

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР

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

На правах рукописи

МОРОЗ ВЛАДИМИР ВЛАДИМИРОВИЧ

62 9 4 6 3

УДК 621.869.888.539.4

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КРУПНО-
ТОННАЖНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ, ВАГОНОВ С ПОДВИЖНЫМИ
ГРУЗАМИ ПРИ ПРОДОЛЬНЫХ СОУДАРЕНИЯХ И ПУТИ
СНИЖЕНИЯ ИХ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ

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
1990

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 И. П. --

5481a
М80 Мороз В.В.
Напечатанное - 9999
микрофильм 8/4
1990
25.12.90 К6012

НТБ
ДНУЖТ

Актуальность темы. В связи с постоянным увеличением скоростей движения грузовых поездов, массы перевозимых в них грузов и интенсификацией маневровых операций имеют место значительные повреждения подвижного состава и перевозимых грузов. Железные дороги страны терпят большие убытки. Происходит снижение грузооборота, провозной и пропускной способности железных дорог, сказывающееся на работе всех звеньев народного хозяйства.

Наибольшее число серьезных повреждений вагонов и грузов происходит при продольном соударении вагонов в процессе маневровых операций. Следовательно, при исследовании нагруженности вагонов такому режиму следует уделять наибольшее внимание.

5481a Опыт эксплуатации некоторых типов подвижного состава показывает, что в процессе перевозки имеют место продольные и вертикальные смещения грузов и емкостей для размещения грузов относительно вагона (смещение контейнера относительно платформы, груза относительно контейнера, кожуха относительно вагона для перевозки холоднокатанной стали и т.д.). Такие смещения могут происходить за счет упругости связей или вследствие наличия зазоров в устройствах крепления и оказывают существенное влияние на динамическую нагруженность вагона и сохранность перевозимых грузов. Поэтому появляется необходимость применять такие расчетные схемы, которые бы позволили учитывать некоторые основные категории подвижных грузов, различные связи в элементах крепления, а также конструктивные особенности различных типов вагонов и грузов.

Реализация таких расчетных схем требует и новых, более точных методов решения, которые бы позволили уже на этапе проектирования учитывать нагрузки, действующие на подвижной состав при различных режимах эксплуатации, прогнозировать поведение системы "вагон-груз".

Таким образом, необходимость разработки методики и проведения теоретических исследований динамической нагруженности вагонов с подвижными грузами при продольных соударениях представляется вполне обоснованной.

Цель работы. Создание методики и проведение расчетов напряженно-деформированного состояния транспортных конструкций с учетом наличия связей между подконструкциями при различных динамических воздействиях.

Методы исследования. В работе использован метод конечных элементов в форме метода перемещений, метод главных координат, модифицированный метод Гаусса ($\Delta\Delta L^T$ – факторизация), метод прямого интегрирования Ньюмарка, метод Якоби.

Результаты теоретических исследований сравниваются с экспериментальными.

Научная новизна:

- предложены структурные схемы для описания связей между взаимодействующими подсистемами механической системы (между платформой и контейнером, контейнером и грузом, кожухом и вагоном, вагоном и грузом и др.);
 - получена в общем виде система уравнений связи для определения сил взаимодействия, доказана симметричность матрицы коэффициентов связи;
 - разработана методика проведения теоретических исследований динамической нагруженности механических систем, не зависящая от числа подсистем и количества введенных между ними связей;
- проведен анализ различных расчетных схем для исследования динамической нагруженности крупнотоннажных контейнеров при продольных ударах;
- проведено исследование напряженно-деформированного состояния крупнотоннажных контейнеров и кожухов вагона для перевозки холоднокатанной стали в случае установки на подвижной состав более энергоемких поглощающих аппаратов и модернизированных упоров.

Практическое значение. Полученные в работе результаты дают возможность уже на этапе проектирования подвижного состава определять его рациональные (по критерию сохранности грузов) конструктивные схемы и параметры, а также выявлять запасы прочности в существующих конструкциях для различных эксплуатационных нагрузок. Результаты теоретических исследований могут быть применены для определения динамической нагруженности транспортных, строительных и машиностроительных конструкций, в которых имеет место подвижность одной части конструкции относительно другой.

НТБ
ДНУЖТ

Внедрение результатов. Результаты работы используются на ПО "Днепрвагонмаш" при проектировании вагонов для перевозки холоднокатанной стали и на Ильичевском судоремонтном заводе в процессе проектирования крупнотоннажных контейнеров типа ИСС с учетом их надежной эксплуатации на железнодорожном транспорте.

Пакет программ анализа динамической нагруженности сложных систем "АДИНАС", реализующий предлагаемую методику, применяется в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта для исследования напряженно-деформированного состояния вагонов с подвижными грузами при продольных соударениях.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на Всесоюзной конференции "Проблемы механики железнодорожного транспорта" в Днепропетровске (май 1988 г.), на Всесоюзной научно-технической конференции "Перспективы развития вагоностроения" в Москве (2-4 ноября 1988 г.), на Всесоюзной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР, доктора технических наук, профессора Н.М.Беляева "Проблемы прочности материалов и сооружений на транспорте" в Ленинграде (25-26 января 1990 г.).

Результаты работы обсуждались на заседании Всесоюзного семинара "Численные методы решения задач строительной механики" в Ленинградском Доме ученых, на заседании городского семинара по механике в Днепропетровске.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 9 работах.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, списка литературы из 114 названий и содержит 153 страницы машинописного текста, в том числе 136 страниц основного текста, 39 рисунков, 8 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отмечена актуальность темы исследования, указана цель работы, дана аннотация всех глав диссертации.

В первой главе приведен обзор литературы по задачам динамики вагона, используемой при этой классификации расчетных схем вагона и груза, перечисляются основные задачи, решаемые в дис-

НТБ
ДНУЖТ

сертации.

Изучению динамики вагона и динамических усилий, действующих на вагон, процесса соударения вагонов, посвящены работы В.А.Лазаряна, Е.П.Блохина, П.С.Анисимова, Ю.П.Бороненко, С.В.Вершинского, П.Т.Гребенюка, Д.В.Демина, В.А.Камаева, С.И.Конашенко, Б.Г.Кеглина, М.А.Коротенко, В.Н.Котуранова, А.А.Львова, Л.А.Манашкина, Л.Н.Никольского, М.М.Соколова, В.Д.Хусидова.

Большой вклад в теорию и экспериментальные исследования динамики вагонов вносят коллективы научно-исследовательских лабораторий и кафедр ДИИТа, ЛИИЖТа, МИИТа, ВНИИВа, ВНИИЖТа, ряда вагоностроительных заводов.

В зависимости от целей исследования в настоящее время используется несколько расчетных схем, которые можно разбить на следующие группы:

- вагон представляется в виде абсолютно твердого тела;
- вагон представляется в виде системы абсолютно твердых тел, между которыми введены упругие связи;
- вагон представляется в виде упруго-вязкого стержня кусочно-постоянного сечения с симметрично расположенными инерционными включениями;
- вагон представляется в виде эквивалентного стержня, учитывающего его изгибную жесткость, либо в виде абсолютно твердых тел, между которыми введены упругие элементы, работающие на изгиб.

Но эти расчетные схемы не всегда позволяют учесть особенности работы отдельных конструктивных элементов вагона, что очень важно в случае ударного нагружения.

В настоящее время при решении задач динамики вагона применяются два подхода, использующие МКЭ. Первый подход состоит из двух этапов. На первом этапе используются расчетные схемы, в которых вагон представляется в виде цепочки масс, соединенных упругими или упруго-диссипативными элементами. Полученные с помощью таких расчетных схем максимальные динамические и инерционные силы используются на втором этапе, когда исследуемая часть конструкции вагона представлена конечноэлементной расчетной схемой. При этом производится статический расчет по МКЭ, а полученные на первом этапе силы используются для построения вектора правых частей разрешающей системы уравнений. Недостаток такого подхода состоит в том, что приходится использовать две расчетные схемы, из-за чего расчет производится в два

этапа.

При втором подходе составляется с применением ЭВМ система дифференциальных уравнений движения вагона, которая позволяет получить напряжения и деформации за один этап. Такой подход использовался при построении математической модели движения механической системы "железнодорожная платформа-контейнер-груз". В этой модели первоначально был реализован один тип связи – между платформой и контейнером. В реальной механической системе их значительно больше и они могут различаться по типу.

Поэтому в данной работе поставлены и решаются следующие задачи:

1. Разработать математическую модель движения механической системы "вагон-подвижный груз", предусмотрев эффективную автоматизацию вычислений не только для МКЭ, но и для вычислений, составляющих большой объем работы по определению сил взаимодействия между вагонами и грузами, а также сил в поглощающих аппаратах.
2. Разработать алгоритм нахождения матрицы коэффициентов и правых частей для построения вспомогательной системы уравнений.
3. Исследовать матрицу коэффициентов уравнений связи с целью использования эффективных методов для их решения.
4. Проверить разработанную методику на контрольном примере путем сравнения аналитического решения с решением, полученным с использованием предлагаемой методики.
5. Разработать пакет программ, реализующий предлагаемую методику исследования динамической нагруженности вагонов с подвижными грузами.
6. Проверить разработанную методику для решения нелинейных задач путем сравнения результатов теоретического исследования динамической нагруженности крупнотоннажных контейнеров с экспериментальными.
7. Провести теоретическое исследование динамической нагруженности съёмных колёсов вагонов для перевозки холоднокатанной стали.

Во второй главе вводятся основные допущения, используемые для решения поставленных задач, рассматриваются простейшая и общая математические модели вагонов с подвижными грузами для исследования динамических процессов в элементах их конструкции.

Предполагается, что:

НТБ
ДНУЖТ

- колесные пары, рамы тележек - абсолютно твердые тела, обладающие только инерционными свойствами;
- железнодорожный путь не обладает инерционными и упругими свойствами;
- рассеяние энергии учитывается только в поглощающих аппаратах и в устройствах крепления грузов;
- продольные силы, действующие на вагон, а также силы взаимодействия между вагоном и грузом, симметричны относительно продольной вертикальной плоскости.

Для автоматизации процесса формирования правых частей дифференциальных уравнений движения механической системы "вагон-подвижной груз", предлагается использовать структурные схемы. При построении структурной схемы механической системы вводятся понятия объектов механической системы, внутренних и внешних связей.

Дифференциальные уравнения движения i -го объекта механической системы может быть записано в виде:

$$M_i \ddot{U}_i(t) + C_i \dot{U}_i(t) + K_i U_i(t) = F_i(t), \quad (1)$$

$$U_i(0) = U_{i0}, \quad \dot{U}_i(0) = \dot{U}_{i0} \quad (2)$$

где

M_i, C_i, K_i - соответственно матрицы масс, демпфирования и жесткости i -го объекта;

$U_i, \dot{U}_i, \ddot{U}_i$ - соответственно векторы узловых перемещений, скоростей и ускорений;

F_i - вектор внешних нагрузок i -го объекта.

Рассматривая механическую систему в виде конечного множества объектов, между которыми действуют силы взаимодействия (внутренние или внешние связи), дифференциальное уравнение (1) с начальными условиями (2) можно переписать для всей системы:

$$M \ddot{U}(t) + C \dot{U}(t) + K U(t) = R(t), \quad (3)$$

$$U(0) = U_0, \quad \dot{U}(0) = \dot{U}_0 \quad (4)$$

где

M, C, K - квазидиагональные матрицы масс, демпфирования и жесткости;

$U, \dot{U}, \ddot{U}$ - векторы узловых перемещений, скоростей и ускорений;

НТБ
ДНУЖТ

$$R(t) = \sum_{i=1}^n B_i R_i(t),$$

$$B_i = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}^T$$

Единицы в матрице-столбце B_i показывают место приложения силы взаимодействия $R_i(t)$ и ее направление. В этой же главе приводятся модели упруго-фрикционной связи и связи типа "сухое трение".

Предположим, что

$$R_i(t+\Delta t) = R_i(t) + \bar{K}_i [q_i(t+\Delta t) - q_i(t)], \quad (5)$$

где

$\bar{K}_i$ - приведенная жесткость в точке контакта;

q_i - относительное перемещение контактирующих узлов.

Тогда сила в упруго-фрикционной связи (сила в аппарате) находится при условии, что

$$\bar{K}_i = \begin{cases} \bar{K}_n, & \text{если } R_i(q) = R_i^n(q) \\ \bar{K}_p, & \text{если } R_i(q) = R_i^p(q) \\ \bar{K}_n, & \text{если } R_i(q) = R_i^s(q) \end{cases} \quad (6)$$

а сила взаимодействия (сила между вагоном и грузом)

$$\bar{K}_i = \begin{cases} \bar{K}_r, & \text{если } R_i(q) = R_i^r(q) \\ 0, & \text{если } R_i(q) = \pm P_{rp}. \end{cases} \quad (7)$$

где

$\bar{K}_n, R_i^n$ - соответственно жесткость поглощающего аппарата и сила в нем при его нагружении;

$\bar{K}_p, R_i^p$ - то же при разгрузке;

$\bar{K}_n, R_i^s$ - то же при переходе от нагружения к разгрузке;

$\bar{K}_r, R_i^r$ - приведенная жесткость и сила взаимодействия в точке контакта "вагон-груз";

P_{rp} - сила трения между вагоном и грузом.

В третьей главе производится обоснование выбранного метода интегрирования системы дифференциальных уравнений движения, приводится описание алгоритма и программы расчета динамической нагруженности механической системы "вагон-подвижный груз". Для интегрирования уравнения движения был выбран метод Ньюмарка, который является безусловно устойчивым и удобен в реализации.

Применяя пошаговую процедуру метода Ньюмарка, получим из (3)

$$U(t+\Delta t) = \tilde{K}^{-1} \tilde{R}(t+\Delta t). \quad (8)$$

Но с учетом (5), решение нельзя записать в явном виде, т.к.

$$\tilde{R}(t+\Delta t) = f(t+\Delta t, U(t+\Delta t)).$$

Предположим, что сила взаимодействия $R_i(t)$ действует по направлению L_i степени свободы вагона и P_i степени свободы груза, столбец B_i имеет вид:

$$B_i = [0 \quad 1 \quad 0 \quad -1 \quad 0 \quad 0]^T,$$

а относительное перемещение в точке контакта:

$$q_i(t+\Delta t) = u_i(t+\Delta t) - u_{pi}(t+\Delta t),$$

$$q_i(t) = u_i(t) - u_{pi}(t).$$

С учетом этого вектор $\tilde{R}(t+\Delta t)$ из (8) запишется как

$$\tilde{R}(t+\Delta t) = \sum_{i=1}^{N_s} B_i R_i(t+\Delta t) + M[a_0 U(t) + a_1 \dot{U}(t) + a_2 \ddot{U}(t)] + C[a_1 U(t) + a_2 \dot{U}(t) + a_3 \ddot{U}(t)], \quad (9)$$

$$U(t+\Delta t) = \tilde{K}^{-1} \sum_{i=1}^{N_s} B_i R_i(t+\Delta t) + \tilde{K}^{-1} M[a_0 U(t) + a_1 \dot{U}(t) + a_2 \ddot{U}(t)] + \tilde{K}^{-1} C[a_1 U(t) + a_2 \dot{U}(t) + a_3 \ddot{U}(t)], \quad (10)$$

где

N_s — число неизвестных сил в связях.

Введем обозначения:

$$\tilde{K}_m = \tilde{K}^{-1} M[a_0 U(t) + a_1 \dot{U}(t) + a_2 \ddot{U}(t)]$$

$$\tilde{K}_c = \tilde{K}^{-1} C[a_1 U(t) + a_2 \dot{U}(t) + a_3 \ddot{U}(t)]$$

Тогда (10) в матричной форме записи будет иметь вид

$$U(t+\Delta t) = \hat{K} \hat{R}(t+\Delta t) + \tilde{K}_m + \tilde{K}_c, \quad (11)$$

где

$$\hat{R}(t+\Delta t) = [R_1(t+\Delta t) \ R_2(t+\Delta t) \ \dots \ R_i(t+\Delta t) \ \dots \ R_{N_s}(t+\Delta t)]^T,$$

$$\hat{K} = [\hat{K}_{ij}] \quad i = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, N_s}$$

Для элементов матрицы $\hat{K}$ справедлива запись

$$K_{ij} = \begin{cases} K_{i, L_i}^* - K_{i, P_i}^*, & \text{если } j = 2, N_s \\ -K_{i, L_i}^*, & \text{если } j = 1 \end{cases} \quad (12)$$

Из (11) запишем i -ю компоненту вектора перемещений:

$$u_i(t+\Delta t) = \hat{K}_{2,1} R_1(t+\Delta t) + \hat{K}_{2,2} R_2(t+\Delta t) + \dots + \hat{K}_{2,m} R_m(t+\Delta t) + \dots + \hat{K}_{2,N_s} R_{N_s}(t+\Delta t) + K_{m2} + K_{c2}, \quad (13)$$

K_{m2}, K_{c2} — i -я компонента столбцов $\tilde{K}_m, \tilde{K}_c$.

Подставляя (13) в (5)

НТБ
ДНУЖТ

$$R_2(t+\Delta t) = R_2(t) + \bar{K}_2 [(\hat{K}_{2,1} - \hat{K}_{2,1})R_1(t+\Delta t) + \dots + (\hat{K}_{2,2} - \hat{K}_{2,2}) \cdot R_2(t+\Delta t) + \dots + (\hat{K}_{2,m} - \hat{K}_{2,m})R_m(t+\Delta t) + \dots + (\hat{K}_{2,n_2} - \hat{K}_{2,n_2})R_{n_2}(t+\Delta t) + (K_{2c_2} - K_{2p_2}) - Q_2(t)], \quad (I4)$$

и выполнив соответствующие преобразования, получим линейное алгебраическое уравнение с неизвестными силами в левой части

$$-\bar{K}_2(\hat{K}_{2,1} - \hat{K}_{2,1})R_1(t+\Delta t) - \dots - [\bar{K}_2(\hat{K}_{2,2} - \hat{K}_{2,2}) - 1]R_2(t+\Delta t) - \dots - \bar{K}_2(\hat{K}_{2,m} - \hat{K}_{2,m})R_m(t+\Delta t) - \dots - \bar{K}_2(\hat{K}_{2,n_2} - \hat{K}_{2,n_2})R_{n_2}(t+\Delta t) = R_2(t) + \bar{K}_2[(K_{2c_2} - K_{2p_2}) - Q_2(t)]. \quad (I5)$$

Если выполнять подобные действия для всех сил, то получим систему уравнений типа (I5).

Таким образом для нахождения N_2 сил в связях имеем систему из N_2 линейных алгебраических уравнений. Полученную систему уравнений назовем уравнениями связи

$$A\hat{R}(t+\Delta t) = Z, \quad (I6)$$

где

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 - \bar{K}_i(\hat{K}_{i,i} - \hat{K}_{p,i,i}), & \text{если } i=j \\ -\bar{K}_i(\hat{K}_{i,j} - \hat{K}_{p,i,j}), & \text{если } i \neq j \end{cases} \quad (I7)$$

$$Z_i = R_i(t) + \bar{K}_i[(K_{ic_i} - K_{ip_i}) - Q_i(t)]. \quad (I8)$$

Если разделить каждое уравнение (I6) на $\bar{K}_i$, получим систему уравнений с симметрической матрицей коэффициентов.

Часто на практике при исследовании кратковременных ударных процессов эффект демпфирования не учитывается, а матрицу масс принимают диагональной. Тогда правые части системы (I6) будут иметь вид:

$$Z_i = R_i(t) + \bar{K}_i \left[\sum_{j=1}^{n_j} (K_{i,j}^* - K_{p,i,j}^*) m_j (a_{i,j} u_j(t) + a_{i,j} \dot{u}_j(t) + a_{i,j} \ddot{u}_j(t)) - Q_i(t) \right].$$

Вектор сил взаимодействия $\hat{R}$ определяется из решения системы связи (I6). Он используется для нахождения вектора узловых перемещений из выражения (II). Следует отметить, что вектор узловых перемещений U найден для того же момента времени, что и вектор сил взаимодействия $\hat{R}$. Вектор узловых перемещений U используется для определения вектора напряжений σ в соответствии с процедурой МКЭ:

$$\sigma = E \varepsilon,$$

где E - матрица упругих свойств конструкции;

ε - вектор деформаций.

Скорости и ускорения узлов конструкции определяются в соответствии с процедурой Ньюмарка.

Описанная методика была реализована в пакете прикладных программ (ППП) "АДИНАС". В диссертации приведена схема функционирования ППП "АДИНАС" и дается описание работы его основных блоков и программ.

Раздел 3.3 посвящен апробации методики на контрольном примере. Для апробации методики использовалось три подхода:

- 1) аналитический (метод разложения по собственным формам колебаний);
- 2) численный (используется метод Ньюмарка для интегрирования систем дифференциальных уравнений движения);
- 3) основанный на предложенной методике исследования динамической нагруженности при продольных ударах (вводятся силы взаимодействия между подсистемами механической системы, для интегрирования дифференциальных уравнений движения механической системы используется метод Ньюмарка).

Сравнительный анализ результатов, полученных путем решения с использованием всех подходов, говорит о правильном выборе метода интегрирования системы дифференциальных уравнений и приемлемости предложенной методики в целом.

В четвертой главе разработанная методика используется для исследования динамической нагруженности крупнотоннажных контейнеров при продольных соударениях вагонов. При этом, в зависимости от целей исследования, предлагается несколько расчетных схем (плоских и пространственных). Упрощенная плоская расчетная схема предназначена для определения нагруженности нижней продольной балки и для исследования влияния параметров поглощающих аппаратов и связи "платформа-контейнер" на уровень сил взаимодействия. Пространственные расчетные схемы используются для исследования напряженно-деформированного состояния всех элементов конструкции контейнера и платформы. Время счета при этом составляет 25-30 минут на ЕС-1046.

Результаты теоретических исследований показали, что основными причинами, которые приводят к повреждению контейнеров, являются высокие скорости соударения вагонов, несовершенство устройств крепления контейнеров к платформе (наличие зазора), отсутствие на платформах-контейнерах достаточно энергоемких

поглощающих аппаратов (что подтверждается опытом эксплуатации).

В разделе 4.2 приведены графические зависимости силы взаимодействия между контейнером и платформой от времени для различных скоростей соударения и величин зазоров в устройствах крепления, показано влияние величины хода аппарата на величину силы взаимодействия. Скорости варьировались в диапазоне от 2 м/с до 4,2 м/с, а зазоры – от 0 мм до 30 мм. Результаты показали, что при увеличении скорости соударения и величины зазора значительно возрастают продольные силы, действующие на контейнер, а следовательно и напряжения в нижней продольной балке и торцевой стенке.

Так, при отсутствии зазоров в устройствах крепления контейнера и скорости соударения 2 м/с напряжения в нижней продольной балке и торцевой стенке равны соответственно 170 МПа и 190 МПа, а при скорости соударения 4,2 м/с эти напряжения уже достигают статического предела текучести – 300 МПа и 310 МПа. Если скорость соударения 4,2 м/с, а зазор в устройствах крепления равен 5 мм, то напряжения возрастают до 350 МПа и 370 МПа. С дальнейшим увеличением зазора напряжения достигают динамического предела текучести и уже при 30 мм превышают его.

Ввиду того, что скорости соударения вагонов в условиях эксплуатации высоки и вряд ли возможно их снижение, остается два пути снижения динамической нагруженности контейнеров. Первый заключается в модернизации устройств крепления. Это могут быть крепления, реализованные в виде подпружиненного упора на платформе или такие, которые бы позволили исключить подвижность контейнеров относительно платформы. Расчеты для случая подпружиненных упоров показали, что продольные силы снижаются в несколько раз по сравнению с серийной платформой.

Второй путь – установка более энергоемких поглощающих устройств. В связи с этим были проведены расчеты для аппаратов с ходом 200 и 300 мм. При этом максимальное значение силы взаимодействия снижалось на 15–20%. Поэтому необходимо разрабатывать новые поглощающие аппараты или выпускать платформы с плавающей хребтовой балкой.

В разделе 4.3 производится сравнительный анализ результатов теоретического исследования динамической нагруженности контейнеров с результатами эксперимента.

Для случая, когда зазоры в устройствах крепления отсутствуют, расчетные максимальные напряжения в нижней продольной балке и торцевой стенке при скорости соударения 2 м/с равны соответственно 170(250) МПа и 190(120) МПа, а при скорости 3 м/с — 245(300) МПа и 260(230) МПа. При наличии зазора 30 мм эти напряжения принимают значения 420(350) МПа и 380(300) МПа для скорости соударения 2 м/с, 480(450) МПа и 420(330) МПа для скорости соударения 3 м/с. В скобках указаны напряжения, полученные в результате экспериментальных исследований.

Удовлетворительное совпадение результатов расчета с результатами эксперимента говорит о правильном выборе расчетной схемы и возможности использования разработанной методики для исследования динамической нагруженности механической системы "железнодорожная платформа-контейнер-груз" при продольном соударении.

В пятой главе приведено описание теоретических исследований напряженно-деформированного состояния съемных кожухов вагонов для перевозки холоднокатанной стали при продольных соударениях и даны рекомендации по снижению их динамической нагруженности.

Раздел 5.1 посвящен описанию основных параметров системы "вагон-груз-кожух" и выбору расчетной схемы вагона и кожуха. Разработанная расчетная схема представляет собой пространственную пластинчато-стержневую систему. Ввиду симметрии вагона рассматривалась половина его конструкции.

Анализ результатов расчета, приведенный в разделе 5.2 показал, что основными причинами, влияющими на динамическую нагруженность съемных кожухов, являются:

- скорость соударения вагона;
- величина зазора в креплении кожуха;
- степень подвижности груза относительно рамы вагона.

Зависимости максимальных значений силы в аппарате (как для случая подвижного груза, так и закрепленного) показывает, что при увеличении скорости соударения с 1,5 м/с до 3 м/с сила в аппарате возрастает в два раза, а соответствующие этим скоростям соударения напряжения в обвязке кожуха изменяются с 210 МПа до 530 МПа. Следует также отметить, что с ростом скорости соударения напряжения в обвязке первого кожуха изменяются более быстро, чем в обвязке второго.

Расчеты, выполненные при различной величине зазора (вари-

НТБ
ДНУЖТ

ровался от 0 мм до 25 мм) в креплении кожуха показали, что сила в аппарате при этом незначительно уменьшается: с 1367 кН для $\Delta = 0$ мм до 1372 кН для $\Delta = 25$ мм, а силы взаимодействия (между рамой вагона и кожухом) и напряжения в обвязке кожуха резко возрастают. Например, при величине зазора $\Delta = 0$ мм наибольшие напряжения в обвязке первого и второго кожуха при скорости соударения 4,2 м/с составляют соответственно 123 МПа и 108 МПа. Но, при увеличении зазора до 5 мм они достигают статического предела текучести, а при $\Delta = 25$ мм эти напряжения равны соответственно 665 МПа и 619 МПа, что намного больше динамического предела текучести.

Проведены были также расчеты и для случая, когда подвижными являются не только кожухи, но и грузы, расположенные в двух грузовых отсеках. Результаты таких расчетов показали, что с увеличением допускаемых смещений груза, сила в аппарате уменьшается, а силы взаимодействия возрастают. Так, при скорости соударения 2 м/с, величине зазора в креплении кожуха 25 мм и допустимом смещении груза 5 мм сила в аппарате равна 1303 кН, силы взаимодействия между первым кожухом и рамой вагона – 260 кН, между вторым кожухом и рамой вагона – 258 кН. Если же допустимое смещение увеличить до 10 мм, то сила в аппарате уменьшится до 1241 кН, силы взаимодействия увеличиваются соответственно до 284 кН и 273 кН, а напряжения в обвязке кожухов составят 300–330 МПа. При увеличении скорости соударения до 3 м/с, напряжения возрастают до 540 МПа в обвязке первого кожуха и до 500 МПа в обвязке второго.

Для снижения динамической нагруженности кожухов предлагается устранить зазоры в креплении кожухов к раме вагона и закреплять грузы от продольных смещений. Возможно также переоборудование упоров на раме вагона так, чтобы кожухи устанавливались в своеобразные ячейки. Это дает возможность устранить растягивающие усилия в обвязке кожуха.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

I. Разработана методика проведения теоретических исследований напряженно-деформированного состояния транспортных конструкций с учетом наличия связей между подконструкциями при различных динамических воздействиях. Связи могут быть линейными и нелинейными. Для описания связей между взаимодействующими подкон-

трукциями разработаны структурные схемы.

2. Разработаны алгоритм и пакет программ, реализующий данную методику.

3. Проведена апробация предложенной в работе методики на контрольном примере. Результаты, полученные с использованием разработанной методики, сравнивались с результатами аналитического решения.

4. Проведено теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния крупнотоннажных контейнеров при продольных соударениях. Установлено влияние скорости соударения, величины зазоров в устройствах крепления контейнеров к платформе и типа поглощающего аппарата на динамическую нагруженность контейнеров. Сравнение результатов расчета с результатами натурных испытаний подтвердило возможность использования разработанной методики для исследования динамической нагруженности вагонов с подвижными грузами.

5. Даны рекомендации по снижению динамической нагруженности крупнотоннажных контейнеров. Подтверждено расчетами эффективное использование подпружиненных упоров для крепления контейнеров на платформе.

6. Проведено теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния съемных кожухов вагонов для перевозки холоднокатанной стали. Установлено влияние скорости соударения, величины зазора в устройствах крепления кожухов к раме вагона и степени подвижности груза на динамическую нагруженность кожухов. Предложены рекомендации по снижению их динамической нагруженности.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Радзиховский Ю.А., Кострица С.А., Мороз В.В. Применение метода конечных элементов к расчету на прочность крупнотоннажного контейнера // Проблемы динамики и прочности подвижного состава: Межвуз. сб. научн. тр. – Днепропетровск:ДМИТ, 1984. – С. 62–67.

2. Барбас И.Г., Кострица С.А., Мороз В.В. Исследование нагруженности крупнотоннажных контейнеров при соударениях вагонов // Перспективы развития вагоностроения: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции (Москва, ноябрь 1983) – М.:ВНИИВ, 1988, С.105–106.

3. Барбас И.Г., Мороз В.В., Поплавская А.Р., Мякишев В.И. Тео-

ретическое исследование нагруженности крупнотоннажных контейнеров в условиях эксплуатации и пути совершенствования их конструкции // Проблемы механики железнодорожного транспорта: Тезисы докладов Всесоюзной конференции (Днепропетровск, май 1988) - Днепропетровск: ДИИТ, 1988. - с.130.

4. Барбас И.Г., Мороз В.В. Математическое моделирование динамической нагруженности подвижного состава с учетом подвижности груза - М., 1989. - II с. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС, № 4966/89.

5. Кострица С.А., Мороз В.В. Реализация конечнэлементного подхода в задачах расчета на прочность подвижного состава при продольных соударениях. - М., 1989. - 5 с. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС, № 4967/89.

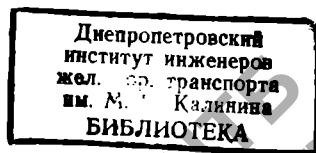
6. Мороз В.В. Моделирование сил взаимодействия между контейнером и платформой при наличии зазоров в устройствах крепления // Колебания и динамические качества железнодорожного подвижного состава: Межвуз. сб. научн. тр. - Днепропетровск: ДИИТ, 1989. - Вып.266/36. - С.71-76.

7. Мороз В.В., Бадикова Л.С., Кострица С.А., Довгань М.П. Об одном методе решения задачи о нагруженности крупнотоннажных контейнеров с учетом их подвижности при продольном ударе. - М., 1989. - 12 с. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС, № 4725/89.

8. Блохин Е.П., Кострица С.А., Мороз В.В. Напряженно-деформированное состояние крупнотоннажных контейнеров при статических и ударных нагружениях // Проблемы прочности материалов и сооружений на транспорте: Тезисы докладов Всесоюзной конференции (Ленинград, январь 1990 г.). - Ленинград: ЛИИЖТ, 1990. - С.85-86.

9. Кострица С.А., Мороз В.В., Телегин В.М. Нагруженность крупнотоннажных контейнеров с учетом их подвижности при продольном ударе // Динамическая нагруженность железнодорожного подвижного состава: Межвуз. сб. научн.тр. - Днепропетровск: ДИИТ, 1988.- С. 108-114.

В.В. Мороз



МОРОЗ Владимир Владимирович

Напряженно-деформированное состояние крупно-
тоннажных контейнеров, вагонов с подвижными
грузами при продольных соударениях и пути
снижения их динамической нагруженности

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог и
тяги поездов

Подписано к печати 19.05.90 БТ 70024.

Формат 60X80 1/16 Бумага для множительных
аппаратов. Усл.печ.л. 1,0 Уч.-изд. л. 1,0.
Тираж 100 экз. Зак. 626 Бесплатно

Участок оперативной полиграфии ДИИТа.
320700, ГСП, Днепропетровск, 10, ул. Академика
В.А. Лазаряна, 2.

НТБ
ДНУЖТ