

МПС СССР

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

На правах рукописи

УДК 629.463.62

Нечай Виктор Яковлевич

ДИНАМИКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЛАТФОРМ ПРИ ПРОДОЛЬНЫХ УДАРАХ
В ЭКСПЛУАТАЦИИ

(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
1981

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 А.А.ЛЬВОВ,
кандидат технических наук, доцент И.Г.БАРБАС.

Ведущее предприятие указано в решении Специализированного Совета ДИИТа.

Защита диссертации состоится 24 декабря 1981 года в 13 ч 30 мин на заседании Специализированного Совета К II4.07.01 в Днепропетровском ордена Трудового Красного Знамени институте инженеров железнодорожного транспорта им.М.И.Калинина по адресу: 320629, ГСП, г.Днепропетровск, Ю, ул.Лазаряна, 2, ДИИТ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан 23 декабря 1981 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью просим высылать в Совет института.

Ученый секретарь
Специализированного Совета
кандидат технических наук

Л.В.Петрович

НТБ
ДНУЖТ

6648a

Актуальность проблемы. В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года", принятых XXVI съездом КПСС, предусмотрено осуществить техническое перевооружение железнодорожного транспорта с целью дальнейшего увеличения его провозной и пропускной способностей. Наряду с такими основными мероприятиями по осуществлению поставленной задачи, как увеличение массы поездов и повышение средней скорости их движения, немаловажное значение имеет сокращение времени на проведение маневровых и сортировочных операций. Интенсификация этих работ привела к тому, что скорости, с которыми происходит соударение вагонов, оказались значительно выше допустимых нормами. Увеличение скорости соударения сопровождается ростом числа вагонов, вышедших из строя в результате поломок. В 1977 году во время маневровых операций было разрушено вагонов на 14 % больше, чем в 1976 году.

Всестороннее изучение процессов, происходящих при переходных режимах движения поездов и соударениях вагонов имеет важное значение, так как усилия в междывагонных соединениях достигают наибольших величин и являются определяющими при оценке нагруженности подвижного состава и перевозимых грузов. Исследования в этом направлении необходимы также для установления научно обоснованных норм эксплуатации существующего и для разработки вновь создаваемого подвижного состава, который должен обладать соответствующими прочностными качествами при минимальной металлоемкости.

Таким образом, задача исследования динамики железнодорожных вагонов при продольных ударах в эксплуатации представляется весьма актуальной.

В данной работе в качестве объекта исследования выбраны платформы, так как с их помощью перевозится большое количество грузов, в том числе в контейнерах, которые должны быть защищены от перегрузок.

Цель работы состояла в

- разработке алгоритма и математического обеспечения, позволяющих осуществлять расчеты динамических нагрузок при плоских продольно-изгибных колебаниях железнодорожных платформ, вызванных продольными ударами в автосцепку на прямых участках пути, с помощью различных расчетных схем, выбираемых в соответствии с поставленной задачей, конструктивными особенностями вагонов и креплений грузов;
- исследовании динамических усилий, возникающих в продольных и поперечных балках рамы платформы и в устройствах крепления грузов при соударении одиночных платформ;
- изучении влияния свойств поглощающих аппаратов на нагруженность платформ;
- оценке влияния параметров груза, способов крепления и схемы его размещения на динамические усилия, возникающие в платформе;
- изучении усилий, возникающих в платформе, при соударениях сцепов вагонов.

Методы исследования. В работе применены современные методы математического моделирования колебаний одномерных механических систем с помощью уравнений математической физики, интегрируемых численно на основании теории построения разностных схем и теории численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений.

Научная новизна. Методика математического моделирования, разработанная и используемая в работе, позволяет существенно уточнить распределение динамических усилий, возникающих в элементах вагонов при продольных ударных нагружениях на прямых участках пути.

Отличием предлагаемой методики от предыдущих является то, что разработанные алгоритмы и программа позволяют реализовать множество расчетных схем вагонов и их сцепов, в зависимости от цели исследования и затрат машинного времени.

Результаты расчетов колебаний железнодорожных платформ, пред-

ставленных в виде одного криволинейного стержня, в виде двух взаимодействующих криволинейных стержней, а также с помощью более подробных расчетных схем, позволили сформулировать рекомендации по выбору расчетных схем платформ при решении задач об их нагруженности при продольных ударах.

Создана математическая модель поглощающего аппарата фрикционного типа, работающего со случайными заклиниваниями, срывами. Статистические параметры, характеризующие работу такого аппарата, формировались на основании гистограмм их распределений, полученных при испытаниях реальных поглощающих аппаратов.

Впервые методами математического моделирования получены распределения динамических усилий в хребтовой и боковых балках контейнерной платформы, а также значения действующих на них со стороны поперечных балок продольных, вертикальных сил и изгибающих моментов.

Исследовано влияние поглощающих аппаратов и характеристик грузов на нагруженность платформ.

Исследованы плоские колебания контейнерной платформы в сцепках вагонов при их соударениях.

Практическая ценность работы. Разработанный алгоритм и составленная на алгоритмическом языке ФОРТРАН-IV программа позволяют исследовать плоские продольно-изгибные колебания конструкций при ударных нагружениях с применением современных вычислительных машин. Созданное математическое обеспечение позволяет оценить нагрузки при соударениях платформ, полувагонов, конструкций типа цистерн и других объектов.

Показано, что для получения оценок сверху значений внутренних динамических усилий, возникающих в продольных балках железнодорожных платформ, можно представить платформу в виде одного эквивалентного криволинейного стержня.

Расчеты показали, что при оборудовании железнодорожных плат-

форм гидрогазовыми поглощающими аппаратами типа ГА-500 можно увеличить скорость их соударения при маневровых и сортировочных операциях более, чем в два раза.

Полученные значения динамических усилий в элементах рамы контейнерной платформы могут быть использованы при их расчетах на прочность.

Разработанная модель поглощающего аппарата со случайными заклиниваниями и срывами может быть использована при расчетах конструкций на усталостную прочность. В то же время показано, что средние уровни наибольших продольных сил и изгибающих моментов, действующих вдоль платформы, примерно одинаковы как в случае расчетов с использованием модели поглощающего аппарата с интегральной характеристикой, так и в случае, когда учитываются случайные заклинивания и срывы.

Исследования зависимости возникающих в платформе динамических усилий от вида груза, способа размещения на платформе и его подвижности позволили сформулировать соответствующие рекомендации.

Реализация работ. Основные теоретические разработки и результаты, приведенные в диссертации, получены в процессе выполнения заказов ДВЗ им.гав."Правда" по оценке нагруженности четырехосной универсальной двуплощадной платформы с нагрузкой на ось 0,22 МН и контейнерной платформы, в процессе расчетов при разработке проекта технических условий погрузки и крепления металлопродукции (по приказу МПС № 49Ц от 29.12.79 г., тема М-18). Разработанное математическое обеспечение использовано для исследования (по заказу ДВЗ) нагруженности промышленного электроваза ОПЭ1А ЭУ. Методика расчетов и программа внедрены в ряде конструкторских бюро. Ожидаемая экономическая эффективность будет получена за счет более полной и точной оценки динамических усилий, которые могут возникать в проектируемых и находящихся в эксплуатации конструкциях при ударных нагружениях, что позволит уточнить режимы их эксплуатации и облегчить конструкторские

разработки.

Актами и справками предприятий подтверждается ожидаемый экономический эффект от внедрения методик расчетов и результатов исследований по темам, с которыми непосредственно связана диссертация, на сумму 150 тыс.рублей.

Апробация работы. Основные положения работы доложены и обсуждены на Всесоюзной конференции "Проблемы механики жидкого транспорта" (г.Днепропетровск, 1977 г.), Всесоюзной конференции "Проблемы механики железнодорожного транспорта" (г.Днепропетровск, 1980 г.), Всесоюзной конференции "Создание локомотивов большой мощности и повышение их технического уровня" (г.Ворошиловград, 1981 г.), на четвертой тематической конференции "Практическая реализация численных методов расчета инженерных конструкций" (г. Ленинград, 1979 г.), X-ой зональной научно-практической конференции молодежи (г.Кривой Рог, 1979 г.), на городском научном семинаре по общей механике (г.Днепропетровск, 1981 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из пяти глав, включающих введение и заключение, списка использованной литературы и приложения.

Первая глава посвящена обоснованию актуальности решаемой задачи, обзору существующих методов исследования и постановке задачи.

Во второй главе производится обоснование принятой математической модели, описывается способ моделирования внешних сил и соединений, производится исследование различных расчетных схем, на основании которого формулируются рекомендации по их использованию при решении задач, связанных с изучением нагруженности железнодорожных платформ.

В третьей главе осуществлен выбор метода численного интегрирования, описана программа, реализующая математическую модель на ЭЭМ и произведена оценка достоверности получаемых с ее помощью результатов путем сопоставления их с данными экспериментальных исследований.

В четвертой главе приведены результаты исследования нагруженности универсальной длиннобазной и контейнерной платформ при продольных ударах. Исследовано влияние типа поглощающих аппаратов, способа размещения и закрепления перевозимых грузов на величины и распределения динамических усилий вдоль платформ.

В пятой главе исследованы динамические усилия, действующие в элементах рамы контейнерной платформы и на контейнеры. Произведена оценка нагруженности контейнерной платформы, находящейся в сцепках вагонов при их соударении.

Основное содержание работы. Приведенный во введении обзор литературы свидетельствует об актуальности и сложности данного направления исследований. Работы многих авторов посвящены изучению динамических усилий, возникающих в вагонах при ударных нагружениях.

Развитие представлений об ударном нагружении вагонов в поезде при маневрах нашло отражение в работах В.А. Лазаряна, В.С. Вершинского, Л.Н. Никольского, И.П. Исеева, Е.П. Блохина, Н.А. Панькина, Л.А. Манашкина и других авторов.

При исследованиях наибольшее распространение получили расчетные схемы вагонов, представляющие их в виде твердого тела, системы твердых тел или в виде эквивалентного стержня. В последнем случае вагон представлялся в виде стержня с переменными по длине инерционными и геометрическими параметрами. Однако для исследования распределения динамических усилий между элементами вагона и оценки влияния подвижности грузов необходимы расчетные схемы, более полно отражающие конструктивные особенности вагонов, способы размещения и закрепления

на них грузов и формирование сил в автосцепках.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНО-ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛАТФОРМ

Расчетная схема платформы выбрана в виде двух взаимодействующих криволинейных стержней с переменными по длине геометрическими и инерционными параметрами. Один из этих стержней находится на двух податливых опорах. Опоры можно считать упруго-вязкими или упруго-фрикционными. Сила S_{α} , приложенная с эксцентриситетом к стержню на опорах, определяется типом поглощающих аппаратов в соединении между вагонами и жесткостными параметрами вагонов. Стержень на опорах может быть аналогом крестовой балки платформы, тогда второй стержень - соответствует двум ее боковым балкам (массы и жесткости суммируются). Взаимодействие этих стержней при продольных, поперечных и угловых относительных перемещениях осуществляется с помощью соединений, соответствующих поперечным балкам платформы.

Уравнения продольно-изгибных колебаний стержней, моделирующих платформу, имеют вид:

$$\begin{aligned} & \left\{ \rho^u + \sum_{i=1}^n m_{\delta i} \delta_1(x-x_{\delta i}) \right\} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \rho^u h \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \frac{\partial X}{\partial x} - \sum_{i=1}^n [P_i \delta_1(x-x_{\rho i}) + \\ & \quad + \sum_{j=1}^m P_{ij} \delta_1(x-x_{e i})] ; \\ & \left\{ \rho^v + \sum_{i=1}^n m'_{\delta i} \delta_1(x-x_{\delta i}) \right\} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - \frac{\partial y}{\partial x} + \left\{ \rho^v + \sum_{i=1}^n m'_{\delta i} \delta_1(x-x_{\delta i}) \right\} g - \\ & \quad - \sum_{i=1}^n [R_i \delta_1(x-x_{\delta i}) + \sum_{j=1}^m R_{ij} \delta_1(x-x_{e i})] ; \\ & \left\{ (\rho^p + \rho^u h^2) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + \rho^u h \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{\partial M}{\partial x} - y' X + y + \sum_{i=1}^n [P_i (e_i + \right. \\ & \quad \left. + \sigma_i - v_{\sigma}) \delta_1(x-x_{\rho i}) + \sum_{j=1}^m (P_{ij} e_{ij} - M_{ij}) \delta_1(x-x_{e i})] \right\} ; \end{aligned} \quad (I)$$

$$\{p_1^u + \sum_{j=1}^m m_{1j} \delta_1(x-x_{1j})\} \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} + p_1^u h_1 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = \frac{\partial X_1}{\partial x} + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n P_{ji} \delta_1(x-x_{cj});$$

$$\{p_1^v + \sum_{j=1}^m m'_{1j} \delta_1(x-x_{1j})\} \frac{\partial^2 v_1}{\partial t^2} = \frac{\partial Y}{\partial x} + p_1^{v*} g + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n R_{ji} \delta_1(x-x_{cj});$$

$$(p_1^q + p_1^u h_1^2) \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial t^2} + p_1^u h_1 \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} = -\frac{\partial M_1}{\partial x} - y'_1 X_1 + Y_1 + \\ + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (M_{ji} - e_{ji} P_{ji}) \delta_1(x-x_{cj}),$$

где $p_1^{v*} = p_1^v + \sum_{j=1}^m m'_{1j} \delta_1(x-x_{1j})$, p_1^u и p_1^v - интенсивности массы, совершающих колебания в продольном и вертикальном направлениях, p_1^q - интенсивность моментов инерции стержня при поворотах вокруг оси, перпендикулярной продольной вертикальной плоскости симметрии стержня, h_1 - расстояние центра масс от положения оси стержня в точке \mathcal{L} , m_{1j} и m'_{1j} - дополнительные, жестко прикрепленные к стержню массы, участвующие в продольных и вертикальных колебаниях (применительно к платформе - это массы тележек и их обрессоренных частей), x_{1j} - координаты размещения дополнительных масс, $\delta_1(x)$ - импульсная функция первого порядка (δ - функция Дирака), t - время, X и Y - проекции сил на оси x и y , g - ускорение силы тяжести, R_i - реакции опор, P_i - продольные внешние силы ($P_{i-1} = S_\alpha$), S_α - сила в автосцепке, P_{ij} , R_{ij} и M_{ij} - продольная, вертикальная силы и изгибающий момент взаимодействия стержней (i и j - номера точек первого и второго стержней, соответственно, в которых прикладываются указанные силы взаимодействия).

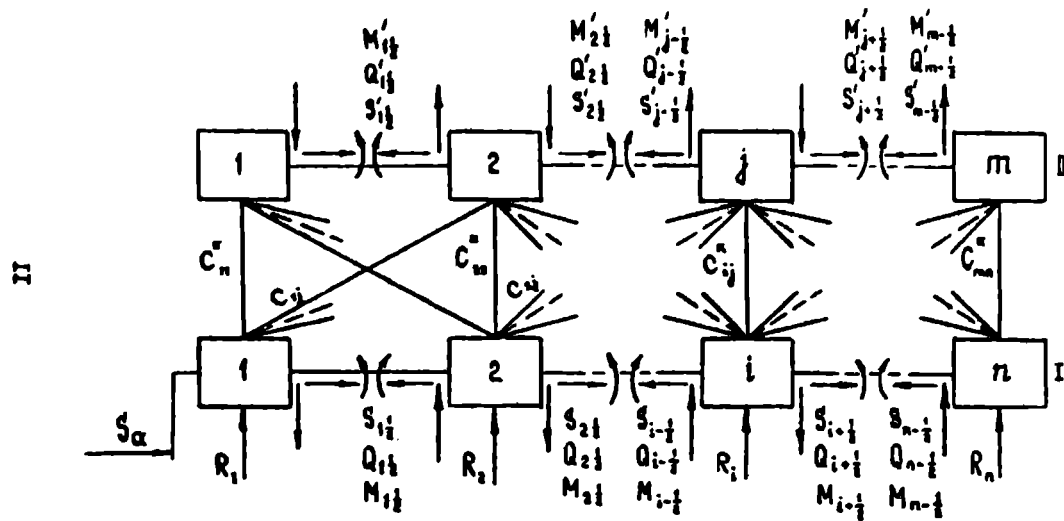


Рис. I. Дискретная расчетная схема.

НТБ
ДНУЖТ

$$\begin{aligned}
M_{ij} &= K_{ij}^q \cdot \varphi_{ij} + \beta_{ij}^q \cdot \omega_{ij}; \quad \varphi_{ij} = \varphi_i - \varphi_j; \\
P_{ij} &= K_{ij}^u \cdot q_{ij} + \beta_{ij}^u \cdot \dot{q}_{ij}; \quad \omega_{ij} = (\dot{\varphi}_i - \dot{\varphi}_j); \\
R_{ij} &= K_{ij}^v \cdot \dot{q}_{ij} + \beta_{ij}^v \cdot \ddot{q}_{ij}; \quad q_{ij} = \int_0^t \dot{q}_{ij} d\tau; \\
y'_0 &= \frac{dy_0}{dx}; \quad \dot{q}_{ij}^u = v_i^u - v_j^u;
\end{aligned}$$

$$X = S \cos(\alpha + \varphi) - Q \sin(\alpha + \varphi),$$

$$Y = S \sin(\alpha + \varphi) + Q \cos(\alpha + \varphi),$$

где K_{ij}^u , K_{ij}^v , K_{ij}^q - жесткости связей между стержнями при их продольных, вертикальных и угловых относительных перемещениях; α - угол, определяемый кривизной стержня; S и Q - продольная и поперечная силы; $y_0(x)$ - положение оси несущего сечения кузова вагона.

Рассматриваются колебания стержней со свободными концами

$$S(0,t) = Q(0,t) = S(l,t) = Q(l,t) = 0, \quad M(0,t) = M(l,t) = 0.$$

Сила S_α в случае фрикционных с интегральной характеристикой и гидрогазовых поглощающих аппаратов вычисляется в соответствии с известными выражениями. В случае оборудования вагонов поглощающими аппаратами фрикционного типа со случайными заклиниваниями и срывами выражение для S_α имеет вид

$$|S_\alpha(q_\phi)| = \begin{cases} S_{nj} + \frac{S_{nj+1} - S_{nj}}{q_{\phi j+1} - q_{\phi j}} (|q_\phi| - q_{\phi j}), & j = \overline{1, N}, \\ \text{если } (|q_\phi| \in [q_{\phi j}, q_{\phi j+1}]) \wedge (S_{nj} \leq S_{nj+1}); \\ S_{nj+1}, & |q_\phi| = q_{\phi j+1}, |q_\phi| = |q_\phi| + q_{\phi j+1} - q_{\phi j}; \\ \text{если } (|q_\phi| \in [q_{\phi j}, q_{\phi j+1}]) \wedge (S_{nj} > S_{nj+1}). \end{cases}$$

где $(q_{\phi j}, S_{\phi j})$ – координаты узловых точек кусочно-линейной зависимости $S_{\phi}(q_{\phi})$. N – число линейных участков в пределах хода аппарата.

В данной работе рассматривается задача соударения двух одинаковых вагонов или сцепов, поэтому выражение для вычисления деформации междувagonных соединений имеет вид

$$\dot{q}_a = 2(V_1^u - e, \omega_{1/2}) - V_0, \quad (2)$$

где V_0 – скорость соударения; e – эксцентриситет, $\omega_{1/2}$ – угловая скорость.

В случае упруго-фрикционных связей между стержнями силы взаимодействия вычисляются по аналогии с вычислением их при моделировании фрикционных поглощающих аппаратов, а в случае связей типа "сухое трение" они определяются согласно выражения

$$P = \begin{cases} F_{\text{тр}} \operatorname{sign} \dot{q}, & \text{если } |F_{\text{тр}}| \leq |S_r(q)|, \\ S_r(q), & \end{cases}$$

где

$$F_{\text{тр}} = F_{\text{тpo}} + f_{\text{тр}} R_{ij}; \quad S_r(q) = P^* + K_r(q - q^*);$$

$$P^* = P(t - h); \quad q^* = q(t - h).$$

Здесь приняты следующие обозначения: $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения между взаимодействующими телами; $F_{\text{тpo}}$ – сила трения между телами, обусловленная нормальным давлением.

Для получения численного решения система (I) дифференциальных уравнений в частных производных преобразуется с помощью метода интегральных соотношений к системе обыкновенных дифференциальных уравнений. С этой целью стержни разбиваются соответственно на участки длиной Δx и Δx_1 . Предполагается, что участки однородны по длине и центры их масс находятся в точках x_i ($i=1, 2, \dots, n$) и x_j ($j=$

=1,2,...,m). Соответствующая дискретная модель системы приведена на рис.1.

Таким образом,упомянутая выше система обыкновенных дифференциальных уравнений описывает движение представленной на рис.1 совокупности тел, совершающих продольные и вертикальные перемещения, а также повороты вокруг оси, перпендикулярной вертикальной плоскости симметрии.

Возможность взаимодействия любого тела нижнего ряда с любым телом верхнего ряда может быть реализована с помощью матриц сил C_{ij}^k , элементы которых являются продольными, вертикальными силами и моментами,возникающими при относительных перемещениях и поворотах тел. При отсутствии взаимодействия тел соответствующие элементы матриц сил равны нулю.Связи между всеми телами могут быть упруго-вязкими, а для тел внутри каждого ряда и для тел разных рядов с одинаковыми индексами (при $i=j$) могут устанавливаться еще и упруго – фрикционные связи с зазором и связи типа « сухое трение ». Реализация между телами в нужном месте связей соответствующего типа позволяет получать множество расчетных схем исследуемых объектов. В рамках приведенного выше математического описания возможно исследование колебаний практически любого числа взаимодействующих стержней (цепочек тел), каждый из которых совершает плоские продольно-изгибные колебания. Ограничением на число взаимодействующих стержней является величина оперативной памяти ЭВМ и затрачиваемое время на решение.

В последнее время в исследованиях широко применяется модель поглощающего аппарата с так называемой интегральной характеристикой. Известно, что реальные поглощающие аппараты фрикционного типа работают нестабильно. При их работе имеют место носящие случайный характер «схватывания» и проскальзывания клиньев. В связи с этим, осуществлено моделирование поглощающего аппарата с заклиниваниями и срывами, характеристика которого формировалась с использованием

полученных в результате статистической обработки опытных данных гистограмм распределений случайных величин сил, при которых происходят заклинивания и срывы, жесткостей (на участках нагружения) и величин проскальзывания клиньев.

Описание математического моделирования завершается сравнительным анализом расчетных схем железнодорожной платформы при представлении ее в виде одного или в виде двух взаимодействующих стержней. Расчеты показывают, что, пользуясь одностержневой расчетной схемой, можно достаточно точно оценить суммарные продольные силы, действующие в сечениях платформы, и ускорения центров масс сечений. Эта расчетная схема пригодна и для вычисления изгибающих моментов в тех случаях, когда грузы равномерно распределены по ширине платформы. В других случаях, а также для уточнения распределения динамических усилий между хребтовой и боковыми балками, необходимо применять расчетные схемы, более подробно представляющие платформу.

Вследствие существенной нелинейности дифференциальных уравнений, описывающих движение системы, приведенной на рис.2, решение осуществлялось численно с помощью ЭВМ. Интегрирование производилось по методу Адамса-Бэшфорта с получением начального отрезка интегрирования по методу Рунге-Кутты. Решение осуществлялось с помощью программы, составленной на алгоритмическом языке ФОРТРАН-IV.

Достоверность получаемых результатов проверялась путем сопоставления их с данными опытов, выполненных в реальных условиях.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ДЛИННОБАЗНОЙ И КОНТЕЙНЕРНОЙ ПЛАТФОРМ

В работе определяются распределения динамических усилий вдоль универсальной длиннобазной и контейнерной платформ. Рассматривается задача соударения двух одинаковых платформ с начальной скоростью V_0 в случаях, когда платформы оборудованы поглощающими аппаратами frictionного тела (ШТ-Т-М) с интегральной характеристикой или гидрогазо-

ными поглощающими аппаратами (типа ГА-500), а также в случае, когда одна из платформ оборудована поглощающими аппаратами фрикционного типа, а другая - гидрогазовыми аппаратами; исследованы также случаи, когда моделировалась работа фрикционных поглощающих аппаратов со случайными заклиниваниями и срывами.

Изучение нагруженности универсальной длиннобазной платформы осуществлялось в случае ее загрузки равномерно распределенным по всей длине грузом и грузом, распределенным на длине 4,3 м в средней ее части. В случае равномерно распределенного груза исследовалась зависимость от высоты центра тяжести перевозимого груза динамических усилий, возникающих в платформе.

Зависимость динамических нагрузок платформы от типа поглощающих аппаратов в соединении изучена при силе в автоцепке, близкой 2 МН. Такой уровень силы наблюдается при скоростях соударения: $V_0 = 6,4$ км/ч - в случае фрикционных поглощающих аппаратов; $V_0 = 13,8$ км/ч - в случае поглощающих аппаратов типа ГА-500; $V_0 = 10,8$ км/ч - в случае наличия в соединении одного фрикционного и одного гидрогазового поглощающих аппаратов.

Расчеты показывают, что оборудование железнодорожных платформ гидрогазовыми поглощающими аппаратами позволяет по условию сохранения прочности платформ более, чем в два раза повысить скорость их соударений.

Опренено влияние неустойчивости работы поглощающих аппаратов фрикционного типа на динамические усилия, возникающие в контейнерной платформе. Результаты моделирования показали, что при расчетах на прочность можно пользоваться моделью поглощающего аппарата с интегральной характеристикой как более простой.

Исследование динамики универсальной железнодорожной платформы в случаях различного размещения груза на платформе показало, что сосредоточение груза на длине 4,3 м в средней ее части приводит к увеличению

максимальных продольных сил на участке от 0 до 0,5 ℓ (ℓ - длина платформы) в 1,3 раза и изгибающих моментов на участке от 0,25 до 0,5 ℓ в 1,5 раза по сравнению со случаем равномерно распределенного груза по всей длине платформы.

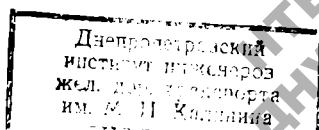
Результаты расчетов показывают, что как и следовало ожидать, от положения центра тяжести груза h по высоте наиболее существенно зависят распределение изгибающих моментов. Эта зависимость может быть представлена выражением $M_i = M_{oi} + b_i h$. Значения M_{oi} и коэффициентов b_i для изгибающих моментов M_1, M_2, M_4 и M_5 в случаях сосредоточенного "С" и равномерно распределенного "Р" грузов приведены в табл. I.

Таблица I

M_i	M_{oi} , МН·М		b_i	
	С	Р	С	Р
M_1	0,035	0,05	0	15
M_2	0,035	0,12	II	22
M_4	0,19	0,20	3	2
M_5	0,16	0,17	2I	24

Моменты M_1 и M_4 имеют место в сечениях на консоли со стороны удара и в средней части платформы соответственно; момент M_2 - в сечении, расположенном после ближней к нагружаемому концу шкворневой балки; M_5 - между средней частью платформы и дальней шкворневой балкой.

Железнодорожные платформы широко используются для перевозки слитков металлов. В связи с этим по заданию МПС было проведено исследование динамических усилий, возникающих при соударении серийных универсальных платформ, груженных стальными слитками. Рассматривалось два основных варианта закрепления слитков на платформе: а) осуществлялось крепление каждого слитка к платформе упругой удерживающей связью; б) к платформе крепились только первый со стороны удара слиток. В обоих



66489

случаях предполагалось, что слитки расклинивались деформируемыми элементами, а каждый слиток связан с платформой силами сухого трения. Коэффициент трения принимался постоянным и равным 0,4. Суммарный вес груза на платформе в обоих случаях принимался равным 0,7 МН. Исследование проводилось при скорости соударения 5 км/ч. Расчетная схема выбиралась в виде эквивалентного стержня, взаимодействующего с твердыми телами.

Результаты расчетов показывают, что крепление к платформе всех грузов упруго-вязкими связями приводит к более интенсивным ее колебаниям по сравнению со случаем, когда слитки связаны с платформой только силами сухого трения. При этом максимальные значения изгибающего момента возрастают с 0,1 до 0,15 МН·м. Значительно возрастают уровни продольных ускорений соударяемого конца платформы, но их значения выше 3g носят мгновенный характер и не оказывают существенного влияния на уровни продольных сил. Несколько возрастают и значения поперечных сил в зоне шкворневых узлов платформы с 0,5 до 0,09 МН на соударяемом конце платформы и с 0,03 до 0,05 МН – на противоположном ее конце.

В случае закрепления каждого слитка к платформе максимальные упругие перемещения их примерно одинаковы для всех слитков и составляют около 0,013 м. В случае свободного размещения слитков на платформе значения перемещений составляют 0,02 м на соударяемом ее конце и 0,06 м на противоположном конце.

Таким образом, при перевозке слитков металла на платформе следует крепить к ней только крайние слитки. Это приведет к меньшему уровню динамических нагрузок, возникающих в платформе и экономии крепежного материала. Возникающие при этом перемещения слитков будут несколько скомпенсированы при ударных нагрузках с противоположной стороны.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА КОНТЕЙНЕРЫ И ЭЛЕМЕНТЫ РАМЫ ПЛАТФОРМЫ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ ИХ ПЕРЕВОЗКИ

В случае представления расчетной схемы платформы в виде эквивалентного стержня можно оценить интегральные по всему ее сечению динамические нагрузки. Однако рама контейнерной платформы состоит из хребтовой балки, двух боковых и девяти поперечных балок. Поэтому представляет интерес оценка распределения динамических нагрузок по ее элементам. Кроме того, контейнеры устанавливаются на боковые балки платформы с зазорами между фитингами контейнеров и упорами платформы. В связи с этим, выбирались расчетные схемы контейнерной платформы, позволяющие учесть указанные выше особенности ее конструкции и условия закрепления контейнеров.

В соответствии с рекомендациями, полученными в главе 2, расчетная схема грузовой контейнерной платформы, при исследованиях нагруженности элементов ее рамы, выбрана в виде двух взаимодействующих криволинейных стержней, моделирующих колебания хребтовой и боковых (массы и жесткости суммируются) балок. Действие поперечных балок моделировалось с помощью упруго-вязких безынерционных связей, передающих продольные, вертикальные силы и изгибающие моменты взаимодействия при соответствующих относительных перемещениях стержней.

В случае исследования динамики системы "платформа-контейнер" использованы три расчетные схемы: 1) платформа представлена в виде стержня, взаимодействующего с упругими или недеформируемыми телами; 2) платформа представлена в виде двух связанных между собой стержней (хребтовая и боковые балки), взаимодействующих с упругими телами (контейнеры); 3) расчетная схема, аналогичная предыдущей, но в которой упругие тела - контейнеры, в свою очередь, взаимодействуют с упругими телами-грузами.

Взаимодействие контейнеров с платформой моделировалось с помощью связей типа "сухое трение" в случае, когда в соединении имели место зазоры, а когда они выбирались - предусматривалась одновременная

работа упруго-вязких связей и связей типа "сухое трение".

Исследования показали, что как и следовало ожидать, наибольшая нагрузка приходится на хребтовую балку. Продольная сила в автосцепке при скорости соударения платформ $V_0 = 6,4$ км/ч достигает 1,8 МН. Большая часть длины хребтовой балки нагружена продольной силой около 1 МН. Боковые балки воспринимают ударные воздействия, передаваемые от контейнеров. Наибольшее значение продольной силы в боковых балках ожидается в месте установки дальних фитингов перпого (со стороны удара) контейнера и достигает величины 0,7 МН в случае наличия к моменту удара между фитингами контейнеров и упорами платформы зазоров $\Delta_i = 0,01$ м. Основное взаимодействие между хребтовой и боковыми балками осуществляется через шкворневые и соседние с ними поперечные балки. Через лобовой брус и остальные поперечные балки передаются незначительные нагрузки.

Показано, что зазоры между фитингами контейнеров и упорами платформы приводят к существенному увеличению (при $\Delta_i = 0,01$ м - вдвое) продольных сил взаимодействия.

Сравнительный анализ результатов расчетов контейнерных платформ, проведенных с использованием различных расчетных схем, отличающихся степенью подробности представления исследуемого объекта, позволяет заключить, что в случае использования более подробной расчетной схемы ожидаются нагрузки несколько ниже, чем в случае менее подробной расчетной схемы, так как при этом в большей степени учитывается податливость конструкции платформы и контейнеров. В связи с этим, оценка сверху интегральных значений динамических нагрузок может быть получена с помощью упрощенных расчетных схем, а для уточнения их значений и распределения необходимо применять расчетные схемы, отражающие конструктивные особенности платформы и способ размещения и закрепления на ней перевозимого груза.

Исследования соударений сцепов показали, что прикрытие контейнерной платформы тремя груженными полувагонами позволяет снизить ее на-

груженность примерно на 40 %. Наибольшие нагрузки в платформе ожидаются при накатывании ее на вагоны в момент их наибольшей нагруженности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана уточненная (по сравнению с существующими) методика математического моделирования продольно-изгибных колебаний подвижного состава при продольных ударах на прямых участках пути, позволяющая исследовать нагруженность вагонов и их сцепов с использованием различных расчетных схем, выбираемых с учетом конструктивных особенностей исследуемого объекта и поставленной задачи.

2. Созданы алгоритм и программа для ЭВМ, позволяющие исследовать такие колебания пространственной системы тел, при которых каждое тело совершает плоские продольно-изгибные колебания, а взаимодействие между телами осуществляется с помощью упруго-вязких, упруго-фрикционных связей с зазором и связей типа "сухое трение".

3. Интегральные значения внутренних динамических усилий, возникающих в сечениях продольных балок платформы, можно достаточно точно оценить сверху с помощью расчетной схемы, представляющей платформу в виде одного стержня с переменными по длине параметрами. Для детального исследования нагруженности элементов рамы платформы и перевозимого груза следует выбирать более подробные расчетные схемы.

4. Оборудование железнодорожных платформ гидравлическими поглощающими аппаратами типа ГА-500 позволит увеличить скорость соударения, с точки зрения их прочности, более чем в два раза или существенно снизить динамические усилия при существующих скоростях.

5. Расчеты показали, что наиболее нагруженным элементом рамы платформы, как и следовало ожидать, является хребтовая балка. Основное взаимодействие между хребтовой и боковыми балками осуществляется через шкворневые и соседние с ними поперечные балки. Через остальные поперечные балки передаются незначительные усилия.

6. Наличие зазоров ($\Delta_1 = 0,01$ м) в соединении контейнеров с платформой приводит к увеличению продольных сил их взаимодействия более, чем в два раза по сравнению со случаем, когда к моменту удара зазоры выбраны.

7. В случае крепления только крайних слитков металла на платформе ее нагруженность будет меньше, чем в случае крепления каждого слитка.

8. Показано, что заклинивания и срывы, имеющие место при работе поглощающих аппаратов фрикционного типа не существенно влияют на значения динамических усилий в платформе. В связи с этим, при проведении расчетов на прочность можно пользоваться моделью поглощающего аппарата с интегральной характеристикой.

9. Установлено, что прикрытие со стороны удара в виде трех груженых полувагонов снижает динамические усилия в контейнерной платформе примерно на 40 %.

10. Изучено влияние характеристик грузов на нагруженность платформ и даны рекомендации по способу их размещения и закрепления.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Манашкин Л.А., Нечай В.Я. Применение ИЭМ к исследованию продольно-изгибных колебаний одномерных систем.- Деп. в ЦНИИТЭИ МПС № 720-78.- 33 с.

2. Манашкин Л.А., Нечай В.Я., Стугов Е.Ф., Юрченко А.В. Влияние свойств амортизаторов удара и параметров груза на нагруженность элементов платформы при продольных ударах.- В кн.: Проблемы механики наземного транспорта.- Днепропетровск: ДЭП, вып.195/24, 1977, с.18-21.

3. Гаркави Н.Я., Манашкин Л.А., Нечай В.Я., Юрченко А.В. Имитация ударных нагружений вагонов.- В кн.: Вопросы исследования надежности и динамики элементов транспортных машин и подвижного состава железных дорог.- Тула: ТПИ, 1979, с.30-37.

4. Нечай В.Я. Влияние параметров груза на динамические нагрузки, возникающие при соударениях платформ.- Деп. в ЦНИИТЭИ МПС № 1002-80.- 8 с.

5. Манашкин Л.А., Юрченко А.В., Нечай В.Я. О выборе расчетной схемы вагонов при исследовании продольно-изгибных колебаний, вызванных продольным ударом.- В кн.: Проблемы механики железнодорожного транспорта. Тезисы докладов Всесоюзной конференции (Днепропетровск, 1980).- Киев: Наукова думка, 1980, с.94-95.

6. Манашкин Л.А., Нечай В.Я., Юрченко А.В. Применение ЦМ к исследованию продольно-изгибных колебаний двух взаимодействующих криволинейных стержней при ударных нагрузках.- Деп. в ЦНИИТЭИ МПС № ПЗ7-80.- 41 с.

7. Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Нечай В.Я. Применение двумерной расчетной схемы к исследованию колебаний вагонов при продольных ударах.- В кн.: Проблемы динамики и прочности железнодорожного подвижного состава.- Днепропетровск; ДИИТ, вып.220/28, 1981, с.14-18.

8. Исследование прочности несущей конструкции локомотива при продольных динамических воздействиях / Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Нечай В.Я. и др.- В кн.: Материалы Всесоюзной конференции "Создание локомотивов большой мощности и повышение их технического уровня" (г.Воронеж, 1981 г.).- с.127.

Нечай Виктор Яковлевич

**ДИНАМИКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЛАТФОРМ ПРИ
ПРОДОЛЬНЫХ УДАРАХ В ЭКСПЛУАТАЦИИ**

05.22.07 - Подвижной состав и тяга поездов

Подписано к печати 20.II.81 БТ 60401

Формат 60х84/16. Бумага для множительных аппаратов. Ротапринт. Усл.печ.л. 1,39.

Уч.изд.л. 1. Тираж 100 экз. Зак. №1254

Бесплатно.

Участок оперативной полиграфии ДИИТа
320629, ГСП, Днепропетровск, 10,
ул. Акад. В.А.Лазаряна, 2.

НТБ
ДНУЖТ