М 20

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ИМЕНИ М.И. КАЛИНИНА

На правах рукописи

МАЛЫШЕВА Ирина Юрьевна

УДК 629.4

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ
С ДВУХОСНЫМИ ТЕЛЁКАМИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

05.22.07 - Подвижной состав железных дорог
и тяга поездов

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск - 1987

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена в Институте технической механики Академии наук Украинской ССР

- Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Ушкалов В.Ф.
- Научный консультант - доктор технических наук,
профессор Данович В.Д.
- Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Львов А.А.,
кандидат технических наук,
доцент Конашенко С.И.
- Ведущее предприятие - производственное объединение
"Уралвагонзавод"

Защита состоится "26" июня 1987 г. в 15 час.
на заседании специализированного совета К II4.07.01 в Днепропет-
ровском ордена Трудового Красного Знамени институте инженеров
железнодорожного транспорта имени М.И. Калинина (г. Днепропет-
ровск, 320700, ГСП, ул. Акад. Лазаряна В.А., 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "22" мая 1987 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные пе-
чатью, просим направлять в совет института.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук
доцент

Л.В. Петрович

НТБ
ДНУЖТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Основные задачи, поставленные перед транспортом на XXVI съезде КПСС, - это своевременное, высококачественное и полное удовлетворение потребностей народнохозяйственного комплекса и населения в перевозках, резкое повышение экономической эффективности его работы.

Интенсификация развития и работы транспортной системы должна быть достигнута на основе технического совершенствования современных подвижных средств и создания принципиально новых их видов, повышения прочности и надежности конструкций, снижения их стоимости за счет повышения качества изыскательских, проектно-конструкторских работ.

В этих условиях одной из основных проблем, стоящих перед транспортным машиностроением, является совершенствование конструкций существующих и создание новых типов ходовых частей грузовых железнодорожных экипажей для перспективных условий эксплуатации - с высокими скоростями движения и повышенной осевой нагрузкой. При модернизации и проектировании транспортных средств необходимо проведение соответствующих научных исследований. Поэтому теоретические разработки в области динамики подвижного состава имеют существенное значение.

В реферируемой работе объектами исследований являются грузовые четырехосные полувагоны с двухосными тележками, разрабатываемыми на производственном объединении "Уралвагонзавод" для высоких (до 140 км/ч) скоростей движения: модели ИВ-И15 и с повышенной до 245 кН осевой нагрузкой ИВ-И20.

Целью работы является:

- разработка уточненной математической модели совместных пространственных колебаний грузового вагона с перспективными двухосными тележками и железнодорожного пути;
- изучение с использованием этой модели влияния различных факторов на динамические показатели рельсового экипажа;
- определение рациональных значений параметров ходовых частей грузовых полувагонов и разработка соответствующих рекомендаций для улучшения их динамических качеств.

Методика исследований. Использован метод математического моделирования с применением цифровых вычислительных машин. Решение системы нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих совместные пространственные колебания грузового вагона и железнодорожно-

5081 а

го пути, произведено методом численного интегрирования Адамса-Башфорта. При проведении оптимизации параметров экипажа использован метод сканирования, относящийся к методам пассивного поиска регулярной оптимизации. При решении многокритериальной задачи оптимизации применены функции цели, учитывающие динамические показатели системы "грузовой вагон - путь" в вертикальной и горизонтальной плоскостях одновременно. Результаты расчетов сопоставлены с данными натуральных испытаний, а также с результатами теоретических исследований, известными ранее.

Научная новизна. Разработана уточненная математическая модель совместных пространственных колебаний грузового вагона с двухосными перспективными тележками и железнодорожного пути, в которой учтены конструктивные особенности и нелинейности серийных и модернизируемых рельсовых экипажей, инерционные, диссипативные и упругие свойства верхнего строения пути и основания в вертикальной и горизонтальной плоскостях, связи между вертикальными и горизонтальными колебаниями. Использование разработанной математической модели дает возможность проводить исследования динамики как существующих, так и перспективных вариантов конструкций железнодорожных экипажей. Рассмотрены вопросы упрощения расчетной схемы системы "грузовой вагон - путь" и применения получаемых при этом математических моделей. Изучено влияние на результаты решения задачи о совместных пространственных колебаниях грузового экипажа и пути различных способов представления сил псевдоскольжения. Проанализирована зависимость динамических качеств грузового полувагона с тележками модели И8-И15 от изменения параметров упруго-диссипативных элементов его ходовых частей и определены рациональные значения некоторых из них. Оценено влияние на динамические качества грузового полувагона с перспективными тележками модели И8-И20 параметров узлов опирания кузова на надрессорные балки. Решена многокритериальная задача оптимизации значений параметров упругодиссипативных связей кузова с тележками. Определены направления и возможные диапазоны изменения этих параметров при условии сохранения достигнутого при оптимизации уровня динамических качеств исследуемого транспортного средства.

Практическое значение работы. Реферлируемая диссертация является продолжением работ по дальнейшему совершенствованию методики исследования динамики подвижного состава с целью прогнозирования качеств проектируемых транспортных средств и определения их рациональных параметров. Использование разработанных расчетных схем

и математических моделей дает возможность проводить исследования и рассчитывать динамические характеристики различных существующих и перспективных конструкций грузовых четырехосных рельсовых экипажей, с достаточной для практических задач точностью оценивать показатели их пространственных колебаний и воздействия на путь. Разработано математическое обеспечение, необходимое для проведения исследований пространственных колебаний вагонов. На основании результатов теоретических исследований определены рациональные значения параметров рессорного подвешивания грузового полувагона с тележками модели И8-И15, найдены оптимальные значения параметров упругофрикционных скользунов в схеме опирания кузова на над-рессорные балки грузового полувагона с тележками модели И8-И20, выработаны соответствующие рекомендации.

Внедрение результатов работы. Результаты исследований используются производственным объединением "Уралвагонзавод" при создании макетных образцов тележки модели И8-И15 и выборе параметров перспективной тележки модели И8-И20. Разработанные алгоритмы и программы расчета колебаний сложных нелинейных механических систем внедрены и используются в ДИИТе при выполнении научных исследований, а также на предприятиях других министерств при расчетах динамики специализированного подвижного состава. Внедрение подтверждено соответствующими документами. Методика, изложенная в работе, разработанные алгоритмы и программы используются в ИТМ АН УССР при проведении теоретических исследований колебаний рельсовых экипажей.

Апробация. Основные результаты работы доложены на Всесоюзных конференциях "Проблемы механики железнодорожного транспорта" (Днепропетровск, 1980, 1984), IV Научно-технической конференции "Механические управляемые системы" (Иркутск, 1982), научном семинаре "Общая механика" (Днепропетровск, 1982), научно-технических конференциях молодых ученых ИТМ АН УССР (Днепропетровск, 1982, 1984, 1986), научных семинарах отделов ИТМ АН УССР (Днепропетровск, 1979, 1981, 1982, 1987). В 1966 г. за цикл исследований, посвященных динамике перспективных грузовых рельсовых экипажей, автору присуждена городская комсомольская премия имени академика В.А. Лазаряна в области механики.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано II печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложения. Она содержит 116 страниц машинописного текста, 47 рисунков,

7 таблиц, список литературы на 18 страницах (165 источников) и 13 страниц приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведены основные этапы в изучении колебаний и взаимодействия экипажей и пути; дан краткий обзор работ в области исследования динамики транспортных средств; изложено состояние вопроса; обоснован выбор направления исследований и сформулированы задачи, которые решаются в реферируемой работе.

Теоретические основы методов исследования взаимодействия экипажей и пути базируются на общих методах решения задач динамики механических систем, развитие которых применительно к железнодорожному транспорту проведено известными отечественными и зарубежными учеными: Н.П. Петровым, С.П. Тимошенко, Н.Е. Жуковским, Ф. Картером (*F.W. Carter*), А.М. Годышкин-Цвирко, Г. Марье, М.В. Винокуровым, В.Б. Меделем, В.А. Лазаряном, С.М. Куценко и другими. Совершенствование железнодорожного транспорта, повышение скоростей движения, сложность рассматриваемых проблем обусловили проведение исследований, которые внесли значительный вклад в изучение динамических качеств экипажей и процесса взаимодействия экипажей и пути. Этим вопросом посвятили свои труды советские ученые Е.П. Блохин, М.Ф. Вериго, С.В. Вершинский, Л.О. Грачева, В.Н. Данилов, В.Д. Давнович, О.П. Ершков, И.П. Исаев, А.А. Камаев, В.А. Камаев, Н.А. Ковалев, А.Я. Коган, М.Л. Коротенко, В.Н. Котуранов, А.А. Львов, Л.А. Манашкин, А.Н. Савоськин, М.М. Соколов, Т.А. Тибилев, В.Ф. Ушкалов, М.А. Фришман, А.А. Хохлов, В.Д. Хусидов, И.И. Челноков, Г.М. Шахуняц, В.Ф. Яковлев, Г.П. Бурчак, Д.В. Демин, С.И. Конашенко, Л.Д. Кузьмич, В.С. Плоткин, Д.С. Ромен, Д.М. Черкашин и многие другие.

В зависимости от целей исследования экипаж может рассматриваться как система либо абсолютно твердых, либо деформируемых тел, соединенных линейными или нелинейными связями. Железнодорожный путь может быть представлен как одномерная или двумерная система, совершающая колебания при движении по ней транспортного средства. При исследовании пространственных колебаний рассматривают рельсошпальную решетку, принимая во внимание деформации рельсов и шпал.

Довольно часто колебания экипажей в вертикальной продольной плоскости симметрии и боковые рассматриваются отдельно. Однако связь между боковыми и вертикальными колебаниями вагона, которая

становится нелинейной при выборе зазора между колесом и рельсом, может оказать существенное влияние на результаты решения и ее следует учитывать. Решение задачи о пространственных колебаниях рельсового экипажа в современной постановке невозможно без учета сил, действующих в плоскости контакта колеса и рельса, т.е. сил псевдоскольжения или крипа. Имеет определенное значение подробный анализ влияния способа представления сил псевдоскольжения на результаты решения задачи о совместных пространственных колебаниях рельсового экипажа и пути с учетом нелинейностей, имеющих место в реальной системе.

Все большую актуальность приобретает задача повышения надежности конструкции опирания кузова вагона на тележки. Одним из эффективных способов повышения надежности и увеличения срока службы узлов соединения кузова с надрессорными балками считается снижение колебаний боковой качки вагона путем установки демпфирующих скользящих узлов. Поэтому теоретические исследования динамики экипажей с упругодиссипативными связями кузова и тележек и выбор рациональных значений параметров этих связей представляют определенный интерес.

Немаловажное значение имеет изучение процессов совместных пространственных колебаний и взаимодействия элементов системы "грузовой вагон - путь" при возможно полном учете нелинейностей в связях и конструктивных особенностей экипажей с ходовыми частями для перспективных условий эксплуатации.

Во второй главе разработана математическая модель пространственных колебаний системы "грузовой вагон - путь"; получены дифференциальные уравнения движения рельсового экипажа по упругодиссипативному инерционному пути с вертикальными и горизонтальными неровностями; описан метод решения задачи.

Расчетная схема системы "экипаж - путь" выбрана состоящей из трех частей: моделей экипажа, верхнего строения пути (рельсошпальной решетки) и основания.

Поскольку напряжения и усилия в элементах конструкции кузова в настоящей работе не анализируются, вагон представлен системой, состоящей из II твердых тел: кузова, двух надрессорных балок, четырех боковин и четырех колесных пар, - соединенных упругими и упругодиссипативными элементами. При составлении расчетной схемы экипажа учтены следующие особенности конструкций железнодорожных вагонов и нелинейности, имеющие место в реальной системе: опирание кузова на надрессорные балки тележек при помощи плоских пят

и типовых (жестких) или упругодиссипативных скользунов; в случае установки типовых скользунов - возникновение ударного момента после выбора зазора между ними; действие моментов сил сухого трения в плоскости опирания пяты на подпятник и в опорных поверхностях упругофрикционных скользунов при видении надрессорных балок относительно кузова; действие на кузов и на тележки опрокидывающего и восстанавливающего моментов при колебаниях боковой перевалки кузова на плоских пятах; возможность одновременной установки демпферов вязкого и сухого трения в центральном и буксовом подвешивании; возможность горизонтальных поперечных, вертикальных и угловых в плане перемещений надрессорных балок относительно боковин и во всех направлениях - боковин относительно букс; нелинейный профиль катания бандажей колес.

Путь рассматривается в виде двух балок бесконечной длины, лежащих на упруговязком инерционном основании и находящихся под действием вертикальной и поперечной горизонтальной сил, приложенных в точке контакта колес и рельсов и движущихся с постоянной скоростью вдоль продольной оси балок. Считается, что нагрузка на основание от каждой рельсовой нити постоянна в пределах половины длины шпалы; нагрузка, действующая на одну из рельсовых нитей, не влияет на перемещения соседней нити. Вертикальные и горизонтальные перемещения рельса принимаются равными соответствующим перемещениям основания в точке контакта. Горизонтальные продольные перемещения рельсов и основания, перемещения основания за пределами шпалы и кручение рельсов не учитываются.

В качестве модели основания принята однослойная модель по гипотезе В.Э. Власова - Н.Н. Леонтьева, согласно которой перемещения произвольных точек подрельсового основания определяются через перемещения точек его поверхности.

Путем совместного решения дифференциальных уравнений колебаний основания и балки, находящейся под действием нагрузок, приложенных в начале подвижной системы координат, получаются уравнения изогнутой оси балки в вертикальном и горизонтальном поперечном направлениях. Соответствующие функции распределения перемещений балки определяются на основании решения полученных уравнений. Поскольку эти функции являются быстро затухающими, прогибы балки под одной тележкой, вызванные давлением другой тележки, не принимаются во внимание. Учитывая это и используя гипотезу Н.П. Петрова - Г.М. Шахуняна, удастся выразить перемещения произвольной точки балки и основания через перемещения рельса в точках контак-

та с колесом.

При разработке математической модели предполагалось, что существует постоянный контакт колес и рельсов; конические поверхности всех колес обточены одинаково и средние радиусы колес равны; отсутствует боковая качка боковин; надрессорные балки перемещаются вместе с пятниками кузова при колебаниях бокового отбоя, подпрыгивания, подергивания и галопирования; нет продольных зазоров между надрессорными балками и боковинами; продольные перемещения всех колесных пар одинаковы.

Число степеней свободы рассматриваемой системы "грузовой вагон - путь" с учетом наложенных на нее связей равно 51. Уравнения пространственных колебаний экипажа и пути составлены как уравнения Лагранжа второго рода и представляют собой систему 50 нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка, которая в матричном виде записывается следующим образом:

$$M(\bar{q})\ddot{\bar{q}} = \bar{R}(\bar{q}, \dot{\bar{q}}, \bar{\eta}, \dot{\bar{\eta}}, \ddot{\bar{\eta}}), \quad (I)$$

где $M(\bar{q})$ - матрица инерционных коэффициентов; $\bar{R}(\bar{q}, \dot{\bar{q}}, \bar{\eta}, \dot{\bar{\eta}}, \ddot{\bar{\eta}})$ - вектор правых частей; $\bar{q}$ и $\bar{\eta}$ - векторы обобщенных координат и возмущений системы соответственно. Вследствие учета связи между горизонтальными и вертикальными перемещениями колес и рельсов ряд инерционных, диссипативных и квазиупругих коэффициентов системы уравнений (I) являются функциями обобщенных координат.

В третьей главе приведены возмущения, рассматриваемые в данной работе. Реальные возмущения обусловлены многими факторами и, как известно, имеют случайный характер. Тем не менее в ряде случаев представляется необходимым учет внешних воздействий в виде детерминированных функций. При решении данной задачи возмущения задавались в виде неровностей рельсовых нитей, описываемых детерминированными функциями с учетом транспортного запаздывания. Рассматривались неровности от стыковых соединений рельсовых звеньев, которые моделировались периодически повторяющимися импульсами, симметричными по обоим рельсовым нитям. В качестве горизонтальных возмущений были приняты волнообразные неровности пути, возникающие в результате извилистого движения экипажей. Чтобы возбуждать колебания системы "грузовой вагон - путь", близкие фиксируемым в эксперименте, задавались также синусоидальные составляющие вертикальных возмущений, заданные в противофазе по разным рельсовым нитям.

Изучены колебания системы "грузовой вагон - путь" в предположении, что путь абсолютно жесткий в вертикальной плоскости и упруговязкий инерционный в горизонтальной, и рассмотрены возможности применения полученной при этом расчетной схемы с 43 степенями свободы. Показано, что такая математическая модель может использоваться при исследовании пространственных колебаний системы "экипаж - путь", если вертикальные усилия в элементах буксового подвешивания и на контакте колес и рельсов, а также вертикальные перемещения колес не входят в число анализируемых выходных характеристик.

Получено удовлетворительное совпадение результатов, найденных с помощью плоской расчетной схемы в вертикальной продольной плоскости симметрии, выделенной из пространственной модели, с ранее известными теоретическими данными. Показано, что расчетные схемы тележек можно упростить, рассматривая шарнирное соединение боковых рам одной тележки в горизонтальном и вертикальном направлениях, что снижает число степеней свободы системы на 4. При отсутствии кососимметричных вертикальных составляющих в наборе задаваемых возмущений вполне допустимо введение жесткой связи боковин в вертикальной плоскости при одновременном шарнирном соединении их в горизонтальной. Число степеней свободы системы уменьшается при этом на 6.

При исследовании пространственных колебаний полной системы "экипаж - путь" пренебрежение инерционными свойствами пути в вертикальной и горизонтальной плоскостях не рекомендуется. Если же используется математическая модель, путь в которой принят жестким в вертикальной плоскости, то представляется возможным исключение инерции пути в горизонтальном направлении (число степеней свободы системы уменьшается при этом на 4).

Четвертая глава посвящена исследованию влияния представления сил псевдоскольжения по различным гипотезам на результаты решения задачи о совместных пространственных колебаниях экипажа и пути. Проведен так называемый "машинный" эксперимент, целью которого являлась оценка влияния на результаты решения задачи о пространственных колебаниях системы "грузовой вагон - путь" следующих факторов при определении сил крипа: учета переменной вертикальной нагрузки на рельс; использования гипотез линейной и нелинейной моделей крипа; учета спина и момента верчения. Расчеты проводились при использовании гипотез Картера, Мюллера (*T. Müller*), Неймарка-Фуфаева, Саваджа (*G. Sauvage*), Мацуи

(*N. Matsui*), Калкера (*J. Kalke*) и Броерсена (*P. Broersen*). Рассматривались две расчетные схемы системы: исходная (полная) и упрощенная, путь в которой принят жестким в вертикальной плоскости и упруговязким инерционным в горизонтальной.

Показано, что при использовании полной расчетной схемы учет переменности вертикального давления колеса на рельс при вычислении коэффициента псевдоскольжения по формулам линейной и нелинейной моделей крива не оказывает существенного влияния на выходные характеристики системы. Более предпочтительными являются гипотезы нелинейной модели псевдоскольжения, однако при проведении подробного анализа колебательных процессов только обрессоренных частей и вертикальных усилий на всех уровнях системы "экипаж - путь" допустимо применение простейших формул линейной модели крива. При использовании линейной гипотезы Калкера спин учитывать необходимо, а моментом вращения можно пренебречь. Отмечено, что получение формул нелинейной модели крива, учитывающих спин, является целесообразным.

При решении задачи о пространственных колебаниях системы по упрощенной расчетной схеме (путь - жесткий в вертикальной плоскости) с использованием гипотез нелинейной модели крива следует обязательно принимать во внимание переменный характер вертикального давления колеса на рельс. При исследовании динамики только обрессоренных частей и анализе усилий в центральном подвешивании возможно применение формул линейной модели псевдоскольжения с учетом постоянного (статического) давления колеса на рельс. Если при решении задачи используется линейная теория Калкера, то момент вращения можно не учитывать. В случае анализа колебаний только обрессоренных частей системы и величин усилий в связях не ниже уровня центрального подвешивания можно пренебречь и спином.

В пятой главе подробно проанализирован режим автоколебаний системы "грузовой вагон - путь", при котором выбор зазора в рельсовой колее происходит под обеими тележками, поскольку в данном случае в системе возникают наибольшие силы.

При анализе вынужденных колебаний системы оценено влияние на выходные характеристики различных сочетаний возмущений и изменений их амплитуд. Показано, что вертикальные симметричные неровности пути не оказывают заметного воздействия на боковые колебания рассматриваемой системы. Кососимметричные составляющие вертикальных неровностей определяют боковую перевалку кузова на путях. На динамику системы в горизонтальной плоскости влияет в основном го-

горизонтальные возмущения. Вертикальные колебания системы определяются преимущественно совместным действием симметричных и кососимметричных составляющих вертикальных неровностей, однако на характер этих колебаний влияют также горизонтальные неровности пути.

Изучено влияние на динамические качества грузового полувагона с тележками модели И8-И15 изменения некоторых параметров его ходовых частей. Показано, что исключение трения в элементах центрального подвешивания нежелательно. Существенно изменяются выходные характеристики системы при варьировании параметров центрального подвешивания в горизонтальной поперечной плоскости: жесткости $\kappa_{\text{чч}}$ и амплитуды сил кулонова трения $F_{\text{чч}}$. Выбранные рациональные значения этих параметров ($\kappa_{\text{чч}} = 1600$ кН/м, $F_{\text{чч}} = 15$ кН) заметно улучшают динамические показатели рассматриваемого рельсового экипажа.

Проведено сопоставление теоретических результатов, полученных для грузовых полувагонов с тележками моделей И8-И00, И8-И15 и И8-И20, с данными натурных испытаний. Получено достаточно хорошее их совпадение.

В шестой главе построены характеристики и проанализирована работа скользунов двух конструкций: типовых (жестких) и упруго-фрикционных, разработанных на производственном объединении "Уралвагонзавод" и предназначенных для гашения колебаний виляния и перевалки кузова на пятниках.

Показано, что использование типовых скользунов без зазора приводит к снижению интенсивности боковых колебаний системы и практически полному гашению перевалки кузова на пятах. Однако значительное возрастание при этом вертикальных усилий в системе, в особенности на контакте колес и рельсов, представляется существенным препятствием для введения в эксплуатацию таких скользунов.

Установка вместо типовых скользунов упругофрикционных с пониженным трением не приводит к улучшению динамических характеристик рассматриваемого экипажа. Увеличение трения по сравнению с исходным является нежелательным ввиду возрастания при некоторых скоростях движения воздействия на путь в вертикальном и горизонтальном поперечном направлениях. Изменение жесткости пружин упругофрикционных скользунов κ_c и угла наклона пружин и клиньев α оказывает противоречивое влияние на выходные показатели системы "грузовой вагон - путь" в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Вследствие этого поиск оптимальных значений указанных параметров следует проводить на основании расчетов совместных пространствен-

ных колебаний экипажа и пути при помощи функций цели, учитывающих показатели системы одновременно в обеих плоскостях.

При решении многокритериальной задачи оптимизации параметров упругофрикционных скользунов κ_c и α критериями качества служили силовые показатели - наибольшие значения усилий в связях на различных уровнях рассматриваемой системы. Из четырех рассмотренных вариантов функций цели были выбраны два:

$$\Phi_2 = \sum_{i=1}^n \gamma_i \frac{R_i}{N_i}, \quad (2)$$

$$\Phi_4 = \sum_{i=1}^n \gamma_i \frac{R_i - R_i^{min}}{R_i^{max} - R_i^{min}},$$

где γ_i - весовые коэффициенты; R_i - критерии качества; N_i - нормирующие постоянные, равные наибольшим допустимым значениям усилий, принятых критериями качества; n - число рассматриваемых критериев ($n = 7$); R_i^{min} , R_i^{max} - соответственно минимальное и максимальное значения i -го критерия. Поскольку число варьируемых параметров невелико, использовался метод слепого поиска. Этот метод не является экономичным, однако его применение позволило найти глобальный минимум целевых функций (2) и проследить отклик системы "грузовой вагон - путь" на изменение оптимизируемых параметров. В результате получены следующие оптимальные значения жесткости пружин и угла наклона пружин и фрикционных клиньев скользунов: $\kappa_c = 1175$ кН/м, $\alpha = 50^\circ$. Определены направления и возможные диапазоны изменения этих параметров при условии сохранения достигнутого при оптимизации уровня динамических качеств исследуемого рельсового экипажа: $48^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ$, 1100 кН/м $\leq \kappa_c \leq 1600$ кН/м. Варьирование параметров κ_c и α приводит к образованию коридора оптимальных значений: увеличение жесткости κ_c должно сопровождаться увеличением угла α , а при $\kappa_c = 2500-3000$ кН/м значение 50° становится его нижним допустимым пределом. Найдено рациональное значение начальной затяжки пружин скользунов: $\Delta_j = 10$ мм. Получено существенное улучшение динамических качеств рассматриваемого полувагона при введении в схему опирания кузова на тележки упругофрикционных скользунов с найденными параметрами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана математическая модель совместных пространственных колебаний четырехосного грузового вагона и железнодорожного пути с учетом инерционных, диссипативных и упругих свойств последнего. При составлении расчетной схемы приняты во внимание различные конструктивные особенности транспортных средств и нелинейности, имеющие место в реальной системе. Использование разработанной математической модели дает возможность проводить изучение динамики как существующих, так и перспективных вариантов конструкций железнодорожных экипажей.

В результате проведенных теоретических исследований получены следующие основные выводы.

1. Корректность разработанной математической модели пространственных колебаний системы "грузовой вагон - путь", приемлемость используемой методики исследования динамики рельсовых экипажей и удовлетворительное соответствие по воздействию задаваемых в расчетах и реально существующих возмущений подтверждены достаточно хорошим совпадением теоретических результатов с данными натуральных испытаний для грузовых полувагонов с двухосными тележками трех моделей: И8-100, И8-115 и И8-120. Удовлетворительное совпадение результатов расчетов, полученных с помощью вертикальной плоской расчетной схемы, выделенной из пространственной, с ранее известными теоретическими данными также подтверждает корректность составленной математической модели.

2. Упрощенная математическая модель, в которой путь принят жестким в вертикальной плоскости и упруговязким инерционным в горизонтальной, может применяться при решении задачи о пространственных колебаниях системы "грузовой вагон - путь", если в число анализируемых выходных характеристик не входят значения вертикальных усилий в элементах буксового подвешивания и на контакте колес и рельсов, а также вертикальных перемещений колес.

3. Расчетные схемы тележек можно упростить, приняв шарнирное соединение боковых рам в горизонтальном и вертикальном направлениях. При использовании математической модели, в которой путь принят жестким в вертикальной плоскости, инерцию пути в горизонтальном поперечном направлении можно не учитывать. При проведении исследований по полной математической модели пренебрежение инерционными свойствами пути в вертикальной и горизонтальной плоскостях не рекомендуется.

4. При выборе способа представления сил псевдоскольжения более предпочтительными являются гипотезы нелинейной модели крива (для упрощенной расчетной схемы на жестком пути в вертикальной плоскости - с обязательным учетом переменного характера вертикального давления колеса на рельс). Применение простейших гипотез линейной модели псевдоскольжения допустимо при подробном изучении колебательных процессов только обрессоренных частей и вертикальных усилий на всех уровнях системы "экипаж - путь", при этом для упрощенной расчетной схемы возможно получение достоверных значений усилий не ниже центрального подвешивания.

5. При использовании модели крива Калкера можно не принимать во внимание момент верчения, спин же учитывать необходимо; при анализе колебаний обрессоренных частей вагона по упрощенной расчетной схеме можно пренебречь и спином.

6. Существенное влияние на динамические качества грузового полувагона с тележками модели И8-И15 оказывает изменение параметров упругодиссипативных элементов центрального подвешивания в горизонтальном поперечном направлении. Рациональными значениями этих параметров являются: жесткость $\kappa_{\text{ц}} = 1600 \text{ кН/м}$, амплитуда силы кулонова трения $F_{\text{ц}} = 15 \text{ кН}$.

7. Использование типовых (жестких) скользунов без зазора в схеме опирания кузова на надрессорные балки грузового полувагона с тележками модели И8-И20 приводит к значительному снижению интенсивности боковых колебаний системы, однако при этом вертикальные усилия в связях резко возрастают.

8. Изменение параметров упругофрикционных скользунов оказывает противоречивое влияние на динамические качества в вертикальной и горизонтальной плоскостях грузового полувагона с тележками модели И8-И20. Поэтому оптимизация значений этих параметров должна проводиться при помощи функций цели, учитывающих показатели системы одновременно в обеих плоскостях.

9. Оптимальными значениями параметров упругофрикционных скользунов конструкции ПО "Уралвагонзавод" грузового полувагона с тележками модели И8-И20 являются: жесткость пружин $\kappa_2 = 1175 \text{ кН/м}$, угол наклона пружин и фрикционных клиньев $\alpha = 50^\circ$. Рациональное значение начальной затяжки пружин $\Delta_j = 10 \text{ мм}$. Изменение трения в скользунах нецелесообразно.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах автора:

1. О пространственных колебаниях грузовых вагонов // Проблемы механики железнодорожного транспорта. Тезисы докладов Всесоюзной конференции. - Киев: Наук. думка, 1980. - С. 76-77. (Соавторы М.Л. Коротенко, В.Д. Данович, В.А. Татарина).
2. К вопросу о пространственных колебаниях грузовых вагонов // ДИИТ. - Днепропетровск, 1981. - 14 с. - Библиогр.: 10 назв. - Деп. в ВИНТИ 22.07.81, № 1353. (Соавторы М.Л. Коротенко, В.Д. Данович, В.А. Татарина).
3. Выбор параметров упругодиссипативных элементов ходовых частей грузовых вагонов // Проблемы динамики и прочности железнодорожного подвижного состава. - Днепропетровск: ДИИТ, 1981. - Вып. 220/28. - С. 47-61. (Соавторы М.Л. Коротенко, В.Д. Данович).
4. Некоторые результаты исследований колебаний грузовых вагонов // Проблемы динамики и прочности железнодорожного подвижного состава. - Днепропетровск: ДИИТ, 1982. - С. 59-69. (Соавторы М.Л. Коротенко, В.Д. Данович, О.Л. Зьмница, В.А. Татарина).
5. О взаимодействии движущегося транспортного средства с упругодиссипативным инерционным основанием // Механические управляемые системы. Тезисы докладов IV научно-технической конференции. - Иркутск, 1982. - С. 117-118. (соавтор В.Ф. Ушкалов).
6. Некоторые упрощения расчетных схем при исследовании пространственных колебаний грузовых вагонов // ДИИТ. - Днепропетровск, 1983. - 10 с. - Библиогр.: 4 назв. - Деп. в ВИНТИ 8.04.83, № 1987. (Соавтор В.Д. Данович).
7. Влияние параметров пути на результаты исследования пространственных колебаний системы "грузовой вагон - путь" // Проблемы механики железнодорожного транспорта. Тезисы докладов Всесоюзной конференции. - Днепропетровск: ДИИТ, 1984. - С. 104-105. (Соавтор В.Д. Данович).
8. К вопросу о выборе рациональных параметров упругофрикционных скользунов с использованием пространственной расчетной схемы грузового вагона // Проблемы динамики и прочности железнодорожного подвижного состава. - Днепропетровск: ДИИТ, 1984. - С. 45-53. (Соавторы В.Д. Данович, В.Ф. Ушкалов).
9. О применении различных гипотез при определении сил псевдоскольжения // Динамические характеристики механических систем. - Киев: Наук. думка, 1984. - С. 95-101. (Соавтор В.Ф. Ушкалов).

10. Выбор оптимальных параметров упругофрикционных скользунков // Колебания и прочность механических систем. - Киев: Наук. думка, 1986. - С. 62-70. (Соавторы В.Д. Данович, В.Ф. Ушкалов).
11. Об учете упруговязких инерционных свойств пути в вертикальной плоскости при исследовании пространственных колебаний грузового вагона // Проблемы динамики, прочности и устойчивости движения железнодорожного подвижного состава. - Днепропетровск: ДИИТ, 1986. - С. 91-99. (Соавтор В.Д. Данович).

Мальшева Ирина Юрьевна

" Пространственные колебания грузовых вагонов с двухосными тележками перспективных конструкций "

05.22.07 - Подвижной состав железных дорог и тяга поездов

Подписано к печати 15.05.87. БГ 70209

Формат 60x84 1/16. Бумага для множительных аппаратов. Ротапринт.
Усл.печ.л. I. Уч.-изд.л. I. Тираж 100 экз. Заказ № 1049. Бесплатно.

Участок оперативной полиграфии ДИИТа.

320700, ГСП, Днепропетровск, 10, ул. Акад. В.А. Лазаряна, 2

5081 a

Днепропетровский
институт инженеров
жел. сор. транспорта
им. М. И. Калинина
БИБЛИОТЕКА

НТБ
ДНУЖТ