

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
имени М.И.КАЛИНИНА

На правах рукописи

ТАТАРИНОВА Валентина Анатольевна

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ СИЛ НА КОЛЕБАНИЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ
ДВИЖЕНИЯ ВАГОНОВ

05.22.07 – Подвижной состав и тяга поездов

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск – 1980

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена в Днепропетровском ордена Трудового Красного Знамени институте инженеров железнодорожного транспорта имени М.И.Калинина.

Научный руководитель – заслуженный работник высшей школы УССР, доктор технических наук, профессор Е.П.БЛОХИН.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор М.М.СОКОЛОВ,
кандидат технических наук, доцент О.М.САВЧУК.

Ведущее предприятие – Всесоюзный научно-исследовательский институт вагоностроения.

Защита состоится *13 ноября* 1980 г. в 15 час.
на заседании специализированного совета К II4.07.01 в Днепропетровском ордена Трудового Красного Знамени институте инженеров железнодорожного транспорта им.М.И.Калинина (320629,

НТБ
ДНУЖТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Решениями XXV съезда КПСС по развитию транспорта на 1976-1980 гг. предусматривается обеспечить дальнейшее увеличение пропускной и провозной способности железных дорог... Повысить скорость движения грузовых и пассажирских поездов". Увеличение скоростей движения поездов в условиях обеспечения безопасности движения, комфорта пассажиров и минимального воздействия на путь обуславливает необходимость дальнейшего совершенствования существующих и создания новых конструкций железнодорожных экипажей. В связи с этим возрастает актуальность научно-исследовательских работ, направленных на изучение и прогнозирование динамических качеств рельсовых экипажей, отвечающих повышенным требованиям.

67622
Целью работы является установление зависимости устойчивости движения различных типов вагонов от структуры действующих сил, изучение возможности стабилизации движения рельсовых экипажей при помощи консервативных, диссипативных и гироскопических сил в условиях неприменимости теорем Томсона-Тета, а также разработка способов оптимизации параметров системы с использованием информации о структуре действующих сил.

Методы исследования. Устойчивость невозмущенного движения рельсовых экипажей исследована в соответствии с теорией А.М.Ляпунова. Критические скорости движения и амплитуды установившихся колебаний типовых конструкций железнодорожных экипажей с одинарным и двойным рессорными подвешиваниями определены численными методами с помощью ЭВМ. Для исследования структурной устойчивости рассматриваемых экипажей применена теория Ю.И.Неймарка. Оптимизация параметров упругих элементов схемы подвешивания проведена с использованием информации о структуре позиционных сил.

Научная новизна работы. До настоящего времени, за исключением работы В.А.Лазаряна, М.Л.Коротенко, А.А.Львова "Определение параметров четырехосного полувагона, при которых его движение устойчиво", вопросы, связанные со структурной устойчивостью рельсовых экипажей теоретически не исследовались и решались в основном методом проб. В реферируемой работе исследование структурной устойчивости проведено с использованием теории М.И.Неймарка. Предложен эффективный способ оптимизации параметров упругих элементов рессорного подвешивания вагонов, позволяющий не прибегать к решению полной проблемы собственных значений матрицы коэффициентов дифференциальных уравнений движения линеаризованных систем. Усовершенствован предложенный В.А.Лазаряном и другими метод понижения порядка системы дифференциальных уравнений возмущенного движения, что позволяет избежать обращения плохо обусловленной матрицы и связанной с этим потери точности. Исследовано проявление гироскопического эффекта, вызванного вращением колесных пар высокоскоростных рельсовых экипажей в условиях неприменимости теорем Томсона-Тета.

Практическая ценность и внедрение результатов работы. Проведенные разработки являются частью работ по теоретическому обоснованию методов исследования устойчивости движения железнодорожных экипажей. Получены эффективные способы, позволяющие теоретическим путем решать задачи, связанные с созданием новых и модернизацией существующих конструкций рельсовых экипажей. Указанная эффективность достигается путем максимального использования информации о структуре действующих на экипаж сил. Эти способы используются при выполнении научных работ в Днепропетровском ордена Трудового Красного Знамени институте инженеров железнодорожного транспорта им.М.И.Калинина. Результаты работы использованы Уральским вагоностроительным заводом им.Ф.Э.Дзержинского при разработке конструкций перспективных тележек грузовых вагонов.

Апробация. Основные результаты работы доложены на Всесоюзных конференциях по проблемам наземного транспорта (Днепропетровск, 1977, 1980 гг.), на городском семинаре "Общая механика" (Днепропетровск, 1977, 1980 гг.), на юбилейных научно-технических конференциях Днепропетровского ордена Трудового Красного Знамени института инженеров железнодорожного транспорта им.М.И.Калинина (Днепропетровск, 1977, 1980 гг.).

Публикации. По материалам диссертации имеется 10 печатных работ.

Структура работы. Порядок расположения материала выбран исходя из необходимости освещения основных достижений в рассматриваемой области, постановки задачи, обоснования методов решения поставленной задачи и выбора расчетных схем, изложения результатов, выводов и рекомендаций.

Объем работы. диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 110 наименований и приложения. Текстовая часть ее содержит 116 страниц, 29 таблиц и 55 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Основы теории колебаний и устойчивости движения подвижного состава железных дорог заложены в трудах М.Ф.Вериго, С.В.Вершинского, М.В.Винокурова, А.М.Годышского-Цвирко, Н.Е.Жуковского, В.А.Лазаряна, Н.П.Петрова, Ф.Картера, Г.Марье, Д.Рокара.

Значительный вклад в развитие методов исследования динамических качеств рельсовых экипажей внесли Е.П.Блохин, Л.О.Грачева, А.А.Камаев, А.Я.Коган, М.Л.Коротенко, К.П.Королев, Н.Н.Кудряшев, С.м.Куценко, А.А.Львов, В.Б.Медель, Л.Н.Никольский, М.П.Пахомов, М.М.Соколов, А.Н.Савоськин, Т.А.Тиболов, В.Ф.Ушклов, И.И.Челноков, А.А.Длугач, М.А.Докейниш, Т.Мацудайра, А.де Патер, А.Уиккенс и

другие отечественные и зарубежные ученые.

Разносторонние теоретические и экспериментальные работы по динамике и прочности подвижного состава, выбору рациональных конструкций экипажей, совершенствованию методов расчета проводятся в ЦНИИ ИПС, ВНИИ вагоностроения, Днепропетровском институте технической механики АН УССР, в проблемных лабораториях вузов — ДИИТ, МИИТ, ЛИИЖТ, ХПИ, БИТМ и других, а также в КБ и НИИ ведущих заводов транспортного машиностроения.

Необходимым условием обеспечения удовлетворительных динамических качеств железнодорожных экипажей, как показывают многочисленные теоретические и экспериментальные исследования, является асимптотическая устойчивость их невозмущенного движения.

Общие методы А.М.Ляпунова ценны прежде всего своей универсальностью и строгой математической обоснованностью. Исследование же структуры сил по существу началось с работ Лагранжа. Дальнейший вклад в изучение влияния структуры сил на устойчивость системы внесли Томсон, Тет, Четаев.

На современном этапе этому вопросу уделяется внимание в работах Д.Р.Меркина, В.В.Румянцева, С.А.Агафонова, В.М.Лахаданова, Ю.И.Неймарка, Циглера, Матнуса. Однако в этих работах приведены частные результаты, мало применимые к вопросам динамики подвижного состава.

В реферируемой работе ставится задача получить качественную оценку зависимости устойчивости движения рельсовых экипажей от структуры действующих сил, что позволяет, во-первых, решать вопрос о принципиальной структурной устойчивости, во-вторых, применять ускоренные способы оптимизации, не требующие полного перебора параметров и вычисления на каждом шаге собственных чисел матрицы. Для основных типов современных отечественных рельсовых экипажей проведено исследование с учетом гироскопических сил колесных пар.

Неустойчивость движения рельсовых экипажей при высоких скоростях движения, как известно, вызвана позиционными неконсервативными силами крипа. В работе рассмотрен актуальный вопрос о пределах применимости теорем Томсона–Тета к системам с указанными силами.

Первая глава содержит изложение методов, применяемых автором к исследованию колебаний и устойчивости движения современных отечественных рельсовых экипажей.

Для повышения устойчивости движения рельсовых экипажей необходимо обеспечить определенное сочетание упругих и диссипативных сил, в том числе сил сухого трения. Однако прежде чем обращаться к процессу оптимизации, желательно предварительно знать, является ли данная расчетная схема структурно устойчивой, так как в противном случае оптимизация параметров может оказаться малоэффективной или бесполезной. Установление факта структурной устойчивости является сложной задачей. Ее решение можно несколько упростить, если воспользоваться теорией Ю.И.Неймарка. В основе метода лежит анализ топологического характера взаимодействия между отдельными парциальными осцилляторами системы и геометрическая схема связей. Согласно этой теории при исследовании структурной устойчивости рельсовых экипажей необходимо выделить направленные связи, проверить потенциальную энергию, включающую в себя часть позиционных составляющих сил псевдоскольжения, на знак постоянства и установить наличие цикла.

Для более подробного исследования взаимодействия между отдельными парциальными осцилляторами было проведено корректное упрощение расчетных схем с использованием метода быстрозатухающих решений, предложенного В.А.Лазаряном и другими. Возможность судить о поведении решения полной системы дифференциальных уравнений по результатам, полученным для укороченной системы, было обосновано А.М.Ляпуновым (принцип сведения). Применяемые при этом матричные преобразо-

вания часто требуют обращения плохо обусловленной матрицы, что ведет к значительной потере точности, в результате чего укороченная система дифференциальных уравнений недостаточно точно отражает поведение исходной. Эта трудность может быть устранена, если уравнения движения записать в форме Гамильтона

$$\begin{cases} \dot{q}_i = \frac{\partial H}{\partial p_i} \\ \dot{p}_i = -\frac{\partial H}{\partial q_i} + Q_{ni} \end{cases}$$

где q_i, p_i - обобщенные координаты и импульсы, $H = \sum p_i \dot{q}_i - L$ - функция Гамильтона, L - функция Лагранжа, Q_{ni} - непотенциальные силы.

Показана возможность приведения дифференциальных уравнений движения, записанных в форме Гамильтона, к главным фазовым координатам. Установлено, что применяемый при этом метод Уорда после перехода к действительной арифметике принципиально не отличается от обычно используемого метода. Выяснен вопрос, в каких случаях предлагаемое усовершенствование является более эффективным.

Рациональные с точки зрения устойчивости движения значения параметров, как известно, выбираются таким образом, чтобы вещественные части корней характеристического уравнения системы $|\mathcal{D} - \lambda E| = 0$ при расчетных скоростях лежали в отрицательной полуплоскости. В настоящее время разработано значительное количество методов, позволяющих определить наиболее благоприятное сочетание характеристик упругих, упруго-вязких и фрикционных элементов в схеме подвешивания вагона. Эти методы обеспечивают достаточно высокую точность, но являются трудоемкими и требуют значительных затрат машинного времени. Целесообразно использовать в процессе оптимизации параметров информацию о структуре действующих на экипаж сил. При наличии позиционных неконсервативных сил крипа одним из необходимых условий устойчивости является положительность определителя матрицы позиционных сил, так как при этом консервативные силы доминируют над не-

консервативными. Тогда задача оптимизации может быть поставлена как задача максимизации указанного определителя в области допустимых значений параметров. В ограниченной области изменения параметров этот определитель хорошо аппроксимируется линейной функцией параметров. Поскольку эффективные способы аппроксимации непрерывных функций на континууме отсутствуют, то аппроксимация выполнялась на точечном множестве с использованием Чебышевских узлов. Линеаризация функциональной зависимости была осуществлена с помощью П алгоритма Ремеза, так как этот алгоритм обеспечивает максимальную по сравнению с другими способами точность (в смысле Чебышева). Оптимизация полученной линейной функции была проведена симплекс-методом.

Во второй главе изложены основные допущения, принятые при построении расчетных схем, и уравнения возмущенного движения рельсовых экипажей.

Исследования проведены для двух основных типов вагонов — пассажирских и грузовых. К первой группе были отнесены современные отечественные экипажи: окоростной вагон-лаборатория с реактивной тягой СВЛ, пассажирский вагон на тележках КВЗ-ЦНИИ, моторный вагон электропоезда ЭР-200, вагон поезда РТ-200, которые рассматривались как экипажи с двойным рессорным подвешиванием. Подобие систем рессорного подвешивания исследуемых экипажей позволяет использовать для них одну расчетную схему, согласно которой экипаж представлен системой семи твердых тел: кузова, двух рам тележек и четырех колесных пар, соединенных упруго-диссипативными элементами. При относительных поворотах кузова и тележек в горизонтальной плоскости возникает момент сил сухого трения (существенная нелинейность).

Во второй группе рассматривались грузовой вагон на тележках ЦНИИ-ХЗ с жесткой рамой, грузовой вагон на тележках ЦНИИ-ХЗ с упругой рамой и грузовой вагон на перспективных тележках 50Х-50В конструкции Уралвагонзавода. Для первых экипажа представлены как экипажи

с одинарным рассорным подвешиванием, третий — с двойным. Расчетные схемы указанных вагонов рассмотрены соответственно как системы из трех твердых тел (кузов и две необрессоренные части тележек), из одиннадцати твердых тел (кузов, две наддрессорные балки, четыре боковины и четыре колесные пары) и из одиннадцати тел (кузов, две наддрессорные балки, четыре боковины и четыре колесные пары).

Перечисленным расчетным схемам присвоены номера I, II, III и IV, соответствующие порядку их перечисления.

При выборе расчетных схем и составлении уравнений движения вагонов были приняты обычные допущения: рассматривалось движение по идеально ровному (при исследовании собственных колебаний) и однородно упругому пути; предполагалось, что колеса катятся без проскальзывания, конические поверхности всех колес обточены одинаково и радиусы кругов катания равны между собой; нагрузка на колесные пары распределена симметрично.

При исследовании колебаний и устойчивости движения грузового вагона на тележках 50X-50B (схема IV) учитывались, кроме того, инерционные и упругие свойства пути в горизонтальной плоскости, нелинейность поверхности катания колеса, вертикальные перемещения боковин, вызванные изменением радиуса кругов катания колес вследствие горизонтальных поперечных перемещений колес относительно рельсов, и упругие свойства кузова. Остальные тела приняты абсолютно твердыми.

Для всех расчетных схем также учитывался гироскопический эффект, вызываемый вращением колесных пар. Предполагалось, что колесная пара представляет собой гироскоп с тремя степенями свободы: собственное вращение вокруг оси, параллельной оси u , с угловой скоростью Ω , определяемой скоростью движения вагона, и повороты вокруг вертикальной оси на угол ψ (виляние) и вокруг продольной горизонтальной оси на угол θ (боковая качка). Поворот оси колес-

ной пары на угол ϕ , вызванный конечностью поверхностей катания колес, связан с боковым отходом ее y от оси пути. При этом на тележку действуют гироскопические моменты $\vec{M}_z$ и $\vec{M}_\infty$, которые вычислены в соответствии с приближенной теорией гироскопов как главные моменты кориолисовых сил инергия:

$$\vec{M}_{\text{гир}} = J \vec{\Omega} \times \vec{\omega},$$

где $\vec{\omega}$ представляет собой ψ или $\dot{\phi}$. Соответствующие обобщенные силы вычислены с помощью выражения для возможной работы.

Рассмотрены вынужденные колебания экипажа, вызванные геометрическими несовершенствами пути в горизонтальной плоскости. В качестве горизонтальных приняты возмущения, обусловленные конечной длиной рельсового звена и извилистым движением экипажа, которые могут быть представлены формулой

$$\eta = d_0 \sin \frac{2\pi}{L_n} (x - \eta_i),$$

где d_0 - амплитуда, L_n - длина волны неровности, η_i - запаздывание входа соответствующей колесной пары на неровность.

В качестве обобщенных координат приняты величины, соответствующие линейным и угловым перемещениям тел системы.

Математические модели рассматриваемых экипажей представляют собой системы шестнадцати нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка (для схемы I), семи уравнений (схема II), восемнадцати уравнений (схема III) и сорока пяти нелинейных уравнений (схема IV).

Дифференциальные уравнения движения были получены как уравнения Лагранжа II рода.

В данной диссертационной работе, как и обычно, устойчивость движения исследована на основе положений теории А.М.Ляпунова с применением численных методов. Для определения условий потери асимптотической устойчивости прямолинейного поступательного движения ваго-

нов использованы дифференциальные уравнения первого приближения, записанные в нормальной форме Коши.

Области устойчивости решений определены на основании анализа вещественных частей собственных чисел λ матрицы $\mathcal{D}$ коэффициентов дифференциальных уравнений движения. Собственные числа найдены по программе, реализующей QR-алгоритм Френсиса-Кублановской. Суждение об устойчивости решений систем нелинейных автономных и неавтономных уравнений оставлено на основании частных решений, полученных путем численного интегрирования методом Адамса-Башфорта.

В третьей главе приведены результаты серии расчетов по выявлению влияния структуры сил на колебания и устойчивость движения исследуемых пассажирских экипажей. Проведено исследование возможности применения теории Ю.И.Неймарка к вопросам динамики подвижного состава; выполнена оптимизация параметров упругих элементов ресорного подвешивания вагонов с использованием информации о структуре сил.

Для оценки влияния действующих сил на устойчивость невозмущенного движения рассмотрено действие потенциальных, диссипативных и гироскопических сил в отдельности при наличии позиционных неконсервативных сил крипа. Это допустимо при исследовании линеаризованных систем. Построены зависимости наибольших вещественных частей собственных чисел матрицы $\mathcal{D}$ от скорости движения исследуемых экипажей для различных вариантов комбинаций параметров. Установлено, что вопреки теоремам Томсона-Тета диссипативные силы не разрушают гироскопическую стабилизацию. Однако основная роль в стабилизации движения принадлежит диссипативным силам. Гироскопические силы стабилизируют движение рассмотренных экипажей независимо от того, отсутствуют или имеются диссипативные силы. Однако проявление гироскопического эффекта незначительно – критическая скорость увеличивается не более чем на 5 %. Эти выводы справедливы для диссипатив-

ных сил с полной и неполной диссипацией.

Поскольку условия теорем Томсона-Тета для железнодорожных экипажей не выполняются из-за наличия существенно неконсервативных сил псевдоскольжения, то было проведено исследование проявления гироскопического эффекта при различных значениях сил псевдоскольжения. Наибольшее значение коэффициента псевдоскольжения Γ было определено по формуле Картера, наименьшее - по формуле Мюллера.

Проведенные другими авторами теоретические и экспериментальные исследования показали, что значение критической скорости может существенно зависеть от коничности поверхности катания колеса μ . К тому же изменение величины μ влечет за собой изменение гироскопического коэффициента. В связи с вышесказанным была выполнена серия расчетов, в которых определялась величина критической скорости при разных значениях коэффициента псевдоскольжения Γ и коничности μ , как с учетом, так и без учета гироскопических сил. При этом учитывалось рассеяние энергии в демпферах вязкого трения (неполная диссипация). моторный вагон электропоезда ЭР-200 рассмотрен в двух вариантах, которые отличаются друг от друга значением жесткостей комплектов рессорного подвешивания.

Выполненные автором исследования показали, что эффект гироскопической стабилизации мало зависит от величины коэффициента псевдоскольжения Γ . Увеличение в два раза коничности μ значительно (до 30 %) снижает критическую скорость экипажей СМ, РТ-200 и пассажирского вагона. Гироскопические силы в этом случае не вызывают существенного увеличения критической скорости, несмотря на удвоение гироскопического коэффициента.

Были проведены расчеты для различных значений жесткостей комплектов центрального и надбуксового рессорного подвешивания в вертикальном и горизонтальном направлениях. Установлено, что изменение значений указанных жесткостей не вызывает более заметного проявле-

ния гироскопических сил.

Полученные выводы были проверены для нелинейных систем. Оказалось, что при наличии момента сил сухого трения в системе опирания кузова на тележки гироскопические силы также увеличивают критическую скорость движения экипажей СВЛ, РТ-200 и пассажирского вагона. Для моторного вагона электропоезда ЭР-200 введение сухого трения дестабилизирует движение и проявление гироскопического эффекта незначительно. Результаты, полученные для линеаризованных систем, хорошо согласуются с результатами нелинейных систем и с данными экспериментов.

Проведена оптимизация параметров упругих элементов рессорного подвешивания вагонов с помощью способа, описанного в главе I. Полученные значения жесткостей комплектов рессорного подвешивания проверены для нелинейных систем. Выяснено, в каких случаях предлагаемый способ, обеспечивая значительную экономию машинного времени, позволяет получать рациональные с точки зрения устойчивости движения значения параметров упругих элементов системы подвешивания вагонов.

Описанное выше усовершенствование известного способа понижения порядка систем дифференциальных уравнений движения было апробировано автором на примере экипажа СВЛ в линейной и нелинейной постановках. При этом учитывалась нелинейность упругих связей колесной пары с рамой тележки в поперечном горизонтальном направлении. Показано, что при использовании усовершенствованного способа достигается более высокая точность вычислений.

Исследовано влияние гироскопических сил на амплитуды вынужденных колебаний линеаризованных и нелинейных систем. На предварительном этапе исследования амплитуды вынужденных колебаний определялись методами линейной алгебры, в дальнейшем – путем численного интегрирования неавтономной системы. В результате проведенных иссле-

дований установлено, что гироскопические силы не существенно влияют на амплитуды вынужденных колебаний рассмотренных экипажей и их можно не учитывать на этом этапе исследования. Введение момента сил сухого трения, действующего при взаимных угловых перемещениях кузова и тележек, и изменение его амплитудного значения не способствует лучшему проявлению гироскопических сил при вынужденных колебаниях. При использовании методов линейной алгебры для исследования вынужденных колебаний амплитуды перемещений тел системы получаются завышенными, причем на это затрачивается гораздо меньше машинного времени, чем на интегрирование исходной нелинейной неавтономной системы. Таким образом, использование методов линейной алгебры можно рекомендовать на этапе предварительного исследования вынужденных колебаний экипажа.

В четвертой главе изложены результаты исследования структурной устойчивости грузовых вагонов на тележках ЦНИИ-ХЗ (по схемам II и III), а также влияния гироскопических сил, вызванных вращением колесных пар, и параметров рессорного подвешивания грузового вагона на тележках 50X-50Б (схема IV) на колебания и устойчивость движения в линейной и нелинейной постановках.

При исследовании структурной устойчивости установлено, что потенциальная энергия, включающая в себя часть позиционных составляющих сил псевдоскольжения, может принимать отрицательные значения не только для рассмотренных экипажей, но и для всех, у которых нет восстанавливающих сил, способных воспрепятствовать боковому перемещению центра масс системы. Этот вывод справедлив при любом выделении направленных связей. Выяснено, что и для структурно неустойчивой (схема II) и структурно устойчивой (схема III) систем имеет место цикл, а в пониженных системах отмечено наличие отрицательного трения. Таким образом, теоремы Л.И.Неймарка для задач динамики подвижного состава дают необходимые условия устойчивости, но недостаточные.

На основании анализа собственных чисел матрицы коэффициентов дифференциальных уравнений движения установлено, что для структурно неустойчивой системы гироскопические силы незначительно уменьшают f_{max} . Таким образом, изменяя структуру действующих сил, гироскопические силы не могут изменить структуру системы, сделать ее устойчивой.

При исследовании устойчивости движения грузового вагона на тележках ЦРМ-ХЗ, когда возможен упругий поворот колесных пар относительно боковин (схема III), учитывалось рассеяние энергии в вертикальных демпферах вязкого трения. Расчеты проводились для груженого и порожнего вагонов. Установлено, что и для экипажей с одинарным рессорным подвешиванием наличие диссипативных сил способствует проявлению гироскопического стабилизирующего эффекта как для груженого, так и для порожнего вагонов. Следует подчеркнуть, что проявление гироскопических сил весьма незначительно, и для порожнего вагона не является более заметным.

Аналогичные исследования проведены и для экипажа на тележках 50Х-50В, когда колесные пары упруго соединены с боковинами во всех направлениях. Выяснено, что и в этом случае гироскопические силы незначительно увеличивают критическую скорость. Таким образом, при исследовании устойчивости движения грузовых вагонов гироскопические силы можно не учитывать.

Для этого экипажа выполнена серия расчетов с целью выяснить влияние параметров рессорного подвешивания на устойчивость движения. Варьированию подвергались величины жесткости центрального подвешивания в горизонтальном поперечном направлении и жесткости угловой связи кузова и тележек в плане. Получены рациональные значения указанных жесткостей. Эти значения были проверены в нелинейной системе, где они также являются приемлемыми. При этом рассматривалось два способа опирания кузова на надрессорные балки. Также было проведено

исследование влияния момента сил сухого трения при взаимных поворотах кузова и тележек в горизонтальном направлении $M\psi$. В линеаризованной системе рассматривались эквивалентные (с точки зрения рассеяния энергии) демпферы вязкого трения. Установлено, что при изменении $M\psi$ в интервале 2-4 Кнм критическая скорость, перемещения тел системы и возникающие силы изменяются незначительно. При увеличении $M\psi$ до 16 Кнм существенно уменьшаются перемещения тел системы и возникающие силы, увеличивается длина волны колебаний. Наиболее существенно на величину критической скорости влияет введение сил сухого трения центрального подвешивания в горизонтальном поперечном направлении Γ_{ψ} или эквивалентных демпферов вязкого трения. Результаты исследования нелинейной системы хорошо согласуются с результатами, полученными для линеаризованной системы. Результаты теоретических расчетов сопоставлены с результатами экспериментов, показавших их удовлетворительное совпадение.

При исследовании вынужденных колебаний установлено, что гироскопические силы несущественно уменьшают амплитуды перемещений тел системы и возникающие силы. Полученные параметры рессорного подвешивания являются приемлемыми и для неавтономной системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе изложены основные результаты исследования влияния структуры сил на колебания и устойчивость движения пассажирских и грузовых вагонов при наличии позиционных сил псевдоскольжения в условиях неприменимости теорем Томсона-Тета.

Рассмотрена возможность применения теорем Ю.И.Неймарка к исследованию структурной устойчивости рельсовых экипажей. Установлено, что эти теоремы дают необходимые условия структурной устойчивости исследуемых механических систем, но недостаточные.

Переход к гамильтоновой форме уравнений движения, примененный

6762a

автором к решению задач динамики подвижного состава, позволил усовершенствовать способ понижения порядка системы дифференциальных уравнений движений за счет исключения быстро затухающих решений, что позволило избежать потери точности. Установлено, в каких случаях предлагаемое усовершенствование является эффективным. Способ был апробирован на примере механических систем в линейной и нелинейной постановках.

Разработан эффективный способ предварительной оптимизации параметров упругих элементов рессорного подвешивания вагонов, использующий информацию о структуре действующих на экипаж внешних и внутренних сил. Этот способ позволяет применять методы линейной алгебры и линейного программирования, что дает значительную экономию машинного времени при проведении расчетов. Выяснено, в каких случаях полученные указанным способом значения параметров упругих связей являются приемлемыми и для нелинейной системы.

Предложена методика вычисления гироскопических сил, обусловленных гироскопическим эффектом вращения колесных пар.

Проведено исследование влияния гироскопических сил на устойчивость движения типовых экипажей при различном сочетании потенциальных, диссипативных и позиционно неконсервативных сил в линейной и нелинейной постановках. Учитывались как физические, так и геометрические нелинейности. Установлено, что для рассмотренных экипажей диссипативные силы не разрушают гироскопическую стабилизацию, а способствуют ей. Для пассажирских вагонов проявление гироскопических сил следует учитывать при скоростях движения порядка 100 м/с. Для грузовых вагонов при существующих скоростях движения гироскопические силы можно не учитывать.

Исследовано влияние сил сухого трения, действующих в системе опирания кузова на тележки и в рессорном подвешивании. Показано, что силы сухого трения способствуют гироскопической стабилизации.

Выполнены исследования вынужденных колебаний систем с физическими и геометрическими нелинейностями. Установлено, что гироскопические силы при этом можно не учитывать.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах автора:

1. Влияние гироскопических и диссипативных сил на устойчивость движения вагонов. - Труды Днепротр. ин-та инженеров жел.дор. транспорта, вып.143, Днепротровский, 1973 (соавторы Длугач Л.А., Коротенко М.Л., Шиякарева Е.А.).

2. Исследование влияния величины коэффициента псевдоскольжения на устойчивость движения двухосного вагона. - Труды СНТО ДИИТ, вып.3, Днепротровский, 1973 (соавторы Длугач Л.А., Шиякарева Е.А.).

3. Вынужденные нелинейные колебания рельсовых экипажей, вызванные искривлением пути в плане. - Труды Днепротр. ин-та инженеров жел.дор. транспорта, вып.178/20, Днепротровский, 1976 (соавторы Войцеховский П.И., Карпова Л.Г.).

4. Оптимизация параметров механических систем при овражном характере целевой функции. - В кн.: Динамика и прочность сложных механических систем. Киев, "Наукова думка", 1977 (соавторы Коротенко М.Л., Базилевич Ю.Н.).

5. Зависимость устойчивости движения рельсового экипажа от структуры сил. - В кн.: Проблемы механики наземного транспорта. Днепротровский, изд.ДИИТ, вып.199/25, 1978 (соавтор Длугач Л.А.).

6. Оптимизация параметров рельсового экипажа непосредственно по структуре действующих сил. - В кн.: Проблемы механики наземного транспорта. Днепротровский, изд.ДИИТ, вып.205/26, 1979 (соавтор Длугач Л.А.).

7. К вопросу о возможности применения линеаризации существенных нелинейностей при исследовании устойчивости движения грузового вагона. РЖ ВИНТИ "Железнодорожный транспорт", 1980, № 1, реф. ВБ25-80 (соавторы Коротенко М.Л., Даниович В.Д.).

8. Исследование структурной устойчивости рельсового экипажа. - В кн.: Проблемы динамики и прочности железнодорожного подвижного состава. Днепротровский, изд.ДИИТ, вып.210/27, 1980.

9. Оптимизация параметров упругих элементов схемы подвешивания вагонов методами линейной алгебры. - В кн.: Проблемы механики железнодорожного транспорта. Тезисы докладов Всесоюзной конференции (Днепротровский, май 1980 г.). Киев, "Наукова думка", 1980 (соавтор Длугач Л.А.).

10. О пространственных колебаниях грузовых вагонов. -
 В кн.: Проблемы механики железнодорожного транспорта. Тезисы
 докладов Всесоюзной конференции (Днепропетровск, май 1980 г.)
 Киев, "Наукова думка", 1980 (соавторы Коротенко М.Л., Данович В.Д.,
 Маляшева И.Ю.).

Автореферат

Ответственный за выпуск Петрович Л.В.
 Бт 62558 Подписано к печати 22.09.1980 г.
 Формат 60x84/16 Усл.п.л. I/16 Тираж 130. Заказ № 8467
 Бесплатно
 Городская типография № 3 Днепропетровского областного
 управления по делам издательств, полиграфии и книжной
 торговли,
 320000 г. Днепропетровск, ул. Серова, 7.