

к12

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ  
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ  
( Д І І Т )

---

На преех рукопмоу

629 46.027.27

КАБЛУКОВА ОЛЕНА АЛЬФРЕДІВНА

УДК:629.64:625.245.7

БЕЗПЕКА РУХУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ  
З ВІЗКАМИ РІЗНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

05.22.07 - Рухомий склад залізниць  
та тяга поїздів

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
дисертеції на здобуття вченого ступеню  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 1996

НТБ  
ДНУЗТ

Робота виконана в Інституті технічної механіки Національної академії наук України

Науковий керівник

доктор технічних наук

професор П. В. Дромін

Офіційні опоненти :

заслужений діяч науки і

техніки України

доктор технічних наук

професор О. І. Голубенко;

доктор технічних наук

професор В. Д. Данович

Провідне підприємство

Головне управління

вагонного господарства

Державної адміністрації

залізничного транспорту

України ( Укрзалізниця )

Захист дисертації відбудеться 22.03 1998 р. о 14 год.

00 хв на засіданні спеціалізованої ради Д 03.04.02 при

Дніпропетровського

ет 1

МСП,

24

итету

етрович

НТБ  
ДНУЗТ

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Провідна роль у транспортному комплексі України, як і раніше, зберігається за залізницями. До вирішальних чинників стабілізації показників перевізного процесу та подальшого підвищення ефективності роботи залізничного транспорту належить поліпшення технічних характеристик рухомого складу і удосконалення технології його утримання в належному стані в умовах експлуатації у відповідності з вимогами забезпечення безпеки руху поїздів. При цьому зростає роль науково-дослідницьких робіт у галузі динаміки рухомого складу як в режимах його нормального функціонування, так і в перед аварійних ситуаціях.

Численні теоретичні та експериментальні дослідження, спостереження в експлуатації, фактичний матеріал аналізу причин аварійних ситуацій, пов'язаних із сходом з рейок одиниць рухомого складу, зокрема вантажних вагонів, свідчать про високу чутливість показників їх динаміки по відношенню до технічного стану ходових частин (візків). Оскільки в експлуатації знаходяться вагони з різними моделі І8-І00 різного технічного стану, то визначення ступеню впливу на показники безпеки руху основних характеристик стану ходових частин є актуальним питанням, особливо для ситуацій, коли запас стійкості колісних пар від сходу з рейок вичерпується.

Технічний стан ходових частин в основному визначається параметрами клинової системи гасіння коливань і конфігурацією поверхонь кочення коліс. У зв'язку з цим в роботі віддано пріоритет дослідженню впливу вказаних факторів на динамічні показники вантажних вагонів під час руху по залізничній колії з різними відступами від норм утримання її в належному стані.

Дніпропетровський  
інститут технічних  
залізничного  
транспорт  
БІБЛІОТЕКА

НТБ  
ДНУЗТ

Мета роботи. полягає в розробці уточненої математичної моделі вимушених просторових коливань вантажного вагона, проведенні динамічних розрахунків та оцінці показників безпеки руху вагонів на різних моделях І8-І00 різного технічного стану в режимах нормального функціонування та в умовах перевищення гранично допустимого рівня навантаженості ходових частин.

Методика досліджень. Показники динаміки вантажних вагонів визначалися методами математичного моделювання вимушених коливань просторових систем твердих тіл з багатьма ступенями вільності. Для комп'ютерної реалізації математичного опису динамічних процесів, супроводжуваних рух вагонів, розроблені алгоритми і програми з використанням числових методів інтегрування нелінійних диференціальних рівнянь. Оцінка показників безпеки руху вантажних вагонів двох типів - напіввагона і цистерни - з різним технічним станом вісків проводилась шляхом зіставлення даних параметричних досліджень для різних випадків, охоплюючих найбільш характерні експлуатаційні ситуації.

Наукове новизна. Розроблена математична модель вимушених просторових коливань вантажного вагона, яка дозволяє досліджувати вплив на його динамічні якості істотних змін характеристик технічного стану ходових частин і рейкової колії. Запропоновано розрахункову модель геометричного контакту коліс і рейок при їх взаємних переміщеннях у зв'язі колісної пари в рейковій колії і за його межами. Уточнена робоча силова характеристика ресорного підвішування з урахуванням максимально можливих динамічних прогинів, що можуть мати місце, зокрема, при русі вантажного вагона по колії із значними відступами від норм утримання її в належному стані.

Практичне цінність і реалізація роботи. Запропонована методика розрахунку показників динаміки вантажних вагонів дозволяє прогнозувати несприятливі, з точки зору безпеки руху, сполучення

характеристик технічного стану ходових частин і рейкової колії. Конкретні дослідження дозволили установити вплив на динамічні показники напіввагона і вагона-цистерни параметрів стану ресорного підвішування, зносів робочих поверхонь коліс та рейок при різних відступях від норм утримання колії в належному стані.

Розробки по темі дисертації використані при проведенні досліджень з метою видачі рекомендацій щодо установалення допустимих швидкостей руху вагонів-цистерн Дирекції експлуатації цистерн (Польща) і фірми ФТГ (Німеччина) на залізницях України.

Обґрунтованість і достовірність результатів обумовлюється: використанням при математичному моделюванні динаміки вантажних вагонів фізично коректних припущень; застосуванням в конкретних дослідженнях випробуваних методів числового розв'язання систем не-лінійних звичайних диференціальних рівнянь; якісним і кількісним узгодженням динамічних показників, одержаних шляхом розрахунків і ходових випробувань вагонів-цистерн в навантаженому та порожньому режимах.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях "Проблеми розвитку локомотивобудування" (м. Луганськ, 1990 р.) і "Проблеми механіки залізничного транспорту" (м. Дніпропетровськ, 1992 р.), на науково-практичному семінарі "Удосконалення конструкцій ходових частин вантажних вагонів" (м. Дніпропетровськ, 1993 р.), на семінарі відділу "Динаміка багатозв'язаних механічних систем" Інституту технічної механіки НАН України (м. Дніпропетровськ, 1995 р.), на міжнародній конференції "Проблеми розвитку локомотивобудування" (м. Луганськ, 1995 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційних досліджень опубліковані в п'ятьох друкованих роботах.

НТБ  
ДНУЗТ

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох глав, висновків, списку літератури (108 назв) та трьох додатків. Робота викладена на 98 сторінках машинописного тексту, які ілюстровані 18 таблицями та 24 малюнками.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У ВСТУПІ обгрунтоване актуальність теми дисертації, відзначені особливості роботи рухомого складу в сучасних умовах експлуатації залізниць, визначено головний напрямок дослідження.

Відмічено, що, розвиваючи методи динаміки рухомого складу залізниць на основі фундаментальних праць М.В. Винокурова, А. М. Годицького-Цвірко, В.М. Данілова, С.М. Куценко, В.А. Лазаряна, В.Б. Меделя, І.І. Челнокова, значний вклад у дослідження умов безпеки руху локомотивів та вагонів внесли П.С. Ансімов, Є.П. Блохін, Ю.П. Бороненко, М.Ф. Веріго, С.В. Вершиноський, О.Л. Голубенко, Л.О. Грачова, В.Д. Данович, Ю.В. Дьомін, О. П. Ершков, О.Я. Коган, М.Л. Коротенко, М.М. Кудрявцев, О.А. Львов, Л.А. Манашихін, М.О. Редченко, С. Ф. Редько, Ю. С. Ромен, О. М. Савчук, М.М. Соколов, В.Ф. Ушкалов, В.М. Філіпов, О.О. Хохлов, В.Д. Хусідов, Ю.М. Черняшин та інші провідні вчені.

Результати праць вчених в галузі механіки залізничних транспортних засобів склали наукову базу для дослідження, проведеного автором.

В першій главі "ДИНАМІЧНІ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕКА РУХУ ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ" подано огляд робіт, присвячених розвитку методів оцінки стійкості колісних пар від оходу з рейок, дослідженням динаміки вантажних вагонів з різним ступенем зносу елементів візків та проблемі зносу колісних пар.

Констатується, що на основі вимог забезпечення безпеки руху

поїздів склався певне система оцінки стійкості вантажних вагонів від сходу з рейок. При цьому відзначається різноманітність підходів до вирішення завдань, які супроводжують згадану проблему. Подано ряд показників, згідно з якими оцінюється запас стійкості колісних пар вагонів від сходу з рейок.

Підкреслюється, що одне з найважливіших умов забезпечення безпеки руху поїздів пов'язане з підтриманням технічного стану ходових частин вагонів відповідно до рекомендацій, які розроблено на основі результатів досліджень впливу на показники динаміки змін параметрів ресорного підвішування та колісних пар внаслідок зносів їх елементів. Вивченню впливу зносів ходових частин вантажних вагонів на динамічні показники присвячені роботи, виконані ведучими фахівцями ВНДІЗТ і ДІІТ. Ними були проведені експериментальні роботи, результати яких дозволили виділити фактори, які відчутно впливають на динамічну поведінку вантажних вагонів з різними по технічному стану візками.

Щодо проблеми зносу колісних пар вантажних вагонів, то відзначено, що кардинальне вирішення цієї проблеми пов'язане зі зміною конструкцій візків, створенням пристроїв стабілізації їх положення в рейковій колії та переходом на сумісні в роботі профілі кочення коліс і рейок.

На основі огляду та аналізу результатів експериментальних та теоретичних досліджень, присвячених оцінці безпеки руху вагонів по динамічним критеріям, сформульовані основні завдання, які поставлені та вирішені в дисертації:

І. Розробка математичної моделі та програмного забезпечення для проведення дослідження динаміки вантажних вагонів з візками різного технічного стану, включаючи:

- уточнення робочої моделі ресорного підвішування, урахування

НТБ  
ДНУЗТ

чи зміну його характеристик внаслідок зносу елементів клинових колісних коліс;

- побудову алгоритму визначення радіусів кіл кочення коліс колісної пари при її горизонтальних поперечних переміщеннях відносно рейок з урахуванням зносу контактуючих поверхонь;

- формування програмних блоків для імітації нерівностей рейкової колії, у тому числі на аварійних ділянках.

2. Конкретні дослідження впливу характеристик технічного стану ходових частин на динамічні показники безпеки руху вантажних вагонів.

В другій главі "РОЗРОБКА РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ БЕЗПЕКИ РУХУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ" описано математичну модель для дослідження змусованих просторових коливань вантажних вагонів при русі по колії з різними відступами від норми утримання її в належному стані. Для оцінки значущості факторів, які впливають на безпеку руху вагонів, при побудові динамічної моделі були урахзовані можливі зміни технічного стану ресорного підвішування, реальні геометричні характеристики профілів робочих поверхонь коліс та рейок, наявність зовнішніх збурень через порушення нормального стану залізничної колії.

При побудові математичної моделі прийнято до уваги ряд істотних нелінійностей, існуючих внаслідок зазорів в з'єднаннях елементів конструкцій, зв'язків з сухим тертям, криволінійності робочих поверхонь коліс та рейок. До особливостей розрахункової моделі відноситься опис робочих характеристик ресорного підвішування при екстремальних навантаженнях. Як відомо, для ресорного підвішування візків моделі 18-100 є характерним такий конструктивний недолік, як часте блокування в навантаженому стані вагона пружинних комплектів клинкової системи. З іншого боку, в експлуатації відмічаються випадки, коли клинова система ресорного підвішування

візків порожніх вагонів виключається з роботи внаслідок повної розвантаженості клинів.

Математичне моделювання характеристик ресорного підвішування проводилось з урахуванням навантажень, які виникають в екстремальних умовах експлуатації. Зокрема, приймалось до уваги можливість змикання витків пружин або повне їх розвантаження. Крім того, в моделі, яка описує роботу клинових гасіть коливань, передбачено відтворення такого випадку, коли внаслідок зносу поверхонь тертя клинів та фрикційних пласок змінюються умови їх контактування так, що коефіцієнт відносного тертя гасія коливань різко зменшується аж до нуля.

Повертальні зусилля при взаємних горизонтальних поперечних зміщеннях надресорної балки і бокових рам, визначаються наступним чином:

$$F_{yi} = \begin{cases} \kappa_i \Delta_{yi} & \text{якщо } |\Delta_{yi}| < \Delta_0; \\ \kappa_i \Delta_0 \operatorname{sign} \Delta_{yi} + \kappa'_i (\Delta_{yi} - \Delta_0 \operatorname{sign} \Delta_{yi}) & \text{якщо } |\Delta_{yi}| > \Delta_0, \end{cases}$$

де  $\Delta_{yi}$  - горизонтальні поперечні прогини комплектів центрального ресорного підвішування ( $i = \overline{1,4}$ );  $\Delta_0$  - величина зазору між надресорною балкою та боковою рамою;  $\kappa_i$  - горизонтальне жорсткість ресорного підвішування;  $\kappa'_i$  - конструкційна жорсткість при відносних зміщеннях надресорної балки, які перевищують  $\Delta_0$  ( $\kappa'_i \gg \kappa_i$ ).

Виріз для визначення складової  $F_{zi}$  реакції підвішування у вертикальному напрямі - з урахуванням можливості змикання витків пружин та виключення із роботи ресорного комплекту при його розвантаженні - має наступний вид:

$$F_{zi} = \begin{cases} \kappa_i \Delta_{zi} & \text{якщо } -\Delta_{cr} < \Delta_{zi} < \Delta_j \\ \kappa'_i \Delta_{zi} & \text{якщо } \Delta_{zi} > \Delta_j \\ F_{cr} & \text{якщо } \Delta_{zi} < -\Delta_{cr} \end{cases}$$

НТБ  
ДНУЗТ

де  $\Delta_{zi}$  - вертикальні прогини комплементів ресорного підвішування ( $i = \overline{1,4}$ );  $\Delta_j$  - найбільший розрахунковий прогин пружних елементів ресорного підвішування;  $\Delta_{cr}$  - статичний прогин;  $\kappa_2$  - вертикальна жорсткість ресорного підвішування;  $\kappa'_2$  - конструкційна жорсткість при зміщеннях, які перевищують  $\Delta_j$  ( $\kappa'_2 \gg \kappa_2$ ).

Для визначення складових непружного опору ресорного підвішування задаються амплитудне значення сили сухого тертя  $S$  горизонтальне поперечне  $S_y$  та вертикальне  $S_z$  складові сили сухого тертя  $S$  уводяться в розрахункову модель виразами виду

$$S_{y,z} = \frac{S |\dot{\Delta}_{y,z}|}{\sqrt{\dot{\Delta}_y^2 + \dot{\Delta}_z^2}},$$

де  $\dot{\Delta}_y, \dot{\Delta}_z$  - відносні швидкості зміщення поверхонь тертя.

Особливістю розрахункової моделі пов'язана з геометричним контактом коліс та рейок і складається в уточненому визначенні радіусів кін кочення при поперечних зміщеннях колісної пари відносно рейкової колії. Алгоритм знаходження прикосень радіусів кін кочення коліс дозволяє досліджувати вплив геометричних характеристик взаємодіючих поверхонь на показники динамічних якостей вагона.

Контури поперечних перерізів робочих поверхонь колеса та рейки приведені на мал. 1. Для опису цих контурів профілі поверхонь кочення коліс  $x_k(y)$  та рейки  $x_p(y)$  представлені сукупністю точок, координати яких подаються табличко. Одна таблиця містить у собі двувірний масив упорядкованих даних щодо зміни радіусу кін кочення колеса у залежності від його зміщення в горизонтальному поперечному напрямку  $\Delta y$ . Аналогічна таблиця складена для опису профілю робочої поверхні рейки. Таке дискретне відображення профілей робочих поверхонь коліс та рейок є достатньо зручним, бо дозволяє легко змінювати форми контактуючих контурів.

Відстань між точками обрисів перерізів робочих поверхонь коло  $z_k(y)$  та рейон  $z_p(y)$  дорівнює

$$D(y) = z_k(y) - z_p(y)$$

Для того, щоб визначити мінімальне значення  $D(y)$  при зміщенні колеса на величину  $\Delta y_i$ , по черзі розглядаються значення  $D(y)$  у кожній із  $n$  точок.

Абсциса, яке відповідає знайдений мінімальній ординаті  $\min D(y_i)$ , є координатою точки дотику поверхонь колеса та рейки. Після визначення  $D(y_i)$  для усього діапазону зміщень  $y_i$  обмеженого можливим взаємним розміщенням колеса та рейки, виходять зміни радіусу кола кочення колеса  $\Delta r(y_i)$  в залежності від поперечних зміщень колісної пари:

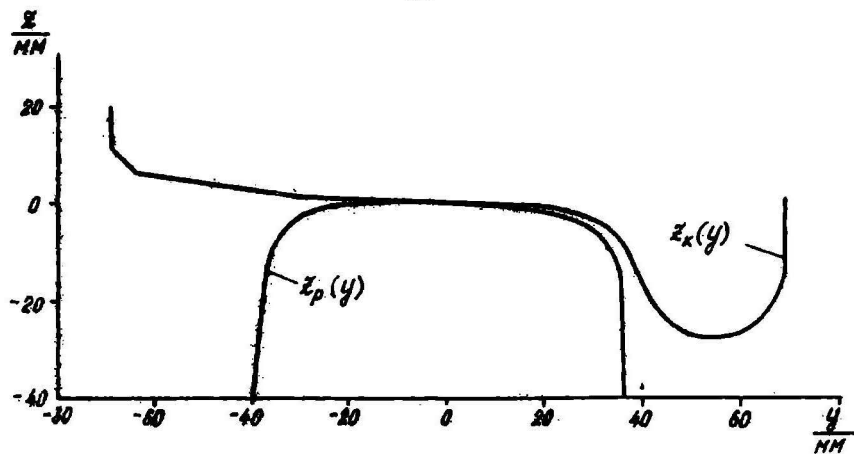
$$\Delta r(y_i) = D(y_i) - D(0),$$

де  $D(0)$  – значення  $D(y)$  в точці контакту середнього кола кочення колеса з рейкою. Таким чином одержано дискретне зображення функції  $\Delta r(y_i)$

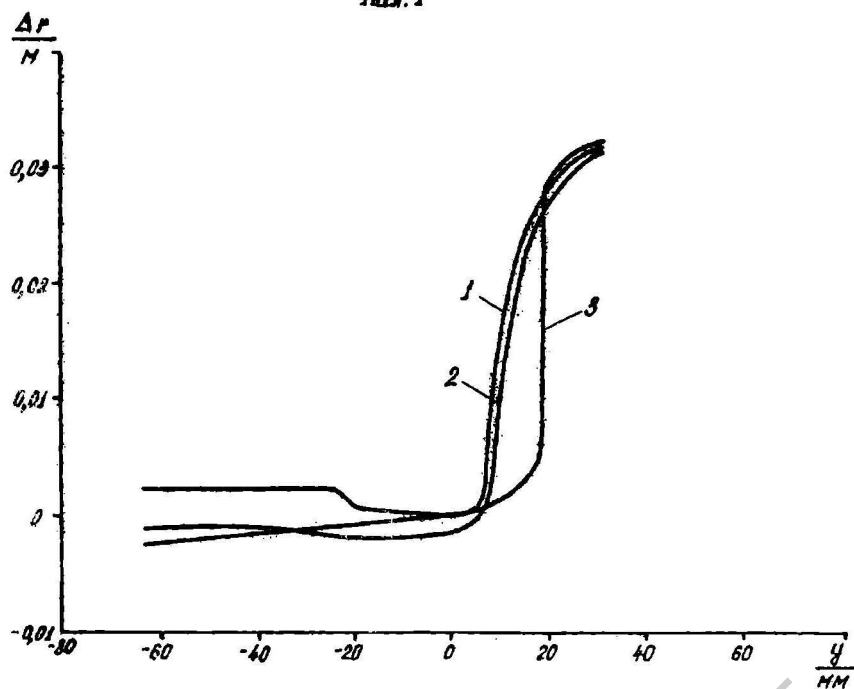
Не мал. 2 подані приклади графіків залежностей приростів радіусу кола кочення колеса  $\Delta r(y)$ . Надані криві належать до наступних випадків: 1 – коло та рейка мають стандартні (незношені) контури профілей робочих поверхонь; 2 – зношене коло та незношена рейка; 3 – незношене коло та зношена рейка.

Математична модель вимушених коливань важельного вагона побудована з урахуванням можливості аналізу розрахункових варіантів, які пов'язані з з'ясуванням різних по характеру збурень, являючи випадки аварійного стану рейкової колії.

Для оцінки впливу на динамічні показники вагона характеристик колії, яке знаходиться у задовільному стані, відповідні збурення задавалися у вигляді випадкових функцій. Нерівності рейкової колії подано стаціонарними випадковими процесами з гаусовсь-



Над. 1



Над. 2

ким розподілом амплітуд та спектральною густиною, яка має монотонно падаючий характер.

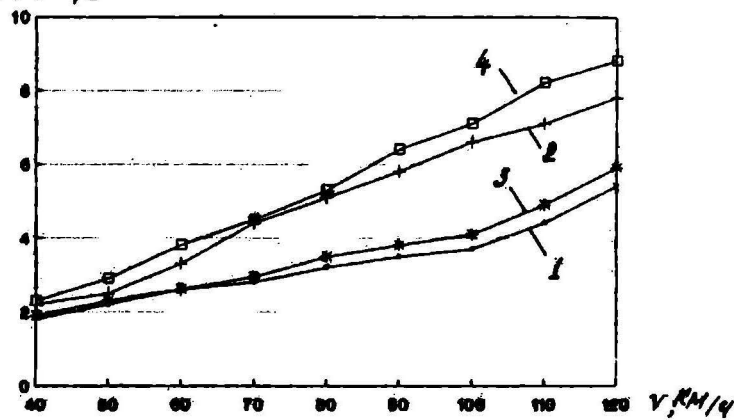
Реальні нерівності рейкової колії, які виникають внаслідок відступів від норм утримання у належному стані по рівню і в плані подевались у вигляді числових рядів з квантуванням по шляху. При моделюванні руху вагонів на аверійних ділянках рейкової колії використовувалися дані стрічки колієвимірального вагона.

Запропонована методика зведення нерівностей дозволяє досліджувати вплив на динамічні показники та безпеку руху вантажних вагонів як окремих видів відступів у плані, профілі, по рівню і ширині колії, так і їх поєднання.

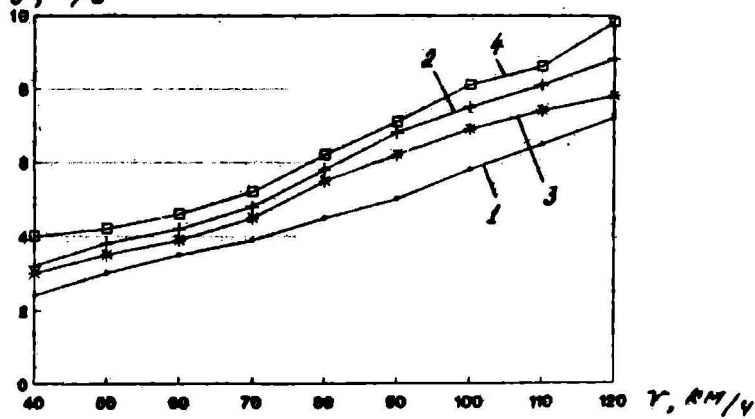
В третій главі "ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ СТІЙКОСТІ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ В РЕЙКОВІЙ КОЛІЇ" подані результати динамічних розрахунків для оцінки якості ходу серійних напіввагона та вагона-цистерни в візках моделі ІВ-100 у навантаженому і порожньому станях.

Для оцінки динамічних якостей вантажних вагонів визначалися величини нормованих показників їх ходу. До таких величин відносяться горизонтальні та вертикальні прискорення кузовів (прискорення п'ятників ( $\dot{f}_r$  та  $\dot{f}_s$ )); коефіцієнти горизонтальної та вертикальної динаміки ( $\kappa_{gr}$  та  $\kappa_{gs}$ ); коефіцієнт запаю стійкості колісних пар від сходу з рейок ( $\kappa_{cr}$ ) та коефіцієнт стійкості колії проти поперечного зсуву.

На мал. 3 і 4 відповідно подані графіки розрахункових величин від швидкості руху найбільших горизонтальних та вертикальних прискорень кузовів навантаженого та порожнього напіввагона та вагона-цистерн. Криві 1 і 2 відповідають порожньому стану вагонів, криві 3 і 4 - навантаженому стану. З даних, приведених на цих малюнках, видно, що рівень максимальних значень прискорень кузовів вагона-цистерни (криві 2 і 4) вищий за рівень аналогічних

$j_r, \text{M/c}^2$ 

Мал. 3

 $j_\theta, \text{M/c}^2$ 

Мал. 4

НТБ  
ДНУЗТ

величин для напіввагона (криві I і 3) як в навантаженому, так і в порожньому стані.

Значення коефіцієнтів горизонтальної та вертикальної динаміки, а також коефіцієнта стійкості колісних пар в рейковій колії навантаженого та порожнього напіввагона і вагон-цистерни приведено в табл. I.

Таблиця I

## ДИНАМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

| РЕЖИМ<br>РУХУ | Напіввагон |          |          | Вагон-цистерна |          |          |
|---------------|------------|----------|----------|----------------|----------|----------|
|               | $k_{gr}$   | $k_{gv}$ | $k_{st}$ | $k_{gr}$       | $k_{gv}$ | $k_{st}$ |
| НАВАНТАЖ.     | 0,49       | 0,83     | 0,94     | 0,58           | 0,85     | 0,81     |
| ПОРОЖНІЙ      | 0,56       | 0,84     | 0,86     | 0,68           | 0,87     | 0,80     |

Динамічними розрахунками, які були виконані для навантаженого напіввагона, визначено, що гранична швидкість його руху знаходиться в діапазоні 90...100 км/ч. При швидкостях руху до 80 км/г включно хід навантаженого напіввагона по всім розрахунковим показникам динаміки та стійкості у рейковій колії оцінюється як задовільний. Хід напіввагона у порожньому стані можна оцінити як задовільний лише при швидкостях руху до 60 км/г включно. Допустима швидкість руху порожнього напіввагона за показниками горизонтальної динаміки складає 80 км/г, за показниками вертикальної динаміки – 90 км/г.

Результати динамічних розрахунків, виконаних для вагон-цистерни, дозволили зробити висновок, що у випадку заповнення котла плинним вантажем без недоливу показники її динамічних ходових

якостей близькі відзначеним вище для напіввагона. Допустиме швидкість руху навантаженої цистерни складає 90 км/г. Хід порожньої цистерни оцінюється як задовільний при швидкостях руху до 50 км/г. У порожньому режимі показники горизонтальної динаміки досягали цього допустимого рівня при швидкості руху 80 км/г, а показники вертикальної динаміки – при швидкості 90 км/г.

Виходячи із аналізу значень динамічних показників, поданих на мал. 3 і 4 та в табл. I, можна зробити висновок, що якість ходу вагона-цистерни в меншій мірі задовольняє умовам безпеки руху, ніж якість ходу напіввагона.

Для оцінки коректності припущень, прийнятих при моделюванні змусованих коливань вантажного вагона, було проведено зіставлення відповідних розрахункових та експериментальних даних, одержаних для порожніх напіввагона і вагона-цистерни. Зіставлені динамічні показники рейкових експериментів досить близькі. Розходження в їх числових значеннях складають 11...13%.

В четвертій главі "ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХОДОВИХ ЧАСТИН ТА КОЛІЙ НА ПОКАЗНИКИ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОРОЖНІХ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ" проведено дослідження розрахункових випадків, які охоплюють різноманітні сполучення параметрів технічного стану ходових частин та колії. По черзі розглядався вплив на показники якості ходу та безпеки руху вагонів параметрів ресорного підвишування, конфігурації робочих поверхонь кочення коліс та рейок, а також характеристики стану колії. У кожному розрахунковому варіанті визначались показники динамічних якостей та швидкості, при яких рух порожніх вантажних вагонів стає небезпечним.

Аналіз результатів проведених досліджень дозволяє зробити висновок, що технічний стан ресорного підвишування, зокрема його клинових гасів коливань, значно впливає на якість ходу вантажних вагонів. Так, при повному розвантаженні клинкової системи до-

пустиме швидкість руху для порожнього напіввагона знижується до 60 км/г, а для порожньої - до 50 км/г.

На мал. 5 і 6 подані графіки залежностей від швидкості руху максимальних розрахункових значень горизонтальних та вертикальних прискорень кузовів порожньої цистерни. Крива 1 відповідає варіанту, коли показники стану ходових частин та рейкової колії відповідають нормативним вимогам; крива 2 - варіанту, коли досліджується вплив зносу робочих поверхонь кочення коліс та рейок на показники динаміки вагона; крива 3 - варіанту, в якому ураховані нерівності рейкової колії у випадках її аварійного стану; крива 4 - варіанту, коли має місце поєднання зносу робочих поверхонь кочення коліс та рейок з відступами від норм утримання у належному стані колії; крива 5 - варіанту, в якому ураховані усі названі вище негативні фактори плас знос поверхонь тертя клиновидного геоїя коліс.

Значення коефіцієнтів горизонтальної та вертикальної динаміки, а також коефіцієнта стійкості колісної пари порожньої цистерни в рейковій колії при найбільших розрахункових швидкостях руху подані в табл. 2.

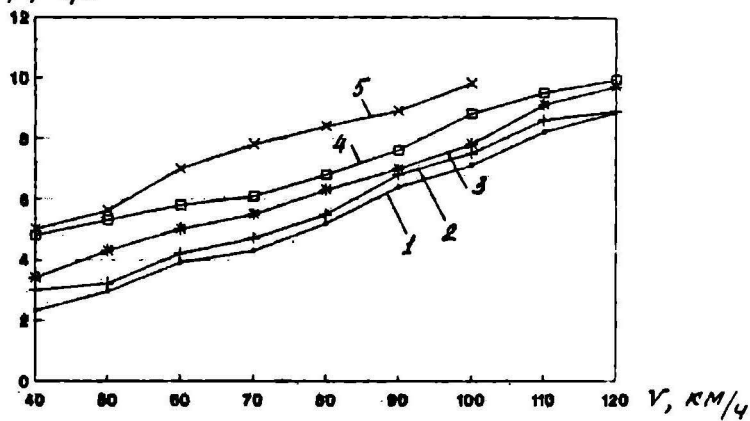
Таблиця 2

## ДИНАМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

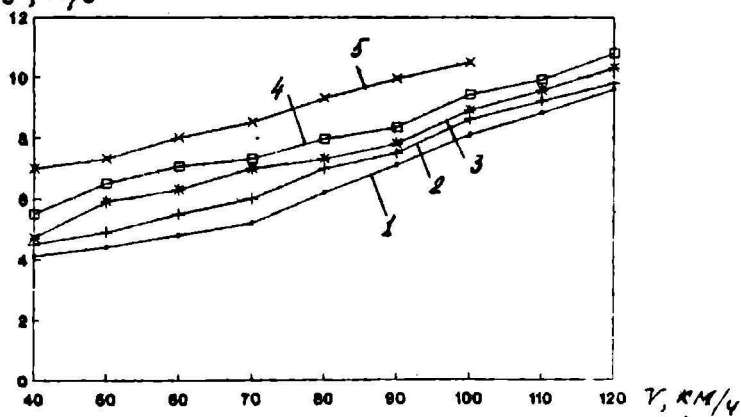
| ВАРІАНТ | $k_{gr}$ | $k_{gb}$ | $k_{cr}$ |
|---------|----------|----------|----------|
| 1       | 0,69     | 0,89     | 0,81     |
| 2       | 0,71     | 0,89     | 0,81     |
| 3       | 0,73     | 0,90     | 0,79     |
| 4       | 0,77     | 0,95     | 0,77     |
| 5       | 0,88     | 1,88     | 0,76     |

Дніпропетровський  
інститут імені  
заповідного  
традиційного  
БІБЛІОТЕКА

НТБ  
ДНУЗТ

$j_r, \text{M/c}^2$ 

Мал. 5

 $j_B, \text{M/c}^2$ 

Мал. 6

НТБ  
ДНУЗТ

З аналізу значень динамічних показників, одержаних у другому розрахунковому варіанті, випливає, що зноси контактуючих поверхонь коліс та рейок знижують допустимі швидкості руху порожньої цистерни до 70...80 км/г. Поєднання таких факторів, як зноси пари колесо-рейка і відступи від норм утримання у належному стані колії, викликає зниження допустимих швидкостей руху до 50...60 км/г (варіант 4).

Наявність усіх розглянутих у роботі несприятливих факторів (варіант 5) накладає значні обмеження на швидкість руху порожньої цистерни. Виходячи з рівнів горизонтальних та вертикальних прискорень кузова, значень коефіцієнтів горизонтальної та вертикальної динаміки можна зробити висновок, що швидкість руху знижується до 40 км/г.

У ВИСНОВКАХ отисло сформульовані такі основні результати дисертаційного дослідження:

І. Побудовано базову математичну модель руху вантажного вагона по рейковій колії з відступами від норм утримання її у належному стані з уточненими характеристиками роботи ресорного підвішування, геометричного контакту коліс та рейок, нерівностей колії. Особливості уточнень полягають в наступному:

І.1. Робота ресорних комплектів візка моделі І8-І00 імітується з урахуванням конструктивно допустимих переміщень надресорної балки відносно бокових рам та зміни коефіцієнта відносного тертя в залежності від технічного стану клинових гасців коливань;

І.2. Радіуси кін кочення коліс визначаються з урахуванням реальної конфігурації робочих поверхонь коліс та рейок при їх взаємних переміщеннях як в межах зазору колісної пари в колії, так і при виході точки контакту на гребінь, включаючи його вершину;

І.3. При заданні збурень, окрім подання нерівностей колії вигляді випадкових процесів, передбачається можливість віднов-

лення реальних відступів від норми утримання у належному стані рейкової колії з використанням результатів обмірвання ширини, рівня, осідання та відступів у плані.

2. Розроблено авторський програмний комплекс для проведення динамічних розрахунків, які охоплюють широкий спектр можливих в практиці ополучень параметрів технічного стану ходових частин вантажних вагонів та колії, включаючи аварійні режими. При цьому передбачається аналіз як нормованих показників динаміки вантажних вагонів, так і критеріїв отійності колісних пар в рейковій колії. Ефективність розрахункового комплексу стверджується зіставленням результатів розрахунків з даними натурних ходових випробувань вантажних вагонів.

3. Результатами конкретних розрахунків підтверджено висновок про визначальну роль в оцінці безпеки руху вантажних вагонів порожнього режиму. Показано, що найбільш низькою якістю ходу відзначаються порожні цистерни.

4. Установлено, що технічний стан клинового гасія коливань в ресорному підвишуванні опретьє значний вплив на якість ходу та безпеку руху вантажних вагонів. Так, якщо допустима швидкість руху порожніх вагонів при розрахунковому значенні коефіцієнта відносного тертя ( $\varphi_{виг} = 8\%$ ) дорівнює 80 км/г, то при розвантаженій клиновій системі ( $\varphi_{виг} = 0$ ) значення допустимої швидкості руху для напіввагона знижується до 60 км/г, а для вагона-цистерни – до 50 км/г. Тому рекомендується не допускати в експлуатаційній роботі випадків, коли клини фриційних демпферів візків моделі І8-І00 розвантажені (ефект "вільного клина").

5. Показано, що поодина зносіє коліс та рейок з відступами від норм утримання у належному стані колії викликає зниження допустимих швидкостей руху (в окремих випадках – до 50...60 км/г). Наявність таких факторів, як зносіє пари колесо-рейка, ослаблення

клинової системи та відступів від норм утримання у належному стані колії, призводить до значного зуження діапазону робочих швидкостей за умовою безпеки руху. В цьому випадку хід порожньої цистерни при швидкостях вище за 40 км/г згідно діючих нормативних вимог оцінюється як непридатний для регулярного руху.

Основні положення і результати дисертаційної роботи містяться в публікаціях:

1. Возняк Н.К., Спиригин И.К., Каблукова Е.А., Черняк А.Д. Оценка безопасности движения десятиосного тепловоза // Проблемы развития локомотивостроения / Тезисы докладов Всесоюзной конференции. Луганск, 1990. - С. 21.
2. Каблукова Е.А. Особенности моделирования схода с рельсов грузового вагона // Проблемы механики железнодорожного транспорта: Динамика, прочность и надежность подвижного состава / Тезисы докладов XIII конференции. - Днепропетровск, 1992. - С. 33.
3. Каблукова Е.А. Оценка динамической негруженности ходовых частей грузового вагона при движении по пути с отступлениями // Нагруженность и прочность подвижного состава: Межвуз. сб. науч. тр. - Днепропетровск: ДИИТ, 1995. - С. 79-82.
4. Каблукова Е.А. Особенности динамической модели железнодорожного экипажа в условиях истощения запаса устойчивости от схода с рельсов // Тр. МИИТ. - 1995. - Вып. 210. - С. 119-123.
5. Каблукова Е.А. Оценка безопасности движения рельсовых экипажей // Проблемы развития локомотивостроения / Тезисы докладов международной конференции. - Луганск, 1995. - С. 11.

НТБ  
ДНУЗТ

## АННОТАЦИЯ

Каблукова Е.А. Безопасность движения грузовых вагонов с тележками различного технического состояния. - Рукопись. - Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 - подвижной состав железных дорог и тяга поездов, Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта, 1996.

Разработана базовая математическая модель для исследования вынужденных пространственных колебаний четырехосных грузовых вагонов при движении по пути с отступлениями от нормы содержания, включая взвешенные участки. Для оценки значимости факторов, влияющих на безопасность движения вагонов, при построении динамической модели были учтены возможные изменения технического состояния ресурсного подвешивания, профилей рабочих поверхностей колес и рельсов, характеристик внешних возмущений. Приведены результаты расчетов динамических показателей и дана оценка качества хода и безопасности движения серийных полувагона и вагона-цистерны на тележках модели 18-100. Установлена степень влияния износов колес и рельсов, ослабления клиновой системы демпфирования колебаний и отступлений от нормы содержания пути на допустимые скорости движения грузовых вагонов в груженом и порожнем режимах.

Ключевые слова: грузовой вагон, ходовые части, расчетная модель, показатели динамики, безопасность движения.

НТБ  
ДНУЗТ

**SUMMARY**

Kablukova H. Safety of motion of freight cars with trucks of different technical conditions. - Manuscript. - Candidate dissertation of technical sciences on speciality 05.22.07. rolling - stock of the railways and the pull of the trains. Dniepropetrovsk State Technical University of Raylway Transport. Dniepropetrovsk, 1996.

The base mathematic model for investigation of forced space vibrations of freight cars worked out. The track has essential perturbations including emergency ones. The dynamic model was created with taking into account different technical condition of suspension, wheel and rail profiles, track perturbations.

The results of the researches of the dynamic behaviour of freight cars for the estimation of the safety of motion presented in thesis. The influence of the different technical conditions of trucks, wheel and rail wear and track perturbations for the dynamic processes in the system and acceptable speed of motion for freight cars presented as well.

**КАВЛУКОВА ОЛЕНА АЛЬФРЕДІВНА**

**Безпека руху вантажних вагонів  
з візками різного технічного стану**

**06. 22. 07 - Рухомий склад залізниць  
та тяга поїздів**

Підписано до друку 15.02.1996. Формат 60х84 1/16.

Папір для розмножувальних апаратів. Друк офсетний. Ум.  
друк арк 1,2 . Обл. - вид. арк 1,0. Зам. 93 Тираж 100 при-  
мірників. Безкоштовно.

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

НТБ  
ДНУЗТ