

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР

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

УДК 625.2.001:534.14.2

На правах рукописи

625.2.001.534.14.2

МАШЕНКО Ирина Александровна

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕССОРНОГО  
ПОДВЕШИВАНИЯ И ОБЛЕГЧЕННЫХ КУЗОВОВ 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 – 1982

НТБ  
ДНУЖТ

Работа выполнена в Институте технической механики  
Академии наук Украинской ССР.

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор В.Ф. УШКАЛОВ.

Научный консультант

кандидат технических наук, старший научный сотрудник  
Л.М. РЕЗНИКОВ.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор А.А. ЛЬВОВ,

кандидат технических наук, доцент В.Д. ДАНЮВИЧ.

Ведущее предприятие - Всесоюзный научно-исследователь-  
ский институт вагоностроения.

Защита состоится "19" марта 1982 г.  
в \_\_\_\_\_ час. на заседании специализированного совета  
К И14.07.01 в Днепропетровском ордена Трудового Красного  
Знамени Институте инженеров железнодорожного транспорта  
имени М.И. Калинина (г. Днепропетровск, 320629, ГСП,  
ул. акад. Дазаряна, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
института.

Автореферат разослан "13" февраля 1982 г.

Ученый секретарь специализированного  
совета кандидат технических наук,  
доцент

Л.В. ПЕТРОВИЧ

ПЕТЬ  
ДНУЖТ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

6671a

Актуальность темы. В решениях XXVI съезда КПСС отмечено, что одной из главных народнохозяйственных задач в области транспорта является увеличение пропускной и провозной способностей железных дорог. Это требует как реконструкции существующих и строительства новых линий, так и совершенствования подвижного состава. Создание скоростных экипажей невозможно без всесторонних теоретических и экспериментальных исследований, которые наряду с оценкой прочностных качеств вагонов должны включать определение рациональных параметров их подвешивания и кузова, позволяющих ограничить уровень колебаний конструкции в пределах допускаемого.

Целью работы является совершенствование методики и проведение исследований по выбору рациональных параметров рессорного подвешивания и несущих элементов кузовов с позиций снижения уровня вертикальных колебаний рельсовых экипажей.

Методика исследований. В работе использован метод математического моделирования с применением цифровых вычислительных машин. Решение задачи о случайных колебаниях рельсовых экипажей производилось в частотной области с применением способа разложения по формам колебаний системы без трения. При выборе рациональных параметров демпфирования в подвешивании вагонов использовался метод сканирования, а также некоторые способы решения многокритериальных задач.

Научная новизна. Получены дифференциальные уравнения колебаний четырехосного вагона с двухступенчатым рессорным подвешиванием и упругими колесами. На основе анализа их структуры предложен способ упрощения полной системы уравнений при исследовании вертикальных колебаний с учетом боковой качки.

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

Разработана методика исследований с целью повышения изгибной жесткости кузовов пассажирских экипажей, включающая построение расчетных схем в виде стержневых систем, определение возможных путей повышения изгибной жесткости конструкции на основе анализа ее прогибов, а также нахождение оптимальных параметров элементов кузова. Получены приближенные формулы для вычисления статического прогиба и частоты изгибных колебаний по плоской расчетной схеме кузова регулярной структуры.

При определении рациональных параметров рессорного подвешивания вагонов использовался многокритериальный подход и учитывались несколько моделей случайных возмущений; рассматривались достаточно подробные расчетные схемы экипажей, в том числе с учетом упругости кузова. Использован эффективный алгоритм вычисления частотных характеристик демпфированной многомассовой системы, на основе которого созданы программы для ЭЦВМ, успешно применяемые при исследованиях различных рельсовых экипажей.

Получены данные о рациональных значениях трения в подвешивании контейнерной платформы и вагона метро типа "И", а также о возможных путях усиления кузовов вагонов метро типа "И" и электропоезда ЭР-200.

Практическая ценность. Данная работа является частью работ по совершенствованию методик исследования случайных колебаний рельсовых экипажей с целью определения рациональных параметров подвешивания и кузовов, а также исследований по повышению изгибной жесткости вагонных кузовов. Применение предложенных подходов, алгоритмов и программ позволило: исследовать случайные колебания и определить рациональные параметры трения в рессорном подвешивании длиннобазной платформы для перевозки большегрузных контейнеров и вагона метро типа "И" с позиций снижения уровня вертикаль-

ных колебаний указанных экипажей; исследовать эффективность применения динамического гасителя колебаний для улучшения плавности хода вагона электропоезда ЭР-200; дать рекомендации по усилению кузовов некоторых пассажирских вагонов с целью повышения низкой частоты изгибных колебаний.

Внедрение результатов работы. Рекомендации по повышению изгибной жесткости кузова и корректировке параметров демпферов рессорного подвешивания учтены во ВНИИ вагоностроения и на Митишинском машиностроительном заводе при доработке технической документации опытно-промышленной партии вагонов и будут использованы при разработке технической документации серийного вагона метро типа "И". Ожидаемый экономический эффект от использования рекомендаций ИТМ АН УССР составляет 1,02 млн. рублей.

Предложения по выбору расчетных схем и проведению статических расчетов кузовов пассажирских вагонов применяются на Рижском вагоностроительном заводе при проектировании новых рельсовых экипажей. Рекомендации по увеличению изгибной жесткости кузова с целью улучшения плавности хода вагона используются там же при доработке технической документации электропоезда ЭР-200.

Результаты исследований по выбору рациональных параметров трения в рессорном подвешивании учтены при разработке технической документации и изготовлении макетных образцов двухосной тележки во ВНИПТИ вагон. Ожидаемый экономический эффект от использования рекомендаций ИТМ АН УССР составляет около 0,2 млн. руб.

Составленные с участием автора предложения ИТМ АН УССР по корректировке "Норм для расчетов на прочность и проектирование механической части новых и модернизированных вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)" переданы во ВНИИ вагоностроения.

НТБ  
ДНУЖТ

Алгоритмы и программы для ЭЦВМ используются в ИТМ АН УССР при теоретических исследованиях динамических качеств различных рельсовых экипажей.

Апробация. Основные результаты работы доложены на: Всесоюзной конференции "Проблемы механики наземного транспорта" (Днепропетровск, 1977), Всесоюзной научно-технической конференции по борьбе с шумом и вибрацией на железнодорожном транспорте (Ленинград, 1977), научном семинаре "Моделирование возмущений в задачах проектирования подвижного состава" (Брянск, 1979), Всесоюзной конференции "Проблемы механики железнодорожного транспорта" (Днепропетровск, 1980), научно-технической конференции молодых ученых и специалистов железнодорожного транспорта, посвященной 63-летию ВЛКСМ (Днепропетровск, 1981), научном семинаре "Общая механика" (Днепропетровск, 1981).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 14 печатных работ.

Структура работы обусловлена необходимостью последовательного описания расчетных схем, математических моделей и способов расчета, а также их применения в исследованиях по выбору рациональных параметров рессорного подвешивания и повышению изгибной жесткости кузова с целью улучшения динамических качеств некоторых рельсовых экипажей.

Объем работы. Диссертация состоит из введения (первая глава), пяти глав основного содержания, заключения и приложений. Она содержит 126 страниц машинописного текста, 51 рисунок, 26 таблиц, список литературы из 125 наименований и 3 приложения.

НТБ  
ДНУЖТ

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дан краткий обзор состояния исследований по выбору рациональных параметров элементов рессорного подвешивания и куззов как одной из важных составных частей проблемы улучшения динамических качеств рельсовых экипажей.

Теоретические основы исследования динамики подвижного состава заложены в работах отечественных и зарубежных ученых: Н.Е. Жуковского, А.М. Гэдыцкого-Цвирко, А.Н. Крылова, Н.П. Петрова, Г.М. Шахунянца, С.П. Тимошенко, М.В. Винокурова, М.Ф. Верига, С.В. Вершинского, В.А. Лазаряна, В.Б. Медела, Г. Марье, Ф. Картера. В разработку методов исследования динамики железнодорожных экипажей, изучение их динамических качеств значительный вклад внесли: С.М. Куценко, И.И. Челноков, Л.Н. Никольский, М.П. Пахомов, Н.Н. Кудрявцев, Е.П. Блохин, А.А. Львов, М.Л. Коротенко, А.А. Камаев, Л.О. Грачева, С.И. Конашенко, А.Я. Коган, М.М. Соколов, Л.Д. Кузьмич, Е. Шперлинг, Калкер, Куперрайдер и др. Развитие этих методов в задачах статистической динамики рельсовых экипажей посвящены работы Т.А. Тибилдова, И.П. Исаева, В.Ф. Ушкалова, А.Н. Савоськина, Г.П. Бурчака и др.

Теоретические и экспериментальные исследования вынужденных колебаний с целью выбора рациональных конструкций существующих и перспективных вагонов, а также совершенствование методов расчета проводятся в ЦНИИ МПС, ВНИИ вагоностроения и его филиалах в г.г. Риге и Калинин, МИИТе, ЛИИЖТе, ДИИТе, ИТМ АН УССР, БИТМе и др.

Все большее внимание уделяется исследованиям случайных колебаний рельсовых экипажей. Одним из направлений в изучении динамических качеств вагонов является определение рациональных параметров рессорного подвешивания, а для экипажей с облегченными

НТБ  
ДНУЖТ

кузовами или увеличенной базой и элементов кузова, с позиций оценки вертикальных колебаний экипажа. Во многих работах оптимизация параметров производится для какой-либо одной модели возмущений (иногда без учета их случайного характера), по одному (двум) из критериев; в некоторых случаях рассматриваются недостаточно подробные расчетные схемы кузова. Поскольку разнородные критерии (и даже однородные при разных возмущениях), как правило, противоречивы, такой подход дает несколько одностороннее представление о поведении системы и найденные рациональные параметры могут привести к ухудшению других динамических характеристик.

Для определения рациональных параметров, обеспечивающих в среднем удовлетворительные динамические показатели вагона при его движении по разным участкам пути, необходимо учитывать различные критерии качества, несколько моделей возмущений и рассматривать более подробные расчетные схемы вагонов, особенно их кузовной части. В связи с возросшими требованиями к ходовым качествам рельсовых экипажей совершенствование методики исследований по выбору рациональных параметров вагонов является актуальным. В данной работе эти исследования проведены на примере существующих и перспективных отечественных рельсовых экипажей (контейнерной платформы, скоростного вагона-лаборатории СВЛ, вагонов метро типа "И" и электропоезда ЭР-200).

Во второй главе дано обоснование выбора расчетных схем, которые использовались при определении рациональных параметров резонансного подвешивания исследуемых экипажей.

Рассматривались линейные и линеаризованные дискретные многомассовые модели как плоские, так и пространственные. Ходовые части представлялись в виде системы твердых тел, соединенных упруго-диссипативными элементами, а кузов моделировался по-разному

в зависимости от вида экипажа и целей решаемой задачи: твердым недеформируемым телом, упругой балкой или пространственной стержневой системой с дискретно расположенными сосредоточенными массами.

Составлены дифференциальные уравнения колебаний четырехосного экипажа, представленного пространственной расчетной схемой с двойным рессорным подвешиванием и упругими колесами. Обобщенные координаты выбраны в виде линейных комбинаций перемещений твердых тел системы с учетом симметрии экипажа. Проведен анализ структуры уравнений с целью выяснения областей применения различных упрощенных моделей. Описаны принятые модели случайных возмущений, для которых проводились исследования вертикальных колебаний грузовых и пассажирских экипажей: белый шум для первой и второй производных неровностей по времени; периодическая последовательность стыковых неровностей; возмущение со спектральной плотностью для второй производной неровностей по времени в виде дробно-рациональной функции, аппроксимирующей полученную во ВНИИ вагоностроения спектральную плотность ускорений буксовых узлов опытного образца вагона метро типа "И".

В третьей главе выбраны критерии качества, характеризующие колебания экипажа в вертикальной плоскости, и изложены некоторые приемы, позволяющие сократить объем вычислений при определении этих критериев.

Поскольку возмущения, действующие на железнодорожный экипаж, носят случайный характер и, следовательно, случайными являются все выходные функции системы, о поведении экипажа в определенной степени можно судить по статистическим характеристикам выходных процессов. Для стационарного случайного процесса одной из таких характеристик служит, например, дисперсия. В работе рассмотрены

различные критерии: дисперсии ускорений и перемещений наиболее характерных точек, сил в центральной и буксовой ступенях подвешивания и на контакте колеса с рельсом, а также показатели плавности хода, которые вычислялись согласно методике, разработанной в РИ ВНИИ вагоностроения.

Выбор рациональных параметров подвешивания производился на основе анализа разных критериев; применялись также и некоторые специальные способы решения многокритериальных задач.

При использовании частотного подхода дисперсии определяются интегрированием спектральных плотностей соответствующих выходных процессов, которые вычисляются по спектральным плотностям входных возмущений и частотным характеристикам (ЧХ) системы.

С целью сокращения трудоемкости вычислений на каждом шаге изменения параметров системы при построении ЧХ применялся способ разложения решения по формам колебаний системы без трения. Коэффициенты разложения определялись методом последовательных приближений. Этот способ показал высокую эффективность при решении ряда задач.

Изложен приближенный способ упрощения полной системы уравнений при исследовании вертикальных колебаний вагона с учетом боковой качки и дана оценка влияния такого упрощения на критерии качества. Упрощенная математическая модель получена из полной системы дифференциальных уравнений пространственных колебаний путем разделения ее по координате среднего арифметического горизонтальных перемещений колесных пар ( $z_{21}$ ), которая связывает два блока уравнений: первый описывает колебания типа подпрыгивания, продольной и боковой качки, второй – колебания вагона в горизонтальной поперечной плоскости (боковой относ. влияние). Для получения с помощью такой модели приемлемых оценок динамических ха-

характеристик вагона при скоростях  $v$  выше критической ( $v_{кр}$ ) необходимо наряду с заданными вертикальными возмущениями учитывать горизонтальные перемещения колесных пар, которые в данной работе принимались в виде

$$q_{21} = A \cos \omega_0 t,$$

где  $A$  - амплитуда, равная эзэру в колее с учетом выхода на гребень;  $\omega_0$  - частота виляния колесных пар, определяемая по приближенной формуле  $\omega_0 = \frac{v}{2z} \sqrt{d z / \mu}$ ;  $2d$ ,  $z$ ,  $\mu$  - соответственно расстояние между кругами катания, средний радиус и ко-  
ничность колес. В случае  $v < v_{кр}$  можно положить  $q_{23} = 0$ .

При определении рациональных параметров в обеих ступенях двойного подвешивания усложняется как решение самой задачи оптимизации, так и наглядность представления зависимостей принятых критериев от варьируемых параметров. Иногда целесообразно найти параметры эквивалентного одноступенчатого подвешивания и далее перераспределить их по ступеням. Для этого можно воспользоваться полученными в работе приближенными формулами, устанавливающими связь между жесткостями  $\kappa_1, 2\kappa_2$  и коэффициентами вязкого трения  $\beta_1, 2\beta_2$  двухступенчатого (1 - первая ступень, 2 - вторая) и эквивалентного одноступенчатого подвешивания с параметрами  $\kappa$ , и  $\beta$ ;

$$\kappa = \frac{\kappa_1^2 a(1+a) + \omega^2 \kappa_1 \beta_1^2 (a+b^2)}{\kappa_1^2 (1+a)^2 - \omega^2 \beta_1^2 (1+b)^2},$$

$$\beta = \frac{\kappa_1^2 \beta_1 (a^2+b) - \omega^2 \beta_1^2 b(1+b)}{\kappa_1^2 (1+a)^2 - \omega^2 \beta_1^2 (1+b)^2},$$

где  $a = 2\kappa_2 / \kappa_1$ ,  $b = 2\beta_2 / \beta_1$ ,  $\omega$  - частота, с<sup>-1</sup>.

В четвертой главе изложена методика исследования, направленных на повышение низшей частоты изгибных колебаний кузова. Она включает в себя построение расчетных схем кузова, определение возможных путей повышения его изгибной жесткости, а также нахождение оптимальных параметров элементов кузова при ограничениях на массу дополнительного металла. В качестве расчетных схем предлагается использовать наиболее удобные для инженерных расчетов стержневые системы, плоские или пространственные в зависимости от целей решаемой задачи.

В плоской расчетной схеме кузова вагона горизонтальные стержни соответствуют верхнему и нижнему поясам с присоединенными крышей и полом (или без них), вертикальные – простенкам. Для более правильного учета жесткостей простенков участки вертикальных упругих стержней, примыкающие к узлам в расчетной схеме, задаются абсолютно жесткими.

В пространственной расчетной схеме учтены основные несущие элементы каркаса, работающие на изгиб, растяжение-сжатие и кручение, а также обшивка, работающая на сдвиг. Обшивка представлена специально введенными раскосами – шарнирно присоединенными стержнями, направленными по диагонали каждой панели, подкрепленной ребрами жесткости. Из условия равенства деформаций сдвига в прямоугольной пластинке и однопанельной ферме с шарнирными узлами при действии взаимно уравновешенных касательных сил по контуру получено выражение жесткости такого эквивалентного раскоса

$$EF_{\rho} = \frac{(a^2 + b^2)^{3/2}}{ab} (1 + \kappa_{\rho}) \delta G,$$

где  $a, b, \delta$  – ширина, длина и толщина пластины;  $G$  – модуль

сдвига;  $\kappa_p$  - коэффициент, зависящий от расположения подкрепляющих ребер.

Определение прогибов кузова с помощью описанных схем выполняются на ЭВМ по специальным программам, предназначенным для статического расчета стержневых систем. Такой способ имеет однако существенный недостаток: оптимизация параметров производится численно путем перебора и требует довольно большого объема вычислений. Существенно упростить анализ системы и выбор оптимальных параметров с помощью плоской расчетной схемы кузова регулярной структуры позволяет полученное приближенное выражение прогиба, который определяется как сумма перемещений, вызванных общим изгибом без учета влияния перерезывающих сил, действием перерезывающих сил и удлинением простенков:

$$f = \frac{qb^2}{16EJ_0} \left[ \frac{5}{24} b^2 - a^2 \right] + R_1 [\alpha^2 \varepsilon_B + \beta^2 \varepsilon_H + (\beta - \alpha)^2 \varepsilon_{np} / 4] + R_2 \left[ \frac{c^2 \varepsilon_{np}}{3dh} + \frac{c}{hGF_{np}} \right] + \frac{h}{EF_{np}} (\alpha S_{iH} - \beta S_{iB}), \quad (I)$$

где  $R_1 = z + \frac{d}{2} (Q_H Q_{p1} + Q_{Hc} Q_{pk})$ ;  $R_2 = \frac{dhF_B F_H z}{(F_B + F_H) J_0}$ ;

$$z = d \sum_{i=1}^{n-1} Q_H Q_{pi}; \quad \alpha = \frac{\varepsilon_B + \varepsilon_{np}}{\chi}; \quad \beta = \frac{\varepsilon_H + \varepsilon_{np}}{\chi};$$

$$\chi = \varepsilon_B + \varepsilon_H + 2\varepsilon_{np}; \quad \varepsilon_B = \frac{d^2}{12EJ_B} + \frac{1}{GF_B}; \quad \varepsilon_H = \frac{d^2}{12EJ_H} + \frac{1}{GF_H};$$

$\varepsilon_{np} = \frac{dc}{4EJ_{np}}$ ;  $J_{np}, J_B, J_H, F_{np}, F_B, F_H$  - моменты инерции и площади сечений соответственно простенков, верхнего и нижнего поясов;  $J_0$  - момент инерции сечения кузова по оконному проему;  $b, a$  - база вагона и длина консоли;  $d$  - расстояние между сере-

НТБ  
ДНУЖТ

динами двух соседних окон;  $h, c$  - высоты кузова и окна в осях;  $E$  - модуль упругости;  $S_{iB}, S_{iN}, q$  - силы, сосредоточенные в узлах верхнего и нижнего поясов, и соответствующая им равномерно распределенная нагрузка.

Определение прогибов кузова является лишь частью решения основной задачи - повышения изгибной жесткости кузова и низкой частоты его изгибных колебаний. Используя выражение (I) и учитывая ограничения на массу конструкции, можно найти оптимальные параметры сечений элементов кузова. При этом решается задача минимизации прогиба при заданной массе или массы при заданном прогибе. Выражением (I) предлагается воспользоваться также для вычисления поправочного коэффициента  $K$  в приближенной формуле (см. п.4.8 "Норм...") низкой частоты изгибных колебаний кузова. Тогда

$$K = 1/\sqrt{1 + \frac{12EJ_0}{5b^2 - 6a^2} \eta}$$

$$\text{где } \eta = \alpha^2 \epsilon_B + \beta^2 \epsilon_N + (\beta - \alpha)^2 \frac{\epsilon_{op}}{8} + \frac{dc b_i^2}{(F_B^{-1} + F_N^{-1}) b^2 J_0} \left[ \frac{c^2}{12EJ_{op}} + \frac{1}{GF_{op}} \right] + \frac{\partial \alpha \partial h}{b^2 E F_{op}},$$

$b_i$  - расстояние между крайними в пределах базы простенками; остальные обозначения такие как в выражении (I). Определять поправочный коэффициент расчетным путем целесообразно в тех случаях, когда для кузовов новой конструкции или изготовленных из новых материалов экспериментальные данные о значениях  $K$  отсутствуют.

Пятая глава посвящена исследованиям вертикальных колебаний и определению рациональных параметров подвешивания и кузова некоторых грузовых и пассажирских экипажей с целью снижения уровня вертикальных ускорений.

Определены рациональные параметры для двух вариантов подвешивания тележки контейнерной платформы: одноступенчатого с резиновыми прокладками в буксовых узлах и двухступенчатого. Предварительно выбрана схема загрузки платформы, наиболее неблагоприятная по принятым критериям; исследовано влияние характера трения в кузове и жесткости резиновых прокладок в буксовых узлах на динамические качества экипажа. При определении рационального значения трения в подвешивании использовались два подхода: построение компромиссной кривой и обобщенного критерия. Сравнение двух рассмотренных вариантов подвешивания платформы с тележкой ЦНИИ-ХЗ показало преимущество двухступенчатого подвешивания.

При исследовании колебаний вагона метро типа "И" наряду с условными моделями возмущений использовались экспериментальные данные, полученные во ВНИИ вагоностроения. Определение рациональных параметров трения в центральной ступени подвешивания производилась с помощью расчетной схемы, учитывающей упругость кузова. При выборе рациональных параметров трения в буксовой ступени подвешивания и исследовании влияния упругости колес на динамические качества вагона метро применялась расчетная схема с абсолютно жестким кузовом.

На основе анализа различных критериев качества установлено, что предусмотренные проектом параметры подрезиненных колес вагона метро типа "И" не являются рациональными. Для снижения интенсивности колебаний ходовых частей необходимо уменьшить жесткость и увеличить диссипативные свойства резиновых элементов колес.

Учитывая возможность движения вагона как в тоннелях (по бесстыковому пути), так и на открытых участках, имеющих стыковые неровности, рациональные значения коэффициента вязкого тре-

ния в буксовой ступени рекомендуется принять  $(20-30) \text{ кН}\cdot\text{с}\cdot\text{м}^{-1}$ . Диапазон рациональных параметров трения в центральной ступени в большей степени зависит от принятых критериев качества. С точки зрения получения удовлетворительных показателей плавности хода вагона, как наиболее важного критерия, характеризующего комфортные условия для пассажиров, коэффициент вязкого трения должен быть  $(20-40) \text{ кН}\cdot\text{с}\cdot\text{м}^{-1}$ .

На примере вагона электропоезда ЭР-200 исследованы некоторые возможные пути улучшения плавности хода: изменение длины и базы вагона, увеличение масс на свободных концах консолей, увеличение изгибной жесткости кузова и применение динамического гасителя колебаний (ДГК). Наиболее эффективным является установка ДГК, настроенного на низшую частоту изгибных колебаний кузова. При движении по пути со стыковыми неровностями это позволяет уменьшить показатель плавности хода на 30-40%. Из традиционных способов лучшим является повышение изгибной жесткости кузова: увеличение ее в два раза позволяет на 15% уменьшить показатель плавности хода в среднем сечении, на 7-8% - в пятничном и консольном сечениях, и повысить частоту изгибных колебаний с 7 до 10 Гц. Укорочение кузова, также позволяющее повысить частоту изгибных колебаний до требуемого значения, приводит к сокращению числа сидений и трудностям в размещении подвагонного оборудования; плавность хода при этом существенно не улучшается. Размещение на консолях дополнительных масс с целью совмещения узлов нижней формы изгибных колебаний с точками эспирания кузова на тележки оказывается нецелесообразным, так как для этого требуется масса около 10 Мг на каждую консоль.

Шестая глава содержит некоторые результаты определения наиболее целесообразных путей усиления конструкции с целью повышения

НТБ  
ДНУЖТ

изгибной жесткости кузова рельсового экипажа. Рассмотрены два вагона - метро типа "И" и электропоезда ЭР-200, кузова которых выполнены из алюминиевых сплавов, обладают в связи с этим пониженной, по сравнению со стальными кузовами, жесткостью и не удовлетворяют требованиям "Норм..." по значению низшей частоты изгибных колебаний.

Исследовано влияние деформаций отдельных элементов конструкции на прогиб середины кузова. Показано практическое применение полученных в гл. 4 формул для определения прогиба и его составляющих, а также низшей частоты изгибных колебаний кузова. Для вагона ЭР-200 найдены оптимальные параметры кузова из условия уменьшения прогиба при добавлении в конструкцию металла или перераспределении имеющегося.

Рекомендованы возможные варианты повышения изгибной жесткости кузовов. Эти рекомендации используются при доработке технической документации рассмотренных экипажей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

1. Исследование случайных колебаний рельсовых экипажей с целью определения рациональных параметров рессорного подвешивания проведены с использованием различных критериев и моделей возмущений.

Получены дифференциальные уравнения пространственных колебаний четырехосного вагона с двухступенчатым рессорным подвешиванием и упругими колесами. На основе анализа их структуры предложен способ упрощения полной системы уравнений при исследовании вертикальных колебаний вагона с учетом боковой качки.

2. Даны некоторые рекомендации по выбору расчетных схем ку-

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА  
Дніпропетровського національного  
університету залізничного транспорту  
імені академіка В.Лазаряна

НТБ  
ДНУЖТ

667/1а

кузовов в виде плоских и пространственных стержневых систем, оценке влияния деформаций отдельных элементов на прогиб конструкции и оптимизации параметров в исследованиях по повышению изгибной жесткости кузовов рельсовых экипажей.

Для плоских расчетных схем кузовов регулярной структуры получено приближенное аналитическое выражение прогиба. Показана целесообразность его использования при оптимизации параметров и определении нижней частоты изгибных колебаний кузова пассажирского вагона.

3. Разработаны алгоритмы и программы для определения динамических характеристик рельсового экипажа, как многомассовой демпфированной системы, при стационарных случайных возмущениях со стороны пути.

4. Из условий обеспечения виброзащиты грузов и удовлетворительной плавности хода вагона найдены рациональные значения параметров демпфирования рессорного подвешивания длиннобазной платформы для перевозки большегрузных контейнеров и перспективного вагона метро типа "И". Исследовано влияние параметров упругих колес на динамические характеристики вагона метро типа "И".

5. Показана целесообразность повышения изгибной жесткости кузова или применения динамического гасителя колебаний для улучшения показателя плавности хода вагона электропоезда ЭР-200.

6. Исследованы различные пути повышения изгибной жесткости кузовов из алюминиевых сплавов перспективных пассажирских экипажей- вагонов метро типа "И" и электропоезда ЭР-200. Даны рекомендации по усилению элементов кузовов с целью повышения нижней частоты изгибных колебаний.

Основное содержание опубликовано в следующих работах  
автора:

1. Вычисление частотных характеристик многомассовых систем методом последовательных приближений. – В кн.: Алгоритмы и программы для исследования на ЭЦВМ "Минск-22" случайных колебаний дискретных механических систем. Киев, 1972, с. 128-137 (соавтор Л.М. Резников).
2. Вертикальные колебания сочлененных вагонов при движении по случайным неровностям пути. – Труды ДИИТ, 1975, вып. 169/21, с. 57-62 (соавторы В.Ф. Грачев, Л.М. Резников).
3. К выбору оптимальных параметров рессорного подвешивания грузового полувагона при случайных воздействиях. – В кн.: Динамика и прочность высокоскоростного наземного транспорта. Киев, Наук. думка, 1976, с. III-II6 (соавтор Л.М. Резников).
4. Исследование собственных и вынужденных колебаний вагона метро типа "И" – В кн.: Тезисы докладов к Всесоюзной научно-технической конференции "Борьба с шумом и вибрацией на железнодорожном транспорте". Л.: РТП ДИИИТ, 1977, с. 71 (соавторы Л.М. Резников, Е.Ю. Трубицкая).
5. Исследование случайных вертикальных колебаний контейнерной платформы при различных параметрах рессорного подвешивания. В кн.: Нагруженность, колебания и прочность сложных механических систем. Киев: Наук. думка, 1977, с. 23-28 (соавтор Л.М. Резников).
6. Расчетные схемы для определения прогибов кузова пассажирского вагона. – В кн.: Динамика и прочность сложных механических систем. Киев: Наук. думка, 1977, с. 80-83 (соавтор Л.М. Резников).

НТБ  
ДНУЖТ

7. О математической модели для исследования вынужденных вертикальных колебаний вагона с двойным рессорным подвешиванием. - В кн.: Механика наземного транспорта. Киев: Наук. думка, 1977, с. 43-45 (соавторы Л.М. Резников, Е.Ю. Трубицкая).
8. Выбор рациональных параметров демпфирования рессорного подвешивания вагона метро с учетом различных критериев. - Тр. ДИИТ, Днепропетровск: 1978, вып. 199/25, с. 74-82 (соавторы Л.М. Резников, Е.Ю. Трубицкая).
9. Исследование влияния параметров упругих колес на вертикальные колебания вагона метро. - В кн.: Колебания, прочность и устойчивость сложных механических систем. Киев: Наук. думка, 1979, с. 101-105 (соавторы Л.М. Резников, Е.Ю. Трубицкая).
10. Исследования по увеличению изгибной жесткости облегченных кузовов некоторых скоростных экипажей. - Тр. ДИИТ, 1979, вып. 205/26, с. 122-132 (соавтор Л.М. Резников).
11. Использование различных моделей вертикальных возмущений при выборе рациональных параметров подвешивания железнодорожных экипажей. - В кн.: Вопросы транспортного машиностроения. Брянск: БИТМ, 1980, с. 105-109 (соавтор Л.М. Резников).
12. Исследование влияния изгибной жесткости кузова на плавность хода скоростного рельсового экипажа. - В кн.: Проблемы механики железнодорожного транспорта. Киев: Наук. думка, 1980, с. 95-96.
13. Весовая оптимизация составных стержней по низкой частоте изгибных колебаний. - В кн.: Нагруженность, прочность, устойчивость движения механических систем. Киев: Наук. думка, 1980, с. 57-63 (соавтор Л.М. Резников).
14. Об упрощении расчетной схемы для исследования проотранствен-

НТБ  
ДНУЖТ

ных колебаний пассажирских вагонов. - В кн.: Нагруженность и динамические качества механических систем. Киев: Наук. думка, 1981, с. 28-33 (составитель Т.Ф. Мокрий).

Автореферат

Ответственный за выпуск Петрович Л В  
ЕТ 61005 Подписано к печати 12 01 1982г Формат 60x84/16  
Бу. ага пучая Печать плоская Усл печ л 1,4 Тираж 100  
Заказ № 371 Бесплатно Городская типография № 3 Днепр-  
петровского областного управления по делам издательств,  
полиграфии и книжной торговли, 320000 г Днепропетровск  
ул Серова, 7

Сканировала Камьянская Н.А.

НТБ  
ДНУЖТ