

МІНІСТЕРСТВО ІН МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
ФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В.ЛАЗАРЯНА

Мельничук Василь Олексійович

УДК629.46.027/657.223

**ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ ШВИДКОСТІ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ
ШЛЯХОМ ОСНАЩЕННЯ ПРИСТРОЯМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ РУХУ**

05.22.07 — рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Вагони та вагонне господарство» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства інфраструктури України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Савчук Орест Макарович,
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
професор кафедри «Вагони та вагонне господарство».

Офіційні опоненти доктор технічних наук
Горобець Володимир Леонідович,
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
головний науковий співробітник
галузевої науково-дослідної лабораторії
динаміки і міцності рухомого складу

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Науменко Надія Юхимівна,
Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ,
завідувач відділу динаміки багатовимірних
механічних систем.

Захист відбудеться " 26 " _____ 10 _____ 2011 р. о 12³⁰ год на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.08.820.02 Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Автореферат розісланий " 22 " _____ 09 _____ 2011 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої
ради, д-р техн. наук, професор

підпис І.В.Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Безпечна експлуатаційна швидкість як поїзної, так і маневрової роботи залізничного транспорту України (УЗ) та інших залізниць стандарту 1520 мм, обмежена до $v_e^{(1520)} \leq 70 \div 85$ км/год при нормативному значенні «конструктивної швидкості» $V_k = 120$ км/год. Внаслідок цього виникли недоліки: 1) зменшується продуктивність вантажного вагонного парку на 10÷15% (за експертними оцінками), що негативно впливає на загальні виробничі показники залізничного транспорту; 2) необхідно утримувати надлишковий парк вагонів та локомотивів для виконання належного обсягу перевезень; 3) ускладнена інтеграція у систему міжнародних залізничних сполучень, оскільки на європейських магістралях UIC (стандарту 1435мм) швидкість вантажних поїздів доведена до $v_e^{(1435)} \leq 100 \div 120$ км/год.

Виявлено, що основними обмежувачами швидкості є вантажні вагони на візках мод.18-100. При перевищенні $v_e^{(1520)}$ відбувається втрата стійкості руху, яка супроводжується збуренням автоколивань візків і кузовів у горизонтальній площині. З'являється загроза аварійного сходу з рейок. Втрата стійкості настає при досягненні «критичної швидкості» $v_{кр}$, яка має тенденцію круто зменшуватись після незначного (20÷30 тис.км) експлуатаційного пробігу нового вагона. Тому проблема підвищення $V_{кр}$ вагонів стандарту 1520мм на протязі усього періоду їх експлуатації, розв'язанню якої присвячена дисертаційна робота, є актуальною і важливою для залізничного транспорту України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Починаючи з перших років своєї діяльності, УЗ привертає значну увагу з'ясуванню причин відставання експлуатаційної швидкості вантажних вагонів стандарту 1520 мм від цього показника у сусідніх європейських країнах. Дніпропетровському національному університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна (ДНУЗТ), як Головній організації з будівництва та експлуатації вагонів, доручено виконати НДР №33.37.99.00/703.99.00 (номер держреєстрації 0199U001433). За її результатами розпочато пошук технічних рішень, що дозволяють підвищити $V_{кр}$ вагонів як нової побудови, так і тих, що знаходяться в експлуатації. Автор брав участь у виконанні вказаної НДР, здійснюючи визначення технічного стану дослідних вагонів на західній частині випробувальної траси (Львівська залізниця).

З 2002 р. УЗ визначає напрямок модернізації С.03.04 візків мод.18-100 — обладнання їх пружно-катковими ковзунами та спеціальними клинами за технологією «А.СТАКІ» у комплексі з іншими удосконаленнями. Цей напрямок знайшов вираження у двох варіантах галузевої програми:

- Цільова програма розвитку залізничного вантажного рухомого складу України на 2002-2010 рр. — розроблена з участю автора під керівництвом ДНУЗТ (НДР № 47/01-897.01-ЦТех).

- Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 рр. (ДНДЦ УЗ, 2007 р.), при формуванні якої автор займався визначенням стратегії оновлення вантажних вагонів з підвищенням їх експлуатаційної швидкості,

Для реального започаткування руху вантажних поїздів УЗ з підвищеною швидкістю був обраний полігон Кривий Ріг–Ужгород–Кошіце, на якому обертаються маршрутні залізничні поїзди (маршрути). У 2006 р. виконана тема №278/05-18/05-ЦТех (33.123.05.06) з метою діагностики максимальної безпечної швидкості поїзда, якщо вагони бладнати устроями для підвищення критичної швидкості до рівня $v_{кр} \geq V_k$. З початку 2007 р. запущений маршрут №2, сформований із 50-ти піввагонів нового покоління. Проведені пробні рейси з швидкістю до 90÷100 км/год. Вагони маршруту №2 у період експлуатаційного пробігу 0÷300 тис. км періодично проходили ходові динамічні випробування з визначенням $v_{кр}$ (НДР №№ 287/05-18/05-ЦТех; 120/06-ЦТех-436/06 ЦЮ; 33.170.08.09; 4-6 ЮР/1; 140/19/1). Автор безпосередньо займався виконанням вказаних НДР, обробкою результатів, формулюванням висновків і рекомендацій.

В дисертації також узагальнені і використані результати НДР з випробувань вагонів різних типів, модернізованих за технологією С.03.04 (№№ держреєстрації 01.011U002586, 01.011U006464).

Мета роботи. Забезпечення стійкості руху вантажних вагонів стандарту 1520мм із швидкістю до 100÷120 км/год незалежно від зносів ходових частин (у нормативних межах) та ступеню завантаженості.

Для досягнення вказаної мети поставлені наступні задачі:

- 1 Провести дослідження ознак втрати вагоном стійкості руху, які можуть привести до аварійних ситуацій.
- 2 Проаналізувати технічні рішення, спрямовані на підвищення критичної швидкості вагонів і прискорення руху вантажних поїздів на колії 1520 мм.
- 3 Виконати теоретичні розрахунки стійкості руху вантажного вагона за теоремою Ляпунова.
- 4 Побудувати математичну модель просторових коливань піввагона з урахуванням пристроїв стабілізації руху і дослідити вплив останніх на критичну швидкість.
- 5 Розробити процедуру обробки відеозаписів поперечних переміщень колісної пари при високій швидкості вагона для визначення ознак втрати стійкості руху.
- 6 Розробити і дослідити спрощені ремонтні пристрої для стабілізації руху вагонів попереднього покоління (побудови до 2005 р.).
- 7 Розробити і випробувати нову технологію деповського ремонту старотипних вагонів, після якого швидкість відремонтованого вагона до 100 км/год є безпечною експлуатаційною і відповідає категорії «s» за класифікацією UIC.

Об'єктом дослідження є процес руху вантажного вагона з максимальною докритичною швидкістю, за якої не виникає ознак втрати стійкості — отже, не існує загрози порушення безпечної експлуатації.

Предметом дослідження є пристрої, якими обладнуються візки вантажних вагонів стандарту 1520 мм, з метою підвищення критичної швидкості руху вагонів.

Методи досліджень. Задачі дисертації вирішені аналітичними методами, основні з яких:

- метод мінімуму енергії та принцип віртуальних переміщень при складанні диференціальних рівнянь незбуреного руху піввагона для оцінки стійкості за ознакою О.М.Ляпунова;
- метод комп'ютерного моделювання динаміки вантажного вагона за допомогою програмного комплексу «DYNRAIL», у якому реалізується чисельний розв'язок диференційних рівнянь змущених просторових коливань вагона під час руху по колії з заданими нерівностями ;
- метод скінчених елементів для оцінки напруженого стану та міцності деталей вагонів;
- сплайн-перетворення функцій, заданих у формі крапкових графіків, і перетворення Фур'є для аналізу автоколивань колеса у поперечному зазорі рейкової колії.

Для визначення показників втрати стійкості руху вагона використані експериментальні методи, основні з яких:

- визначення динамічних зусиль (напружень), прискорень та переміщень з використанням тензOMETричних, акселометричних і реохордних датчиків; відео-зйомка переміщень частин вагона відносно рейкової колії.

Наукова новизна одержаних результатів.

- Вперше розроблено метод обробки результатів експериментальних досліджень в частині аналізу записів переміщень частин вагона відносно рейкової колії з отриманням амплітудних та частотних графіків і встановленням наявності автоколивань, які є ознакою втрати стійкості руху.
- Удосконалено теоретичні основи визначення критичної швидкості в частині урахування особливостей поглинання енергії зв'язками між об'єктами динамічної моделі вагона;
- Удосконалено математичну модель динамічної навантаженості вантажного вагону в частині урахування додаткових елементів та пристроїв для запобігання втрати стійкості вагоном;
- Удосконалено спосіб визначення ознак втрати стійкості руху при виконанні теоретичних досліджень просторових коливань вантажних вагонів за допомогою комп'ютерного моделювання, що дозволяє, на відміну від існуючих способів, визначити потенційно небезпечну зону нестійкого руху.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- Впровадження результатів дисертації дозволить покращити техніко-економічні показники роботи залізничного транспорту України шляхом виконання вантажообігу скороченою на 10-15% кількістю вагонів і локомотивів.
- Сформульовані автором інженерно-практичні визначення стійкого і нестійкого руху вагонів з висвітленням якісних змін динамічних процесів і ефективних стабілізуючих пристроїв будуть сприяти скорішому переходу УЗ на швидкісний рух вантажних поїздів.
- Впровадження за дослідженнями автора першого етапу підвищення швидкості поїздів до 90-100 км/год розпочате виданням відповідної інструкції, що затверджена наказом Укрзалізниці від 10.07.2007 р. № 365Ц.
- Нова технологія деповського ремонту вагонів «ДНІПРО» дозволить реалізувати старотипними вагонами, які зараз складають 90% парку, безпечну підвищену швидкість до 100 км/год (акт впровадження від 11.05.2011).
- Результати дисертації придатні для впровадження на усіх залізницях стандарту 1520 мм і суттєво допоможуть інтеграції у євразійську залізничну спільноту.
- Результати виконання дисертації впроваджено у навчальний процес при викладанні дисципліни «Вагонний парк» для магістрів за спеціальністю «Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту» (акт впровадження від 17.05.2011).

Особистий вклад здобувача. Основні положення та результати, що викладені у дисертації, одержані автором самостійно. Робота [9] підготовлена без співавторів. У наукових працях, опублікованих у співавторстві з науковим керівником та іншими науковцями, автору належить:

- процедура перерахунку реальної швидкості руху маршруту по заданій ділянці траси в очікувану безпечну швидкість майбутнього поїзда, вагони якого мають критичну швидкість, не меншу за конструктивну [1, 8];
- розробка конструкції торцевої стінки зварного ковпака у вигляді П-подібного каркасу із маломірного стандартного косинця [2];
- ідея півавтоматичної по-кадрової зйомки розміру між гребневим торцем обода колеса та зовнішньою гранню рейки, формування крапкової функції та її сплайн-апроксимація [3,4] ;
- методика визначення критичної швидкості вагона на змодельованих графіках $k_{\partial z}=F(v)$ [5] у точці початку високо-градієнтного зростання характеристики;
- у патенті [6] автору належить формулювання технічного рішення

кріплення верхнього штирового передаточного пристрою за допомогою косинця 120×100 мм;

- результати наукової публікації [7] належать авторам на рівних правах.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи були викладені та обговорені: □ на міжнародних конференціях <Проблемы механики железнодорожного транспорта > (Дніпропетровськ, 2008 р.) [8] і < Проблемы и перспективы развития транспортных систем: техника, технология, экономика и управление > (Київ, ДЕТУТ, 2011 р.) [9]; □ на науково-технічних радах Укрзалізниці, ДП «Придніпровська залізниця», ДП «Південно-Західна залізниця», ДП «Львівська залізниця»; □ на семінарах кафедр вагонів і вагонного господарства УкрДАЗТ та ДНУЗТ.

В повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі кафедр механічного факультету Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна 27.05.2011 р.

Публікації. Основні положення та результати роботи опубліковані у 9 наукових працях: 5 — у наукових фахових виданнях, затверджених ВАК України за фахом 05.22.07 — рухомий склад залізниць та тяга поїздів, 1 патент на винахід, 1 додаткова брошура у залізничному видавництві «Рухомий склад», 2 — тези доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Структура та об'єм дисертації. Дисертація складається із вступу, п'ятих розділів, висновків, списку використаної літератури і трьох додатків. Основний текст роботи викладений на 152 сторінках. Дисертація містить 72 рисунки і 16 таблиць, розміщених у тексті. Список літератури з 99 найменувань. Додатки на 24 сторінках. Загальний обсяг дисертації складає 176 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** розкривається актуальність проблеми підвищення безпечної швидкості руху вагонів на магістралях УЗ та інших залізниць стандарту колії 1520 мм. Викладена загальна характеристика дисертації.

Перший розділ присвячений аналізу джерел і попередніх досліджень, в яких розкриті питання стійкості руху та критичної швидкості вагонів.

Спочатку приведені результати періодичних випробувань п'яти піввагонів побудови ОАО «КВБЗ» через кожні 20 тис.км експлуатаційного пробігу у рудних маршрутах. Вони виконані у 1999-2000 рр. лабораторією вагонів ДНУЗТ за участю автора і дозволили з'ясувати причину обмеження швидкості. Встановлено, що перші 20-30 тис. км пробігу можна безпечно експлуатувати новозбудований вагон з конструктивною швидкістю (120 км/год), при цьому спостерігаються сприйнятливі показники плавності руху. Але після пробігу більше 40 тис.км у всіх дослідних вагонів відбулась втрата стійкості при швидкості 70÷85 км/год. Нестійкий рух характерний якісними змінами динаміки, які нерідко приводять до сходів з рейок.

Далі проаналізовані роботи з проблеми стійкості руху механічних об'єктів та рухомого складу залізниць. Значний внесок у дослідження цієї проблеми належить О. М. Ляпунову, В. А. Лазаряну, Ю. В. Дьоміну, О. О. Долматову, М. Л. Коротенко, С. М. Куценко, О. А. Львову, М. О. Радченко, В.Ф. Ушкалову, О. О. Хохлову, В. Д. Хусидову Ф. Лекоту та ін. Розглянуті основні конструктивні рішення, направлені на підвищення критичної швидкості вагона — гідравлічні демпфери для гасіння вилянь візків і фрикційні ковзуни-демпфери. Останні забезпечують підвищення критичної швидкості при наявності додаткових передавальних пристроїв (відомі трьохважільні і повідкові конструкції). Стосовно вантажних вагонів УІС з візками У-25, то стабільність їх руху підтримується пружними беззазорними ковзунами, які забезпечують демпфування виляння за рахунок фрикційної взаємодії з парними ковзунами кузова. Цю функцію візках мод.18-100 після їх модернізації С.03.04 (за технологією «А.СТАКІ») виконують пружно-каткові ковзуни за підтримкою спеціальних клинів гасника, що грають роль передавальних пристроїв.

Виконаний аналіз джерел показав, що перевірка стійкості руху ще не знайшла практичного застосування під час розробки та проектування вантажних вагонів через складність аналітичних розрахунків. Склалось упередження, що конструктивна швидкість — нормативно-розрахунковий показник вантажного вагона, дотримання якого під час усього періоду експлуатації необов'язкове (бо може бути аварійно-небезпечним).

У **другому розділі** дисертації обґрунтовано інженерно-практичний аспект стійкості руху вагона. Запропоновані наступні визначення.

Рух вагона стійкий, якщо після поперечного силового збурення на колісну пару, яка рухається у рейковій колії, додаткові коливання згаснуть без торкання гребенями рейок, або після одиночного контакту.

Рух вагона нестійкий, якщо після поперечного силового збурення на колісну пару, яка рухається у рейковій колії, додаткові коливання посиляться на ширину рейкового зазору і не будуть згасати (режим автоколивань).

Втрата стійкості руху відбувається після набирання вагоном певної швидкості руху, яка називається критичною ($v_{кр}$). З перевищенням критичної швидкості відбуваються якісні зміни динамічних параметрів, що розпочинаються з інтенсивних поперечних коливань колісної пари (рис. 1,а). Поки швидкість порожнього піввагона на прямолінійній колії не досягла критичного значення $v_{кр} \approx 70$ км/год (зліва від $\hat{S}=22$ км), рух стійкий — поперечні переміщення колісної пари носять аперіодичний характер і не перевищують $w=\pm 5$ мм, а прискорення змінюються у межах $\ddot{y}=\pm 0,03g$. На ділянці полігону від $\hat{S}=22$ км до $\check{S}=25$ км швидкість закритична. Переміщення набувають характеру автоколивань у колійному зазорі, коли колісна пара впирається гребенями почергово то у праву, то у ліву рейку, і збільшуються до $w=\pm 25$ мм. Однотипно збурюються і прискорення, досягаючи $\ddot{y}=\pm 0,2g$. Далі за командою з вагона-лабораторії дослідний зчеп пригальмовується, швидкість стає меншою від критичної, а стійкість руху на ділянці справа

від $\check{S}=25$ км відновлюється.

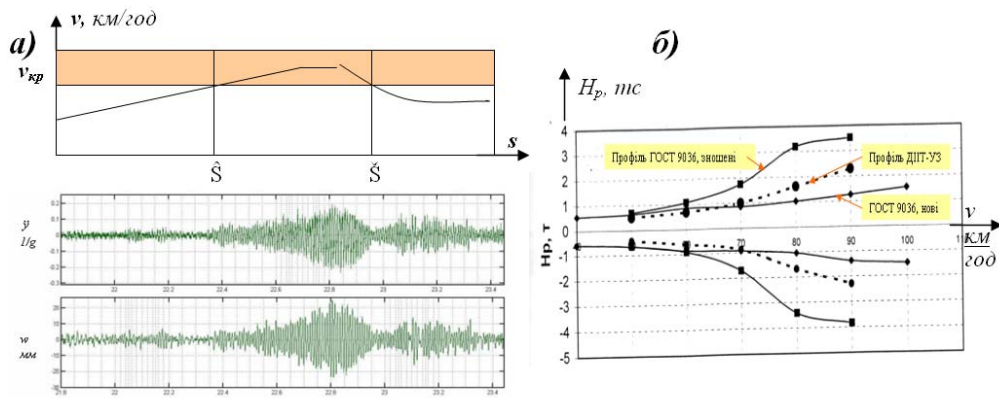


Рис. 1. Якісні зміни поперечної динаміки при втраті стійкості руху вагона
 а) прискорення \ddot{y} та переміщення w колісної пари поперек рейкової колії;
 б) залежність рамних зусиль H_p від швидкості руху порожнього піввагона.

Втрата стійкості руху супроводжується стрімким зростанням рамних зусиль (діючих подовж осей колісних пар). Дані випробувань порожніх піввагонів узагальнені на графіку $H_p=f(v)$, зображеному на рис. 1,б. Тут дві внутрішні лінії (сила «+» діє у напрямку лівої, «-» — правої рейки) відображають монотонне зростання H_p у вагона з щойно обточеними колесами за профілем ГОСТ 9036, коли в діапазоні $v=40 \rightarrow 100$ км/год рамні сили $H_p=\pm 0,6 \rightarrow \pm 1,6$ тс. Зовнішні криві описують значення H_p , зареєстровані під час випробувань вагона із зношеними колесами, який втратив стійкість руху. Тут в інтервалі швидкості $v=70 \div 80$ км/год рамні сили збільшилися втричі і досягли $H_p \pm 3,5$ тс. Відповідно зменшився запас стійкості від сходу і склались передумови аварійної ситуації. Середні пунктирні лінії (рис. 1,б) побудовані за результатами випробування піввагона з профілем коліс ДПТ-УЗ.

Із приведеного графіку $H_p=f(v)$ випливає, що критична швидкість $v_{кр}$ вагона з повним профілем кочення коліс вища, ніж із зношеним. Встановлено також інші фактори, що впливають на критичну швидкість:

- стан завантаження — $v_{кр}$ порожнього вагона менша, ніж у завантаженого;
- план колії — на прямолінійних ділянках $v_{кр}$ менша, ніж у кривих.

Характерна ознака втрати стійкості — інтенсивне виляння візків. викликане поперечними коливаннями колісних пар. Одночасно після втрати вагоном стійкості збурюються коливання виляння кузовів з амплітудою переміщень торців близько 70 мм.

Далі аналізується, чому початкові спроби обладнання візків мод.18-100 пружними безззорними ковзунами (що проводились з 70-х років минулого століття) не дали очікуваних результатів щодо зменшення інтенсивних вилянь візків і покращення плавності ходу вантажних вагонів. Встановлені такі причини:

- Надресорна балка має можливість виконувати горизонтальні кутові повороти незалежно від переміщень бокових рам подовж осі вагона x . На рис. 2 показано, як при нерухомій боковій рамі (представленій фрикційними планками Φ) торець наддресорної балки $НБ$ перемістився на S_x за рахунок різних прогинів підклинкових пружин $П_1$ і $П_2$. Тут спостерігається прояв «зайвого» ступеня свободи, що перешкоджає передачі вплив бокових рам на наддресорну балку, — отже, ослаблює демпфування цих коливань пружними ковзунами.
- Зноси δ_v вертикальних і δ_n похилих фрикційних поверхонь приводять до

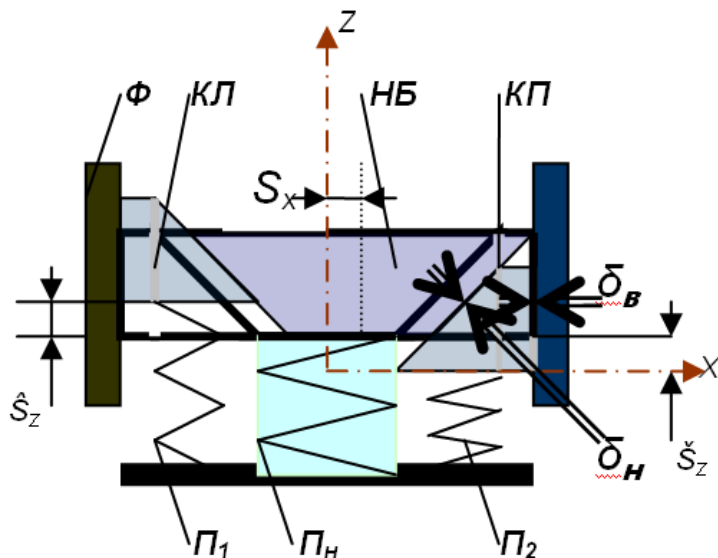


Рис. 2.. Можливі положення торця наддресорної балки візка моделі 18-100.

завишень S_z клинів гасника. За даними обстеження 2008 року (650 вагонів) у 53% вагонів завищення клинів перевищували нормативний максимум — 4 мм. Понаднормативні завищення досягали $s_z^{(мак)} = 20$ мм при усередненому значенні $s_z^{(сер)} \approx 8$ мм. Такі завищення перевищують статичний прогин порожнього вагона, через що виникають некомпенсовані зазори в ланцюжку «колісні пари ↔ бокові рами ↔ наддресорна балка». Випробування піввагона з пружними ковзунами при значних зносах

гребенів коліс і клинів підтвердили, що при порожньому стані вагона ковзуни-демпфери практично не працюють ($v_{кр} = 72$ км/год). Після завантаження критична швидкість вагона підвищується до 110 км/год.

Спосіб позбутися впливу вказаних факторів був знайдений з використанням розробок фірми «А.Стакі» (США). У модернізованих за технологією С.03.04 вагонах при швидкості до 120 км/год коливання вплив візків практично відсутні, тобто пружно-каткові ковзуни успішно справляються з їх гасінням. Цей ефект досягається удосконаленими клинами гасника, конструкція яких перешкоджає проявленню «зайвого» ступеня свободи (крім гальмівних режимів) і не допускає виникнення некомпенсованих зазорів.

Узагальнення результатів випробувань (як вагонів нового покоління на візках мод. 18-7020, так і модернізованих за технологією С.03.04), а також пробних рейсів маршруту №2 (сформованого із піввагонів мод 12-7023 на візках мод.18-7020) зі швидкістю 90-100 км/год, показали, що пристрої «А.Стакі» забезпечують збільшення критичної швидкості вагонів стандарту 1520 мм. Середня інтенсивність зносів поверхонь тертя (загартований чавун

по сталі 20ХСДП) зменшується після модернізації вдвічі і становить $0,19 \div 0,21 \text{ мм}/10^4 \text{ км}$ пробігу. Другий розділ завершується аналізом конструктивних особливостей інших візків для вагонів нового покоління щодо забезпечення достатньої критичної швидкості на протязі життєвого циклу вагона.

У **третьому** розділі дисертації виконані теоретичні дослідження критичної швидкості піввагона на візках мод. 18-100, обладнаних пружними ковзунами-демпферами. Розглянуто два способи визначення критичної швидкості:

- 1 шляхом аналізу власних значень матриці \check{A} , складеної із коефіцієнтів лінійних диференційних рівнянь незбуреного руху (за теоремою О.М.Ляпунова);
- 2 шляхом комп'ютерного моделювання просторової динаміки вагона, що рухається по колії із заданими нерівностями, з подальшим визначенням критичної швидкості.

Для досліджень по першому способу побудована система лінійних диференційних рівнянь коливань піввагона у горизонтальній площині ХУ. Розрахункова схема складається із 11-ти інерційних об'єктів, сполучених елементами з пружними і в'язкими властивостями. Фрикційні гасники коливань і ковзуни-демпфери замінені еквівалентними за поглинанням енергії елементами в'язкого тертя. Зокрема, коефіцієнт в'язкості елемента, який заміняє ковзуни-демпфери, визначався за формулою

$$\beta_{ck} = \frac{4M_{ck}}{\pi A_l \chi v};$$

де M_{ck} — момент тертя у пружних ковзунах; A_l — амплітуда граничного циклу виляння, на який вийде фазова траєкторія системи після втрати стійкості;

χ — коефіцієнт Клінгеля у описанні руху колісної пари; v — швидкість.

Для складання диференціальних рівнянь порожнього піввагона використаний принцип віртуальних переміщень. Повна віртуальна робота математичної моделі представлена у вигляді чотирьох складових

$$\delta A = \delta A^{(IH)} + \delta A^{(PII)} + \delta A^{(63)} + \delta A^{(KP)}.$$

У правій частині позначені варіації складових віртуальної роботи від дії: інерційних зусиль об'єктів моделі; опору пружних елементів ресорного підвішування; опору елементів в'язкого тертя; сил взаємодії коліс з рейками. Прирівнявши нулю коефіцієнти при варіаціях узагальнених координат, одержуємо систему диференціальних рівнянь

$$Mq'' + (B + F)q' + (C + K)q = 0,$$

які перетворюємо в еквівалентне рівняння першого порядку

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} q \\ q' \end{bmatrix} = \check{A} \begin{bmatrix} q \\ q' \end{bmatrix}; \quad \check{A} = \begin{bmatrix} [1]_{8 \times 8} & \\ -M^{-1}(C+K) & -M^{-1}(B+F) \end{bmatrix}.$$

Тут $M, B, C, F, K, [1]_{8 \times 8}$ — підматриці розміром 8×8 відповідно: мас, коефіцієнтів в'язкості, коефіцієнтів жорсткості, коефіцієнтів взаємодії між колесами та рейками з урахуванням проковзування за Картером і одинична;

\check{A} — визначальна матриця, власні числа якої аналізуються для складання висновку щодо стійкості руху.

Одержані результати показали, що рух вагона нестійкий у всьому діапазоні експлуатаційних швидкостей за будь-якого значення моменту сил тертя у ковзунах. Це твердження суперечить експериментам і практичному досвіду. Можлива причина — недостатня коректність припущень і ідеалізацій, введених у розрахункову модель.

Другим способом критична швидкість визначалась за допомогою універсальної комп'ютерної програми «DYNRAIL» для розрахунку параметрів просторових коливань вагона стандарту 1520 мм. Побудована модель із 15 інерційних об'єктів, яка реалізує розв'язок диференціальних рівнянь вимушених просторових коливань піввагона під час руху по колії з заданими нерівностями. Враховані фактичні зноси ободів коліс, робота сил фрикційного тертя і подовжні зазори у клинових гасниках. Відтворене поглинання енергії безззорними ковзунами ТАУС, змодельований вплив передавальних пристроїв.

У результатах розрахунків виявлені ознаки втрати стійкості з характерними автоколиваннями частин вагона (приклад на рис. 3 — при русі порожнього піввагона без штирових пристроїв з критичною швидкістю 80 км/год).

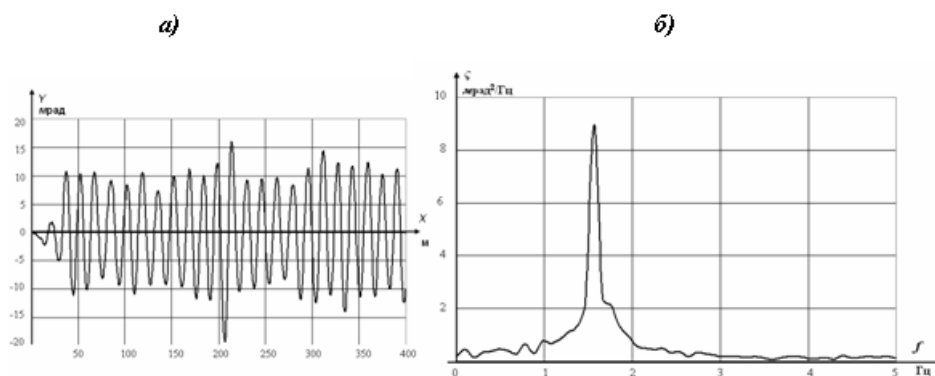


Рис. 3. Ознака втрати стійкості — автоколивання виляння колісної пари на динамічній моделі: *а* — амплітудна характеристика, *б* — спектральна щільність потужності.

Обладнання візків мод. 18-100 пружними ковзунами ТАУС і ремонтними передавальними пристроями (штировими), згідно до результатів розрахунків, дозволяє підвищити швидкість руху до 100 км/год із задовільними динамічними характеристиками. Похибка результатів моделювання, порівняно з експериментами,— до 10%.

У четвертому розділі дисертації запропоновано процедуру розпізнавання наявності автоколивань у переміщеннях колісної пари вагона поперек рейкової колії як ознаки втрати стійкості руху. Початковим джерелом інформації обрано відеозйомку положення колеса вагона відносно рейки. Налаштувати малогабаритну відеокамеру на зйомку пари «колесо-рейка» під час руху вагона нескладно. Але на зареєстровані переміщення будуть накладатись коливання носія камери, що утруднює аналіз записів. Тому використане по-кадрове розпізнавання базової відстані y_i від внутрішньої поверхні обода колеса до тилової грані головки рейки (рис. 4). Для числової реєстрації y_i використовувались можливості програми Microsoft Foto Editor автоматично фіксувати розміри ширини та висоти виділеного фрагменту у розмірності «піксель». Попередньо повернувши кадр так, щоб базовий розмір займав горизонтальне (чи вертикальне) положення, оператор виділяв вузький фрагмент на потрібній відстані і фіксував шуканий розмір, котрий перераховується в міліметрах через масштабний коефіцієнт, визначений після зняття розміру $s=130$ мм.

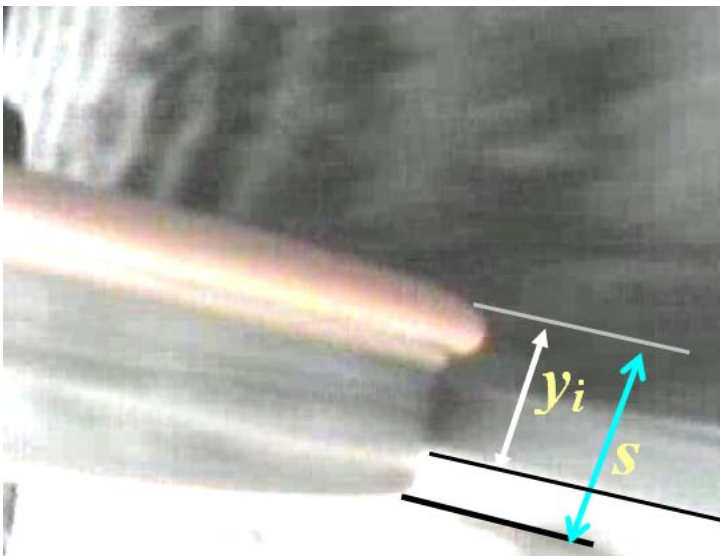


Рис. 4. Базовий розмір y_i та контрольний — s , які потрібно зняти з кадру відеоролика.

Із покадрової фіксації розмірів y_i та відносного часу t_i зйомки відповідних кадрів складаємо матрицю E

цифрової залежності $y_i = f(t_i)$. У транспонованій формі матриця має вигляд (символом $T=0,08$ с позначений період між кадрами):

$$E = \begin{bmatrix} t_0 & t_0 + T & t_0 + 2T & \dots & t_0 + (n-1)T \\ y_1 & y_2 & y_3 & \dots & y_n \end{bmatrix}^T$$

Подальша побудова за компонентами цієї матриці графіка переміщень

колісної пари в рейковій колії та перетворення останнього у характеристику спектральної щільності частот відпрацьовувались на взірцевій функції і еталонному відеозапису.

Матриця взірцевої функції $y_i = 110 + 25\sin 2\pi(1,5t_i)$ була сформована із 126 значень y_i , заданих для $t=0\dots 10$ с через інтервал $T = 0,08$ с. Графік переміщень колісної пари побудовано за програмою MATLAB у вигляді неперервно диференційованої сплайн-функції, а потім за допомогою перетворення Фур'є одержана характеристика щільності частотного спектру, яка зафіксувала єдину частоту $f_{EI} = 1,5$ Гц.

Як еталонний відеоролик, з дозволу ІТМ НАНУ, була використана зйомка переміщень колеса вагона на візках мод.18-100, зроблена на полігоні Белореченська-Майкоп під час випробуваннях комплексної модернізації вагона за технологією С.03.04. Аналізувалась відео-зйомка колеса порожнього типового піввагона із зношеними до товщини 27 мм гребенями візків мод. 18-100 при швидкості 70 км/год. Відеозапис був імпортований у програму Windows Movie Maker і фрагмент $t=0\dots 10$ сек. оброблений по-кадрово (рис. 5).

5). Розгляд характеристики щільності частотного спектру $\xi = F(f)$ показав, .

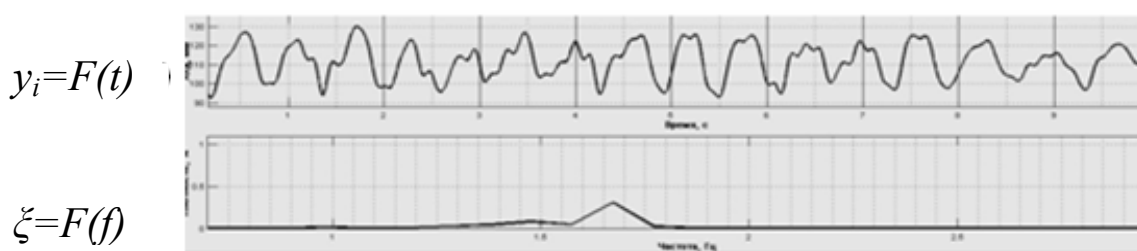


Рис 5. Графік переміщень і характеристика частот, побудовані для еталонної функції. що домінує частота $f_{\delta} = 1,67$ Гц з щільністю $\xi = 3 \cdot 10^{-4}$ — вона визначає наявність автоколивань.

П'ятий розділ дисертації містить обґрунтування та дослідження нової ремонтної технології «ДНІПРО», якою передбачено обладнання існуючих вагонів пристроями для збільшення безпечної швидкості до 100 км/год. Актуальність технології полягає у створенні можливостей для першого етапу збільшення швидкості вантажних поїздів до 90-100 км/год уже в найближчі роки. Дотримані вимоги — відмовитись від імпортних комплектуючих, максимально використати існуючі деталі візка. Додатково до правил ДР у технологію «ДНІПРО» введені такі операції:

- переобладнання ковзунів на пружні беззazorні ремонтні ТАУС,
- постановка на кожний візок двох штирових передаточних пристроїв,
- переточка ободів коліс за малозносними профілями кочення ДНУЗТ-09.

При розробці технології проведено доопрацювання ковзунів ТАУС, створені ремонтні штирові передавальні пристрої та досліджено їх вплив на критичну швидкість і міцність вагона.

Надійність ковзунів ТАУС₀ було збільшена шляхом постановки зварних ковпаків, покритих оксафеновими накладками, з регулюванням їх висоти додатковими поліуретановими шайбами.

Для ремонтних умов запропоновані штирові пристрої, які передають впливання бокових рам на надресорну балку у порожньому режимі. Розроблено два варіанти штирових пристроїв — з верхнім і нижнім зануренням штиря. При верхньому зануренні (рис. 6,а) циліндричний штир 2, прикріплений до бокової рами, взаємодіє з втулкою 6, привареною до надресорної балки. Отвір у втулці 6 по осі x (із площини схеми) виконаний щільно відносно діаметра насадки 4 (зазор до 0,5 мм), а по осі y — продовгуватий для вільних поперечних коливань балки на ресорах.

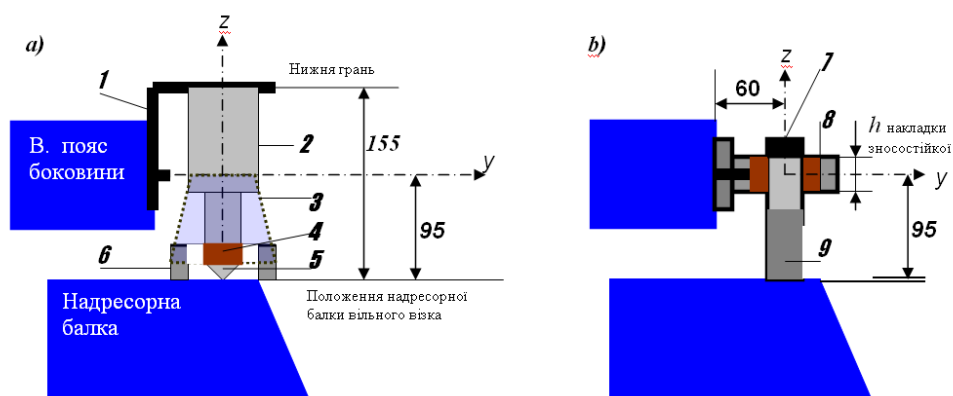


Рис. 6 Принципові схеми штирового пристрою на викоченому візку мод. 18-100: а) з верхнім зануренням (1—косинець, 2, 4, 5—штир з насадкою і наконечником, 3—пильник, 6—втулка); б) з нижнім зануренням (7—наконечник штиря, 8—скоба, 9—штир).

При нижньому зануренні (рис. 6,б) штир 9 прямокутного перерізу, приварений поблизу торця надресорної балки, взаємодіє з скобою 8, що прикріплена до бокової рами. На внутрішніх гранях скоби 8 (на схемі — переріз у площині yz) прикріплені зносостійкі пластини, щільно контактуючі з робочими гранями штиря.

Два таких пристрої (з обох торців надресорної балки) ліквідують «зайвий» ступінь вільності візка мод. 18-100 при порожньому стані вагона. Після завантаження більш, як на 50% вантажопідйомності вагона штирові пристрої виключаються завдяки осіданню шкворневої балки

Теоретичні обґрунтування у дисертації доцільності і безпечності обладнання візків пристроями для підвищення стійкості руху включають такі дослідження:

- експериментальна перевірка напруженості верхнього поясу бокової рами візка мод. 18-100 після приварки кріпильних болтів штирової передачі;
- порівняння напруженого стану скінченно-елементної моделі бокової рами до і після постановки штирових пристроїв.

Перевірка рівня технологічних та робочих напружень у верхньому поясі бокової рами візка після приварки кріпильних болтів штирової передачі

виконана експериментально на стенді для випробувань натурального візка. Дослідження показали, що усі діючі на пояс напруги — стискуючі (їх сумарне значення <-115 МПа) і нижчі допустимих за III розрахунковим режимом. Отже, приварювання двох кріпильних болтів безпечно.

Для оцінки впливу штирового пристрою на загальну міцність бокової рами була побудована 3D-модель останньої і розрахований її напружено-деформований стан за програмою MSC NASTRAN. Модель утримує 158 908 просторових скінченних елементів та 275 835 вузлів. Найбільш інформативним виявився розрахунок на дію гальмівних навантажень, які передаються на бокову раму безпосередньо через штирові пристрої. Зіставлення результуючих картин напруженого стану за гіпотезою Мізеса (сумарних зрушуючих напруг, які спричиняють руйнування) показало, що обладнання штировими устроями не збільшує напруженість бокової рами візка мод. 18-100.

Далі розглянуті організація та основні результати ходових динамічних випробувань вагона № 66489808, який після 24-річної експлуатації був відремонтований за технологією «ДНІПРО». Як вагон-еталон був взятий з маршруту №2 піввагон № 51855870 нового покоління моделі 12-7023 на візках моделі 18-7020. Вагон побудований ВАТ КВСЗ у 2006 р., експлуатувався в маршруті №2 до пробігу 160 тис. км, гребені коліс зношені до товщини ~ 28 мм.

Обидва вибрані вагони були обладнані датчиками для реєстрації динамічних параметрів, взаємних переміщень ковзунів-демпферів і напружень у штирях. На дослідний вагон був встановлений кронштейн з відеокамерою, що фіксувала положення колеса відносно рейки під час дослідних поїздок.

Ходові динамічні випробування виконувались в період з 14.11.2008р. по 30.11.2008р. на двох напрямках:

I Ст. Дніпропетровськ Південний — ст. Сухачівка Прд. У вказаному напрямку реєструвались динамічні процеси під час руху дослідного зчепу з швидкістю до 80 км/год по кривих $R= 350\div 600$ м.

II Ст. Новомосковськ Дніпровський — ст. Балівка. Тут була виконана програма випробувань у порожньому режимі зі швидкістю до 132 км/год, після чого зчеп був завантажений залізною рудою і проведені випробування у завантаженому режимі з швидкістю до 125 км/год. Під час дослідних поїздок гальмування зчепу забезпечувалось локомотивом.

При обробці результатів випробувань приділялась увага ознакам, які характеризують стійкість руху вагона. Аналіз відео-зйомок переміщень колеса відносно рейки виконаний для швидкостей порожнього зчепу 80, 100 і 132 км/год показав на відсутність автоколиваний, отже, рух дослідного вагона стійкий. Цей висновок підтвердився результатами аналізу показників горизонтальної поперечної динаміки, зареєстрованих під час випробувань. Так, при підвищенні швидкості руху порожнього дослідного вагона від 40 до 100 км/год коефіцієнт поперечної динаміки монотонно зростав у межах $k_{0z} =$

0,03÷0,08, подібно змінювались прискорення $\ddot{Y}= 0,04g\div 0,14g$. а мінімальне значення коефіцієнту запасу стійкості колісної пари від сходу поступово зменшувалось у межах $K_{cx} \geq 6,2\div 1,45$ (допустимий мінімум $[K_{cx}]=1,4$).

Після завантаження дослідного вагона штирові пристрої вимкнулись, але ковзуни-демпфери забезпечили підвищення критичної швидкості — при $v=40\div 100$ км/год спостерігалось монотонне зростання $k_{d\sigma}= 0,03\div 0,14$; $\ddot{Y}= 0,04g\div 0,13g$. мінімальні значення коефіцієнту стійкості від сходу з рейок ($K_{cx} \geq 2,2$) перевищили допустимі.

Як і очікувалось, оснащення візків додатковими пристроями для стабілізації руху не позначились суттєво на показниках вертикальної динаміки вагона. У підсумку, по усім нормативним критеріям плавність ходу дослідного вагона з швидкістю до 100 км/год оцінена на «відмінно» як у порожньому, так і у завантаженому станах.

Аналіз сигналів датчиків, що реєстрували роботу додаткових пристроїв для стабілізації руху вагона, показав наступне:

- Відносні динамічні зсуви Δ у парах ковзунів «ТАУС - кузов» на дослідному вагоні і «А.СТАКІ - кузов» на вагоні-еталоні виявились порівнянними за величиною і якісно схожими, що свідчить про ідентичність роботи ковзунів ТАУС та А.СТАКІ.
- Штирові передаточні пристрої на порожньому дослідному вагоні сприймали зусилля величиною $Q_x \leq \pm 1,5$ кН від передачі вилання бокових рам на торці надресорної балки (гальмування дослідного зчепу виконувались локомотивом).

В додатках приведені: розрахунок ефективності наступна інформація: збільшення швидкості існуючих рудних поїздів на полігоні Кривий Ріг–Ужгород, документи впровадження результатів дисертації, матеріали щодо вагона, відремонтованого за технологією «ДНІПРО».

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено науково-практичну задачу підвищення швидкості руху вантажних вагонів у поїздах і при маневрових операціях. Виконані в дисертації дослідження дозволяють зробити такі висновки.

1. Головною причиною обмеження швидкості вантажних вагонів УЗ (обладнаних візками мод.18-100) є втрата стійкості руху, яка настає після перевищення критичної швидкості. Сама ж критична швидкість $v_{кр}$ є величиною перемінною, залежною від зносів ободів коліс — у щойно побудованого вагона $v_{кр} > 120$ км/год, а уже після незначного експлуатаційного пробігу (20-30 тис.км) зменшується до $v_{кр}=70\div 85$ км/год. Після втрати стійкості нерідко трапляються аварійні сходи з рейок, через що швидкість поїздів вимушено обмежується.

2. Запропоновано інженерно-практичне визначення: рух вагона стійкий, якщо після поперечного силового збурення на колісну пару, яка рухається у рейковій колії, додаткові коливання згаснуть без торкання, або з

одиначним контактом гребеня колеса об рейку. Якщо ж додаткові коливання посиляться на ширину рейкового зазору й перестануть згасати (автоколивання з почерговим відштовхуванням гребенів коліс від рейок), то відбулася втрата стійкості руху.

3. Після втрати стійкості наступають якісні зміни динаміки вагона:

- Збурюються автоколивання колісних пар та виляння візків у рейковому зазорі (у літературі: «інтенсивний звивистий рух», «шальні візки», «shimmy»).
- Рамні (діючі поперек колії) зусилля зростають у три і більше разів, від чого знижується коефіцієнт стійкості від сходу і створюються аварійні ситуації.
- Кузов теж піддається коливанням виляння — при цьому горизонтальні прискорення шкворневих вузлів набувають характеру автоколивань (ознака втрати стійкості).

4. Встановлено причини неефективної роботи пружних ковзунів після обладнання ними візків мод.180-100. Це, по-перше, «зайвий» ступінь свободи надресорної балки і, по-друге, накопичення зазорів від зносів фрикційних поверхонь клинових гасників аж до утворення некомпенсованих зазорів (у порожньому стані вагона).

5. Підвищення критичної швидкості забезпечується модернізацією візків мод.18-100 за технологією С.02.03 з елементами «А.СТАКІ». Демпфуюча функція пружно-каткових ковзунів підтримується спеціальними клинами, що не допускають появи незалежного виляння надресорної балки. Автором проаналізовані також способи підтримки стійкості руху візками нового покоління: мод.18-7020, 18-579 та ін.

6. Теоретичне визначення критичної швидкості вантажного вагона виконане автором дисертації двома способами:

- 1) Складена лінійна модель коливань 4-вісного піввагона у горизонтальній площині, у якій фрикційні елементи ходових частин замінені елементами в'язкого тертя. З використанням теореми О.М.Ляпунова одержаний результат, що рух вагона нестійкий у всьому діапазоні експлуатаційних швидкостей при будь-якому значенні моменту сил тертя у ковзунах. Цей результат не відповідає експериментам і практичному досвіду.
- 2) Проведене дослідження стійкості на комп'ютерній просторовій динамічній моделі з урахуванням нелінійностей, створених фрикційними елементами (включаючи беззазорні ковзуни) і внаслідок зносів робочих поверхонь деталей. За результатами комп'ютерного моделювання встановлені достовірні критичні швидкості й параметри автоколивань при втраті стійкості типового піввагона, а також обладнаного пружними ковзунами і передавальними пристроями.

7. Розроблено процедуру обробки відеозйомки поперечних переміщень колісної пари у рейковій колії з побудовою характеристики

щільності частотного спектру, що дозволяє виявити автоколивання, які є первинною ознакою втрати вагоном стійкості руху.

8. Запропоновано та досліджено альтернативний спосіб збільшення критичної швидкості вагонів існуючого парку для можливості їх подальшої безпечної експлуатації зі швидкістю до 100 км/год (категорія «s» за класифікацією ОСЗ/МСЗ/UIS). Сутність способу — при ДР вагона за технологією «ДНПРО» проводиться ремонтне переобладнання ковзунів на безззорні пружні (удосконалені автором, ремонтного типу) та обладнання візків спеціально розробленими штировими передаточними пристроями.

9. Розроблено та досліджено штировий пристрій — ремонтний тип передавальних пристроїв для візків мод. 18-100.

10. Виконана експериментальне перевірка напруг у верхньому поясі від приварки кріпильних болтів і розрахунки на скінчено-елементній 3D-моделі напруженого стану бокової рами після встановлення штирового пристрою. Ці дослідження підтвердили, що міцність і надійність бокових рам візків мод. 18-100 після ремонту вагона з обладнанням додатковими пристроями не зменшується.

11. Динамічні випробування старотипного піввагона (побудови 1984 року) за технологією «ДНПРО» показали:

- Стійкість руху відремонтованого вагона при швидкості 100 км/год дотримувалась із значним запасом (до 135 км/год) при випробуваннях порожнього і до 125 км/год — завантаженого).
- Плавність ходу за усіма показниками одержала оцінку «відмінно».
- Удосконалені ковзуни ТАУС виконували функцію демпфування автоколивань ідентично пружно-катковим ковзунам А.СТАКІ вагона-еталону.
- Штирові пристрої забезпечували ефективність ковзунів-демпферів при порожньому режимі випробувань без сприйняття значних напружень.

12. Розрахунок економічного ефекту (*вик. автором сумісно з к. е. н. доцентом ДНУЗТ О.М.Гненним*) від збільшення швидкості рудних поїздів (6 составів у сутки) на напрямку Кривий Ріг — Ужгород (2×2,7 тис. км, або 12% від довжини магістральних залізниць України). Ця міра дозволить скоротити потребу у вагонах — на 690 од., у локомотивах — на 11 од. Очікуваний річний розрахунковий ефект від збільшення швидкості руху склав 275 млн.грн, тобто — 10 млн.грн. на 100 км траси перевезень.

Список основних праць за темою дисертації.

- 1 Мельничук В.О. Проблема підвищення швидкості вантажних поїздів. / Мельничук В.О., Пшінько О.М., Савчук О.М. — Вісник ДНУЗТ. Вип.22. Дніпропетровськ, 2008,— С.40-45.
- 2 Мельничук В.О. Удосконалення пружних ковзунів ТАУС. / Мельничук В.О. Міщенко А.А. Савчук О.М. — Вісник ДНУЗТ, Вип. 28. Дніпропетровськ, 2009.— С.25-28

- 3 Мельничук В.О. Анализ автоколебаний ходовых частей вагона с помощью видео./ Мельничук В.О., Савчук О.М., Гричаный М.А., Хоменко И.Ю. — Ж. Вагонный парк, №8. 2010.— С.4-6.
- 4 Мельничук В.О. Аналіз поперечних коливань колеса відносно рейки з відеозаписів. / Мельничук В.О., Савчук О.М., Гричаный М.А., Хоменко І.Ю.— Вісник ДНУЗТ.. Вип. 32 . Дніпропетровськ, 2010.— С.143-147.
- 5 Мельничук В.О. Динаміка вантажного вагона, обладнаного пристроями для збільшення безпечної швидкості руху. / Мельничук В.О., Мямлин С.В., Савчук О.М. — Ж. Вагонный парк, №2, 2011.— С.15-18.
- 6 Патент на корисну модель №50768, В61F 5/00 Візок вантажного вагона «Дніпро» / Савчук О.М. Мельничук В.О., Лоза П.А. Пшінько О.М. та ін.; заявник і патентовласник — ДП «Придніпровська залізниця»; заявлено 17.03.2010; опубліковано 25.08.2010— бюл. 12.

Список додаткових праць

- 7 Мельничук В.О. Швидкість вантажних вагонів. / Мельничук В.О., Савчук О.М. — Харків: Корпорація «Техностандарт». Залізничне видавництво «Рухомий склад», 2010.— 92 с.
- 8 Мельничук В.О. Проблема підвищення швидкості вантажних поїздів. / Мельничук В.О., Савчук О.М. — Тези доповідей XII Міжнародної конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту».— Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2008.—С. 105.
- 9 Мельничук В.О. Підвищення критичної швидкості вантажних вагонів шляхом оснащення пристроями для стабілізації руху./ Тези доповідей міжнародної конференції «Проблеми и перспективы развития транспортных систем: техника, технология, экономика и управление».—Київ: ДЕГУТ, 2011 р.

АНОТАЦІЯ

Мельничук В.О. Підвищення безпечної швидкості вантажних вагонів шляхом оснащення стабілізаційними пристроями. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 — рухомий склад залізниць та тяга поїздів.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011.

Дисертація присвячена забезпеченню стійкості руху вантажних вагонів колії 1520 мм із швидкістю 120 км/год (100 км/год – для старотипних) на протязі усього їх життєвого циклу (за умови якісного технічного утримання та ремонту). Показано, що існуючі обмеження швидкості поїзної та маневрової роботи до 70÷80 км/год пов'язані з величиною критичної швидкості вагонів на візках мод. 18-100 (з клиновими «гасниками Ханіна»), перевищення якої складає загрожує безпеці руху і, як правило, закінчується аварійними сходами з рейок.

Визначені ознаки втрати стійкості руху вантажними вагонами, залежність критичної швидкості від зносів ходових частин, стану

завантаженості вагона та плану колії. Показано, що демпфуванню впливання частин візків мод. 18-100 перешкоджають «зайвий» конструктивний ступінь вільності та некомпенсовані зноси клинового гасника. Вплив вказаних факторів вдалось усунути під час модернізації вагонів за проектом С.03.04 (з елементами «А. СТАКІ» — інструкція ЦВ-0083). Проведено аналіз безпечності реалізації конструктивної швидкості вагонами нового покоління на візках мод.18-7020, 18-579 та ін.

Розроблено альтернативний спосіб збільшення критичної швидкості вагонів існуючого парку шляхом їх ремонту за технологією «ДНІПРО» для можливості їх подальшої безпечної експлуатації з швидкістю до 100 км/год (категорія «S» за класифікацією ОСЗ/МСЗ/УІС).

Ключові слова: стійкість руху вагона, автоколивання впливання, критична швидкість, пружні ковзуни, динамічна модель.

АННОТАЦІЯ

Мельничук В.О. Повышение безопасной скорости грузовых вагонов путем оснащения устройствами стабилизации движения. — Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 - Подвижной состав железных дорог и тяга поездов. Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. – Днепропетровск, 2011.

Диссертация посвящена обеспечению устойчивости движения грузовых вагонов колеи 1520 мм со скоростью 120 км/ч (100 км/ч – для старотипных) во всей продолжительности их жизненного цикла (при условии качественного технического содержания и ремонта). Показано, что существующие ограничения скорости поездной и маневровой работы до 70÷80 км/ч связаны с величиной критической скорости вагонов на тележках мод. 18-100 (с клиновыми «гасителями Ханина»), превышение которой составляет угрозу безопасности движения и, как правило, заканчивается аварийными сходами с рельсов.

Определены признаки потери устойчивости движения грузовыми вагонами, зависимость критической скорости от износов ходовых частей, состояния загрузки вагона и плана колеи. Показано, что демпфированию влияния частей тележек мод. 18-100 препятствуют «лишняя» конструктивная степень свободы и некомпенсированные износы клинового гасителя. Влияние указанных факторов удалось устранить при модернизации вагонов по проекту С.03.04 (с элементами «А. СТАКИ» - инструкция ЦВ УЗ-0083). Проведен анализ безопасности реализации конструктивной скорости вагонами нового поколения на тележках моделей 18-7020, 18-579 и др.

Теоретическое исследование критической скорости грузового вагона выполнено двумя способами: с использованием теоремы А. М. Ляпунова (с заменой элементов фрикционного трения эквивалентными вязкими) и путем определения устойчивости на компьютерной динамической модели. Последний способ дал более достоверные результаты определения критических скоростей и параметров автоколебаний при потере устойчивости как типовым полувагоном, так и оборудованным

стабилизирующими устройствами –упругими скользунами и штыревыми передачами.

Разработана процедура обработки видеосъемки поперечных смещений колесной пары движущегося вагона в путевом зазоре с построением характеристики спектральной плотности, позволяющей достоверно определить наличие автоколебаний, как первичного признака потери вагоном устойчивости движения.

Разработан и исследован альтернативный способ увеличения критической скорости вагонов существующего парка путем их деповского ремонта по технологии «ДНЕПР» с оборудованием специальными стабилизирующими устройствами – упругими скользунами ТАУС и штыревыми передачами. Расчеты на конечно-элементной 3D-модели, построенной из более 15 тыс. элементов, показали, что прочность и надежность боковины тележки после ремонта не снизились. Динамическими испытаниями подтверждено, что после такого ремонта возможна дальнейшая безопасная эксплуатация вагона со скоростью до 100 км/ч (категория «s» за классификацией ОСЖД/МСЖД/UIS).

Расчет экономической эффективности от повышения скорости рудных поездов (6 составов ежедневно) по направлению Кривой Рог –Ужгород (2,7 тыс. км) показал, что достигается сокращение используемых вагонов на 690 ед., локомотивов — на 11ед., годовая экономия составит 30 млн. руб. на 100 км. пути.

Приказом Укрзалізничці от 10.07.2007 г. № 365Ц утверждена инструкция о первом этапе повышения скорости грузовых поездов до 90-100 км/ч.

Ключевые слова: устойчивость движения вагона, автоколебания виляния, критическая скорость, упругие скользуны, динамическая модель.

SUMMARY

Melnichuk V.O. Increase of safe speed of freight cars by rigging devices stabilizing of run. It is a manuscript.

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences after specialty 05.22.07 is a rolling stock of railways. Dnepropetrovsk national university of railway transport of the name of academician V. Lazaryan, Dnepropetrovsk, 2011.

Dissertation is devoted providing of firmness of motion at a speed of 100÷120 km/h of freight carriages of track 1520 mm on all of duration them life cycle (subject to the condition high-quality technical maintenance and repair). It is returned that existent limitations of speed of train and mobile work to 70÷80 km/h are related to the size of stalling speed of carriages on the light carts of fashion 18-100 (with «absorber wedge type Khanin»), exceeding of which makes a threat safety of motion and, as a rule, ends with an emergency stair from rails.

The signs of loss of firmness of motion freight carriages are certain, dependence of stalling speed on wear surfaces of workings parts, to the state of work-load of carriage and plan of track. It is retimed that to damping of wagging of parts of light carts of fashion 18-100 «extra» hinder structural degree of freedom and wear out uncompensated wedge absorber. Influence of the indicated factors succeeded to be removed during modernization of carriages on the project S.03.04 (with elements »A. Staki» is instruction of ЦВ-0083). The analysis of unconcern of

realization of structural speed is conducted by the carriages of new generation on the light carts of fashions 18-7020, 18-579 and other.

The alternative method of increase of stalling speed of carriages of existent park is developed by their repair on technology «DNEPR» for possibility them subsequent safe exploitation with speed to 100 km/h (a category of «S» is after classification of UIC).

Key words: resistance movement coach, wagging oscillations, the critical velocity, elastic bears, the dynamic model.

Мельничук Василь Олексійович

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ ШВИДКОСТІ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ШЛЯХОМ ОСНАЩЕННЯ ПРИСТРОЯМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ РУХУ

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку "19" вересня 2011 р.
Формат паперу 60x84 1/16 Ум. друк. арк. 0,9. Обл-вид. арк. 1,0
Зам. № 1561 Тираж 100

Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного
транспорту імені академіка В.Лазаряна,

Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії
вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010
[www/diitrvv dp.ua](http://www/diitrvv.dp.ua)