації в міжнародному сполученні.

За рішенням науково-технічної ради Укрзалізниці з вагонного господарства Київським проектно-конструкторсько-технологічним бюро по вагонах розроблено робочі проекти візків, в яких використано рекомендації автора щодо впровадження ресорних комплектів з білінійною залежністю прогинів від навантаження і клинових гасителів коливань нових типів. За розробленими проектами на Дарницькому вагоноремонтному заводі були виготовлені дослідні зразки візків типу ДК-01 і ДК-02.

Результати дисертаційної роботи, якими обґрунтовано загальні вимоги до візків вантажних вагонів нового покоління і рекомендації щодо вибору параметрів їх ресорного підвішування використані АТ „Дніпровагонмаш” при проектуванні швидкісних візків вагона-платформи для комбінованих перевезень.

У подальшому передбачається розширене впровадження результатів роботи, які пов'язано зі створенням швидкісних ходових частин для вантажних вагонів нового покоління.

**Особистий внесок здобувача** в наукових працях, окрім опублікованих самостійно [1-3], полягає в наступному:

- в роботі [4] виконано відповідні динамічні розрахунки для оцінки ефективності застосування нових конструктивних варіантів ресорного підвішування в візках вантажних вагонів типу ДК-01, ДК-02 та визначено раціональні значення жорсткості пружинних комплектів з білінійною характеристикою, геометричні і фізичні параметри фрикційної клинної системи;

- в роботі [5] викладено основні положення щодо вимог до ходових частин вантажних вагонів нового покоління, представлені результати належать авторам в однаковій мірі;

- в роботі [6] проведено порівняльний аналіз щодо впливу конструкційних змін в ресорному підвішуванні на динамічні показники напіввагонів на модернізованих візках;

- виконано розрахунки з визначення основних параметрів фрикційного гасителя коливань нової конструкції [7];

- в додаткових працях [1, 2, 5] виконано розрахунки з визначення динамічних показників спеціалізованих вагонів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати і положення дисертації доповідались й обговорювались на Міжнародній науковій конференції “TRANSPORT XXI WIEKU” (м. Варшава, Польща, вересень 2001 р.), на XV Науково-технічній конференції “POJAZDY SZYNOWE 2002 ” (м. Вроцлав, Польща, вересень 2002 р.), на III Науково-технічній конференції “Подвижной состав XXI века” (м. Санкт-Петербург, Росія, липень 2003 р.), на XIII міжнародній науково-технічній конференції “Проблемы развития рельсового транспорта” (м. Ялта, вересень 2003 р.), на XVI Міжнародній конференції “CURRENT PROBLEMS IN RAIL VEHICLES – PRORAIL 2003” (м. Жиліна, Словаччина, жовтень 2003 р.), на I Науково-практичній конференції “Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління” (м. Київ, грудень 2003 р.), на XI міжнародній конференції “Проблеми механіки залізничного транспорту: динаміка, міцність та безпека руху рухомого складу” (м. Дніпропетровськ, травень 2004 р.). В цілому роботу представлено на міжкафедральному семінарі КУЕТТ (м. Київ, червень 2004 р.).

**Публікації.** Основні результати дисертаційних досліджень опубліковано в шести наукових працях в провідних наукових фахових виданнях, затверджених ВАК України, одержано патент України на винахід. Додатково результати

дисертаційної роботи представлено у матеріалах 6 доповідей на міжнародних наукових конференціях.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний об'єм роботи складає 189 сторінок, у тому числі 143 сторінки тексту, 66 рисунків, 14 таблиць, список використаної літератури із 117 найменувань, що викладені на 11 сторінках, 4 додатків на 35 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми дослідження, сформульована мета роботи. Представлено основні шляхи вирішення задачі на основі системного підходу до вибору конструкційних схем ресорного підвішування візків шляхом комп'ютерного моделювання й аналізу процесів вимушених вертикальних коливань вантажних вагонів з експериментальною перевіркою ефективності запропонованих технічних вирішень методами і засобами натурних випробувань рухомого складу залізниць.

**У першому розділі** дисертаційної роботи зосереджено результати короткого аналітичного огляду існуючих і перспективних конструкцій ходових частин вантажних вагонів як в Україні, так і за кордоном, а також подано огляд публікацій, присвячених дослідженням, які спрямовано на вирішення проблем розробок ходових частин, поліпшення характеристик систем ресорного підвішування й удосконалення конструкцій фрикційних гасителів коливань.

**У розвитку наукових підходів до визначення раціональних конструкційних схем і параметрів ходових частин рухомого складу** визначну роль відіграли фундаментальні праці академіка В.А.Лазаряна, а також його учнів і послідовників – Є.П.Блохіна, В.Д.Дановича, Л.А.Длугача, Ю.В.Дьоміна, М.Л.Коротенка, О.А.Львова, О.М.Савчука, В.Ф.Ушкалова та ін. У створенні удосконалених конструкцій вагонів різного призначення та їх вузлів значний вклад належить вітчизняним вченим – Г.І.Богомазу, В.М.Бубнову, В.Ф.Головку, А.В.Донченку, М.Б.Кельріху, А.О.Радзіховському та ін. Видатних успіхів у розробках вагонних конструкцій, зокрема візків, досягнуто російськими вченими-залізничниками – П.С.Анісімовим, С.В.Вершинським, Ю.П.Бороненком, Л.Й.Грачовою, В.М.Котурановим, Ю.С.Роменом, М.М.Соколовим, О.О.Хохловим, В.Д.Хусідовим, Л.А.Шадуром та ін.



Переважну більшість магістральних вантажних вагонів колії 1520 мм обладнано двовісними візками моделі 18-100 – тип ЦНИИ-ХЗ. Конструктивна схема візка моделі 18-100 заснована на принципі переважного використання технічних вирішень зв'язків несучих елементів у вигляді відкритих вузлів тертя з нестабільними характеристиками. За результатами натурних випробувань вантажних вагонів було доведено, що при швидкостях руху до 60...80 км/год, а в окремих випадках і вище, ресорне підвішування візків блоковано клиновими гасителями коливань і спрацьовує лише при ударних навантаженнях.

Клинові демпфери типових візків вантажних вагонів колії 1520 мм у процесі їхнього промислового виробництва неодноразово піддавалися модернізації. Разом з тим, стосовно конструкційних вирішень візків, залишаються недостатньо розробленими питання вибору параметрів гнучкості й демпфірування ресорного підвішування з урахуванням суттєвої різниці між режимами експлуатації вантажних вагонів у порожньому і навантаженому станах. Ці питання мають особливу актуальність у зв'язку з перспективами створення спеціалізованих вагонів нового покоління. Тому для технічного переозброєння вагонного господарства необхідний постійний пошук нових конструктивних рішень, спрямованих на поліпшення технічних характеристик ходових частин вантажних вагонів.

**Другий розділ** дисертації присвячено дослідженню впливу конструктивних змін ресорного підвішування на динамічні характеристики вагонів. Показано, що застосування для вантажних вагонів нового покоління в якості ходових частин типових візків моделі 18-100 істотно обмежує швидкісні можливості спеціалізованих вагонів.

Виходячи з необхідності внесення відповідних змін у пристрій клинового гасителя коливань та вибору параметрів ресорного підвішування, основну увагу зосереджено на уточненні робочої моделі характеристик демпфірування клинової системи. Доведено, що для забезпечення раціональних значень параметрів як у навантаженому, так і в порожньому станах спеціалізованих швидкісних вантажних вагонів їх ресорне підвішування повинно бути дворезимним, тобто мати білінійну силову характеристику.

Силова характеристика ресорного підвішування, яке працює в двох режимах, описується наступним чином:

$$P = k_{\text{в}} \cdot Z_{\text{в}} + k_{\text{н}} \cdot Z_{\text{н}} + 2 \cdot k_{\text{кл}} \cdot Z_{\text{кл}} \pm 2 \cdot F_{\text{тр}}^{\text{н/в}}, \quad (1)$$

де  $k_{\text{в}}$ ,  $k_{\text{н}}$  - сумарна жорсткість відповідно високих і низьких пружин під надресорною балкою;  $k_{\text{кл}}$  - жорсткість підклинової пружини;  $F_{\text{тр}}^{\text{н/в}}$  - сила тертя в гасителі (знак “+” береться при спадному, а знак “-” – при висхідному русі

надресорної балки);  $Z_{\text{в}}$ ,  $Z_{\text{п}}$ ,  $Z_{\text{кл}}$  - прогини відповідно високих, низьких та підклинових пружин.

Залежність сили, яка діє в ресорному підвішуванні, від його прогину, тобто силова характеристика, що описана виразом (1), в загальному випадку графічно зображується так, як це показано на рис. 1. Отже ресорне підвішування за запропонованою конструкційною схемою має білінійну силову характеристику, тобто складається з двох ділянок – при навантаженні до вмикання занижених пружин працюють тільки підвищені пружини. За даною схемою жорсткість підвішування вагона в порожньому стані майже вдвічі менша, ніж жорсткість в навантаженому стані.



Рис. 1. Силові характеристики.

1 – гілка навантаження; 2 – гілка розвантаження;  $Z_{\text{ст}}$  – критична деформація;  $Z_{\text{max}}$  – максимальна деформація.

Для забезпечення рівномірного навантаження робочих поверхонь клинів за рахунок щільного прилягання їх до фрикційних планок і похилих поверхонь надресорних балок запропоновано виготовляти клини з вставками у вигляді циліндричних сегментів, як це показано на рис. 2. В даному гасителі коливань клини мають можливість самовстановлювання.

З метою усунення принципових недоліків клинового гасителя коливань запропоновано також принципово іншу схему гасителя коливань клинового

типу, а саме гасителя з постійною силою тертя. Схему ресорного підвішування з новим гасителем коливань приведено на рис. 3.

Силова характеристика ресорного підвішування з гасителем коливань постійного тертя описується наступним виразом:

$$P = k_B \cdot Z_B + k_H \cdot Z_H \pm 2 \cdot F_{\text{тр}}^{H/B}, \quad (2)$$

де  $k_B, k_H$  - сумарна жорсткість, відповідно високих і низьких пружин під надресорною балкою;  $Z_B, Z_H$  - прогини, відповідно високих та низьких пружин.

Графічно силову характеристику ресорного підвішування з гасителями постійного тертя, яка описується виразом (2), представлено на рис. 4 (тут позначення гілок таке ж, як і на рис. 1).

Для оцінки впливу на динамічні показники вагонів запропонованих змін у конструкції ресорного підвішування, використано розрахункову схему вантажного вагона у вигляді класичної механічної системи з трьох твердих тіл: кузов і дві невіддресорені частини візків, які включають бічні рами і колісні

пари. З'єднання кузова з непідресореними частинами візків здійснюється пружно-фрикційними елементами з параметрами, які відображають характеристики ресорного підвішування.

Виходячи з поставленої задачі щодо удосконалення конструкції ресорного підвішування для забезпечення умов безпеки руху поїздів при підвищених швидкостях руху проведено порівняльні динамічні розрахунки для вагонів з різними конструкційними варіантами ресорного підвішування:

I варіант – ресорне підвішування з білінійною силовою характеристикою і гасителями коливань зі складеними клинами (клини з сегментними вставками);

II варіант – ресорне підвішування з білінійною силовою характеристикою і клиновими гасителями коливань постійного тертя;

III варіант – ресорне підвішування серійного візка моделі 18-100.

При дослідженні динамічних якостей вагонів зі змінами у конструкції ресорного підвішування за варіантами I і II варіювались параметри ресорного підвішування, такі як: жорсткість пружинних комплектів, кути нахилу поверхонь тертя клинового гасителя коливань, значення коефіцієнтів тертя ковзання, положення точки зламу силової характеристики, жорсткість підклинової та клинової пружин, величина попереднього стиску клинової пружини.

На рис. 5 приведено графіки залежностей вертикальних прискорень п'ятникових вузлів напіввагонів від швидкості руху. Тут номери кривих відповідають порядку п'ятників за напрямком руху вагонів, причому залежності, які представлено кривими 1 і 2, відносяться до порожнього режиму, а 1' і 2' – до навантаженого. Приведені дані одержані при розрахунковому значенні коефіцієнта тертя ковзання 0,25.

Аналіз розрахункових даних показав, що максимальні значення прискорень отримано для розрахункової моделі напіввагона на візках серійного виробництва (варіант III). З рис. 5 видно, що прискорення напіввагонів з ресорним підвішуванням за варіантами I і II в діапазоні швидкостей до 160 км/год не перевищують нормативних значень для порожнього стану ( $7 \text{ м/с}^2$ ). Водночас прискорення напіввагона на візках моделі 18-100 (варіант III) в порожньому режимі наближаються до гранично допустимих ( $6,52 \text{ м/с}^2$ ) вже при швидкості руху 50 км/год. Величина прискорень у порожньому стані для I і II варіантів ресорного підвішування знаходиться майже на одному рівні (розбіжність не перевищує 7%).

Зіставивши три конструкційні варіанти за рівнем прискорень у порожньому стані, можна констатувати, що прискорення, відзначені для I і II варіантів при швидкості 50 км/год у 2,5 рази нижче відповідних величин для вагона на візках моделі 18-100 (варіант III). У діапазоні швидкостей від 50 до 100 км/год рівень прискорень для I та II варіантів у 1,5-1,7 разів нижче, ніж для III варіанту. При збільшенні швидкості понад 100 км/год спостерігається незначне збільшення рівня прискорень для I і II варіантів, чого не можна сказати про III варіант.

Прискорення кузовів напіввагонів в навантаженому стані для усіх трьох конструкційних варіантів характеризується достатньо низьким рівнем у всьому досліджуваному діапазоні швидкостей руху.

За рекомендаціями, розробленими за результатами досліджень автора, Дарницьким вагоноремонтним заводом (ДВРЗ) виготовлено два вагонокомплекти дослідних зразків модернізованих візків типів ДК-01 і ДК-02.

**Третій розділ** присвячено експериментально-теоретичній оцінці ефективності нових технічних вирішень стосовно конструкції ресорного підвішування вантажних вагонів. Дослідними і типовими візками було обладнано три напіввагони – № 67884312 (візки типу ДК-01), № 67909705 (візки типу ДК-02) і № 66722828 (візки моделі 18-100). (Останній напіввагон служив у якості вагона-еталона.) Ці вагони було піддано ходовим динамічним випробуванням у відповідності до затверджених програми і методики.

Для співставлення даних натурного експерименту з результатами імітаційного моделювання розроблену раніше динамічну модель вантажного вагона уточнено в частині збурювань, що задаються. При цьому використано методику моделювання випадкових збурень від нерівностей колії, розроблену в

КУЕТТ з урахуванням рекомендацій керівного документа, що регламентує розрахункові нерівності залізничної колії при дослідженнях й проектуванні пасажирських і вантажних вагонів.

Відповідно до уточненої методики завдання збурень функцію спектральної щільності еквівалентної розрахункової нерівності прийнято у вигляді аналітичного виразу:

$$\bar{G}_\eta(f) = \frac{b_1 V^{y_1-1}}{f^{y_1}} + \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \sum_{j=1}^m \frac{a_j}{\alpha_j V} \exp \left[ -\frac{(f - \beta_j V)^2}{4\alpha_j^2 V^2} \right], \quad (3)$$

де  $\bar{G}_\eta(f)$  – функція спектральної щільності еквівалентної нерівності для колії середнього стану, мм/Гц;  $b_1, y_1, a_j, \alpha_j, \beta_j$  – параметри, які визначаються з умови достатньої точності апроксимації експериментальних кривих;  $V$  – швидкість руху, м/с;  $f$  – частота, Гц.

Моделювання збурювань від нерівностей залізничної колії у вертикальному напрямку зі спектральною щільністю, яку визначено виразом (3), було проведено в системі “Mathcad”. Розглянуто частотний діапазон з  $f_{\max} = 100$  Гц.

З метою обґрунтування отриманого результату, було знайдено спектральну щільність сформованого процесу (реалізації) і доведено, що вона збігається зі спектральною щільністю, заданою виразом (3). При чисельній оцінці спектральної щільності доцільніше використовувати метод прямого перетворення Фур’є з використанням алгоритму швидкого перетворення Фур’є (ШПФ). Вважається, що досліджувана реалізація задана на обмеженому інтервалі  $[0, T_p]$ , умовно приймаючи, що поза цим інтервалом реалізація дорівнює нулю.

Спочатку були обчислені чисельні значення  $\{u_n\}$  реалізації в точках  $t_n = nh, n = 1, 2, \dots, N_t$ . Кількість точок  $N_t = 2^M$ , де показник ступеня  $M$  вибирався так, щоб частота зрізу  $f_c$  була досить високою ( $f_c > 100$  Гц):

$$f_c = \frac{1}{2h} \geq f_{\max}, \quad (4)$$

де  $h = T_p / N_t$  – крок дискретизації за часом.

Для обчислення коефіцієнтів ряду Фур’є було використано функцією ШПФ, яка вбудована в систему “Mathcad”, застосувавши її до вектора  $\{u_n\}$ . У результаті роботи функції одержано коефіцієнти ряду Фур’є, обчислені за формулою:

$$X_i = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} u_n \exp(-j \frac{2\pi \cdot n \cdot i}{N}) \quad (5)$$

на стандартних дискретних значеннях частоти  $f_i = i/T_p$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ .

Оскільки інтервал часу для ШПФ обрано  $T_p = 1/\Delta f$ , то дискретні значення частот  $f_i$  збігаються зі значеннями частот, при яких обчислювалися значення спектральної щільності. Якщо коефіцієнти ряду Фур'є визначено за формулою (6), то оцінка спектральної щільності на вказаних дискретних частотах мала вигляд:

$$G_i = 2h \cdot |X_i|^2 \quad (6)$$

На рис. 6 представлено спектральну щільність  $S_i$  (суцільна крива), задану виразом (4), і спектральну щільність  $G_i$  реалізації, сформованої за запропонованим алгоритмом (штрихова крива). Як видно, значення обох спектральних щільностей на частотах  $f_i$  близькі.

Оцінка вірогідності імітаційної моделі виконувалася шляхом зіставлення основних розрахункових динамічних показників з одержаними під час випробувань вагонів. Для дослідних напіввагонів співставлялись вертикальні прискорення п'ятникових вузлів (j). Результати моделювання порівнювалися з даними, які було отримано при проведенні натурних випробувань напіввагонів на різних ділянках колії (рис. 7).

На рис. 7 кривими 1 і 2 представлено графіки розрахункових прискорень п'ятникових вузлів, відповідно перших і других за напрямком руху вагонів. Криві 3 і 4 обмежують поля розкиду дослідних даних. Видно, що розрахункові дані лежать у діапазонах дослідних даних. Отже, в цілому модель адекватно відображає динамічну поведінку чотиривісних напіввагонів на візках типу ДК-01, ДК-02 і моделі 18-100 у вертикальній площині. Відхилення розрахункових даних від експериментальних в середньому не перевищують 11,5 %.

З експериментально-теоретичного аналізу динамічних якостей вагонів випливає, що прискорення напіввагонів на візках ДК-01 і ДК-02 в порожньому

стані при швидкостях руху до 130 км/год знаходяться на рівні, що допускається. Прискорення напіввагона на візках моделі 18-100 при швидкостях руху понад 70 км/год різко наростають і при 90...100 км/год наближаються до гранично допустимих.

В навантаженому режимі розглянуті динамічні показники для напіввагонів на візках типу ДК-01 та моделі 18-100 близькі за рівнем і задовольняють нормативним вимогам. Для напіввагона на візках типу ДК-02 одержані незадовільні динамічні показники, що свідчить про недостатню демпфірувальну спроможність виготовлених гасителів коливань.

**В четвертому розділі** наведено результати досліджень з метою обґрунтування основних технічних характеристик швидкісного візка перспективної конструкції для спеціалізованих вантажних вагонів нового покоління. При цьому розглянуто проблеми зв'язаності складеної рами візка, засоби спирання боковин на букси і кузова на надресорні балки, конструктивну реалізацію дворезорного ресорного підвішування.



Зокрема, розраховано загальну (еквівалентну) кутову жорсткість візка  $k_{\psi}$  за її складовими:

$$k_{\psi} = k_{\psi}^{\Pi} + k_{\psi}^{K\Pi} + k_{\psi}^M + k_{\psi}^{\Phi},$$

(7)де  $k_{\psi}^{\Pi}, k_{\psi}^{K\Pi}$  - кутова жорсткість з'єднання надресорної балки та боковини через ресорний комплект та клинову систему;  $k_{\psi}^M$  - кутова жорсткість з'єднання бічних рам між собою за допомогою муфт;  $k_{\psi}^{\Phi}$  - кутова жорсткість, яка створюється флексіонами, що знаходяться в несучих поперечних балках.

Запропоновано нове конструкційне вирішення вузла спирання бічної рами на буксу. Визначено, що за умови організації запропонованим чином буксового ступеню ресорного підвішування у вигляді елемента з еластомерного матеріалу можна забезпечити пружний зв'язок буксового вузла з бічною рамою візка у всіх напрямках. При цьому буксові пружні елементи за величиною кутової жорсткості можуть замінити несучі балки з флексіонами, і від них можна відмовитись. Це значно спростить конструктивну схему візка.

Стосовно системи спирання кузова на швидкісні візки запропоновано застосування сферичного підп'ятникового вузла і пружні бокові ковзуни. Сумарний момент сил тертя, що діє у ковзунах і п'ятниковому вузлі одного візка повинен знаходитись в межах  $(10 \pm 4)$  кНм. Величина цього моменту піддається регулюванню через корегування прогину та жорсткості пружин, а також коефіцієнта тертя ковзання і контролюється за допомогою спеціального стендового устаткування.

Перспективна конструкція ресорного підвішування з білінійною силовою характеристикою повинна забезпечити збільшений статичний прогин у порожньому режимі, а також дозволити оптимізувати сили тертя в підвішуванні вагона в порожньому стані й у стані часткового завантаження.

На основі запропонованих за участю автора технічних вимог АТ "Дніпровагонмаш" розроблено проект швидкісного візка для вантажних вагонів нового покоління. За проектом передбачено обладнання новими візками моделі 13-4112 вагона-платформи моделі 18-4111 для швидкісних перевезень великотоннажних контейнерів.

Для перевірки доцільності запропонованих змін ресорного підвішування нового візка за допомогою розробленої математичної моделі досліджено динамічні властивості платформи нової генерації. Результати динамічних розрахунків представлено на рис. 8 у вигляді графіків залежностей від швидкості руху показників вертикальної динаміки платформи ( $j$  і  $k_{\text{де}}$ ).

З рис. 8 видно, що прискорення п'ятників порожньої платформи в діапазоні швидкостей руху до 110 км/год знаходяться на достатньо невисокому рівні та не перевищують нормативних значень при швидкостях 140 км/год. Величина прискорень в навантаженому стані не перевищує максимально

допустимих величин на всьому досліджуваному діапазоні швидкостей руху. Залежності коефіцієнтів вертикальної динаміки платформи якісно подібні розглянутим вище залежностям прискорень кузовів.

## ВИСНОВКИ

В дисертації вирішено актуальне прикладне науково-технічне завдання, яке полягає в науковому обґрунтуванні і розробці рекомендацій щодо технічних вирішень, спрямованих на удосконалення конструкції ресорного підвішування та підвищення експлуатаційних та швидкісних характеристик ходових частин для спеціалізованих вантажних вагонів нового покоління. Результати проведених теоретичних досліджень та їх експериментальна перевірка дозволяють зробити наступні висновки:

1. Виходячи з аналізу вітчизняного і закордонного досвіду розробок, спрямованих на забезпечення підвищення техніко-експлуатаційних характеристик візків вантажних вагонів із складеними рамами, визначено практичні шляхи удосконалення вузлів візків, відповідальних за динаміко-експлуатаційні якості вагонів.

2. Результатами проведеного дослідження обґрунтовано технічні пропозиції щодо удосконалення конструкції ресорного підвішування за рахунок реалізації білінійної силової характеристики та стабілізації роботи фрикційних гасителів коливань клинового типу.

3. За допомогою розробленої імітаційної моделі проведено аналіз показників вертикальної динаміки напіввагонів з запропонованими змінами

конструкції ресорного підвішування та визначено раціональні параметри його характеристик.

4. За рекомендаціями, розробленими на основі результатів дисертаційних досліджень стосовно конструкційних змін ресорного підвішування, були виготовлені шляхом модернізації візків моделі 18-100 дослідні зразки візків типів ДК-01 і ДК-02.

5. За експериментальною оцінкою динамічних показників, одержаних шляхом проведення ходових динамічних випробувань напіввагонів на візках типів ДК-01 і ДК-02, запропоновано конструкційні зміни ресорного підвішування для поліпшення динамічних якостей вантажних вагонів як в порожньому, так і в навантаженому стані.

6. Зіставленням результатів уточнених динамічних розрахунків і даних ходових динамічних випробувань підтверджено адекватність комп'ютерної моделі об'єктам моделювання – напіввагонам на візках типів ДК-01 і ДК-02 з модернізованим ресорним підвішуванням та моделі 18-100. Розходження між експериментальними та розрахунковими даними не перевищують 11,5%.

7. На підставі результатів досліджень за темою дисертації з урахуванням світового досвіду створення візків сучасних конструкцій сформульовано основні положення загальних вимог до швидкісного візка для вантажних вагонів нового покоління.

8. Показано, що за своїми динамічними властивостями вагон-платформа моделі 13-4111 для контейнерних перевезень на візках моделі 18-4112 з параметрами ресорного підвішування, значення яких вибрано за результатами авторських досліджень, відповідає сучасним вимогам до ходових якостей вантажних вагонів при підвищених швидкостях руху.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Ивченко В.А. Совершенствование конструкций ходовых частей грузовых вагонов // Зб. наук. пр. Київського університету економіки і технологій транспорту. – К.: Транспортні системи і технології, 2001. – Том 6. – С.22-27.

2. Дёмин Ю.В., Ивченко В.А., Кочмала Г.Д. Перспективные тележки серии ДК для скоростных грузовых вагонов // Залізничний транспорт України, 2002. – № 2. – С.25-28.

3. Ивченко В.А. Определение угловой жесткости тележки грузового вагона // Зб. наук. пр. Київського університету економіки і технологій транспорту. – К.: Транспортні системи і технології, 2003. – Випуск 1-2. – С.27-32.

4. Дёмин Ю.В., Ивченко В.А. Требования к скоростной тележке для грузовых вагонов нового поколения // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – Луганськ. – 2003. – № 9(67) – С.23-28.

5. Ивченко В.А. Оценка эффективности модернизации рессорного подвешивания тележек грузовых вагонов // Зб. наук. пр. Київського університету економіки і технологій транспорту. – К.: Транспортні системи і технології, 2003. – Вип. 4. – С. 94-98.

6. Експериментальна оцінка динамічних показників піввагонів з модернізованим ресорним підвішуванням / Ю.В.Дьомін, В.О.Івченко, М.А.Грічаний, О.В.Шатунов // Залізничний транспорт України, 2004. – № 1. – С. 37-39.

7. Патент України №69470, МПК<sup>6</sup> В61F5/12. Візок вантажного вагона з фрикційним гасителем коливань постійного тертя / Дьомін Ю.В., Кочмала Г.Д., Івченко В.О. – Опубл. 15.09.2004; Бюл. №4.

### **ДОДАТКОВО МАТЕРІАЛИ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ ВИКЛАДЕНІ В ПРАЦЯХ**

1. Дёмин Ю.В., Черняк А.Ю., Ивченко В.А. Ходовые части для вагонов “Восток-Запад” // Międzynarodowa konferencja naukowa “Transport XXI wieku”. – Warszawa, 2001. – P.265-270.

2. Diomin Yu., Chernyak A., Ivchenko V. Vypruzhenie plošinového vozňa pre vysokorýchlostnú kombinovanú // 16<sup>th</sup> International Conference: Current problems in rail vehicles – proraail 2003. – Žilina: Žilinská univerzita. – 2003. – P. 91-95.

3. Ивченко В.А. Выбор параметров рессорного подвешивания скоростных тележек грузовых вагонов // Тезисы докладов III научно-технической конференции “Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты”. – СПб.: ПГУПС. – 2003. – С.130-131.

4. Івченко В.О. Розробка швидкісного візка для вантажних вагонів нового покоління // Тези доповідей першої науково-практичної конференції “Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління”. – К.: КУЕТТ, 2004. – Частина 1. – С. 21-22.

5. Дьомін Ю.В., Івченко В.О., Черняк Г.Ю. Динамічні характеристики контейнерної платформи на візках нового покоління // Тезисы докладов XI Международной конференции “Проблемы механики железнодорожного транспорта: Динамика, прочность и безопасность движения подвижного состава”. – Днепропетровск: Из-во Полный компьютерный сервис, 2004. – С. 78.

### **АНОТАЦІЯ**

Івченко В.О. Удосконалення конструкції ресорного підвішування ходових частин вантажних вагонів нового покоління. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів; – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2005.

В дисертаційній роботі розв'язано завдання з визначення раціональних параметрів силових характеристик ресорного підвішування візків вантажних вагонів й конструктивної реалізації рекомендованих технічних вирішень. Головну увагу приділено дослідженню з застосування ресорного підвішування з нелінійною (білінійною) силовою характеристикою і клинових гасителів коливань нових конструкцій.

Вирішення завдань дисертаційної роботи здійснено на основі системного підходу до вибору конструкційних схем ресорного підвішування візків шляхом комп'ютерного моделювання й аналізу процесів вимушених вертикальних коливань вантажних вагонів з експериментальною перевіркою ефективності запропонованих технічних вирішень методами і засобами натурних випробувань рухомого складу залізниць.

Рекомендації щодо впровадження ресорних комплектів з білінійною залежністю прогинів від навантаження і клинових гасителів коливань нових типів були реалізовані в проектах комплексної модернізації візків вантажних вагонів. Обґрунтовані результатами дисертаційної роботи загальні вимоги до візків вантажних вагонів нового покоління і рекомендації щодо вибору параметрів їх ресорного підвішування використані АТ “Дніпровагонмаш” при проектуванні швидкісних візків вагона-платформи для комбінованих перевезень.

**Ключові слова:** візок, ресорне підвішування, фрикційний демпфер, силова характеристика, математична модель, динамічні показники, ходові випробування.

## АННОТАЦІЯ

Ивченко В.А. Усовершенствование конструкции рессорного подвешивания ходовых частей грузовых вагонов нового поколения. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов; – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2005.

Диссертационная работа посвящена решению важнейших задач по определению рациональных параметров силовых характеристик рессорного подвешивания тележек грузовых вагонов и конструкционной реализации рекомендованных технических решений. Главное внимание уделено

исследованию по применению рессорного подвешивания с нелинейной (билинейной) силовой характеристикой и клиновых гасителей колебаний новых конструкций.

Произведен анализ существующих технических решений ходовых частей грузовых вагонов и выполнена их классификация по характерным признакам. Представлены результаты короткого аналитического обзора существующих и перспективных конструкций ходовых частей грузовых вагонов, как в Украине, так и за рубежом, а также обзор публикаций, посвященных исследованиям, которые направлены на решение проблем разработок новых ходовых частей, улучшение характеристик систем рессорного подвешивания и усовершенствование конструкций фрикционных гасителей колебаний.

Решение задач диссертационной работы осуществлено на основе системного подхода к выбору конструктивных схем рессорного подвешивания тележек путем компьютерного моделирования и анализа процессов вынужденных вертикальных колебаний грузовых вагонов с экспериментальной проверкой эффективности предложенных технических решений методами и средствами натурных испытаний подвижного состава железных дорог.

Обоснована целесообразность использования рессорного подвешивания с нелинейными силовыми характеристиками, в основу конструкции которого положено двухрежимность пружинного комплекта и стабильность характеристик поверхностного трения рабочих элементов клинового гасителя колебаний.

Предложено уточненную расчетную математическую модель вертикальной динамики грузового вагона с использованием задания случайных возмущений в соответствии с обобщенными рекомендациями.

Исследовано влияние конструктивных изменений рессорного подвешивания на динамические характеристики вагонов. Показано, что применение для грузовых вагонов нового поколения в качестве ходовых частей типовых тележек модели 18-100 существенным образом ограничивает скоростные возможности специализированных вагонов.

Разработанный комплекс требований и рекомендаций относительно выбора конструктивных схем и параметров рессорного подвешивания составляет основу для определения при проектных работах рациональных технических характеристик ходовых частей грузовых вагонов нового поколения, в том числе с возможностью эксплуатации в международном сообщении.

Рекомендации относительно внедрения рессорных комплектов с билинейной зависимостью прогибов от нагрузки и клиновых гасителей колебаний новых типов были реализованы в проектах комплексной модернизации тележек грузовых вагонов. Обоснованные результатами диссертационной работы общие требования к тележкам грузовых вагонов

нового поколения и рекомендации относительно выбора параметров их рессорного подвешивания использованы АО “Днепровагонмаш” при проектировании скоростных тележек вагона-платформы для комбинированных перевозок.

**Ключевые слова:** тележка, рессорное подвешивание, фрикционный демпфер, силовая характеристика, математическая модель, динамические показатели, ходовые испытания.

## ABSTRACT

Ivchenko V.A. Improvement of a design spring suspension of running gears of freight cars of new generation. - Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.22.07 – railway rolling stock and traction of trains. – Ukrainian State Railway Transport Academy, Kharkov, 2005.

The thesis is devoted to solution of the most important problems by definition of rational parameters of the force characteristics spring suspension of bogies of freight cars and constructional realization of the recommended technical decisions. The main attention is given to research on application spring of suspension with bilinear force characteristic and frictional snubber of fluctuations of new designs.

The decision of tasks of the thesis is carried out on the basis of the system approach to a choice of the constructional circuits of spring suspension of carriages by computer modeling and analysis of processes of the forced vertical fluctuations of freight cars with experimental check of efficiency of the offered technical decisions by methods and means natural experiments of the rolling-stock of railways.

It is offered the specified mathematical model of vertical dynamics of the freight car with use of a task casual roughnesses according to the generalized recommendations.

The recommendations for introduction spring suspension with bilinear force characteristic by dependence of deflections on loading and frictional snubber of fluctuations of new types were realized in the projects of complex modernization of bogies of freight cars. Proved by results of the thesis common requirements to carriages of freight cars of new generation and the recommendations at the choice of their spring suspension parameters are used by joint-stock company "Dniyrovagonmash" at designing high-speed bogies of a car-platform for the combined transportations.

**Key words:** bogie, spring suspension, frictional snubber, force characteristic, mathematical model, dynamic parameters, experiment.