

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

На правах рукописи

ГОРОБЕЦ ВЛАДИМИР ЛЕОНИДОВИЧ

УДК 629.463.015.001-57—

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ВАГОНА И ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ
ПРИ СТУДАРЕНИЯХ

(05.22.07 - Подвижной состав железных дорог
и тяга поездов)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

Днепропетровск - 1987

НТБ
ДНУЖТ

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

Научный руководитель – Заслуженный работник высшей школы УССР, доктор технических наук, профессор Е.П.Блохин.

Научный консультант – кандидат технических наук, старший научный сотрудник А.В.Юрченко.

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор В.Д.Хусидов ; кандидат технических наук, старший научный сотрудник Ю.М.Черкашин.

Ведущее предприятие – Днепродзержинский вагоностроительный завод имени газеты "Правда".

Защита диссертации состоится 4 мая 1987 г. в 10 ч. _____ мин. на заседании специализированного Совета К П4.07.01 в Днепропетровском ордена Трудового Красного Знамени институте инженеров железнодорожного транспорта им. М.И.Калинина по адресу: 320700, ГСП, Днепропетровск, ул. Академика Лазаряна, 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

28 мая 1987 г.

Поверните книгу не позднее указанного термина.

856300

14/07 07 Вирно

Л. В. ПЕТРОВИЧ

НТБ
ДНУЖТ

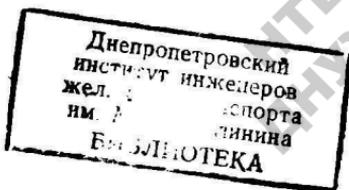
Актуальность темы. В основных направлениях социального и экономического развития СССР на 1986-1990 гг. и на период до 2000 года указано, что одним из путей повышения эффективности работы железнодорожного транспорта является широкое применение специализированных вагонов. Проблема обеспечения их прочности и эксплуатационной надежности является существенно важной. Это делает необходимым внедрение в практику ОГК вагоностроительных заводов перспективных методов расчета и соответствующих им программных средств для оперативного исследования динамической нагруженности элементов специализированных вагонов. Поэтому рассмотренные в диссертационной работе вопросы являются актуальными.

Тема диссертационной работы связана с практической реализацией научно-технической программы Министерства путей сообщения на 1986-1990 гг., №10 "Разработка и эффективное использование вычислительной техники и автоматизированных систем на железнодорожном транспорте", выполнением работ по приказу ВЮ "Солзвагонмаш" №15 "О внедрении системы автоматизированного проектирования", а также работ в рамках комплексной целевой программы №26 Министерства среднего машиностроения по созданию и внедрению систем автоматизации проектирования, конструирования, испытаний и отработки изделий.

Цель работы - разработка более универсального методического, математического и программного обеспечения, позволяющего определять динамическую нагруженность специализированных вагонов и их элементов при продольных ударах в автосцепку с учетом особенностей их конструкций, режимов эксплуатации и характера нагружения.

В соответствии с этим в работе решаются следующие основные задачи:

- разработка математической модели колебаний специализированного вагона при соударениях как плоско-пространственной среды;
- уточнение плоско-пространственной дискретной модели для исследования продольно-изгибных колебаний специализированных вагонов с помощью метода конечных элементов;
- разработка алгоритма цифрового моделирования работы упруго-фрикционного поглощающего аппарата автосцепки с учетом её нестационарности;



- применение обобщенной модели рассеяния энергии в элементах механических систем к задачам динамики рельсовых экипажей;
- создание пакета прикладных программ, предназначенного для исследования динамических нагрузок, действующих на элементы специализированных вагонов при соударениях;

исследование влияния неустойчивости работы упругофрикционного поглощающего аппарата на статистические характеристики динамических нагрузок при моделировании плоских продольно-изгибных колебаний соударяемых вагонов;

- оценка статистических характеристик динамических нагрузок, возникающих в вагоне для холоднокатаной стали при маневровых операциях;

- исследование напряженного состояния кожухов для защиты рулонов из холоднокатаной стали от атмосферных осадков.

Методы исследований. Исследование динамической нагруженности элементов специализированных вагонов осуществляется на основе методики, позволяющей учитывать особенности конструкций вагонов, режимов их эксплуатации и нагружения, а также обосновывать основные допущения, принимаемые при построении математических моделей плоских продольно-изгибных колебаний вагонов. При этом динамические нагрузки на элементы исследуемого специализированного вагона определяются с использованием методов цифрового моделирования его колебаний как плоско-пространственной среды. Напряженное состояние элементов специализированного вагона исследуется на уточненных расчетных схемах с применением метода конечных элементов.

Достоверность получаемых результатов подтверждается при сопоставлении их с экспериментальными данными, аналитическими решениями и результатами численных экспериментов.

Научная новизна результатов работы состоит в следующем:

- разработана методика, позволяющая оценивать статистические характеристики динамических нагрузок, действующих на элементы специализированных вагонов при соударениях;
- предложена универсальная расчетная схема, а также уточненная дискретная модель плоских продольно-изгибных колебаний специализированного вагона как плоско-пространственной среды;
- разработаны алгоритм и пакет прикладных программ, позволяющие исследовать динамическую нагруженность вагонов, имеющих существенные различия конструкций, и приспособленные для использования в ОГК вагоностроительных заводов.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

- исследована динамическая нагруженность вагона для холоднокатаной стали и его кожухов для защиты рулонов из холоднокатаной стали от атмосферных осадков при скоростях соударений до 3 мс^{-1} ;

- исследовано влияние различных конструктивных особенностей на величины усилий, действующих на кожухи вагона при продольных ударах в автосцепку;

- оценены допустимые по условиям прочности кожухов скорости соударений вагона для холоднокатаной стали.

Реализация работы. Разработанный пакет прикладных программ внедрен ПО "Уралвагонзавод" как подсистема САПР-ГВИ (второй этап, первая очередь), ВНИИВагоностроения в качестве подсистемы САПР-В, а также передан в опытную эксплуатацию во ВНИИЖТ. Результаты исследования, математическое и программное обеспечение внедрены на Днепродзержинском вагоностроительном заводе им. газеты "Правда".

Апробация. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на: Всесоюзной конференции "Проблемы механики железнодорожного транспорта. Повышение надежности и совершенствование конструкций подвижного состава" (Днепропетровск, 1984); Всесоюзной конференции "Проблемы численного моделирования и автоматизации проектирования" (Ленинград, 1986); заседании кафедры "Строительная механика" ДИИТа (Днепропетровск, 1987).

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в пяти печатных трудах.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести разделов, заключения, списка литературы и приложения и содержит 177 страниц машинописного текста, 73 рисунка, 9 таблиц. Список литературы включает 116 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, выбранной в диссертационной работе.

В первой главе приводится обзор литературы и осуществляется постановка задачи.

Вопросам изучения динамики поездов и рельсовых экипажей посвящены работы В. А. Лазаряна, Е. П. Блохина, Г. И. Богомаза, Д. П. Бороненко, С. В. Вершинского, В. Н. Данилова, В. А. Двухглазова, В. Г. Иноземцева, В. А. Ка-

маева, О. Б. Канаева, Б. Г. Кеглина, В. Н. Котуранова, Л. Д. Кузьмича, А. А. Львова, Л. А. Манашкина, Н. А. Панькина, В. С. Плоткина, А. П. Приходько, Б. С. Ратнера, А. Н. Савоськина, М. М. Соколова, В. Ф. Ушкалова, В. Д. Хусидова, Ю. М. Черкашина, Л. А. Шадура, А. В. Юрченко и других авторов. Разработанные ими теоретические методы исследования подвижного состава позволяют решать широкий круг задач, имеющих большое практическое значение.

Вместе с тем моделирование соударений специализированных вагонов требует при расчете учитывать ряд особенностей, таких как: разнообразие их конструкций; наличие элементов с нелинейными характеристиками; наличие несущих элементов конструкций вагона, воспринимающих значительные динамические нагрузки; влияние неустойчивости работы упругофрикционного поглощающего аппарата на динамическую нагруженность элементов вагона и другие.

Структурная схема разработанной методики расчета динамической нагруженности элементов специализированных вагонов, учитывающей эти особенности, приведена на рис. 1. Согласно методике первоначально на основании программы исследований и технического задания (ТЗ) синтезируется структура подробной расчетной схемы вагона, определяются условия и режимы его нагружения. Затем на базе имеющихся моделей элементов вагона формируется математическая модель его колебаний и определяются её параметры. После этого осуществляется оптимизация (упрощение) расчетной схемы и математической модели колебаний специализированного вагона путем удаления факторов (зазоров, трения и других), слабо влияющих на нагруженность исследуемого элемента вагона. Оценка влияния этих факторов осуществляется путем сопоставления с экспериментальными данными либо сравнением с подробными расчетными схемами.

На втором этапе с использованием упрощенной модели колебаний вагона анализируются динамические нагрузки на исследуемый элемент и определяются их статистические характеристики, связанные с особенностями работы поглощающего аппарата.

Кроме того, может оцениваться напряженное состояние исследуемого элемента для оценки его работоспособности в условиях эксплуатации вагона.

Далее определяется цель работы – разработка более универсального методического, математического и программного обеспечения, позволяющего определять динамическую нагруженность специализированных вагонов и их элементов при продольных ударах в автосцепку с учетом

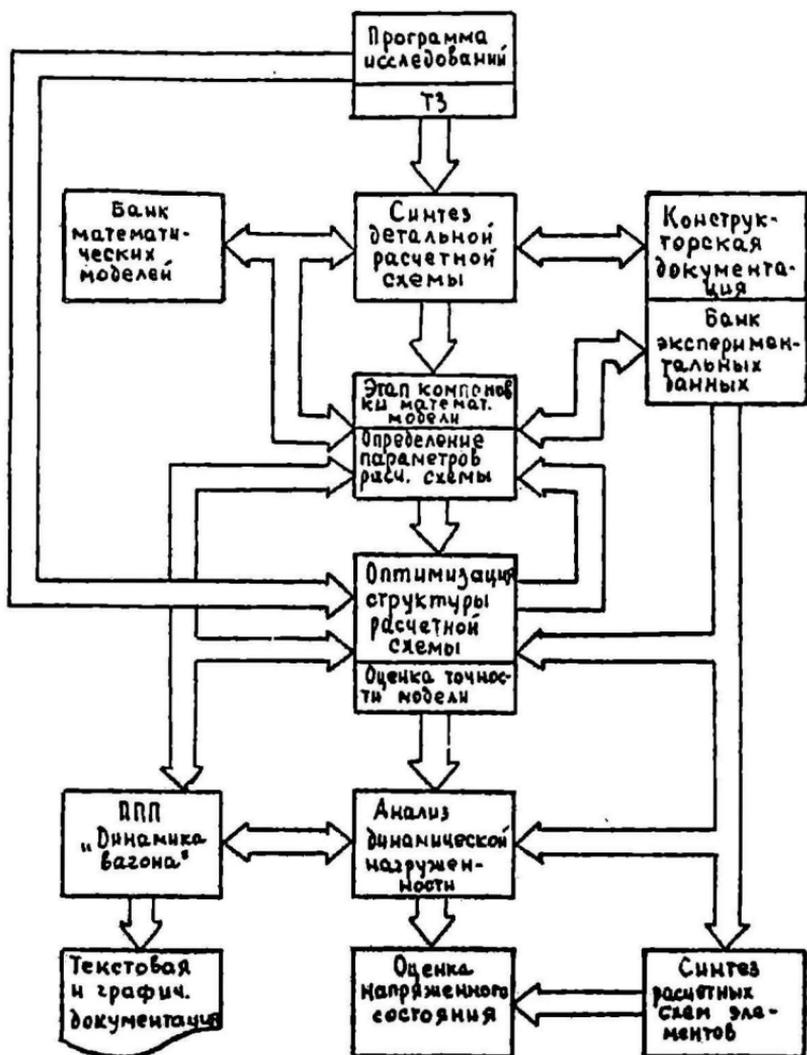


Рис. I

особенностей их конструкций, режимов эксплуатации и характера нагружения.

Затем формулируются основные задачи, решаемые в работе.

Во второй главе осуществляется вывод дифференциальных уравнений, описывающих колебания специализированного вагона как плоско-пространственной среды, и приводятся математические модели, описывающие колебания его элементов.

Плоско-пространственная среда включает такие элементы, как: продольные и поперечные стержни с криволинейными осями; элементы типа плоских рам; отдельные твердые либо деформируемые тела и так далее. Эти элементы могут соединяться линейными и нелинейными податливыми связями, в том числе и инерционными. В общем случае дифференциальные уравнения, описывающие колебания плоско-пространственной среды, имеют вид

$$\begin{aligned} & \left[\rho^u + \sum_k m_k^u \delta_1(x-x_k) \right] \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\overline{\cos}(\alpha+\varphi) S - \overline{\sin}(\alpha+\varphi) Q^x \right] + \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left[\overline{\sin}(\beta+\psi) R + \overline{\cos}(\beta+\psi) Q^y \right] - p^x(x, t, u); \\ & \left[\rho^v + \sum_k m_k^v \delta_1(y-y_k) \right] \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\overline{\sin}(\alpha+\varphi) S + \overline{\cos}(\alpha+\varphi) Q^x \right] + \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left[\overline{\cos}(\beta+\psi) R - \overline{\sin}(\beta+\psi) Q^y \right] - p^y(y, t, v), \end{aligned} \quad (1)$$

где u, v - перемещения вдоль осей x, y ; φ, ψ - углы поворота сечений продольного и вертикального стержней; α, β - углы наклона осей продольного и поперечного стержней; ρ^u, ρ^v - плотности масс, вовлекаемых в колебания вдоль осей x, y ; m_k^u, m_k^v - сосредоточенные массы; x_k, y_k - их координаты; S, R - силы растяжения-сжатия в стержнях; p^x, p^y - интенсивности внешних сил; δ_1 - обобщенная функция первого порядка; $\overline{\sin} \alpha, \overline{\cos} \alpha$ - разложения в ряды функций $\sin \alpha, \cos \alpha$

Если не учитывается инерция поворота элементов, поперечные силы Q^x и Q^y в продольном и вертикальном стержнях определяются как

$$\begin{aligned} Q^x &= (\alpha^*)^{-1} \left\{ \frac{\partial M^x}{\partial x} - \left[\frac{dy_0}{dx} \overline{\cos}(\alpha+\varphi) + \overline{\sin}(\alpha+\varphi) \right] S + \mu^x(x, y, t, u, v) \right\}; \\ Q^y &= (\beta^*)^{-1} \left\{ \frac{\partial M^y}{\partial y} - \left[\frac{dx_0}{dy} \overline{\cos}(\beta+\psi) + \overline{\sin}(\beta+\psi) \right] R + \mu^y(x, y, t, u, v) \right\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\alpha^* = \overline{\cos}(\alpha+\varphi) + \frac{dy_0}{dx} \overline{\sin}(\alpha+\varphi)$; $\beta^* = \overline{\cos}(\beta+\psi) + \frac{dx_0}{dy} \overline{\sin}(\beta+\psi)$;

$\frac{dy_0}{dx}, \frac{dx_0}{dy}$ - тангенсы углов наклона осей стержней; M^x, M^y - изгибающие моменты; μ^x, μ^y - интенсивности внешних изгибающих моментов.

Система (I) приводится к системе обыкновенных дифференциальных уравнений с использованием дифференциально-разностного метода и метода конечных элементов, численное интегрирование которой осуществляется на ЭВМ.

Далее приводится описание математических моделей податливых связей, применяемых при моделировании колебаний вагона, таких как: упруговязкая с зазорами; упругофрикционная; характеристика типа "сухое трение"; характеристика гидрогазового поглощающего аппарата; "интегральная" характеристика упругофрикционного поглощающего аппарата.

В третьей главе рассматриваются вопросы, связанные с обеспечением точности результатов цифрового моделирования при упрощении структуры расчетной схемы и математической модели, описывающих колебания специализированного вагона с грузом.

Выводятся уравнения дискретной модели изгиба стержня ("модель Майклстеда"), в которой учитывается рассеяние энергии колебаний по гипотезе вязкого трения.

В рассматриваемом случае углы поворота сечений стержня и их производные определяются в соответствии с

$$\begin{aligned} \varphi_{i+1} = & \frac{3}{2\Delta x_{i+\frac{1}{2}}} [V_{i+1} - V_i + \mu_{\varphi} (V_{i+1}^{\nu} - V_i^{\nu})] - \\ & - 0,5(\varphi_i + \mu_{\varphi} \dot{\varphi}_i) - \frac{1}{4K_{\varphi i+\frac{1}{2}}} \dot{M}_{i+1} - \mu_{\varphi} \dot{\varphi}_{i+1}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \dot{\varphi}_{i+1} = & (\mu_{\varphi} + h)^{-1} \left\{ h \left[\frac{3}{2\Delta x_{i+\frac{1}{2}}} (V_{i+1}^{\nu} - V_i^{\nu} + \mu_{\varphi} (\dot{V}_{i+1}^{\nu} - \dot{V}_i^{\nu})) \right] - \right. \\ & \left. - 0,5(\dot{\varphi}_i + \mu_{\varphi} \ddot{\varphi}_i) - \frac{1}{4K_{\varphi i+\frac{1}{2}}} \dot{M}_{i+1} \right\} + \mu_{\varphi} \dot{\varphi}_{i+1} (t-h), \end{aligned}$$

где $\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}$ - угол поворота сечения стержня, угловая скорость и ускорение; $V, V^{\nu}, \dot{V}^{\nu}$ - перемещение вдоль оси y , его скорость и ускорение; μ_{φ} - коэффициент вязкости при изгибе; Δx - длина участка дискретизации стержня; h - шаг квантования решения во времени.

В уравнениях (3) изгибающий момент, его производная и угловое ускорение определяются согласно выражениям

$$\begin{aligned}
M_i = & \frac{6K\varphi_{i-\frac{1}{2}}}{\Delta x_{i-\frac{1}{2}} + \Delta x_{i+\frac{1}{2}}} [V_i - V_{i-1} + \mu_\varphi (V_i^\nu - V_{i-1}^\nu)] - \\
& - \frac{6K\varphi_{i+\frac{1}{2}}}{\Delta x_{i-\frac{1}{2}} + \Delta x_{i+\frac{1}{2}}} [V_{i+1} - V_i + \mu_\varphi (V_{i+1}^\nu - V_i^\nu)] - \\
& - 2K\varphi_{i-\frac{1}{2}} \frac{\Delta x_{i-\frac{1}{2}}}{\Delta x_{i-\frac{1}{2}} + \Delta x_{i+\frac{1}{2}}} [\varphi_{i-1} + 2\varphi_i + \mu_\varphi (\dot{\varphi}_{i-1} + 2\dot{\varphi}_i)] + \\
& + 2K\varphi_{i+\frac{1}{2}} \frac{\Delta x_{i+\frac{1}{2}}}{\Delta x_{i-\frac{1}{2}} + \Delta x_{i+\frac{1}{2}}} [\varphi_{i+1} + 2\varphi_i + \mu_\varphi (\dot{\varphi}_{i+1} + 2\dot{\varphi}_i)] + 0,5M_{\text{вн}i}; \\
\dot{M}_i = & h^{-1} [M_i(t-h) - M_i(t-2h)]; \quad \dot{\varphi}_i = h^{-1} [\dot{\varphi}_i(t) - \dot{\varphi}_i(t-h)].
\end{aligned}$$

где $M_{\text{вн}i}$ - внешний изгибающий момент.

Сопоставление предложенной модели с конечно-разностной показывает, что она позволяет обеспечить необходимую точность решения при уменьшении количества участков разбиения стержня.

Система дифференциальных уравнений (I) может быть упрощена в случае малости углов наклона осей стержней. Границы применимости упрощенной модели, которая позволяет при решении задач экономить машинное время ЭВМ, определяются на примере колебаний стержня пилообразной формы. Показывается, что применение упрощенной модели обосновано для такого стержня при изменении тангенса угла наклона оси менее, чем на 0,2.

В работе наряду с использованием вязкого трения предлагается в некоторых случаях применение обобщенной модели рассеяния энергии колебаний, позволяющей реализовать частотнонезависимую характеристику с заданной функциональной зависимостью логарифмического декремента затухания колебаний от их амплитуды. Её применение целесообразно при необходимости уточнения спектров динамических нагрузок, действующих на элементы вагона.

Далее в работе приводится обзор методов численного интегрирования систем дифференциальных уравнений, описывающих колебания вагона с грузом. Среди них рассматриваются методы Рунге-Кутты, Адамса-Башфорта, центральных разностей и Ньюмарка.

В четвертой главе описывается пакет прикладных программ (ППП) "Динамика вагона", предназначенный для исследования динамических нагрузок при соударениях специализированных вагонов, приводятся блок-схемы подпрограммы, перечисляется состав и основные функциональ-

ные возможности разработанного ППП. Основной его особенностью является возможность адаптации к расчету динамической нагруженности специализированных вагонов, имеющих даже существенные различия конструкций. С этой целью используются средства автоматизированной оптимизации исходных программ; позволяющие изменять структуру программы и регулировать размеры оперативной памяти ЭВМ, занимаемые массивами информации, исходя из требований конкретного расчета.

Разработанный пакет прикладных программ прошел опытную эксплуатацию и внедрен ПО "Уралвагонзавод" им. П. Э. Дзержинского, ВНИИВагоностроения, Днепродзержинским вагоностроительным заводом им. газеты "Правда", а также передан во ВНИИЖТ.

В пятой главе приводится описание математической модели упругофрикционного поглощающего аппарата автосцепки (ФПА), позволяющей учитывать нестабильность его работы ("динамическая" модель). Исследуется её влияние на продольно-изгибные колебания вагона при соударениях:

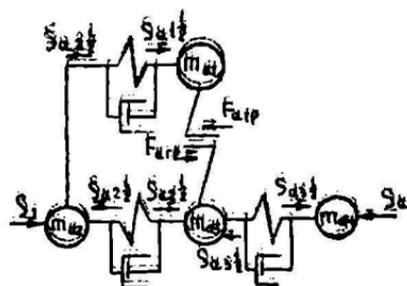


Рис. 2

Упругофрикционный поглощающий аппарат представляется при моделировании в виде расчетной схемы (рис. 2), учитывающей жесткостные и инерционные свойства элементов его конструкции. На рисунке: $m_{a1} = 0,5 m_k$, m_k — масса корпуса аппарата; $m_{a2} = 0,5 m_k + 0,5 m_n$, m_n — масса комплекта пружин; $m_{a3} = 0,5 m_n + m_k + m_{кл} + 0,25 m_{кл}$, $m_{a4} = 0,75 m_{кл}$, где m_k — масса хомута, $m_{кл}$ — масса фрикционных клиньев, $m_{ав}$ — масса автосцепки.

Сила трения во фрикционных парах аппарата определяется в соответствии с

$$F_{a_{12}} = (\mu_a N_3 \operatorname{sgn} \dot{q}_{a2}) ; \mu_a = \mu_1 [1 + \alpha' (1 - e^{-\frac{t_c}{T}})] e^{-\beta |q_{a1}|}$$

$$N_3 = t_g [\alpha + \arctg(\mu_1) \operatorname{sgn} \dot{q}_{a2}] S_{a34} + t_g [\beta + \arctg(\mu_3) \operatorname{sgn} \dot{q}_{a2}] S_{a31}$$

здесь α, β — геометрические параметры аппарата; α', T, β — константы, β помощью которых учитывается зависимость коэффициента трения μ_a от времени неподажности контакта и скорости относительного движения пар трения.

Далее с целью уменьшения затрат машинного времени ЭВМ рассматривается реализация "динамической" модели ФПА в виде инерционной податливой связи. Дифференциальные уравнения, описывающие колебания элементов ФПА, при этом интегрируются с шагом, меньшим, чем шаг интегрирования остальной расчетной схемы, что позволяет сократить затраты машинного времени.

Затем в работе с использованием приведенной выше модели поглощающего аппарата предлагается подход к определению статистических характеристик максимальных значений динамических нагрузок, действующих на элементы конструкции вагона при соударениях.

С помощью данной модели получен закон распределения усредненного по длине главных поверхностей трения аппарата значения коэффициенты трения, что позволяет, используя разработанную математическую модель колебаний вагона, определять статистические характеристики динамических нагрузок.

После этого исследуется влияние неустойчивости работы ФПА на величины и характер динамических нагрузок при соударениях специализированного транспортера, моделируемого эквивалентным стержнем. Сопоставляются результаты, полученные с использованием "интегральной" и "динамической" моделей ФПА в различных частотных диапазонах. Совпадение распределений усилий по длине рамы транспортера наблюдается в частотном диапазоне 0 ± 80 Гц, а ускорений - в диапазоне 0 ± 20 Гц.

Далее оценивается влияние постановки "башмака" на динамические нагрузки при соударениях вагонов. Показывается, что постановка "башмака" под дальнее от соударяемого конца вагона колесо не оказывает существенного влияния на распределение динамических нагрузок по длине вагона.

После этого с использованием упрощенной расчетной схемы соударения вагонов, оборудованных упругофрикционным и гидрогазовым поглощающими аппаратами, исследуется влияние неустойчивости работы ФПА на характер усилия в межвагонном соединении. Показывается, что при этом на силовой характеристике гидрогазового поглощающего аппарата имеют место "срывы", которые носят "сглаженный" характер.

В шестой главе исследуется динамическая нагруженность кожухов для защиты рулонов при соударениях вагона для холоднокатаной стали. Рассматривается расчетная схема, включающая следующие эле-

менты: стержень, эквивалентный раме вагона; сосредоточенные массы, моделирующие инерционные и жесткостные свойства груза, кожухов и вагона-бойка. При моделировании в связях учитывается наличие зазоров между обвязкой кожухов и упорами, между грузами и рамой в продольном направлении, трение между кожухами и рамой вагона. Как показывают численные эксперименты, трением между грузами и рамой вагона можно пренебречь, а массы тележек присоединить к раме.

Затем результаты расчета сопоставляются с экспериментальными зависимостями ускорений кожухов, максимальных усилий в упорной балке вагона от скорости соударения порожнего и груженого вагона. Показывается, что предложенная расчетная схема может использоваться для исследования динамических нагрузок, действующих на элементы вагона для холоднокатаной стали при соударениях.

Рассматривается два варианта съёмных кожухов: массой 4 т (установочная серия вагонов) и массой 2 т (облегченный). Определяется, что усилия, действующие на кожухи, достаточно слабо зависят от величины зазора Δ_k между обвязкой кожуха и упорами рамы. Поэтому расчеты проводятся для максимального зазора $\Delta_k = 30$ мм.

При соударениях порожнего вагона с вагоном-бойком массой 90 т снижение массы кожуха на 50% приводит к уменьшению величин динамических усилий, действующих на кожухи в среднем на 22%. При этом величина максимального усилия, передаваемого на кожухи облегченной конструкции, не превышает 0,28 МН в диапазоне скоростей соударений до 3 мс^{-1} .

Далее исследуется влияние величины зазора Δ_r между грузом и рамой вагона в продольном направлении на уровни усилий, действующих на кожухи. При отсутствии зазоров ($\Delta_r = 0$) для облегченного кожуха их величины снижаются в среднем на 18% по сравнению с усилиями, действующими на кожухи массой 4 т. При $\Delta_r = 200$ мм (неправильная фиксация упорной балки вагона) максимальные усилия, действующие на кожухи массами 4 и 2 т при скорости соударения 3 мс^{-1} составляют 0,44 и 0,41 МН. В случае правильной фиксации упорной балки ($\Delta_r \leq 100$ мм) снижение массы кожухов приводит к уменьшению величин максимальных усилий, действующих на них, в среднем на 20%.

После этого оценивается влияние амортизации груза и съёмных кожухов жесткими резинометаллическими элементами на величину динамических усилий, действующих на кожухи. Показывается, что это не приводит к существенному уменьшению уровней динамических усилий,

а в ряде случаев даже увеличивает их.

С помощью "динамической" модели упругофрикционного поглощающего аппарата оцениваются статистические характеристики усилий, действующих на съёмные кожухи при различных режимах соударения (рис. 3).

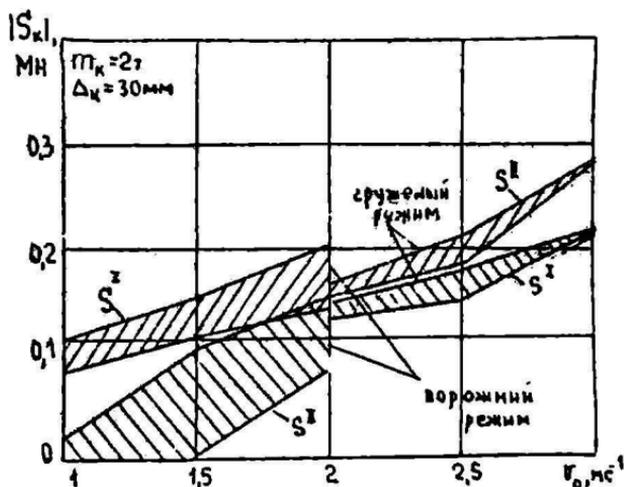


Рис. 3

С использованием разработанной в ДИИТе методики оценивается напряженное состояние элементов кожухов. Рассматриваются две расчетные схемы: пластинчато-стержневая (646 элементов, 499 узлов) и подробная пространственная схема углового элемента (460 элементов, 417 узлов). Показывается, что обшивка кожухов и верхняя рама оказывают слабое влияние на напряженное состояние нижней обвязки кожухов в районе силового взаимодействия их с упорами. Определяются коэффициенты влияния, связывающие величины напряжений в опасных сечениях с динамическими усилиями, действующими со стороны рамы вагона через упоры.

На основании полученных результатов определяются величины допустимых по условиям прочности кожухов скоростей соударений грузового вагона (масса вагона-бойка 90 т): при массе кожуха 4 т, $\Delta_r \leq 100$ мм - $2,3 \text{ мс}^{-1}$, $\Delta_r \leq 200$ мм - $1,9 \text{ мс}^{-1}$; при массе кожуха 2 т, $\Delta_r \leq 100$ мм - $2,7 \text{ мс}^{-1}$, $\Delta_r \leq 200$ мм - $2,2 \text{ мс}^{-1}$.

Результаты исследования внедрены на Днепродзержинском вагоно-

строительном заводе имени газеты "Правда" при доработке вагона для холоднокатаной стали модели I2-40II.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных в работе исследований можно сделать следующие выводы:

1. Разработана методика, позволяющая определять статистические характеристики динамических нагрузок, действующих на элементы специализированных вагонов при соударениях.
2. Предложена универсальная расчетная схема, а также уточненная математическая модель колебаний специализированного вагона как плоско-пространственной среды.
3. Разработаны алгоритм и пакет прикладных программ, обеспечивающие их адаптацию к расчету вагонов, имеющих существенные различия конструкций и приспособленные для исследований в ОГК вагоностроительных заводов.
4. Достоверность данных, получаемых с помощью разработанного математического и программного обеспечения, проверена путем их сопоставления с аналитическими решениями, экспериментальными данными и результатами численных экспериментов.
5. Предложена расчетная схема для исследования динамических нагрузок, действующих на вагон для холоднокатаной стали и его элементы при соударениях.
6. Исследована динамическая нагруженность вагона для холоднокатаной стали и его кожухов для защиты рулонов от атмосферных осадков при скоростях соударений до 3 мс^{-1} .
7. Показано, что наличие зазоров между грузом и элементами конструкции вагона, ограничивающими их перемещения в продольном направлении, оказывает существенное влияние на величины динамических нагрузок, действующих на съёмные кожухи при продольных ударах в автосцепку.
8. Показано, что амортизация грузов и кожухов жесткими резинометаллическими демпферами с допустимым ходом не приводит к существенному снижению уровней динамических нагрузок, действующих на кожухи вагона для холоднокатаной стали.
9. Оценены величины допустимых по условиям прочности кожухов скоростей соударений вагона, которые составляют (масса вагона-бойка 90 т) при соударениях порожнего вагона, оборудованного ко-

жухами массой 4т, - 2 мс⁻¹, груженого - 2,3 мс⁻¹, порожнего вагона, оборудованного кожухами массой 2т, - 3 мс⁻¹, груженого - 2,7 мс⁻¹.

Разработанные пакеты прикладных программ внедрены ПО "Уралвагонзавод" имени Ф.Э.Дзержинского, Днепродзержинским вагоностроительным заводом имени газеты "Правда", ВНИИВагоностроения, а также переданы во ВНИИЖТ. Результаты исследования внедрены на Днепродзержинском вагоностроительном заводе имени газеты "Правда".

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Горобец В.Л., Дрченко А.В., Янгулов Н.П. Математическая модель для исследования плоских колебаний при соударениях специализированных вагонов. - М., 1985. - 15 с. - Деп. в ЦНИИТЭИ МПС, №3366-85.

2. Горобец В.Л., Дрченко А.В., Янгулов Н.П. Математическое моделирование колебаний грузового вагона при случайных возмущениях с учетом изгибной жесткости кузова и податливости грузов. - М., 1985. - 8 с. - Деп. в ЦНИИТЭИ МПС, №3365-85.

3. Горобец В.Л., Янгулов Н.П. Один из способов формирования пакетов прикладных программ для исследования нелинейных колебаний транспортных экипажей // Проблемы динамики, прочности и устойчивости движения железнодорожного подвижного состава. - Днепропетровск: ДИИТ, 1986. - С. 135-142.

4. Моделирование нестационарных колебаний платформы для большегрузных контейнеров, оборудованной упругофрикционными поглощающими аппаратами Ш-1-ТМ /Е.П.Блохин, В.Л.Горобец, А.И.Паламаренко, А.В.Дрченко // Вопросы оптимизации деталей тележек и организация обслуживания вагонов: Межвуз. сб. научн. тр. - Днепропетровск: ДИИТ, 1985. - С. 36-49.

5. Янгулов Н.П., Горобец В.Л. Пакет прикладных программ для исследования нелинейных колебаний транспортных экипажей методами численного интегрирования // Проблемы механики железнодорожного транспорта. Повышение надежности и совершенствование конструкций подвижного состава (тезисы докл. Всес. конф.) - Днепропетровск, 1984. - С. 54.

ГОРОБЕЦ ВЛАДИМИР ЛЕОНИДОВИЧ

"Исследование динамической нагруженности специализированного вагона и его элементов при соударениях".

05.22.07 - Подвижной состав железных дорог и тяга поездов.

Подписано к печати 13.05.87. БТ 20063. Формат 60x84 1/16.

Бумага для множительных аппаратов. Ротапринт. Усл.печ.л. 1,05. Уч.-изд.л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 1044. Бесплатно.

Участок оперативной полиграфии ДИИТа.

320700, ГСП, Днепропетровск, 10, ул. Академика Лазаряна, 2.