

Дніпропетровський державний технічний  
університет залізничного транспорту

Дмитрієв Дмитро Вікторович

УДК 629.46.0~~5~~7.017

**ХОДОВІ ЯКОСТІ МОДЕРНІЗОВАНИХ  
ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ КОЛІЇ 1435 мм  
НА ЗАЛІЗНИЦЯХ КОЛІЇ 1520 мм**

Спеціальність 05.22.07 - Рухомий склад залізниць  
та тяга поїздів

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 1998

НТБ  
ДНУЗТ

Директор \_\_\_\_\_

Робота виконана Дніпропетровському державному технічному університеті  
залізничного транспорту (ДНТ), Міністерство транспорту України.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор  
Савчук Орест Махарович,  
ДНТ, проректор з наукової роботи.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук професор Богомаз Георгій Іванович, Інститут  
технічної механіки Національної академії наук України, завідувач відділу;
- кандидат технічних наук доцент Горбунов Микола Іванович,  
Східноукраїнський державний університет, доцент кафедри рухомого складу.

Провідна установа - Інститут транспортних систем і технологій, відділ  
динаміки та міцності нових видів транспорту, Національна академія наук  
України, Дніпропетровськ.

14-й годині на засіданні  
в ДНТі за адресою:  
20010, Дніпропетровськ-10,  
міка Лазарна, 2, ауд. 224.  
іліотеці ДНТу.

р.



Боднар Б.Є

## АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

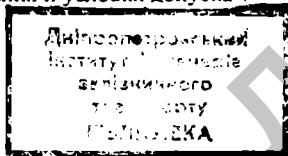
Залізничний транспорт з притаманними йому якостями великою продуктивністю, всепогодністю та безпекою, навіть у теперішній, кризовій для економіки України час, посідає провідне місце у транспортній системі країни. Дані з Центру статистики Міжнародного Союзу залізниць (МСЗ) свідчать про те, що, наприклад, у 1995 році, незважаючи на значне падіння обсягів перевезень, залізниці України посідали перше місце в Європі за тонна-кілометровою роботою, випереджаючи майже внутрішні залізниці Німеччини, які знаходилися на другому місці. На сучасному етапі залізниці можуть запропонувати ринку транспортних послуг традиційні технології перевезень, а в недалекому майбутньому - більш прогресивні комбіновані. Перспективи розвитку залізничних перевезень вантажів значною мірою залежать від ступеня освоєння міжнародних транспортних коридорів.

Для прискорення інтеграції залізниць країни Східної та Центральної Європи у складі МСЗ створено спеціальний підрозділ Схід-Захід. На Другій Загальноєвропейській Конференції Міністрів Транспорту (14-16.03.1994) підписано Меморандум про розвиток пріоритетних транспортних коридорів у Європі, чотири з яких прямо стосуються України.

За даними Державної адміністрації залізничного транспорту України (УЗ) обсяг вантажних перевезень залізницями нашої країни в першому півріччі 1996 року склав 82,9 млрд тонна-км, що на 14,7% менше відповідного періоду попереднього року. При цьому внутрішні перевезення скоротились з 51,4 до 33,2 млрд тонна-км, а зовнішні (експорт, імпорт та транзит) зросли з 45,7 до 49,7 млрд тонна-км. Таким чином, міжнародні перевезення вперше перевищили внутрішні й досягли рівня 60% від загального обсягу.

Нарощування обсягів перевезень вантажів у напрямку Схід-Захід в деякій мірі стримується технічними проблемами через суттєві відмінності як умов експлуатації, так і конструкції рухомого складу. Окрім відмінностей, обумовлених різницею в ширині колії, західноєвропейські та вітчизняні вагони мають різні за конструкцією та характеристиками пристрої обпирання кузова на візки, ударно-тягові пристрої та автоматичні гальма.

Конструкції сучасних вагонів для міжнародних сполучень проектується з урахуванням усунення названих відмінностей. З цією метою розробляються гармонізовані нормативні документи. Наприклад, у теперішній час опрацьовується проєкт пам'ятки МСЗ "Грузові вагони. Сообщения между железными дорогами колес 1435 мм и железными дорогами колес 1520 мм. Технические требования и условия допуска".



зв'язку викладеним, проблема допуску рухомого складу двоострогівського типу до експлуатації на залізницях України є актуальною важливою економічних міркувань. Разом з цим, технічна адаптація вагонів побудованих минулих років до умов роботи вітчизняного залізничного транспорту потребує нових інженерних рішень щодо усунення окремих надбаних конструктивних відмінностей рухомого складу залізниць із 1435 і 1520 мм.

## ЗВ'ЯЗОК РОБОТИ З НАУКОВИМИ ТЕМАМИ

Дослідження, результати яких були покладені в основу дисертаційної роботи, що подається, розпочато у 1980 році під час експериментальних випробувань модернізованих вантажних вагонів у складі дослідних маршрутів

Основні результати дисертації отримані протягом останніх чотирьох років в межах робіт галузевої науково-дослідної лабораторії (ГНДЛ) вагонів лінійного наукового центру Транспортної академії України. Дисертація є результатом розробки теми "Динамічні якості та безпека руху вантажних транспортних засобів" затвердженої Президією Національної Академії Наук України (НАНУ), яка виконується Інститутом технічної механіки

## МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дисертаційної роботи полягає в розробці експериментально-теоретичної методики оцінки ходових динамічних якостей вантажних вагонів колії 1435 мм при експлуатації їх на залізницях колії 1520 мм і наданні науково обґрунтованих рекомендацій в технічному плані стосовно умов такої експлуатації.

Для ефективного досягнення вказаної мети потрібно розв'язати дві головні задачі:

розробити оцідливую методіку прогнозування ходових динамічних якостей модернізованих вантажних вагонів на візках моделі 18-100;

експлуатувати комплекс сучасних технічних засобів та створити пакет комп'ютерних програм, що реалізують названу методіку.

## НАУКОВА НОВИЗНА ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Наукова новизна результатів дисертації полягає в наступному: удосконалено математичну модель для досліджень просторових коливань вантажних вагонів на візках серійного виробництва (модель 18-100);

б) запропоновано обґрунтовано експериментально-теоретичну методичку, яка сприяє скороченню термінів і витрат на виконання робіт щодо прогнозування показників динаміки модернізованих вантажних вагонів візках моделі 18-100;

в) вперше отримані експериментальні та розрахункові дані відносно динамічних якостей вагонів-цистерн західноєвропейського типу, пристосованих до експлуатації на залізницях колії 1520 мм,

г) досліджено вплив послаблення клинної системи гасіння коливань візка моделі 18-100 на динамічні процеси, що відбуваються при русі вагонів-цистерн у порожньому стані.

## ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Внаслідок виконаних робіт у дисертації надано рекомендації щодо умов експлуатації на магістральних шляхах України у складі вантажних залізничних поїздів вагонів-цистерн типів 5456.81 та 5470.81 фірми Vereinigte Tanklager Transportmittel GmbH (VTG, Німеччина), а також типу 406R фірми Eksploatacji System w Warszawie, CPN S.A. (DEC, Польща).

Розроблені в рамках дисертаційної роботи методика, та обчислювальні програми постійно застосовуються ГНДЛ вагонів випробуваннях і тестуванні ходових частин нової конструкції, вантажних вагонів різних типів і таке інше. За останні три роки створені методика та вимірювально-обчислювальний комплекс використовувалися під час натурних випробувань: 1) рефрижераторних вагонів на візках розсувними колесними парами болгарського виробництва; 2) контейнерної модернізованої АГ «Крюківський вагонобудівний завод» та контейнерної платформи виготовленої «Дніпровагонмаш» для перевезення зернобай у дослідній поїзді за маршрутом Дніпропетровськ - Захонь (Угорщина) - Київ; 3) напіввагонів візках з новими профілями кочення колесних пар у дослідному маршруті Кривий Ріг - Кошице (Словаччина).

## ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК ЗДОБУВАЧА

Особистий внесок здобувача у розробку отриманих наукових результатів полягає в наступному:

а) створення вимірювально-обчислювального комплексу на базі сучасних апаратних засобів і розробка програмного забезпечення для проведення та автоматизованої обробки даних натурних випробувань залізничних вагонів,

б) удосконалення математичної моделі коливань вантажного вагону метою якомога повнішого врахування особливостей конструкції та

стану певного об'єкту випробувань під час комп'ютерного моделювання за результатами натурних експериментів;

в) участь у підготовці та проведенні випробувань вагонів-цистерн фірм VTG і DEC на залізничних коліях 1520 мм, а також обробка даних експериментів та комп'ютерне моделювання.

## АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні ідеї, положення і результати дисертаційної роботи подані та обговорені на XI Науковій конференції "Рейкові екіпажі" (31.05-02.06.1995, Краков) та IX Міжнародній конференції "Проблеми механіки залізничного транспорту" (29-31.05.1996, Дніпропетровськ). У повному обсязі дисертацію розглянуто і обговорено на семінарі кафедри вагонів ДІПТ у 09.07.1997.

## ПУБЛІКАЦІЇ

Результати дисертації опубліковані у п'яти наукових працях.

## СТРУКТУРА ТА ОБСЯГ ДИСЕРТАЦІЇ

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків і чотирьох додатків. Повний обсяг дисертації складає 132 сторінки, у тому числі 22 ілюстрації, 34 таблиці, 105 найменувань використаних літературних джерел.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі наведені відомості щодо актуальності теми дисертації, сформульовано мету роботи, визначено головні задачі дослідження.

У першому розділі викладено огляд доступних здобувачу літературних джерел стосовно проблем динаміки вагонів. При цьому основну увагу приділено як вітчизняному, так і закордонному досвіду оцінки ходових динамічних якостей вантажних вагонів. Виконаний огляд еволюції зазначених методів дає підстави для наступних висновків:

а) на залізничних коліях 1520 (1524) мм з 1956 року під ваггажними вагонами експлуатується візок типу ЦНІИ-ХЗ. Проведені за цей час чисельні випробування рухомого складу дозволяють стверджувати, що динамічні якості вагонів на візках названого типу достатньо вивчені;

б) світовий досвід показує, що дослідження динаміки вагонів доцільно виконувати комбінованим методом, який поєднує експериментальні та

теоретичні роботи. При цьому досягається якнайкраще співвідношення вартості і термінів виконання робіт та вірогідності отриманих результатів;

п) зітчизняна та закордонна практика виявила в якості величин найбільш інформативно відображаючих динаміку машин та механізмів прискорення певних вузлів. Стосовно ваптажних вагонів такими вузлами визнані п'ятники.

Другий розділ присвячено експериментальній частині розробленої методики оцінки ходових динамічних якостей модернізованих ваптажних вагонів. В цьому ж розділі описуються конкретна реалізація вимірювально-обчислювального комплексу і алгоритми обробки результатів натурних випробувань вагонів, що використовуються в авторських комп'ютерних програмах.

Запропонована методика ґрунтується на апаратурній оцінці динамічних якостей дослідного вагону разом з вагоном-еталоном. За еталоном приймається одиницьний з дослідним серійний вагон з добре визначеними ходовими якостями. Випробування проводяться у відповідності з вимогами діючих нормативних документів, а також з урахуванням технології випробувань модернізованих ваптажних вагонів, розробленої в ДПТІ на основі довготривалого спостереження за вагонами у так званих дослідних маршрутах. Ця технологія передбачає вимірювання (у вертикальному та горизонтальному напрямках) прискорень рам вагонів поблизу п'ятникових опор у звичайних експлуатаційних умовах: на різномірних за конструкцією та технічним станом дільничних колій. Акселерометри розміщуються на вертикальному шпестеревій банці, на відстані приблизно півметра від вертикальної поздовжньої площини симетрії вагону. Як правило, випробування проводяться у режимі вибігу у вузьких діапазонах швидкостей руху, починаючи з 10 км/г і далі, у зростаючому порядку, з кроком 10 км/г до найбільш припустимих. При цьому контролюється прив'язка до плану колій: розрізняються на прямих і кривих дільницях, а також на стрілкових переводах. За прискореннями, які вимірюються згідно з методикою, що надається, закриває етикета, хоча її не зовсім точна, назва - "прискорення п'ятників".

Полігонні ходові динамічні випробування рухомого складу, як правило, проводяться спеціально відведених дільницях колій певними характеристиками. На відміну від полігонних, випробування у умовах експлуатації найбільш повно відображають поведінку дослідного вагону надають вірогідне уявлення про його ходові якості в реальних умовах.

Для ефективного здійснення запропонованої методики необхідним сучасний вимірювально-обчислювальний комплекс (ВОК). Під час вибору апаратури для ВОК автор брав до уваги критерій якнайкращого співвідношення вартості та технічних параметрів устаткування. Конфігурацію розробленого ВОК схематично зображено на рис. 1.

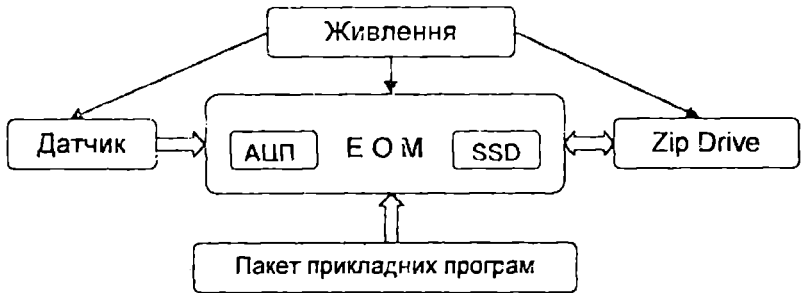


Рис.1. Структурна схема ВОК

У складі ВОК використовуються лінійні акселерометри моделі АТ1105 виготовлення АТ "Арзамасское ОКБ «ТЕМП»" (Росія). Для переведення електричного сигналу від датчика у цифрову форму застосовується блок pro411b фірми proTEST (Польща), реалізованого у вигляді додаткової плати до комп'ютера. Зазначений блок об'єднує аналого-цифровий та цифро-аналоговий перетворювачі (АЦП і ЦАП).

В якості ЕОМ у розробленому ВОК використовується ІВМ-сумісний комп'ютер Pentium-100/1600VGA. Особливістю комп'ютера є відсутність накопичувачів як на гнучких, так і на жорстких магнітних дисках. Замість названих накопичувачів використовується Solid State Disk (SSD) типу PCD-896-32 фірми Advantech (США), який зберігає інформацію в енергонезалежних мікросхемах. Місткість SSD дозволяє зберігати записи динамічних процесів, отриманих протягом кількох робочих днів. Для організації бібліотеки експериментальних даних застосовується Zip Drive фірми Imega (США), що являє собою зовнішній дисковод зі змінними дискетами ємністю 100 Mb.

Загальна найбільша потужність, що споживається розробленим ВОК, не перевищує 120 W і повністю забезпечується стандартними підвагонними акумуляторними батареями вагону-лабораторії. Мережа мілівольтного струму напругою 220 V отримується за допомогою перетворювача постійного струму в мілівольтний типу CS 600-48 фірми WatproWer (Франція).

Далі у другому розділі, на прикладі випробувань цистерн фірми DEC типу 406R під час їх експлуатації з візками моделі 18-100 на колії 1520 мм, наведено стійкі явища, що взагалі притаманні різним типам вантажних вагонів залізниць України

Лінійна частота коливань елементів конструкції під час руху вагону по відношенню до збурювань визначається із виразу:

$$f = V / \lambda , \quad (1)$$

де  $f$  - частота, Гц;

$V$  - швидкість руху, м/с;

$\lambda$  - довжина хвилі збурювання, м.

У разі підстановки значення швидкості руху в км/г, а в якості  $\lambda$  довжини розгортки кола середньозваженого колеса вагону формула (1) отримує вигляд

$$f \approx V / 10 \quad (2)$$

На рис.2 показано нормовані по власним амплітудам статистично вірогідні оцінки амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) вертикальних прискорень п'ятників отримані за результатами натурних випробувань цистерн типу 40oR у завантаженому стані. З рис.2 видно, що складові коливальних процесів, які відповідають частоті формулою (2), найбільш потужні у кожному із наведених спектрів. Відзначене явище пов'язане з наступними недосконалостями та дефектами коліс: повзун (вибоїна) на поверхні кочення колеса, ексцентричність кола кочення, а також нерівномірний прокат і овальність по колу кочення. З результатів спектрального аналізу випливає, що вилучення з експлуатації коліс з недосконалостями дозволить зменшити вібравантаженисть кузовів вантажних вагонів у вертикальному напрямку приблизно удвічі в діапазоні середніх швидкостей руху (див. рис.2).

Під час натурних випробувань також, досліджувалася цистерна DEC з візком моделі 18-100, у якого один із клинів фрикційного гасія коливань під вагою тари вагону не притискався до фрикційної ілтанки. Другий візок тієї ж цистерни мав налагоджені клинові гасії. Для цієї цистерни у порожньому стані при швидкостях руху 45...50 км/г спостерігались резонансні явища.

На рис.3 в однаковому масштабі показано фрагменти осцилограм вертикальних прискорень п'ятників цистерни над візком з послабленим клином (товста лінія) і над візком із справним гасієм (тонка лінія). Ці осцилограми було записано під час руху порожньої цистерни зі швидкістю 45 км/г на прямій дільниці колії в режимі вибігу. З рис.3 видно, що в процесах вертикальних прискорень п'ятника над візком з несправним клиновим гасієм переважають коливання з частотою близькою до частоти обертів колеса (див. формулу (2)).

В цілому, найбільші вертикальні прискорення п'ятника над візком з послабленим клином в середньому в півтора рази перевищували відповідні прискорення другого п'ятника тої ж цистерни.

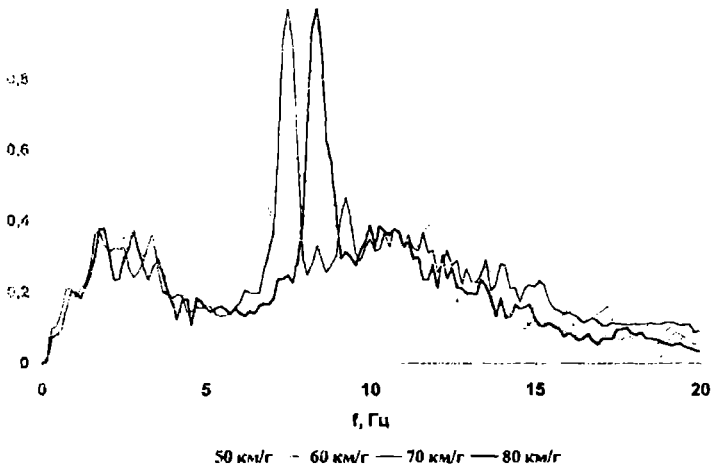


Рис.2. Нормовані АЧХ вертикальних прискорень п'ятників  
завантажених цистерн DEC при різних швидкостях руху

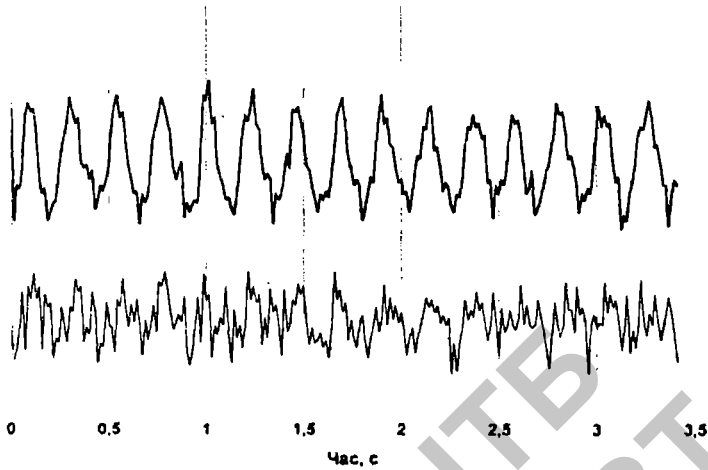


Рис.3. Фрагменти осцилограм вертикальних прискорень п'ятників  
першої цистерни DEC з несправним гасієм коливань одного з візків

У третьому розділі подано теоретичну частину запропонованої методики та відповідне авторське програмне забезпечення. Тут виводиться система показників, що використовуються для прогнозування динамічних якостей вагтажних вагонів, а також надано рекомендації щодо комп'ютерного моделювання і "налагодження" базової математичної моделі вагтажного вагону на певний об'єкт випробувань за даними експериментів.

За розробленою методикою, для оцінки ходу вагтажного вагону у завантаженому і порожньому ставах на прямо- і криволінійних у плані дільницях колії аналізуються наступні величини:

- а) за даними натурних випробувань (з імовірністю не менше як 0,999)
  - значення прискорень п'ятинків у вертикальному і горизонтальному поперечному напрямках;
- б) за розрахунковими даними (з імовірністю не менше як 0,970):
  - коефіцієнти вертикальної динаміки;
  - рамні сили в долях статичного вісєвого навантаження;
  - показники бокової дії вагону на рейки за абсолютними значеннями рамних і бокових сил;
  - показники плавності ходу у вертикальному і горизонтальному поперечному напрямках (для житлових приміщень ізотермічних вагонів);
  - коефіцієнти запасу стійкості колеса проти сходу з рейок (у загальному випадку та при гальмуванні);
  - коефіцієнти запасу стійкості вагону від перевертання під дією бокових сил у загальному випадку руху, а також при перевертанні позовні та всередину кривої.

Схема зв'язків елементів математичної моделі вагтажного вагону на серійних візках показана на рис.4.

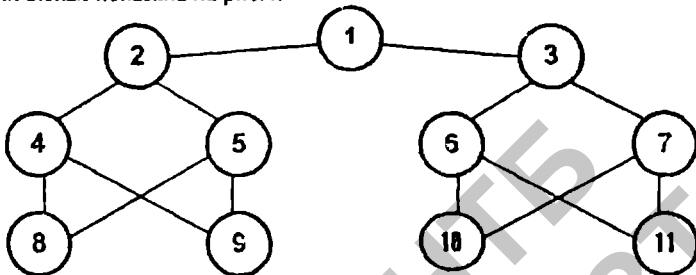


Рис.4. Структурна схема чотиривісєвого вагтажного вагону  
 1 - кузов; 2 и 3 - надресорні балки;  
 4,...,7 - бокові рами візків; 8,...,11 - колісні пари

Рівняння збуреного руху вантажного вагону у векторно-матричній формі мають вигляд:

$$M\{\ddot{q}\} + K\{q\} = F \quad (3)$$

де  $M$  та  $K$  - матриці інерційних та квазіпружних коефіцієнтів;  
 $\{\ddot{q}\}$  і  $\{q\}$  - вектори узагальнених прискорень і координат.

$F$  - сумарний вектор силових факторів, викликаних взаємодією вузлів сухого тертя у з'єднаннях кузова з ходовими частинами і в самих ходових частинах, а також взаємодією коліс з рейками і збуреннями під рейковою колією.

Компоненти матриць  $M$  і  $K$ , а також вектору  $F$  для формули (3) можуть бути отримані за допомогою рівнянь Лагранжа другого роду. Компонентами вектору узагальнених координат  $\{q\}$  механічної системи, показаної на рис.4, вибрано наступні переміщення окремих її тіл:

$$q_1 = y_1, \quad q_2 = y_4, \quad q_3 = y_6, \quad q_4 = \phi_1, \quad q_5 = \phi_2, \quad q_6 = \phi_3, \quad q_7 = \phi_4, \quad (4)$$

$$q_8 = \phi_6, \quad q_9 = \theta_1, \quad q_{10} = \theta_2, \quad q_{11} = \theta_3, \quad q_{12} = z_1, \quad q_{13} = \varphi_1, \quad q_{14} = x_1,$$

де  $x_n$ ,  $y_n$  і  $z_n$  - лінійні переміщення  $n$ -го твердого тіла у традиційній для задач динаміки прямокутній системі координат;

$\theta_n$ ,  $\varphi_n$  і  $\phi_n$  - кути повороту твердого тіла відносно відповідних головних центральних вісей інерції.

В роботі виконано деталізацію базової математичної моделі з метою найбільш повного врахування повузлового стану конструкції певного об'єкту виробувань. Для цього всі геометричні, жорсткісні та інерційні параметри різних елементів конструкції позначені окремою змінною величиною. При узагальнених координатах (4) ненульові компоненти верхніх правих трикутних частин симетричних матриць  $M$  і  $K$  вдосконаленої моделі наведено у формулах (5) і (6) відповідно.

$$M_{1,1} = M_{12,12} = m_1 + m_2 + m_3, \quad M_{1,4} = -M_{12,13} = I_1(m_2 - m_3),$$

$$M_{1,9} = -h(m_2 + m_3), \quad M_{2,2} = m_4 + m_5 + m_6 + m_7, \quad M_{2,7} = I_1(m_8 - m_9),$$

$$M_{3,3} = I_{z1} + I^2(m_2 + m_3), \quad M_{3,8} = I_2(m_{10} - m_{11}),$$

$$M_{4,4} = I_{z1} + I^2(m_2 + m_3), \quad M_{4,5} = -hM_{1,4},$$

$$M_{5,5} = I_{z2} + I_{z8} + I_{z9} + h_1^2(m_4 + m_5), \quad M_{5,14} = b_1(m_4 - m_5), \quad (5)$$

$$M_{6,6} = I_{z3} + I_{z10} + I_{z11} + h_2^2(m_6 + m_7), \quad M_{6,14} = b_2(m_6 - m_7),$$

$$M_{7,7} = I_{z4} + I_{z5} + I_1^2(m_8 + m_9), \quad M_{8,8} = I_{z6} + I_{z7} + I_2^2(m_{10} + m_{11}),$$

$$M_{9,9} = I_{z1} + h^2(m_2 + m_3), \quad M_{10,10} = I_{x2}, \quad M_{11,11} = I_{x3},$$

$$M_{13,13} = I_{y1} + I_{y2} + I_{y3} + I^2(m_2 + m_3), \quad M_{14,14} = \sum_{n=8}^{11} I_{yn} / r_n^2 + \sum_{n=4}^{12} m_n,$$

де  $m_n$  - маса  $n$ -го твердого тіла моделі;

$L$  - база вагону;

$h$  - висота центру мас кузова над площиною обпирання надресорних балок на пружні елементи центрального підвішування;

$l_j$  - бази візків;

$I_{m1}$ ,  $I_{m2}$  і  $I_{m3}$  - моменти інерції маси твердого тіла відносно головних центральних вісей інерції;

$2b_j$  - відстань між центрами ресорних комплектів одного візка;

$r_n$  - радіуси кіл кочення коліс колісних пар.

$$\begin{aligned} K_{1,1} &= k_{y1} + k_{y2} + k_{y3} + k_{y4}, & K_{1,2} &= -k_{y1} - k_{y2}, & M_{1,3} &= -k_{y3} - k_{y4}, \\ K_{1,4} &= l(k_{y1} + k_{y2} - k_{y3} - k_{y4}), & K_{1,9} &= -hK_{1,1}, \\ K_{2,2} &= k_{y1} + k_{y2}, & K_{2,4} &= -lK_{2,2}, & K_{2,9} &= hK_{2,2}, \\ K_{3,3} &= k_{y3} + k_{y4}, & K_{3,4} &= lK_{3,3}, & K_{3,9} &= hK_{3,3}, \\ K_{4,4} &= l^2 K_{1,1}, & K_{4,9} &= -hK_{1,4}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$K_{5,5} = K_{7,7} = -K_{5,7} = k_{\phi 1} + k_{\phi 2}, \quad K_{6,6} = K_{8,8} = -K_{6,8} = k_{\phi 3} + k_{\phi 4},$$

$$K_{9,9} = h^2 K_{1,1} + k_{\theta 1} + k_{\theta 2}, \quad K_{9,10} = -k_{\theta 1}, \quad K_{9,11} = -k_{\theta 2},$$

$$K_{10,10} = b_1^2 (k_{z1} + k_{z2}) + k_{\theta 1}, \quad K_{10,12} = b_1 (k_{z2} - k_{z1}), \quad K_{10,13} = -lK_{10,12},$$

$$K_{11,11} = b_2^2 (k_{z3} + k_{z4}) + k_{\theta 2}, \quad K_{11,12} = b_2 (k_{z4} - k_{z3}), \quad K_{11,13} = lK_{11,12},$$

$$K_{12,12} = k_{z1} + k_{z2} + k_{z3} + k_{z4}, \quad K_{12,13} = l(k_{z3} + k_{z4} - k_{z1} - k_{z2}), \quad K_{13,13} = l^2 K_{12,12},$$

де  $k_{y1}$  і  $k_{z1}$  - лінійні жорсткості ресорних комплектів у горизонтальному поперечному і вертикальному напрямках;

$k_{\phi n}$  - кутові жорсткості в плані у з'єднанні надресорних балок з боковими рамами візків;

$k_{\theta n}$  - приведені жорсткості кузова і надресорних балок при взаємних поворотах у поперечній вертикальній площині.

Матеріали четвертого розділу відображають досвід застосування створеної експериментально-теоретичної методики для направлення рекомендацій у технічному плані щодо експлуатації на залізницях України модернізованих вагонів-цистерн фірм VTG і DEC. Основні параметри дослідних закордонних цистерн наведені у табл.1. Найбільш близькими за технічними характеристиками аналогами дослідних цистерн є наступні вітчизняні вагони-цистерни: а) для цистерн VTG типу 5456.81 - модель 15-884, типу 5470.81 - модель 15-1498; б) для цистерни DEC типу 406R - модель 15-11859

Таблиця 1 - Основні параметри модернізованих цистерн фірм VTG і DEC

| Найменування параметру,<br>розмірність | Тип цистерни |          |       |
|--|--------------|----------|-------|
|  | 5456.81      | 5470.81  | 406R  |
| 1. Вантажопідйомність,                 | 56,7         | 64,1     | 56,0  |
| 2. Тара, т                             | 23,3         | 25,9     | 22,8  |
| 3. Об'єм котла, м <sup>3</sup>         | 56           | 70       | 61    |
| 4. База, мм                            | 12000        | 11360    | 6800  |
| 5. Довжина рами, мм                    | 16660        | 15160    | 11100 |
| 6. Діаметр колеса, мм                  | max 2280     | max 2550 | 2800  |

Модернізація дослідних цистерн VTG і DEC для обертання на залізничній колії 1520 мм полягала у наступному. У цистерні VTG п'ятники виконані плоскими. Бокові скользуни унірені, що забезпечує обертання як на західноєвропейській візці, так і на візці країни СНД. Цистерни DEC облаштовані змінюваними переходними п'ятниками (адаптерами) та відкидними скользунами. Гальмівне обладнання цистерн VTG має два повітряні розподільники: типу KE-GP та ум. №483М. Гальма цистерн DEC пристосовані для роботи з тиском за стандартами залізниць колії 1520 мм. Кожна цистерна VTG, а також декілька цистерн DEC, з однієї сторони мають автзчп типу СА-3.

У табл.2 містяться екстремальні значення показників динаміки, отриманих для досліджуваних цистерн за розробленою методикою (в експериментах в якості еталонів для цистерн VTG і DEC були прийняті вітчизняні цистерни моделей 15-1547 і 15-1610 відповідно). Тут у чисельнику наведені дані для порожнього стану, а в знаменнику – для завантаженого. Дані табл.2 дозволяють вважати порожній стан за найбільш небезпечний режим руху вагонів-цистерн.

Цистерни типів 5456.81 і 5470.81 фірми VTG, а також близькі до них за параметрами, за власними динамічними якостями можуть експлуатуватись на візках моделі 18-100 в умовах залізниць України - паристо, у хвостовій частині вантажного поїзда. Швидкість руху поїзда з цистернами VTG встановлюється такою ж самою, як і для вантажних поїздів з вітчизняними цистернами, що обертуються на залізничній мережі України.

Результати робіт щодо дослідження і прогнозування динамічних якостей цистерн DEC типу 406R на українських залізницях як у складі окремого поїзда, так і при включенні груп (зчпів) у вантажні поїзди, дозволяють вивести умови безпечної експлуатації. При цьому слід дотримуватись відповідних

інструктивних вказівок, складених співпрацівниками ПНДЛ вагонів ДПТУ і затверджених УЗ.

Таблиця 2 - Значення показників динаміки цистерн VTG, DEC і еталонних

| Тип цистерни  | Швидкість руху, км/г |             |             |             |             |
|---|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|   | 40                   | 50          | 60          | 70          | 80          |
| <b>1. Горизонтальні поперечні прискорення п'ятників, частки g:</b>  |                      |             |             |             |             |
| 5456.81   | 0,17 / 0,14          | 0,18 / 0,17 | 0,21 / 0,21 | 0,26 / 0,23 | 0,31 / 0,25 |
| 5470.81   | 0,14 / 0,12          | 0,15 / 0,13 | 0,17 / 0,15 | 0,19 / 0,18 | 0,23 / 0,19 |
| 15-1547   | 0,14 / -             | 0,17 / -    | 0,17 / -    | 0,19 / -    | 0,21 / -    |
| 406R  | 0,17 / 0,21          | 0,18 / 0,21 | 0,21 / 0,22 | 0,23 / 0,22 | 0,26 / 0,23 |
| 15-1610   | 0,18 / -             | 0,19 / -    | 0,23 / -    | 0,25 / -    | 0,28 / -    |
| <b>2. Вертикальні прискорення п'ятників, частки g:</b>  |                      |             |             |             |             |
| 5456.81   | 0,36 / 0,28          | 0,36 / 0,32 | 0,37 / 0,36 | 0,46 / 0,37 | 0,27 / 0,35 |
| 5470.81   | 0,34 / 0,23          | 0,35 / 0,27 | 0,36 / 0,29 | 0,40 / 0,33 | 0,44 / 0,35 |
| 15-1547   | 0,35 / -             | 0,35 / -    | 0,37 / -    | 0,37 / -    | 0,37 / -    |
| 406R  | 0,34 / 0,28          | 0,35 / 0,30 | 0,36 / 0,30 | 0,37 / 0,31 | 0,38 / 0,31 |
| 15-1610   | 0,36 / -             | 0,38 / -    | 0,38 / -    | 0,39 / -    | 0,39 / -    |
| <b>3. Рамні сили у частках статичного вісєвого навантаження:</b>  |                      |             |             |             |             |
| 5456.81   | 0,31 / 0,32          | 0,34 / 0,34 | 0,35 / 0,34 | 0,35 / 0,37 | 0,38 / 0,39 |
| 5470.81   | 0,33 / 0,31          | 0,35 / 0,30 | 0,37 / 0,36 | 0,39 / 0,35 | 0,38 / 0,34 |
| 15-1547   | 0,36 / -             | 0,41 / -    | 0,42 / -    | 0,40 / -    | 0,40 / -    |
| 406R  | 0,35 / 0,38          | 0,37 / 0,38 | 0,38 / 0,37 | 0,39 / 0,37 | 0,40 / 0,39 |
| 15-1610   | 0,39 / -             | 0,40 / -    | 0,42 / -    | 0,44 / -    | 0,44 / -    |
| <b>4. Коефіцієнти вертикальної динаміки:</b>  |                      |             |             |             |             |
| 5456.81   | 0,27 / 0,26          | 0,30 / 0,27 | 0,34 / 0,27 | 0,36 / 0,30 | 0,44 / 0,30 |
| 5470.81   | 0,25 / 0,22          | 0,30 / 0,20 | 0,30 / 0,25 | 0,34 / 0,29 | 0,42 / 0,28 |
| 15-1547   | 0,36 / -             | 0,37 / -    | 0,41 / -    | 0,45 / -    | 0,45 / -    |
| 406R  | 0,49 / 0,23          | 0,46 / 0,22 | 0,50 / 0,21 | 0,50 / 0,22 | 0,52 / 0,23 |
| 15-1610   | 0,46 / -             | 0,47 / -    | 0,48 / -    | 0,48 / -    | 0,47 / -    |
| <b>5. Коефіцієнти запасу стійкості від зходу з рейок колісних пар (при імовірності появи менше 0,00001)</b> |                      |             |             |             |             |
| 5456.81   | 1,36 / 1,35          | 1,31 / 1,26 | 1,37 / 1,27 | 1,29 / 1,23 | 1,30 / 1,15 |
| 5470.81   | 1,47 / 1,41          | 1,38 / 1,32 | 1,41 / 1,37 | 1,36 / 1,22 | 1,34 / 1,24 |
| 15-1547   | 1,25 / -             | 1,24 / -    | 1,22 / -    | 1,16 / -    | 1,12 / -    |
| 406R  | 1,08 / 1,28          | 1,07 / 1,30 | 1,08 / 1,23 | 1,09 / 1,21 | 1,08 / 1,20 |
| 15-1610   | 1,02 / -             | 1,07 / -    | 1,04 / -    | 1,09 / -    | 1,10 / -    |

## ВИСНОВКИ

Результати досліджень, що містяться у поданій дисертаційній роботі, дозволяють зробити наступні головні висновки.

Економічні міркування диктують доцільність допуску вантажного рухомого складу колії 1435 мм до експлуатації на мережі українських колій. Цей процес потребує нових технічних вирішень для подолання історично складених конструктивних розбіжностей та адаптації західноєвропейських вантажних вагонів до більш жорстких експлуатаційних умов, притаманних вітчизняному залізничному транспорту. Один із важливих аспектів робіт у зазначеному напрямку полягає у забезпеченні вірогідної та ефективної оцінки ходових динамічних якостей модернізованих вантажних вагонів колії 1435 мм при експлуатації їх на залізницях колії 1520 мм.

2. Критичний аналіз прийнятої у теперішній час методики прогнозування ходових динамічних якостей показує, що вона зорієнтована в основному на зовнішні умови експлуатації, застосування цієї методики до модернізованого вагону, ходові якості базової моделі якого добре вивчені під час прийнятних випробувань та тривалої експлуатації, виглядає зайво витратним шляхом. Крім того, огляд сучасних тенденцій розвитку імітаційного моделювання доводить невиправдане обмежене використання розрахункової складової існуючої методики.

Науково обґрунтована оцінка й прогнозування ходових динамічних якостей модернізованих вантажних вагонів на візках 18-100 можуть виконуватись допомогою запропонованої описливої теоретично-експериментальної методики, що передбачає натурні випробування вагону в умовах звичайної експлуатації з наступним комп'ютерним моделюванням на основі даних експериментів.

4. Під час виконання широкого кола випробувань рухомого складу добре зарекомендував розроблений обчислювально-вимірювальний комплекс, який реалізує цифрові технології обробки сигналів і являє собою IBM-сумісний комп'ютер, обладнаний необхідними додатковими платами. Електрична енергія, яка споживається комплексом базового варіанту, не перевищує 120 Вт, що повністю забезпечується штатними акумуляторами вагону-лабораторії. Подібний комплекс з аналоговою формою вимірювання енергоспоживання сигналів потребує додаткових зовнішніх джерел електричної енергії.

5. Доведена можливість регулярної експлуатації на залізницях України модернізованих вагонів-цистери типів 5456.81 і 5470.81 фірми VTC (Німеччина), а також типу 406R фірми DEC (Польща) на візках моделі 18-100. Швидкості руху поїздів УЗ з групами (зчипами) зазначених цистерн встановлюються на рівні швидкостей ваптажних поїздів вітчизняними цистернами.
6. Для забезпечення безпеки руху порожніх ваптажних вагонів належить виключити експлуатацію візків моделі 18-100 послабленою системою гасіння коливань. Усі фрикційні клини кожного ресорного комплексу візка під вагою тари вагону повинні бути навапжені.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ЗДОБУВАЧЕМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Демин Ю.В., Дмитриев Д.В., Ковтун Е.Н. Прогнозирование динамических показателей грузовых вагонов// Залізничний транспорт України. 1997. №2-3 - С 39 - 43
2. Савчук О.М., Демин Ю.В., Дмитриев Д.В. Условия эксплуатации западноевропейских цистерн на железных дорогах Украины// Улучшение конструкции и обслуживания подвижного состава железных дорог: Межауз. сб. науч. тр. - Днепропетровск: ДИИТ. - 1996. - С. 7 - 11  
Дмитриев Д.В. Вычислительный комплекс для построения амплитудно-частотных характеристик при испытаниях подвижного состава// Техническое содержание и использование подвижного состава: Межауз. сб. науч. тр. Днепропетровск: ДИИТ - 1994. - С. 39 - 41.
4. Diomin J., Dmitriew D., Kowtun E. Badania dynamiki wagonow-cystem firmy DEC// XI Konferencja Naukowa "Pojazdy Szynowe" - Tom I. - Krakow (Polska). 1995. - S. 148 - 164.
5. Diomin J.W., Dmitriew D.W. Krivowiazziuk J.P., Sawczuk O.M. Badanie dynamiki grup cystem DEC w pociagach ukraińskich kolei// XII Konferencja Naukowa "Pojazdy Szynowe '96" - Tom I. - Poznan-Rydzya (Polska). - 1996. - S. 59 - 67

У статті [1] здобувачеві належить викладення суті розробленої методики досвіду застосування. У статті [2] здобувачем описані дані натурних випробувань вагону з послабленою системою гасіння коливань надресорної будови. В роботі [4] здобувач написав другий розділ, а у роботі [5] - четвертий

які подають результати експлуатаційних випробувань вагонів-цистерн DEC. В роботі [4] здобувач також брав участь у написанні розділу, присвяченого математичному моделюванню, за винятком опису моделі цистерни у звантаженому стані.

## АНОТАЦІЯ

Дмитриев Д.В. Ходові якості модернізованих вантажних вагонів колії 1435 мм на залізницях колії 1520 мм. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 рухомий склад залізниць та тяга поїздів. Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту (ДНІТ), Дніпропетровськ, 1997.

Розроблено ошадливу методику оцінки й прогнозування ходових динамічних якостей модернізованих вантажних вагонів. Експериментальна частина цієї методики передбачає вимірювання прискорень рами вагону (поблизу п'ятників) під час натурних випробувань у звичайних експлуатаційних умовах. Теоретична частина полягає в отриманні всього спектру показників динаміки вагону шляхом імітаційного моделювання за допомогою математичної моделі, уточненої за результатами випробувань.

Підібрано необхідне обладнання і створено пакет прикладних обчислювальних програм, які реалізують названу методику. Наведено результати експериментальних та теоретичних досліджень ходових динамічних якостей вагонів-цистерн типів 5456.81 і 5470.81 фірми VTG (Німеччина), а також типу 406R фірми DEC (Польща) на серійних візках моделі 18-100. Надані рекомендації в технічному плані щодо експлуатації вказаних цистерн у порожньому та звантаженому стані у складі поїздів залізниць України.

Ключові слова: вантажний вагон, ходові якості, модернізація, натурні випробування, імітаційне моделювання, показники динаміки, безпека руху.

## АННОТАЦИЯ

Дмитриев Д.В. Ходовые качества модернизированных грузовых вагонов колес 1435 мм на железных дорогах колеи 1520 мм. - Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 - подвижной состав железных дорог и тяга поездов. Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта (ДНИТ), Днепропетровск, 1997.

Разработана экономная методика оценки и прогнозирования ходовых динамических качеств модернизированных грузовых вагонов.

Экспериментальная методика предусматривает измерение ускорений рамы вагона (вблизи пятников) ходе натурных испытаний в обычных эксплуатационных условиях. Теоретическая часть состоит в получении всего спектра показателей динамики вагона путём имитационного моделирования с помощью математической модели, уточнённой по результатам экспериментов.

Подобрано необходимое оборудование и создан пакет прикладных вычислительных программ, реализующих названную методику. Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований ходовых динамических качеств вагонов-цистерн типов 5456.81 и 5470.81 фирмы VTG (Германия), а также типа 406R фирмы DEC (Польша) на тележках модели 18-100. Даны рекомендации в техническом плане по эксплуатации указанных цистерн порожнем и гружёном состоянии в поездах железных дорог Украины.

Ключевые слова: грузовой вагон, ходовые качества, модернизация, натурные испытания, имитационное моделирование, показатели динамики, безопасность движения.

#### ABSTRACT

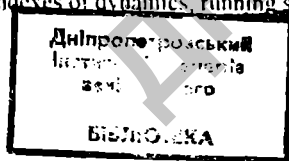
Dmytriyev Dm.V Running qualities of the modernised goods wagons of track gauge 1435 mm on railways with gauge 1520 mm. - Manuscript.

Thesis for a candidate's degree by speciality 05.22.07 - railway rolling stock and train traction. - The Dnipropetrovsk State Technical University of Railway Transport, Dnipropetrovsk, 1997

Economic technique of estimation and prediction of dynamic running qualities of modernised wagons has been elaborated. An experimental part of the technique includes measurements of accelerations of a frame (centre plates) of the wagon during the tests under standard operation conditions. A theoretical part consists in the determination of a whole spectrum of the wagon running safety characteristics by means of computer simulation on the base of a mathematical model adjusted according to the experimental data.

The necessary equipment has been selected and the application hardware package realizing the mentioned technique has been developed. Results of the experimental and theoretical studies of dynamic running qualities of tank wagons of the types 5456.81 and 5470.81 manufactured by the firm VTG (Germany) as well as of the type 406R owned by the firm DEC (Poland) on bogies of the 18-100 model are presented. Technical recommendations on an operation of these tank wagons in empty and loaded states in trains on the railways of Ukraine have been proposed

Key words: goods wagon, running qualities, modernization, test under running conditions, computer simulation, indexes of dynamics, running safety



Дмитрієв Дмитро Вікторович

**ХОДОВІ ЯКОСТІ МОДЕРНІЗОВАНИХ  
ВАГТЯЖНИХ ВАГОНІВ КОЛІЇ 1435 мм  
НА ЗАЛІЗНИЦЯХ КОЛІЇ 1520 мм**

**А в т о р е ф е р а т**  
**дисертації на здобуття наукового ступеня**  
**кандидата технічних наук**

Підписано до друку 19.01.1998 р. Формат 60х90 1/16.  
Папір для розмножувальних апаратів. Друк офсетний.  
Ум. друк. арк. 1,0. Обл.-вид. арк. 1,0. Зам. № 49.  
Тираж 100 прим. Безкоштовно.

Адреса дільниці оперативної поліграфії ДНТУ:  
320010, Дніпропетровськ-10, вул. Академіка Лазаряна, 2.

НТБ  
ДНУЗТ