

Міністерство освіти і науки України  
Державний університет інфраструктури та технологій

**ПОТАПЕНКО ОЛЬГА ОЛЕКСАНДРІВНА**



УДК 629.463; 629.4.027.35

**УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ФРИКЦІЙНОГО ГАСІННЯ КОЛИВАНЬ В  
СИСТЕМІ РЕСОРНОГО ПІДВІШУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ**

Спеціальність 05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент  
**Могила Валентин Іванович,**  
Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, професор кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Маслієв В'ячеслав Георгійович,**  
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, професор кафедри “Електричний транспорт та тепловозобудування”;

кандидат технічних наук  
**Кара Сергій Віталійович,**  
Філія “Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту” АТ “Укрзалізниця”, начальник науково-дослідного відділу динаміки та міцності.

Захист відбудеться “5” грудня 2019 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.820.01 при Державному університеті інфраструктури та технологій за адресою: 03049, м. Київ, вул. І. Огієнка, 19, ауд. №305 а.

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Державного університету інфраструктури та технологій за адресою: 03049, м. Київ, вул. І. Огієнка, 19 та на сайті за адресою <http://duit.edu.ua> (Наука – Спеціалізовані вчені ради)

Автореферат розісланий “1” листопада 2019 р.

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



В.М. Молчанов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми дисертації.** Організація прискореного руху вантажних поїздів в Україні є важливою умовою інтеграції залізничного транспорту країни у загальноєвропейську систему, чинник підвищення України, як держави, здатний забезпечити за рахунок транзитних транспортних коридорів ефективно залізничне сполучення між Європейським Союзом та країнами Азії, Далекого Сходу, Закавказзя. Разом з тим склалася ситуація, яка вимагає значного оновлення вагонного парку. Середній знос парку вантажних вагонів становить 89,65%. Показники якості та ефективності, рівень безпеки перевезень не відповідають сучасним вимогам. Для придбання нового рухомого складу необхідні значні фінансові капіталовкладення, які неможливі у зв'язку з кризовими явищами в Україні, тому значну роль відіграє удосконалення технічних характеристик вантажних вагонів, поліпшення їх динамічних якостей, роботи системи демпфірування та гасіння коливань, зниження зносу рухомих сполучень, силового впливу на елементи верхньої будови колії, підвищення міжремонтного пробігу, швидкості та безпеки руху. Актуальним питанням, згідно стратегії розвитку залізниць, також визнано впровадження ресурсозберігаючих технологій. Одним із актуальних напрямків покращення функціонування ресорного підвішування вантажних вагонів є удосконалення конструкції фрикційного клинового гасителя коливань та підклинового пружинного комплексу. Це забезпечить стабільні характеристики системи демпфірування, рівномірне навантаження та зменшення загального зносу взаємодіючих фрикційних поверхонь, збільшення пробігу візка та підвищення безпеки руху. Дисертаційна робота спрямована на удосконалення елементів фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування вантажних вагонів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота базується на системному підході до вирішення науково-прикладного завдання, пов'язаного з покращенням функціонування ресорного підвішування вантажних вагонів шляхом удосконалення елементів системи фрикційного гасіння коливань.

Робота виконана в рамках програм і законодавчих актів України: «Про затвердження Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 роки» (Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 14 жовтня 2008 р., № 1259, Київ); «Про затвердження Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010 – 2019 роки» (Постанова Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р., № 1390, у редакції Постанови Кабінету Міністрів 26 жовтня 2011 р., № 1106 (1106 – 2011-п)); «Про схвалення Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року» (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р., № 1555-р); «Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року» (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р., № 2174-р).

Дисертаційна робота відповідає напрямкам досліджень кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Автором виконані дослідження, за результатами яких обґрунтовано та запропоновано нові технічні рішення щодо удосконалення елементів фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування, які сприяють покращенню експлуатаційних характеристик візків вантажних вагонів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є покращення функціонування ресорного підвішування вантажних вагонів шляхом удосконалення елементів системи фрикційного гасіння коливань.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати проблеми, пов'язані з технічним забезпеченням вантажних перевезень в Україні, країнах СНД та шляхи їх вирішення;
- виконати аналіз конструкційних особливостей трьохелементних візків вантажних вагонів в Україні, країнах СНД та Північної Америки;
- виконати огляд наукових праць присвячених удосконаленню конструкції ресорного підвішування візків вантажних вагонів;
- запропонувати шляхи усунення основних недоліків елементів ресорного підвішування вантажних вагонів;
- дослідити напружено-деформований стан, міцність елементів ресорного підвішування візка напіввагона та силову характеристику досліджуваних конструкцій;
- дослідити трибологічні властивості елементів ресорного підвішування візка вантажного вагона;
- доопрацювати комп'ютерну модель вантажного вагона та дослідити динаміку руху напіввагону, з урахуванням конструкційних змін елементів фрикційного гасіння коливань системи ресорного підвішування, з використанням програмного комплексу «Универсальный механизм» («УМ»);
- визначити техніко-економічну ефективність використання запропонованих технічних рішень та рекомендацій щодо удосконалення елементів фрикційного гасіння коливань системи ресорного підвішування візків вантажних вагонів.

**Об'єкт дослідження** – процес функціонування ресорного підвішування візків вантажних вагонів.

**Предмет дослідження** – закономірності, моделі та особливості функціонування системи фрикційного гасіння коливань ресорного підвішування візків вантажних вагонів.

**Методи дослідження.** При вирішенні поставлених у дисертаційній роботі задач використано комплексний підхід, що включає теоретичні та експериментальні методи. При опрацюванні літературних джерел застосовано: системний аналіз, аналітичний та емпіричний методи дослідження.

Експериментальні дослідження виконано з використанням розробленої оснастки та наступних методів: теорії планування експерименту, натурального, триботехнічного, теорії тертя, експериментального дослідження напружено-деформованого стану конструкції.

При дослідженні динаміки руху вантажного вагона використані методи теоретичної та прикладної механіки, комп'ютерного та математичного моделювання, скінченних елементів, теорії ймовірності та математичної статистики.

#### **Наукова новизна одержаних результатів.**

Вперше:

- науково обґрунтовано характер залежності процесу переміщень, зміни прогину підклинових пружинних комплектів та значення контактних напружень пари «фрикційний клин – фрикційна планка» серійних та удосконалених елементів фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування візків вантажних вагонів від режиму експлуатації;
- запропоновано метод визначення інваріантної характеристики комбінованих пружин (тарілчастих та витих) під впливом зовнішніх навантажень.

Удосконалено:

- комп'ютерну модель динаміки руху напіввагона, яка на відміну від існуючої, враховує конструкційні зміни елементів фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування.

Подальшого розвитку набули:

– методики експериментальних досліджень трибологічних властивостей матеріалу та стендових порівняльних випробувань зразків фрикційних клинів на конструкційну міцність та руйнующе навантаження з використанням розробленого обладнання;

– спосіб пропорційного розподілу навантажень між елементами підклинового пружинного комплексу візків вантажних вагонів;

– метод оцінювання енергетичної ефективності спрацювання фрикційних клинових гасителів коливань з урахуванням площі робочої діаграми.

#### **Практичне значення отриманих результатів:**

– для аналізу та створення сучасних конфігурацій фрикційного клину створена класифікація конструкційних особливостей фрикційних клинів, які використовуються в Україні та за кордоном;

– запропоновані нові конструкторсько-технічні рішення з удосконалення елементів фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування візка вантажного вагона, які захищені державними патентами України [30 – 48], можуть бути використані при проектуванні візків вантажних вагонів нового покоління;

– розроблений програмний алгоритм для визначення напружено-деформованого стану та отримання епюр контактних напружень елементів ресорного підвішування дозволяє дослідити та виявити вразливі місця у взаємодіючих елементах конструкції;

– розроблений програмний алгоритм та удосконалена комп'ютерна модель динаміки руху напіввагона дозволяють виконати кількісну і якісну оцінку впливу удосконалених елементів фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування на динамічні показники вантажного вагона в реальних умовах;

– запропонована конструкція фрикційного клинового гасителя коливань та підклинового пружинного комплексу дозволяє отримати стабільні характеристики системи демпфірування, рівномірне навантаження та зменшення загального зносу взаємодіючих фрикційних поверхонь, тим самим подовжити пробіг візка та підвищити безпеку руху вагонів, які знаходяться в експлуатації;

– основні результати дисертаційної роботи використані: Товариством з обмеженою відповідальністю «Об'єднане господарство залізничного транспорту» (ТОВ «ОГЗТ»), в етапах модернізації та випробування перспективних візків вантажних вагонів та Державним підприємством «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ») під час досліджень зразків фрикційних клинів вантажних вагонів на конструкційну міцність та руйнующе навантаження (акти впровадження представлені в дисертаційній роботі);

– наукові результати дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля та Державного університету інфраструктури та технологій при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальностями: 273 «Залізничний транспорт», 275 «Транспортні технології (залізничний транспорт)».

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати, наведені в роботі, автором отримані самостійно. Особистий внесок автора полягає у плануванні та проведенні теоретичних та експериментальних досліджень, аналізі отриманих результатів, розробці наукових положень, технічних рішень, рекомендацій та висновків. Статті [2, 13, 26, 28, 29] підготовлено самостійно. У роботах виконаних у співавторстві особистий внесок автора наступний: [10] – розглянуто питання руйнування литих деталей візка вантажних вагонів у процесі експлуатації, проаналізовано роботу гасителя коливань, запропоновано установку для випробувань; [1, 11, 12] – проаналізовано взаємозв'язок процесу руйнування литих деталей візка з роботою клинового гасителя коливань, побудовано залежності коефіцієнта

вертикальної динаміки від швидкості руху при різних коефіцієнтах відносного тертя запропонованої та серійної конструкції клину, досліджено геометричні особливості зносу фрикційних поверхонь клина та планки; [3, 14] – розглянуто проблеми, які виникають у процесі експлуатації візка 18-100 та вказано на необхідність удосконалення конструкції ресорного підвішування; [15] – проаналізовано матеріали з яких виготовлені елементи ресорного підвішування, трибологічні властивості матеріалу клина та його вплив на зносостійкість та міцність; [4] – приведено конструкційні недоліки візка 18-100, досліджено трибологічні та міцнісні властивості гасителя коливань; [16 – 18, 27] – представлено підсумкові результати теоретичних та експериментальних досліджень трибологічних та міцнісних властивостей фрикційних клинів запропонованої та серійної конструкцій, обґрунтована економічна та практична доцільність впровадження удосконаленої конструкції гасителя коливань; [5, 19] – розглянуто конструкційні особливості рухомих сполучень та представлено розроблену класифікацію конструкційних особливостей фрикційних клинів візків вантажних вагонів вітчизняних і закордонних виробників, приведено практичне її використання при створенні нової конструкції фрикційного клину; [20] – визначено та представлено напрямки модернізації ресорного підвішування візка вантажного вагона, запропоновано конструкційні рішення, захищені державними патентами України; [6, 9, 21, 23] – засобами комп'ютерного моделювання визначено та представлено результати досліджень напружено-деформованого стану елементів серійної та удосконалених конструкцій ресорного підвішування візка напіввагона моделі 12-7019 виробництва Крюківського вагонобудівного заводу під дією статичного навантаження та впливу на динаміку руху; [22] – визначено актуальність програм моделювання динаміки рухомого складу; [7] – вперше представлено та описано: метод визначення інваріантної характеристики (прогину) комбінованих пружин (тарілчастих та витих) під впливом зовнішніх навантажень для дослідження вертикальної силової характеристики, результати досліджень впливу запропонованої конструкції на силову характеристику; [8, 24, 25] – представлено результати комплексного експериментального та комп'ютерного дослідження запропонованої конструкції; обґрунтовано доцільність її використання. У роботах [30 – 48] автором проаналізовано технічні рішення щодо удосконалення елементів ресорного підвішування візків вантажних вагонів, виявлено конструкційні недоліки, запропоновано та спрогнозовано роботу удосконалених елементів, виконано відповідні креслення.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи були представлені, обговорені та отримали підтримку на конференціях: III Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології на залізничному транспорті» (26 лютого – 4 березня, м. Тель-Авів, 2012 р.); II International Scientific and Practical Conference of students, graduate students and young of scientists «Technology, Materials, Transport and Logistics: Development Prospects» TMTL'12 (квітень 25 – 26, м. Луганськ, 2012 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Комп'ютерні науки для інформаційного суспільства» (грудень 12 – 13, м. Луганськ, 2012 р.); III International Scientific and Practical Conference «Technology, Materials, Transport and Logistics: Development Prospects» TMTL'13 (вересень 23 – 27, м. Ялта (АР Крим), 2013 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Комп'ютерні науки для інформаційного суспільства» (грудень 11 – 12, м. Луганськ, 2013 р.); Науковій конференції професорсько-викладацького складу та наукових співробітників «Університетська наука – 2014» (березень 25 – 27, м. Луганськ, 2014 р.); Науковій конференції студентів та молодих вчених університету, присвяченій 200-річчю від дня народження Тараса Григоровича Шевченка (квітень 22 – 24, м. Луганськ, 2014 р.); Науково-практичній конференції студентів та молодих вчених «Логістичне уп-

равління та безпека руху на транспорті» (листопад 4 – 6, м. Сєвєродонецьк, 2014 р.); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики» (травень 4 – 7, м. Сєвєродонецьк – м. Кременчуг, 2015 р.); III Міжнародній інтернет-конференції молодих вчених та студентів «Проблеми розвитку транспортних систем в Євразійському регіоні» (травень 25 – 27, м. Сєвєродонецьк, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи» (квітень 11 – 17, м. Трускавець, 2016 р.); XXVI Всеукраїнській науковій Інтернет – конференції «Вітчизняна наука на зламі епох: Проблеми та перспективи розвитку» (14 жовтня, м. Переяслав-Хмельницький, 2016 р.); XII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Проблеми сучасного управління: економічні, екологічні, політико-правові, історичні, культурні, ментальні аспекти» (листопад 24 – 26, м. Одеса, 2016 р.); Науково-практичній конференції «Актуальні проблеми сучасного управління в соціально-економічних, технічних та гуманітарних системах» (листопад 24 – 26, м. Одеса, 2016 р.); VII-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку транспорту і логістики» (квітень 26 – 28, м. Одеса, 2017 р.); Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених, магістрантів та студентів «Науково – технічний прогрес на транспорті» (березень 26 – 30, м. Дніпро, 2018 р.); VIII-й Міжнародній науково-практичній конференції «Транспорт і логістика: Проблеми та рішення» (травень 23 – 25, м. Одеса, 2018 р.); 23<sup>rd</sup> International Polish – Slovak Conference on Machine Modelling and Simulations MMS 2018 (вересень 4 – 7, м. Ридзина (Польща), 2018 р.); 16<sup>th</sup> International Conference Dynamics of Rigid and Deformable Bodies 2018 (жовтень 17 – 19, Усті-над-Лабем (Чехія), 2018); 79-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (травень 16 – 17, м. Дніпро, 2019 р.); IX-й Міжнародній науково-практичній конференції «Транспорт і логістика: Проблеми та рішення» (травень 22 – 24, м. Одеса, 2019 р.).

У повному обсязі дисертація доповідалася та була схвалена на розширеному засіданні кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (14.06.2019 р.) та розширеному засіданні кафедри «Вагони та вагонне господарство» Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій (12.09.2019 р.).

**Публікації.** За результатами дисертаційної роботи опубліковано 48 наукових праць (з них 5 без співавторів): 11 – в спеціалізованих виданнях України, з яких 7 входить до затвердженого МОН України переліку наукових фахових видань (з них 2 – у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз), 2 наукові праці у фахових закордонних виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз, у тому числі н/м базі Scopus, 16 – в матеріалах конференцій, з яких 2 – за кордоном. За темою дисертації отримано 19 патентів України на корисну модель.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації становить 223 сторінки, у тому числі 133 сторінки основного тексту, 67 рисунків, 35 таблиць, список використаних джерел зі 253 найменувань на 32 сторінках та 4 додатки на 33 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт і предмет. Показано зв'язок роботи з державними

програмами розвитку та оновлення залізничного рухомого складу України. Вказано використані методи дослідження, визначено наукову новизну дисертації, її практичне значення та особистий внесок автора. Наведено дані про апробацію та публікації результатів досліджень дисертації.

У **першому розділі** проаналізовано стан вантажного парку та сучасні проблеми, пов'язані з технічним забезпеченням вантажних перевезень в Україні, країнах СНД, визначено шляхи їх вирішення. Приведені статистичні дані відчеплень вантажних вагонів по основним вузлам, найбільш масових видів несправностей по візку вантажних вагонів, причин бракування та відмов в залежності від місця установки пружин ресорного комплекту. Представлені статистичні дані свідчать, що термін експлуатації пружин ресорного підвішування у візків моделі 18-100 часто не досягає першого деповського ремонту, який проводять на третій рік з моменту побудови вагона.

Виконано аналіз конструкційних особливостей трьохелементних візків вантажних вагонів в Україні, країнах СНД та Північній Америці. Розглянуто тенденції сучасного проектування та конструкційні рішення, застосовувані при модернізації вантажних візків. Дослідження показали, що візок моделі 18-100 має певні недоліки, в тому числі інтенсивний знос елементів та недостатні динамічні якості.

Зроблено огляд та аналіз наукових праць, присвячених теоретичним та експериментальним дослідженням особливостей конструкції візків вантажних вагонів та їх удосконаленню. Значний вклад у розвиток конструкцій, динаміки рейкового рухомого складу та взаємодії з залізничною колією внесли дослідження вчених країн СНД: П.С. Анісімова, Є.П. Блохіна, Г.І. Богомаза, Б.Є. Боднаря, Ю.П. Бороненка, Н.С. Брайковської, В.М. Бубнова, М.Ф. Веріго, С.В. Вершинського, М.В. Вінокурова, О.Л. Голубенка, М.І. Горбунова, В.Л. Горобця, В.М. Данілова, Е.І. Даніленка, В.Д. Дановича, С.С. Довганюка, О.О. Долматова, А.В. Донченка, Ю.В. Дьоміна, В.М. Іщенко, М.І. Капиці, С.В. Кари, М.Б. Кельріха, В.В. Кобищанова, О.Я. Когана, М.Л. Коротенка, В.В. Косарчука, В.М. Котуранова, М.М. Кудрявцева, В.А. Лазаряна, В.Ф. Лапшина, В.В. Лукіна, О.А. Львова, Л.А. Манашкіна, О.М. Маркової, І.Е. Мартинова, В.Г. Маслієва, В.К. Мироненка, Е.Р. Можейка, В.В. Мямліна, С.В. Мямліна, А.М. Орлової, А.Е. Павлюкова, Г.І. Петрова, В.В. Пігунова, А.В. Пігунова, Д.Ю. Погорелова, А.В. Путятю, О.М. Пшинька, А.О. Радзіховського, О.Г. Редемейстера, Ю.С. Ромена, О.М. Савчука, В.М. Самсонкіна, С.Ю. Сапронової, О.М. Сафронова, В.І. Сенька, М.М. Соколова, Е.Д. Тартаковського, В.П. Ткаченка, О.В. Устенка, В.Ф. Ушкалова, В.М. Філіпова, О.В. Фоміна, В.Д. Хусидова, І.І. Челнокова, Ю.М. Черкашина, Г.Ю. Черняк, Л.А. Шадура. Слід також відмітити значний вклад закордонних вчених: Р. Богача, F.W. Carter, P.V. Дуккіпаті, В.К. Гарга, J.J.Kalker, П.К. Мюллера, Г. Шефеля, М. Ситажа, О.В. Сладковського, А. Худзікевича, А.Н. Wickens, J. Zhou та інших. Не дивлячись на велику кількість проведених досліджень конструкції візків вантажних вагонів, питання вибору та обґрунтування раціональних конструкційних схем і параметрів ресорного підвішування візків залишаються актуальними.

Визначено основні причини заміни фрикційних клинів та відмов фрикційних планок. Досліджено вплив геометричних і фізико-механічних параметрів на роботу фрикційного клинового гасителя коливань. Проведено аналіз літературних джерел, патентної документації та розроблено класифікацію конструкційних особливостей фрикційних клинів, впроваджених у виробництво в Україні та за кордоном. Це дозволило визначити, що для покращення функціонування ресорного підвішування необхідно удосконалити конструкцію фрикційного клинового гасителя коливань та підклинового пружинного комплекта.

Представлено удосконалену конструкцію елементів фрикційного гасіння коливань системи ресорного підвішування (рис. 1), яка розроблена з урахуванням конструкційних

особливостей, виявлених та досліджених недоліків і несправностей ресорного підвішування візків вантажних вагонів.

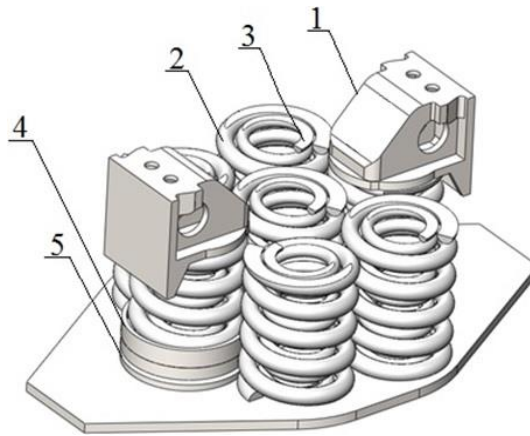


Рисунок 1 – Пропонована конструкція за патентом № 126619:

1 – клин; 2 – зовнішня та 3 внутрішня натискна пружина; 4 – металева кільцева прокладка; 5 – тарілчаста пружина

Дана конструкція є сучасною інтеграцією технічних рішень, так як тарілчасті пружини вперше застосовані у ресорному підвішуванні вантажних вагонів. Тарілчасті пружини характеризуються високими експлуатаційними показниками в різних галузях промисловості багатьох країн світу завдяки довговічності, безвідмовності, міцності, зносостійкості та витримують великі навантаження. Запропонована конструкція є об'єктом комплексного комп'ютерного та експериментального дослідження: напружено-деформованих, міцнісних, трибологічних та динамічних характеристик його елементів.

У **другому розділі** представлено методики проведення досліджень напружено-деформованого стану (НДС), силової характеристики та експериментальних випробувань на міцність елементів досліджуваних конструкцій, технічні характеристики досліджуваних елементів, програмне забезпечення та випробувальне обладнання, отримані результати показників міцності, енергоефективності.

Досліджено характеристики серійної та удосконаленої конструкції елементів фрикційного гасіння коливань системи ресорного підвішування візка вантажного вагона, визначено напружено-деформований стан елементів під дією статичного навантаження в порожньому і завантаженому режимі експлуатації. При оцінці міцності досліджуваних елементів конструкцій застосовано метод скінченних елементів. За проектом модернізації розроблено комп'ютерну модель з використанням програмно-апаратного забезпечення SolidWorks (Dassault Systèmes).

Для моделювання стану конструкції використано рівняння:

$$C(x) \cdot F = U, \quad (1)$$

де  $C(x)$  – глобальна матриця жорсткості скінченних елементів конструкції;

$F$  – вектор розмірності  $n$  перемінних стану;

$U$  – вектор приведених навантажень у вузлах скінченно-елементної моделі.

Обмеження представлено наступним чином:

$$\begin{cases} \xi_i(x, F) = \frac{[g_i]}{g_i \cdot (x, F)} - 1 \geq 0, \quad i = 1, j_1 \\ a_i < x_i < b_i, \quad i = 1, j_2 \end{cases} \quad (2)$$

де  $[g_i]$ ,  $\xi_i(x, F)$  – відповідно нормативні і дійсні значення параметрів стану в  $i$ -му елементі конструкції (напруження, прогини, деформації);

$a_i$ ,  $b_i$  – обмеження на значення параметрів вузла дослідження;

$j_1$ ,  $j_2$  – обмеження на параметри стану та розміри об'єкту.

Отримані еквівалентні напруження, що виникають у підклиновому пружинному комплекті та допустимі напруження Сталь 55С2, 60С2, згідно ДСТУ ГОСТ 1452:2007, ГОСТ 1452-2011, приведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Еквівалентні напруження досліджених пружинних комплектів

Типовий комплект, МПа	Удосконалений комплект, МПа	Удосконалений комплект зі стандартним клином, МПа	Допустимі напруження $\sigma_m$ , МПа
Порожній режим			750
81,2	58,7	60,1	
Завантажений режим			
572,5	504,1	510,3	

Епюри контактних напружень пари «фрикційний клин – фрикційна планка» досліджених конструкцій, показано на рис. 2.

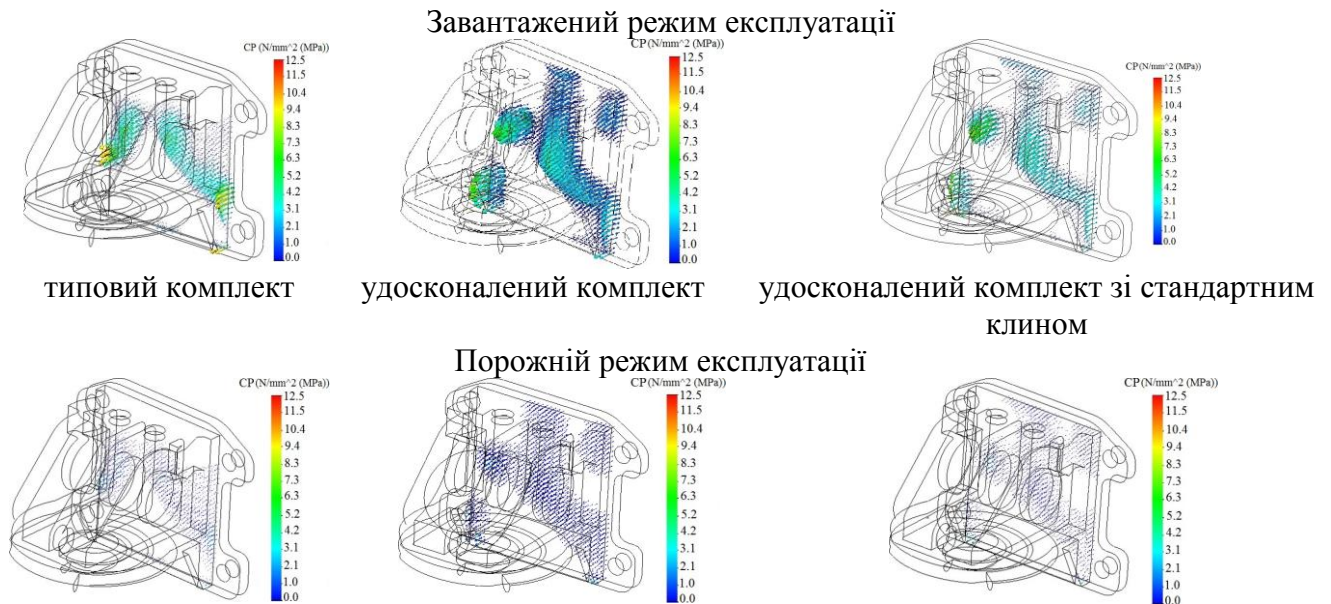


Рисунок 2 – Епюри контактних напружень пари «фрикційний клин – фрикційна планка»

Для визначення пропорційного розподілу навантажень на елементи підклинового пружинного комплекту запропоновано спосіб, за яким зв'язок зусиль між складовими визначається за рахунок введення коефіцієнту перерозподілу зусиль  $k$ . Розрахунок значення величини  $k$  здійснюється шляхом вирішення системи рівнянь:

$$\begin{cases} F = k \cdot F_1 + F_2 \\ F = k \cdot C_{1II} \cdot S_1 + C_2 \cdot S_2 \end{cases}, \quad (3)$$

де  $F_1$ ,  $F_2$  – сили, які сприймають підклинові пружини, Н;

$C_1$ ,  $C_2$  – жорсткість пружин ресорного комплекту, Н/мм;

$S_1$ ,  $S_2$  – прогин пружин під навантаженням, мм;

$k$  – коефіцієнт перерозподілу зусиль.

Результати розрахунку за формулою 3 зведено до таблиці 2.

Таблиця 2 – Розподіл навантажень на елементи підклинового пружинного комплекту

Тип комплекту	$F_1$ , кН	$F_2$ , кН	$k$
Типовий	34,568	7,874	2,621
Удосконалений	36,590	5,870	3,702
Удосконалений зі стандартним клином	35,942	6,518	3,276

Для дослідження вертикальної силової характеристики запропоновано метод визначення інваріантної характеристики (прогину) комбінованих пружин під впливом зовнішніх навантажень, так як пропонована конструкція підклинової пружини виконана методом комбінування зовнішньої вкороченої циліндричної виті пружини, яка має лінійну вертикальну силову характеристику та пакету тарілчастих пружин, комбінація якого має нелінійну вертикальну силову характеристику. Метод базується на використанні програмно-апаратного забезпечення SolidWorks (Dassault Systèmes) з використанням нелінійного динамічного аналізу (Nonlinear Dynamic Analysis) та розрахунку в середовищі MathCAD 15 з побудовою результуючої діаграми переміщення.

Для оцінювання енергетичної ефективності спрацювання фрикційних клинових гасителів коливач з урахуванням площі робочої діаграми запропоновано метод, який аналітично представлено наступним чином:

$$S_{\text{погл. енергії}} = \int_a^b (f_1(x) - f_2(x)) dx \quad (4)$$

де  $f_1$  – сила, яку сприймає зовнішня підклинова пружина, Н;

$f_2$  – сила, яку сприймає внутрішня підклинова пружина, Н;

$a, b$  – межа між прогинами пружин під навантаженням, мм.

Результати розрахунку за формулою 4 зведено до таблиці 3.

Таблиця 3 – Величина поглинутої енергії дослідженими конструкціями

Тип комплекту	Величина поглинутої енергії, Дж
Типовий	588
Удосконалений зі стандартним клином	545
Удосконалений	507

Показники поглинання енергії в удосконалених комплектах, свідчать про зниження інтенсивності зносу у взаємодіючих елементах фрикційного гасіння коливач системи ресорного підвішування візка вантажного вагона.

Проведено оцінку конструкційної міцності методом порівняння напруженого стану та визначено фактичний запас міцності конструкції п'яти фрикційних клинів, виготовлених зі сталі 25Л (ГОСТ 977-88,  $K 20$ ,  $\sigma_T = 235$  МПа,  $\sigma_B = 441$  МПа) та чавуну СЧ25 (ГОСТ 1412-85,  $\sigma_B = 250$  МПа), клинів зі зносом робочих поверхонь після експлуатації та пропонованої конструкції. Стендові випробування на конструкційну міцність та руйнівне навантаження проведено за участю автора з використанням розробленого обладнання. Результати стендових випробувань на конструкційну міцність представлені на рис. 3, де 1 – 5 зразки досліджених клинів.

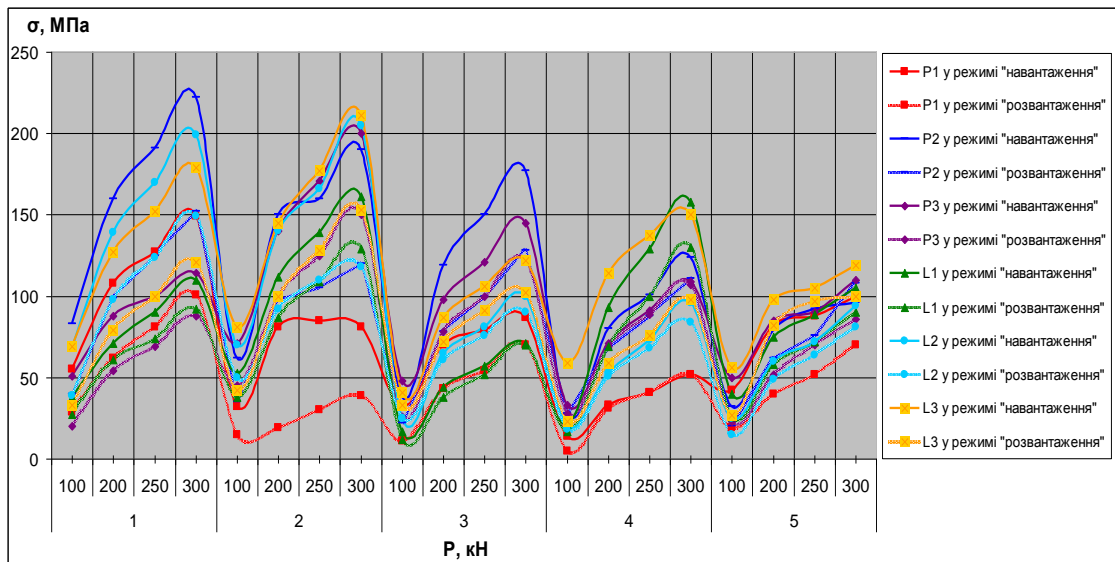


Рисунок 3 – Загальна діаграма напружень досліджених фрикційних клинів

Аналіз діаграми показав: напруження у контрольованих точках фрикційного клину пропонованої конструкції (зразок 5) у 1,5 – 2 рази нижчі ніж у серійної конструкції.

У процесі стендових випробувань фрикційних клинів на руйнуюче навантаження, рис. 4, встановлено – у пропонованій конструкції (зразок 5) при навантаженні напруження в 2 рази менші порівняно з серійною.

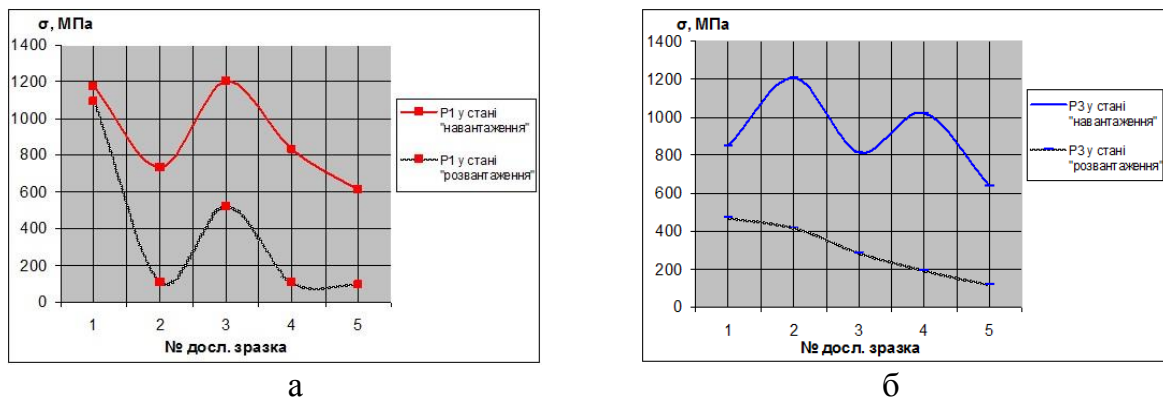


Рисунок 4 – Діаграма напружень «навантаження – розвантаження» у точці P1 (а) та P3 (б)

У **третьому розділі** доопрацьовано методику та представлено результати експериментального дослідження трибологічних властивостей матеріалу досліджуваних зразків згідно нормативної документації (ГОСТ 19200-80, ГОСТ 9246-2004, ЦВ-0015) і контрольно-вимірювальних приладів (шаблон фрикційного клину, тензорезистори).

При проведенні експериментальних досліджень властивостей матеріалу фрикційних клинів визначено трибологічні, конструкційні властивості та характер зносу робочої пари «фрикційний клин – фрикційна планка», виготовлених зі сталі та чавуну. За результатами експериментальних досліджень встановлено: робочі поверхні взаємодії фрикційного клину з фрикційною планкою не плоскі, фрикційний клин має циліндричну поверхню дотику, через нерівномірність зношування в процесі експлуатації, а фрикційна планка – плоску. При аналізі впливу механічних властивостей сталі 25Л і сірого чавуну СЧ25 на трибологічні та конструкційні властивості фрикційного клину, встановлено, що клини з сірого чавуну в 2...2,5 рази знижують знос похилих поверхонь надресорних балок. Описано порядок визначення оцінки точності та обробки результатів експериментальних досліджень.

У четвертому розділі представлено розроблені алгоритм створення, структурну схему та удосконалену комп'ютерну модель динаміки руху напіввагону з досліджуваними конструкціями елементів фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування на прикладі напіввагона моделі 12-7019 (рис. 5) і результати дослідження в програмному комплексі «Универсальный механизм» («УМ»).

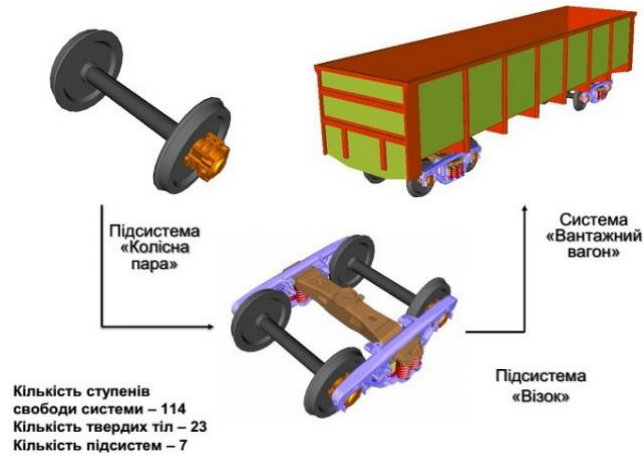


Рисунок 5 – Комп'ютерна модель напіввагона

Проведено оцінку впливу конструкційних змін елементів фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування на показники якості ходу напіввагона (рис. 6). Моделювання виконано при задовільному стані колії, за даними вагона-колієвимірювача та вантажного вагона в порожньому режимі, як найбільш несприятливому.

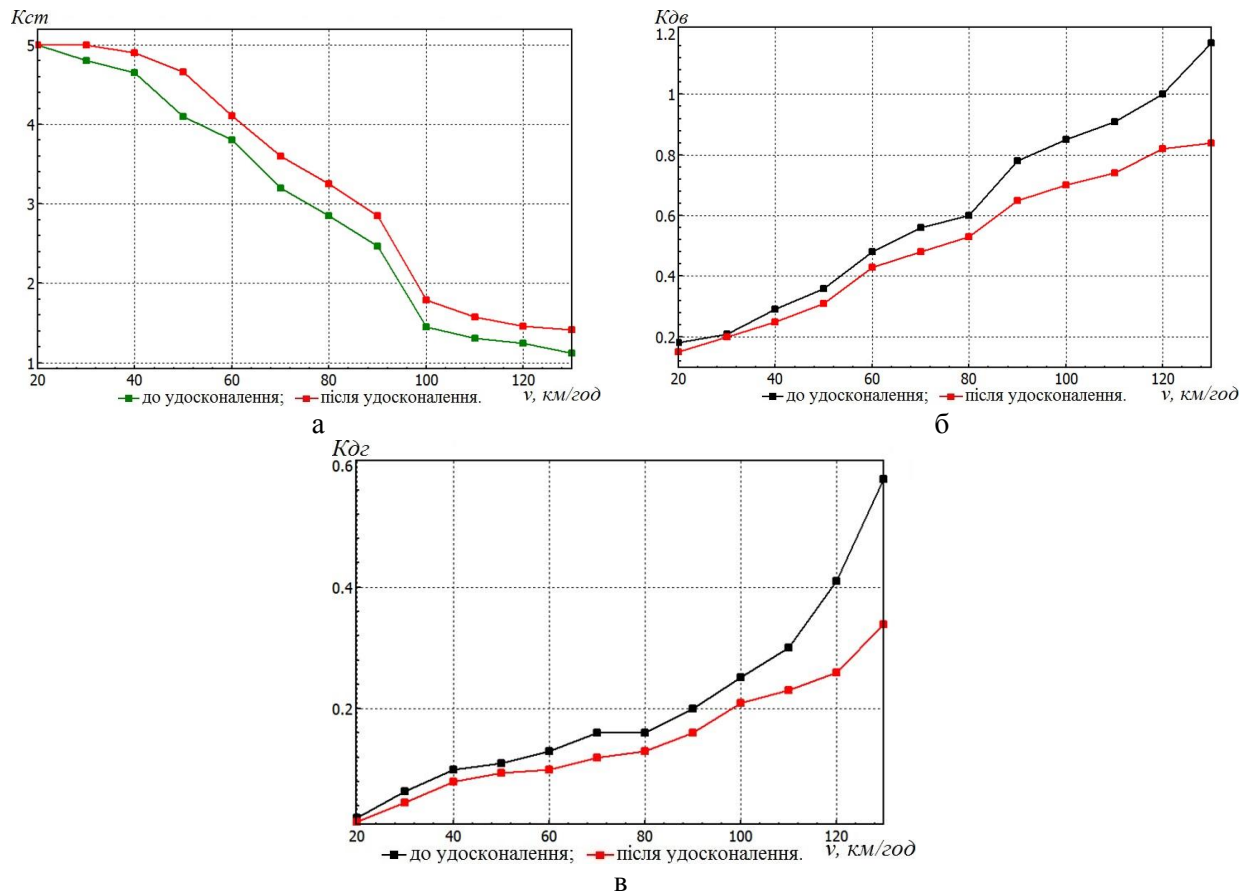


Рисунок 6 – Екстремальні значення показників якості ходу напіввагона

На рис. 6, а показані мінімальні значення коефіцієнтів запасу стійкості проти сходу з рейок ( $K_{ст} > 1,3$ ); на рис. 6, б – максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки напіввагона ( $K_{дв} < 0,85$  по необресореним елементам рами візка вагона); на рис. 6, в – максимальні значення коефіцієнтів горизонтальної динаміки напіввагона ( $K_{дг} < 0,38$  по необресореним елементам рами візка вагона).

Для існуючого напіввагона, за прийнятих умов технічного стану та параметрів колії, отримано показники якості ходу, які вказують, що перевищення гранично допустимої межі значень настає для коефіцієнтів вертикальної динаміки порожнього напіввагона починаючи зі швидкості руху  $v = 100$  км/год, запасу стійкості колісних пар проти сходу з рейок –  $v = 110$  км/год та горизонтальної динаміки  $v = 120$  км/год.

Для напіввагона з удосконаленими елементами ресорного підвішування при русі в порожньому стані отримані значення коефіцієнту вертикальної динаміки свідчать про перевищення гранично допустимої межі починаючи зі швидкості руху  $v = 130$  км/год. Значення коефіцієнтів запасу стійкості колісних пар проти сходу з рейок та горизонтальної динаміки знаходяться в межах норми при швидкості руху  $v = 130$  км/год згідно ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідні).

У **додатках** приведено розрахунок техніко-економічної ефективності використання запропонованих технічних рішень та рекомендації щодо удосконалення елементів фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування візка вантажного вагона, список публікацій, відомості про апробацію, акти впровадження та використання результатів дисертації.

Економічний ефект від зменшення витрат на проведення поточного відчіплювального ремонту та збільшення безремонтного пробігу вантажних вагонів з візками обладнаними удосконаленими елементами фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування для одного вагона на рік складає 3450 грн та на період в межах призначеного заводом-виробником строку служби напіввагону (22 роки) – 75912 грн.

Отримані результати комплексного дослідження підтверджують покращення функціонування системи ресорного підвішування візків вантажних вагонів та ефективність використання удосконалених елементів фрикційного гасіння коливань.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання, що полягає в покращенні функціонування ресорного підвішування вантажних вагонів шляхом удосконалення елементів системи фрикційного гасіння коливань. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень зроблено наступні висновки:

1. Дослідження стану наявного парку вантажних вагонів залізниць України, експлуатаційних випробувань в країнах СНД та статистичні дані про відчеплення до поточного відчіплювального ремонту показали, що однією з найслабших ланок вагону є візок, який значно впливає на ходові характеристики вантажного вагону.

2. Аналіз конструкційних особливостей трьохелементних візків показав, що недоліки, пов'язані з ресорним підвішуванням, значно впливають на динамічні та експлуатаційні показники вантажних вагонів. Зокрема термін експлуатації пружин ресорного підвішування візків моделі 18-100 не досягає першого деповського ремонту з моменту побудови вагона, перш за все через незадовільний технічний стан підклинових пружин.

3. У результаті проведеного аналізу наукових праць, присвячених теоретичним та експериментальним дослідженням елементів візків вантажних вагонів та удосконаленню їх

конструкції, розроблено і запропоновано нову конструкцію фрикційного клинового гасителя коливань та комбінованого підклинового пружинного комплекта з покращеним функціонуванням елементів ресорного підвішування.

4. Досліджено вплив геометричних і фізико-механічних параметрів на роботу фрикційного клинового гасителя коливань та створено класифікацію конструкційних особливостей фрикційних клинів, які використовуються у різних варіантах модернізації візків вантажних вагонів.

5. Результати досліджень напружено-деформованого стану елементів фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування серійної та удосконалених конструкцій під дією статичного навантаження, свідчать про зменшення напружень у запропонованій конструкції на 28% у порожньому режимі експлуатації, та на 12% у навантаженому, порівняно з серійною.

6. Представлено спосіб пропорційного розподілу навантажень між елементами підклинового пружинного комплекта візків вантажних вагонів, який дозволяє визначати зусилля, що діють на елементи ресорного підвішування.

7. Запропоновано методи визначення інваріантної характеристики (прогину) комбінованих підклинових пружин під впливом зовнішніх навантажень та оцінювання енергетичної ефективності спрацювання фрикційних клинових гасителів коливань з урахуванням площі робочої діаграми.

8. Стендові випробування досліджених фрикційних клинових гасителів коливань на конструкційну міцність та руйнівне навантаження показали, що напруження в контрольованих точках пропонованої конструкції у 1,5 – 2 рази нижчі, порівняно з серійною конструкцією.

9. Дослідження трибологічних властивостей матеріалу фрикційних клинів показало, що для фрикційного клину з сірого чавуну характерні низька чутливість до впливу зовнішніх концентраторів напружень при циклічних навантаженнях, зниження зносу похилих поверхонь надресорних балок в 2...2,5 рази, а також підвищення коефіцієнту поглинання коливань при русі поїзда.

10. За результатами доопрацьованої комп'ютерної моделі динаміки руху напіввагона, яка враховує удосконалення елементів фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування, встановлено, що конструкційні зміни забезпечують задовільний рівень динамічних показників у межах допустимих нормативних значень до швидкості руху  $v = 130$  км/год у порожньому режимі експлуатації.

11. Економічний ефект від зменшення витрат на проведення поточного відчіплювального ремонту та збільшення безремонтного пробігу вантажних вагонів з візками обладнаними удосконаленими елементами фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування для одного вагона на рік складає 3450 грн та на період в межах призначеного заводом-виробником строку служби напіввагону (22 роки) – 75912 грн.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Губачева Л.А., Потапенко О.А., Потапенко А.Н. Влияние геометрии поверхности фрикционного клина на работу фрикционного гасителя колебаний грузовых вагонов. *Вісник СНУ ім. В.Даля*. Луганськ. 2014, № 5 (212), Ч 1. С. 64 – 66.

2. Потапенко О.А. Проблемы современных перевозок грузовыми вагонами в странах СНГ и направления их решения. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. Северодонецьк. 2015, № 2 (219). С. 57 – 61.

3. Потапенко О.А., Могила В.И. Исследование динамики подвижных соединений грузовых вагонов с учетом состояния железнодорожного пути. *Вісник СХУ ім. В. Даля. Северодонецьк.* 2016, № 1 (225). С. 180 – 184.

4. V. Mogila., O. Potapenko. Analysis and Study of the Problems Arising in Movable Joints of Freight Car Bogies. *TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture.* Lublin. 2016, Vol. 16, No.2. P. 27 – 32. – **Index Copernicus International.**

5. Потапенко О.О., Могила В.І. Систематизація та класифікація конструкційних особливостей фрикційних клинів гасителів коливань візків вантажних вагонів. *Вісник СХУ ім. В. Даля. Северодонецьк.* 2017, № 4 (234). С. 189 – 194.

6. Потапенко О.О., Могила В.І. Результати досліджень роботи фрикційного гасителя коливань серійної та удосконалених конструкцій візка вантажного вагону. *Вісник СХУ ім. В. Даля. Северодонецьк.* 2018, № 2 (243). С. 184 – 192.

7. Потапенко О.О., Щербина Ю.В. Визначення силової характеристики елементів ресорного підвішування вантажного вагона. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій «Транспортні системи та технології».* К: ДУІТ. 2019, Вип. 33, Т. 1. С. 67 – 77. – **Google Scholar, Cite Factor.**

8. Потапенко О.О., Могила В.І. Перспективна конструкція ресорного підвішування візка вантажного вагона та результати її дослідження. *Вісник СХУ ім. В. Даля. Северодонецьк.* 2019, № 3 (251). С. 144 – 150. – **Index Copernicus International.**

9. Olha Potapenko, Nikolay Gorbunov, Valentin Mogyla, Yuriy Shcherbina, Vladimir Hauser. Function Evaluation of Common and Proposed Friction Shock Absorbers for Open Box Wagon 12–7019 KRVZ. *Manufacturing Technology.* Ústí nad Labem, Czech Republic. 2019, Vol 19, No.2. P. 303 – 307. – **Scopus.**

#### **Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

10. Губачева Л.А., Потапенко О.А. Модельная установка для испытаний фрикционных планок гасителя колебаний грузовых вагонов. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Комп'ютерні науки для інформаційного суспільства», 12 – 13 грудня 2012 р. Луганськ. 2012. С. 364 – 367.

11. Губачева Л.А., Потапенко О.А., Потапенко А.Н. Влияние работы фрикционного гасителя колебаний на скорость трехэлементной тележки 18-100 (ЦНИИ-ХЗ-0). Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Комп'ютерні науки для інформаційного суспільства», 11 – 12 грудня 2013 р. Луганськ. 2013. С. 259 – 261.

12. Потапенко О.А., Потапенко А.Н. Взаимосвязь геометрии фрикционного клина с процессом гашения вертикальных колебаний тележки 18-100. Матеріали науково-практичної конференції студентів та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті», 4 – 6 листопада 2014 р. Северодонецьк. 2014. С. 67 – 69.

13. Потапенко О.А. Пути совершенствования грузовых вагонов в странах СНГ. Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики», 4 – 7 травня 2015 р. Северодонецьк – Кременчуг. 2015. С. 53 – 55.

14. Пительгузов Н.А., Потапенко О.А. Влияние верхнего строения пути на подвижные соединения грузовых вагонов. Збірник статей за матеріалами III Міжнародної інтернет – конференції молодих учених та студентів «Проблеми розвитку транспортних систем в Євразійському регіоні», 25 – 27 травня 2015 р. Северодонецьк. 2015. С. 35 – 38.

15. Потапенко О.А., Могила В.И. Исследование трибологических свойств фрикционного клина гасителя колебаний. Збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції

*«Інновації інфраструктури транспортно – логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи»*, 11 – 17 квітня 2016 р. Сєверодонецьк – Трускавець. 2016. С. 151 – 152.

16. Потапенко О.О., Могила В.І. Ефективність застосування удосконаленої конструкції гасителя коливань візків вантажних вагонів. Матеріали XXVI Всеукраїнської наукової інтернет – конференції *«Вітчизняна наука на зламі епох: Проблеми та перспективи розвитку»*: Збірник наукових праць, 14 жовтня 2016 р. Переяслав-Хмельницький. 2016. Випуск 26. С. 294 – 297.

17. Потапенко О.О., Могила В.І. Комплексне обґрунтування ефективності конструктивного рішення удосконалення візка вантажного вагону для реалізації швидкісного руху в Україні. Збірник наукових праць за матеріалами XII Всеукраїнської науково-практичної конференції: *«Проблеми сучасного управління: економічні, екологічні, політико-правові, історичні, культурні, ментальні аспекти»*, 24 – 26 листопада 2016 р. Одеса. 2016. С. 191 – 202.

18. Потапенко О.О., Могила В.І. Узагальнення результатів випробувань фрикційних клинів гасителя коливань візка вантажного вагону. Збірник тез науково-практичної конференції *«Актуальні проблеми сучасного управління в соціально-економічних, технічних та гуманітарних системах»*, 24 – 26 листопада 2016 р. Одеса. – Сєверодонецьк. 2016. С. 123 – 124.

19. Потапенко О.О., Могила В.І. Класифікація конструкційних особливостей фрикційних клинів та її практична цінність. Збірник наукових праць VII-ї Міжнародної науково-практичної конференції *«Проблеми розвитку транспорту і логістики»*, 26 – 28 квітня 2017 р. Сєверодонецьк – Одеса. 2017. С. 104 – 106.

20. Потапенко О.О., Могила В.І. Удосконалення рухомих сполучень візку вантажного вагону. Тези доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, магістрів та студентів *«Науково-технічний прогрес на транспорті»*, 26 – 30 березня 2018 р. Дніпро. 2018. С. 95 – 96.

21. Потапенко О.О., Могила В.І. Результати комп'ютерного моделювання роботи гасителя коливань візка вантажного вагону. Збірник наукових праць за матеріалами VIII-ї Міжнародної науково-практичної конференції *«Транспорт і логістика: проблеми та рішення»*, 23 – 25 травня 2018 р. Сєверодонецьк – Одеса – Вільнюс – Київ. 2018. С. 106 – 108.

22. Hauser V., Gerlici Ju., Kravchenko K., Lack T., Loulová M., Potapenko O.A. Definition of composite profiles for the needs of a dynamic analysis of a rail vehicle. Book of abstracts of XXIII Polish – Slovak Scientific Conference *«Machine Modelling AND Simulation MMS 2018»*, 4 – 7 September 2018. Rydzyna, Poland. 2018. P. 48.

23. Olha Potapenko, Nikolay Gorbunov, Valentin Mogyla, Yuriy Shcherbina, Vladimir Hauser. Analysis and Function Evaluation of Common and Proposed Friction Shock Absorbers for Open Box Wagon. Book of abstracts of XVI International Conference *«Dynamics of Rigid and Deformable Bodies 2018»*. 17 – 19 October 2018. Ústí nad Labem, Czech republic. 2018.

24. Потапенко О.О., Могила В.І. Підвищення працездатності ресорного підвішування вантажних вагонів шляхом вдосконалення елементів системи фрикційного гасіння коливань. Тези 79 Міжнародної науково-практичної конференції *«Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»*, 16 – 17 травня 2019 р. Д.: ДНУЗТ. 2019 р. С. 67 – 69.

25. Потапенко О.О., Могила В.І. Результати комплексного дослідження елементів ресорного підвішування візка вантажного вагона. Збірник наукових праць за матеріалами IX-ї Міжнародної науково-практичної конференції *«Транспорт і логістика: проблеми та рішення»*, 22 – 24 травня 2019 р. Сєверодонецьк – Одеса – Вільнюс – Київ. 2019. С. 87 – 88.

**Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:**

26. Потапенко О.А. Проблемы современных перевозок грузовыми вагонами в странах с шириной колеи 1520 и направления их решения. *Міжнародний професійний журнал «Вагонний парк»*. Харків. 2016, № 5 – 6 (110 – 111). С. 46 – 49.
27. Потапенко О.О., Могила В.І. Обґрунтування економічної ефективності впровадження вдосконаленої конструкції гасителя коливань у візках вантажних вагонів. *Міжнародний професійний журнал «Вагонний парк»*. Харків. 2017, № 1 – 2 (118 – 119). С. 28 – 31.
28. Потапенко О.О. Конструкційні особливості фрикційних клинів гасителів коливань візків вантажних вагонів України, країн СНД та Північної Америки. *Міжнародний професійний журнал «Вагонний парк»*. Харків. 2017, № 3 – 4 (120 – 121). С. 13 – 16.
29. Потапенко О.О. Комп'ютерна модель напіввагону 12-7019 КВБЗ з досліджуваними конструкціями ресорного підвішування. *Міжнародний професійний журнал «Вагонний парк»*. Харків. 2019, № 3 (147). С. 20 – 25.
30. Фрикційний клиновий гаситель коливань: пат. №110509 Україна: МПК (2016.01): кл. В61F 5/00. Могила В.І., Потапенко О.О. заяв. 15.04.2016; опубл. 10.10.2016, Бюл. № 19.
31. Фрикційний клиновий гаситель коливань: пат. №110511 Україна: МПК (2006.01): кл. В61F 5/12. Могила В.І., Потапенко О.О., Варган Г.О. заяв. 15.04.2016; опубл. 10.10.2016, Бюл. № 19.
32. Фрикційний клиновий гаситель коливань: пат. №110512 Україна: МПК (2006.01): кл. В61F 5/12. Могила В.І., Потапенко О.О., Варган Г.О. заяв. 15.04.2016; опубл. 10.10.2016, Бюл. № 19.
33. Фрикційний клиновий гаситель коливань: пат. №110513 Україна: МПК (2006.01): кл. В61F 5/12. Могила В.І., Потапенко О.О., Варган Г.О. заяв. 15.04.2016; опубл. 10.10.2016, Бюл. № 19.
34. Фрикційний клиновий гаситель коливань візка вантажного вагону: пат. №115545 Україна: МПК (2006.01): кл. В61F 5/12. Могила В.І., Горбунов М.І., Потапенко О.О., Ковтанець М.В. заяв. 06.09.2016; опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8.
35. Фрикційний гаситель коливань візка вантажного вагону: пат. №115546 Україна: МПК (2006.01): кл. В61F 5/12, В61F 5/06. Могила В.І., Горбунов М.І., Потапенко О.О., Ковтанець М.В. заяв. 06.09.2016; опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8.
36. Клиновий гаситель коливань візка вантажного вагону: пат. №121649 Україна: МПК (2006.01): кл. В61F 5/12, В61F 5/06. Горбунов М.І., Могила В.І., Потапенко О.О. заяв. 26.06.2017; опубл. 11.12.2017, Бюл. № 23.
37. Клиновий гаситель коливань візка вантажного вагону: пат. №121656 Україна: МПК (2006.01): кл. В61F 5/12, В61F 5/06. Горбунов М.І., Могила В.І., Потапенко О.О. заяв. 26.06.2017; опубл. 11.12.2017, Бюл. № 23.
38. Клиновий гаситель коливань візка вантажного вагону: пат. №122728 Україна: МПК (2006.01): кл. В61F 5/12, В61F 5/06. Горбунов М.І., Могила В.І., Потапенко О.О. заяв. 17.07.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.
39. Клиновий гаситель коливань візка вантажного вагону: пат. №122731 Україна: МПК (2006.01): кл. В61F 5/06, В61F 5/12. Потапенко О.О., Горбунов М.І., Могила В.І. заяв. 17.07.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.
40. Фрикційний клиновий гаситель коливань візка вантажного вагону: пат. №122729 Україна: МПК (2006.01): кл. В61F 5/12. Потапенко О.О., Горбунов М.І., Могила В.І. заяв. 17.07.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.
41. Клиновий гаситель коливань візка вантажного вагону: пат. №122730 Україна: МПК (2006.01): кл. В61F 5/06, В61F 5/12. Могила В.І., Горбунов М.І., Потапенко О.О. заяв. 17.07.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.

42. Фрикційний клиновий гаситель коливань візка вантажного вагону: пат. №122734 Україна: МПК (2006.01): кл. B61F 5/06. Могила В.І., Горбунов М.І., Потапенко О.О. заяв. 17.07.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.
43. Фрикційний клиновий гаситель коливань візка вантажного вагону: пат. №122735 Україна: МПК (2006.01): кл. B61F 5/12. Могила В.І., Горбунов М.І., Потапенко О.О. заяв. 17.07.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.
44. Фрикційний клиновий гаситель коливань візка вантажного вагону: пат. №122736 Україна: МПК (2006.01): кл. B61F 5/12. Потапенко О.О., Горбунов М.І., Могила В.І. заяв. 17.07.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.
45. Фрикційний клиновий гаситель коливань візка вантажного вагона: пат. №124797 Україна: МПК (2006.01): кл. B61F 5/12. Потапенко О.О., Горбунов М.І., Могила В.І. заяв. 30.10.2017; опубл. 25.04.2018, Бюл. № 8.
46. Фрикційний клиновий гаситель коливань візка вантажного вагона: пат. №124798 Україна: МПК (2006.01): кл. B61F 5/12. Потапенко О.О., Горбунов М.І., Могила В.І. заяв. 30.10.2017; опубл. 25.04.2018, Бюл. № 8.
47. Фрикційний клиновий гаситель коливань візка вантажного вагона: пат. №126619 Україна: МПК (2006.01): кл. B61F 5/12. Потапенко О.О., Могила В.І., Горбунов М.І. заяв. 06.02.18; опубл. 25.06.2018, Бюл. № 12.
48. Фрикційний клиновий гаситель коливань візка вантажного вагона: пат. №126620 Україна: МПК (2006.01): B61F 5/12. Потапенко О.О., Могила В.І., Горбунов М.І. заяв. 06.02.18; опубл. 25.06.2018, Бюл. № 12.

## АНОТАЦІЯ

Потапенко О.О. Удосконалення елементів фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування вантажних вагонів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.07 – «Рухомий склад залізниць та тяга поїздів» (273 – Залізничний транспорт). – Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, 2019.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню актуального науково-прикладного завдання – покращення функціонування ресорного підвішування вантажних вагонів шляхом удосконалення елементів системи фрикційного гасіння коливань.

У роботі обґрунтовано та доведено доцільність застосування удосконаленої конструкції фрикційного клинового гасителя коливань та підклинового пружинного комплексу.

Створено та запропоновано класифікацію конструкційних особливостей фрикційних клинів, розроблених і впроваджених у виробництво в Україні та за кордоном.

Запропонована конструкція була об'єктом комплексного комп'ютерного та експериментального дослідження: напружено-деформованих, міцнісних, трибологічних та динамічних характеристик його елементів.

Розроблено та представлено методики експериментальних досліджень: напружено-деформованого стану елементів фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування; стендових порівняльних випробувань зразків фрикційних клинів на конструкційну міцність та руйнуюче навантаження та трибологічних властивостей матеріалу з використанням розробленого обладнання.

Підтверджено, що конструкційна зміна елементів фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування візка вантажного вагона приводить до зменшення напру-

жень під дією зовнішніх навантажень на 28% у порожньому режимі експлуатації, та на 12% у завантаженому.

Удосконалено комп'ютерну модель динаміки руху напіввагону, яка навідрізку від існуючої, враховує конструкційні зміни елементів фрикційного гасіння коливань в системі ресорного підвішування.

**Ключові слова:** напіввагон, візок, ресорне підвішування, фрикційний клиновий гаситель коливань, швидкість, знос, тарільчаста пружина, міцність, трибологічні характеристики, моделювання, коефіцієнт динаміки.

## АННОТАЦІЯ

Потапенко О.А. Усовершенствование элементов фрикционного гашения колебаний в системе ресорного подвешивания грузовых вагонов. – Квалифицированный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог и тяга поездов» (273 – Железнодорожный транспорт). – Государственный университет инфраструктуры и технологий, Киев, 2019.

Диссертационная работа посвящена решению актуального научно-прикладного задания – улучшению функционирования ресорного подвешивания грузовых вагонов путем усовершенствования элементов системы фрикционного гашения колебаний.

В работе обоснована и доказана целесообразность применения усовершенствованной конструкции фрикционного клинового гасителя колебаний и подклинового пружинного комплекта.

Проанализировано состояние грузового парка и современные проблемы, связанные с техническим обеспечением грузовых перевозок в Украине и странах СНГ.

Приведены статистические данные отцепок грузовых вагонов по основным узлам, наиболее массовых видов неисправностей по тележке грузового вагона, причин отбраковки и отказов в зависимости от места установки пружин ресорного комплекта. Представленные статистические данные свидетельствуют, что срок эксплуатации пружин ресорного подвешивания у тележек модели 18-100 часто не достигает первого деповского ремонта с момента выпуска вагона.

Выполнен анализ конструктивных особенностей трехэлементных тележек грузовых вагонов Украины, стран СНГ и Северной Америки. Дана техническая характеристика фрикционных клиновых гасителей колебаний выпускаемых на вагоностроительных предприятиях Украины, стран СНГ и зарубежом, разработана и предложена классификация конструктивных особенностей фрикционных клиньев.

Предложенная конструкция была объектом комплексного компьютерного и экспериментального исследования: напряженно-деформированных, прочностных, трибологических и динамических характеристик его элементов. Для получения максимально достоверных результатов исследования работы усовершенствованной конструкции, разработаны и представлены методики экспериментальных исследований: определения напряженно-деформированного состояния элементов фрикционного гашения колебаний в системе ресорного подвешивания; стендовых сравнительных испытаний образцов фрикционных клиньев на конструкционную прочность и разрушающую нагрузку, трибологических свойств материала с использованием разработанного оборудования.

Представлены результаты исследований напряженно-деформированного состояния элементов фрикционного гашения колебаний в системе ресорного подвешивания тележки

полувагона 12-7019 производства Крюковского вагоностроительного завода под действием статической нагрузки средствами компьютерного моделирования. Впервые: научно обосновано характер зависимости процесса перемещений, изменения прогиба подклиновых пружинных комплектов и значение контактных напряжений пары «фрикционный клин – фрикционная планка» серийных и усовершенствованных элементов фрикционного гашения колебаний в системе рессорного подвешивания тележек грузовых вагонов от режима эксплуатации; предложен метод определения инвариантной характеристики комбинированных пружин (тарельчатых и витых) под воздействием внешних нагрузок. Представлены способ пропорционального распределения нагрузок между элементами подклинового пружинного комплекта тележек грузовых вагонов, который позволяет определять усилия, которые действуют на элементы рессорного подвешивания, а также метод оценивания энергетической эффективности срабатывания фрикционных клиновых гасителей колебаний с учетом площади рабочей диаграммы.

Подтверждено, что конструкционное изменение элементов фрикционного гашения колебаний в системе рессорного подвешивания тележки полувагона приводит к уменьшению напряжений в фрикционном клиновом гасителе колебаний под действием внешних нагрузок на 28% в порожнем режиме эксплуатации, и на 12% в груженом.

Стендовые испытания исследованных фрикционных клиновых гасителей колебаний на конструкционную прочность и разрушающую нагрузку показали, что напряжения в контролируемых точках предлагаемой конструкции в 1,5 – 2 раза ниже по сравнению с серийной.

Усовершенствовано компьютерную модель динамики движения полувагона, которая в отличие от существующей, учитывает конструкционные изменения элементов фрикционного гашения колебаний в системе рессорного подвешивания.

**Ключевые слова:** полувагон, тележка, рессорное подвешивание, фрикционный клиновой гаситель колебаний, скорость, износ, тарельчатая пружина, прочность, трибологические характеристики, моделирование, коэффициент динамики.

## ANNOTATION

*Potapenko O.O.* Improving Friction Oscillation Damping Elements in the Spring Suspension System of Freight Cars. – Qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of the Candidate of Technical Sciences in speciality 05.22.07 – Rolling stock of railways and traction of trains (273 – Railway transport). – State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to solving a topical problem of applied character – increasing performance of the spring suspension of freight cars by improving friction oscillation damping elements.

The paper substantiates and proves applicability of the improved design of the friction wedge-type oscillation damper and the spring suspension system.

There have been created and proposed the classification of design features of friction wedges developed and implemented in Ukraine and abroad.

The proposed design has been an object of a complex experimental and computer research: stress-strain, strength, tribological and dynamic properties of its elements.

There have been developed and presented the methods of experimental studies: stress-strain state of elements of the friction oscillation damping elements in the spring suspension system; strength properties of the researched design; bench comparative tests of friction wedges on struc-

tural integrity and destructive load, tribological properties of the material using the designed equipment.

It has been confirmed that the design change of the friction oscillation damping elements in the spring suspension system of the freight car bogie leads to decrease in stresses under the influence of external loads by 28% in the “empty” state and by 12% in the “loaded” state.

The computer model of the open-top freight car, which, unlike the existing one, has been improved taking into account the design changes in the friction oscillation damping elements in the spring suspension system.

**Keywords:** open-top freight car, bogie, spring suspension, friction oscillation damper, speed, wear, plate spring, strength, tribological properties, modelling, dynamic coefficients.

**ПОТАПЕНКО ОЛЬГА ОЛЕКСАНДРІВНА**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ФРИКЦІЙНОГО ГАСІННЯ КОЛИВАНЬ В  
СИСТЕМІ РЕСОРНОГО ПІДВІШУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ**

Спеціальність 05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

---

Підписано до друку 30.10.2019 р.  
Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. Гарнітура Times.  
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 0,9.  
Тираж 100 прим.

---

Надруковано у рекламно-видавничій компанії «Поліграф-Сервіс»  
75500, м. Генічеськ, вул. Центральна, 8.  
<http://printua.com.ua>