

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
имени М.И.КАЛИНИНА

На правах рукописи

629 463. 6

Татарчук Владимир Васильевич

УДК 624.073.33.001.24

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ
ВАГОНОВ-САМОСВАЛОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗКАХ

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

1983

НТБ
ДНУЖТ

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

Научные руководители:

Заслуженный деятель науки УССР, академик АН УССР, доктор технических наук, профессор В.А.ЛАЗАРИН;
кандидат технических наук, доцент И.Г. БАРЕАС.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор А.А.ЛЬВОВ;
кандидат технических наук Н.М.ХАЧАТУРИДЗЕ.

Ведущее предприятие - Всесоюзный научно-исследовательский институт вагоностроения.

Защита диссертации состоится "24" февраля 1983 г.
в _____ ч _____ мин на заседании специализированного совета
К 114.07.01 в Днепропетровском ордена Трудового Красного Зна-
мени институте инженеров железнодорожного транспорта им. М.И.Ка-
линина по адресу: 320629, ГСП, г. Днепропетровск, 10, ул. Лаза-
ряна, 2, ДИИТ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Поверніть книгу не пізніше
зазначеного терміну

24/02/83	Вірно		

НТБ
ДНУЖТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

6694a

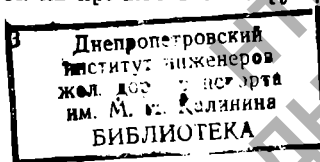
Актуальность темы. Новые рубежи развития нашей страны, намеченные XXVI съездом КПСС и нашедшие отражение в "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года", ставят перед железнодорожным транспортом ряд важных задач, направленных на полное и своевременное удовлетворение потребностей народного хозяйства. Дальнейшее развитие горнорудной промышленности требует создания мощных экскаваторов, а в связи с этим увеличения грузоподъемности транспортных средств и улучшения их технико-экономических показателей. Саморазгружающиеся вагоны (думпкары) являются основным видом транспорта, используемого для перевозки грузов горнорудной промышленности.

Для обеспечения высокой эксплуатационной надежности думпкаров необходимо на стадии проектирования проводить детальный анализ нагруженности основных элементов вагона. Методы расчета, ранее применяемые на вагоностроительных заводах, недостаточно отражают особенности конструкции и условия эксплуатации. Исследования, проведенные в работе, позволяют оценить прочность элементов конструкции вагона-самосвала при различных эксплуатационных нагрузках и еще на этапе проектирования выбрать рациональные параметры кузова и верхней рамы думпкара.

Целью работы является

- разработка алгоритма и математического обеспечения, позволяющих проводить исследование напряженно-деформированного состояния элементов вагона-самосвала. Расчетная схема думпкара выбирается в виде пространственной стержневой или пластинчато-стержневой системы;

- разработка методики расчета на прочность конструкции ваго-



на- самосвала при действии различных эксплуатационных нагрузок;

- проведение исследования напряженного состояния конструкции думпкара, позволяющего на этапе проектирования выбирать рациональные параметры верхней рамы вагона.

Методы исследования. В работе применен метод конечных элементов в форме метода перемещений. Определение ударной силы (при исследовании ударного нагружения) проводилось в рамках теории С.П.Тимошенко. Для определения частот и форм собственных колебаний вагона использовался метод Гивенса.

Научная новизна:

- применён метод конечных элементов к исследованию нагруженности думпкара, представляемого пространственной пластинчато-стержневой системой;

- получена матрица жесткости стержня переменного по высоте поперечного сечения. Этот конечный элемент применён при расчете стоек кузова и других элементов вагона-самосвала;

- предложен способ определения динамических напряжений, возникающих в элементах конструкции думпкара при ударе глыбой;

- проведен анализ различных расчетных схем для оценки нагруженности думпкара. Показано какие расчетные схемы целесообразно применять для расчета на прочность вагона-самосвала при конкретном эксплуатационном режиме.

Практическая ценность и внедрение результатов работы.

Разработанная уточненная (по сравнению с ранее применяемыми) методика позволяет исследовать напряженно-деформированное состояние вагона-самосвала при различных эксплуатационных нагрузках.

Результаты работы внедрены на Калининградском вагоностроительном заводе. Отделом главного конструктора по данной методике проведен расчет на прочность думпкара ВС-136 м (модель

31-653). Исследовано напряженное состояние проектируемого думпкара грузоподъемностью 145 т (модель 34-667). Выбраны рациональные параметры конструкции верхней рамы. С учетом результатов проведенного исследования отделом главного конструктора Калининградского вагоностроительного завода разработан проект вагона. Построена опытная партия думпкаров модели 34-667.

Алгоритмы и программы для ЭВМ ЕС-1050, полученные в работе, используются в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта при исследовании напряженно-деформированного состояния различных инженерных конструкций.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на X и XI научно-технических конференциях молодежи (г. Кривой Рог, 1979 и 1980 гг.), Всесоюзной конференции "Проблемы механики железнодорожного транспорта" (г. Днепропетровск, 1980), научно-технической конференции молодых ученых и специалистов железнодорожного транспорта, посвященной 63-летию ВЛКСМ (г. Днепропетровск 1981), У тематической конференции "Практическая реализация численных методов расчета инженерных конструкций" (г. Ленинград, 1981), городском научном семинаре по общей механике (г. Днепропетровск, 1982).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 15 печатных работ.

Структура работы обусловлена необходимостью постановки задачи, описания расчетных схем и способов расчета, изложения результатов теоретических исследований и их сопоставления с экспериментами.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, постановки задачи (первая глава), четырех глав основного содержания, заключения и приложений. Работа содержит 140 страниц машинописного текста, 52 рисунка, 19 таблиц, список литературы из 148

наименований и 6 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дается общая характеристика вагонов-самосвалов, краткое описание истории их развития, конструктивные особенности думпкаров. Рассматриваются методы расчета вагонов на прочность. Обосновывается целесообразность применения метода конечных элементов (МКЭ) к исследованию напряженно-деформируемого состояния конструкции вагона-самосвала при различных эксплуатационных нагрузках.

Саморазгружающиеся вагоны обладают рядом положительных качеств. К их числу можно отнести простоту в эксплуатации, высокую грузоподъемность, способность воспринимать большие ударные воздействия во время загрузки, быструю механизированную разгрузку кузова. Все это привело к тому, что думпкары получили широкое распространение в различных отраслях народного хозяйства страны, главным образом на промышленном железнодорожном транспорте. Исследования по разработке теоретических основ, определению эффективности и рациональных областей использования карьерного подвижного состава нашли свое отражение в трудах А.О.Спиваковского, М.В.Васильева, М.Г.Новожилова, М.Г.Потапова, Л.Д.Кузьмича, А.И.Логинова, В.С.Плоткина и других авторов.

Разработке теоретических и экспериментальных методов исследования нагруженности вагонов и поездов в эксплуатации посвящены работы М.З.Винокурова, А.А.Попова, Л.Н.Никольского, С.В.Вершинского, Л.А.Шадура, В.Н.Котуранова, В.А.Лазаряна, Е.П.Блохина, А.А.Львова, М.Л.Коротенко, Л.А.Манашкина, В.Ф.Ушколова и других авторов.

В вагонах, в т.ч. и в вагонах-самосвалах, нагружение одного

из элементов конструкции может вызывать существенное изменение напряженного состояния многих других элементов. Поэтому при расчете думпкаров необходимо рассматривать совместную работу верхней рамы, бортов, нижней рамы и других узлов. Однако, из-за высокой степени статической неопределимости расчетной схемы, приводящей к большим вычислениям, это не проводилось. Применяемая ранее в конструкторских бюро вагоностроительных заводов методика расчета на прочность кузовов думпкаров позволяет в принципе получить удовлетворительные результаты для некоторых элементов конструкции при определенных видах нагружения.

Однако следует отметить, что:

- необходим сложный анализ влияния различного рода упрощений, вводимых в расчетную схему и схему нагружения;
- расчеты связаны с большим объемом ручных вычислений, так как алгоритм исследования не приспособлен к программированию на ЭВМ;
- не учитывается (во многих случаях) совместная работа различных элементов конструкции, влияние подкреплений, дополнительные ослабления, вспомогательные вырезы и тому подобное;
- отсутствует достоверная методика расчета на ударные нагружения;
- отсутствует единая расчетная схема при анализе напряженного состояния конструкций различного вида кузовов;
- невозможен многовариантный предпроектный расчет, с целью выбора рациональных параметров конструкции, а также имеет место ряд других менее существенных недостатков.

В связи с бурным развитием электронной вычислительной техники широкое применение получил расчет конструкций на основе метода конечных элементов. Популярность МКЭ объясняется рядом важных преимуществ, которые позволяют разработать методику

расчета на прочность конструкции кузова и нижней рамы вагонов-самосвалов с применением ЭВМ.

Во второй главе рассмотрены различные режимы эксплуатации думпкаров и приведены нагрузки, возникающие при этих режимах. Введены основные допущения при выборе расчетных схем. Дан алгоритм расчета конструкции на прочность методом конечных элементов. Получена матрица жесткости и матрица эквивалентных узловых нагрузок для стержня переменного поперечного сечения. Описаны особенности реализации МКЭ на ЭВМ типа ЕС при расчете думпкаров на прочность. Проведен анализ напряженного состояния верхней рамы вагона-самосвала ТВС-165 при различных расчетных схемах (исследовалась нагруженность верхней рамы при движении в поезде и при погрузке одиночной глыбы большого веса на незащищенный пол вагона). Даны конкретные рекомендации по выбору рациональной расчетной схемы.

При расчете на прочность вагонов, эксплуатируемых на путях МПС, в нормах установлены три расчетных режима, в каждом из которых учитывается определенная совокупность эксплуатационных нагрузок. Для условий транспортировки порожних думпкаров по путям МПС расчет на прочность проводится только по I и III режимам. При эксплуатации думпкаров на путях промышленного транспорта кроме режимов, соответствующих движению вагона в поезде, дополнительно рассматривается погрузка, выгрузка и ремонт вагона-самосвала. При погрузке исследуется нагруженность кузова и нижней рамы на удар падающей глыбой в центр вагона и в область шкворня. При разгрузке расчет производится в начальный момент отрыва кузова от нижней рамы (груз не смещается) и при наклоне кузова. При ремонте думпкара возможны три способа подъема вагона: подъем груженного вагона с одной стороны за шкворневые или ремонтные кронштейны, подъем груженного вагона за один ко-

нец хребтовой балки и подъем порожнего вагона по диагонали за ремонтные кронштейны. Величины и места приложения нагрузок, соответствующих эксплуатационным режимам, приведены в нормах для расчета на прочность и проектирование думпкарлов ксели 1524 мм.

В данной главе рассматривается также определение матрицы жесткости для стержня переменного поперечного сечения. Высота изменяется по линейному закону. Стержень состоит из четырех пластин жестко соединенных в коробчатое сечение. Расчетную схему некоторых стоек для продольных бортов представляем таким стержнем. Расчетная схема кронштейна нижней рамы может быть приближенно представлена таким же стержнем. Рассматривается изгиб стержня в двух плоскостях, кручение и растяжение или сжатие. Элементы матрицы жесткости \mathcal{E}_{ik} имеют вид.

$$\mathcal{E}_{ik} = \begin{cases} E \int_0^l J_z(x) f_i''(x) f_k'(x) dx, & i=\overline{1,4}; k=\overline{1,4} & \text{— изгиб в плоскости } xy, \\ E \int_0^l J_y(x) f_i''(x) f_k'(x) dx, & i=\overline{5,8}; k=\overline{5,8} & \text{— изгиб в плоскости } xz, \\ G \int_0^l J_k(x) f_i'(x) f_k'(x) dx, & i=\overline{9,10}; k=\overline{9,10} & \text{— кручение,} \\ E \int_0^l F(x) f_i(x) f_k'(x) dx, & i=\overline{11,12}; k=\overline{11,12} & \text{— растяжение (сжатие).} \end{cases}$$

Здесь $J_z(x)$, $J_y(x)$, $J_k(x)$, $F(x)$ — соответственно осевые моменты инерции относительно осей z и y , геометрическая характеристика при кручении и площадь поперечного сечения;

l — длина конечного элемента; $f_i(x)$ — базисные функции.

Расчетная схема думпкара представляет собой комбинацию стержней переменного поперечного сечения, стержней постоянного поперечного сечения, изгибаемых изотропных и ортотропных пластин.

Расчетные схемы следует выбирать такими, чтобы они, по возможности, достаточно полно отражали особенности рассматриваемой

конструкции и способы её нагружения, позволяли получить необходимую точность определения искомых величин (перемещений, внутренних усилий, напряжений) и обеспечивали экономически приемлемую трудоемкость вычислительных работ. В работе исследовано напряженное состояние элементов верхней рамы думпкара ТЭС-165 при следующих расчетных схемах:

1. Балочный ростверк (расчетная схема верхней рамы) на шарнирно-неподвижных опорах.
2. Балочный ростверк, опирающийся в 40 точках на хребтовую балку.
3. Балочный ростверк, опирающийся в 20 точках на нижнюю раму (учитывается работа кронштейнов).
4. Ортотропная пластина (пол) жестко соединенная с балочным ростверком, опирающимся на хребтовую балку.
5. Балочный ростверк, опирающийся на хребтовую балку. С ростверком соединены продольные борта и лобовые стенки.

Сравнение результатов расчета показало, что использование первой и второй схем по сравнению с пятой приводит к большим погрешностям при определении напряжений в элементах верхней рамы думпкара. Учет работы кронштейнов (третья схема) приводит к увеличению напряжений в конструкции вагона не более чем на 2%. Максимальные напряжения в балках верхней рамы при учете влияния настила пола (четвертая схема) снижаются до 10%. Картина распределения усилий в элементах рамы не искажается. Включение в работу продольного борта, имеющего значительную изгибную жесткость (пятая схема), существенно повлияло на характер распределения по длине и величину изгибающих моментов в боковой продольной балке (по сравнению со схемой 2 максимальные напряжения снизились в 2,6 раза).

Очевидно, более близкой к реальной конструкции является

пространственная пластинчато-стержневая система, учитывающая совместную работу продольных бортов, лобовых стенок, настила пола, верхней рамы, хребтовой балки и кронштейнов. Но при многовариантных расчетах по выбору рациональных параметров конструкции думпкара такие схемы приводят к большим затратам машинного времени. Поэтому более целесообразно при предпроектных исследованиях прочности верхней и нижней рам думпкара применять пятую расчетную схему, учитывая, что пол снижает максимальные напряжения в элементах верхней рамы на 5-10%. Если же необходимо произвести окончательный расчет на прочность вагона-самосвала на различные эксплуатационные нагрузки, то следует применять более полные расчетные схемы.

В третьей главе предложен способ определения динамических напряжений, возникающих в элементах верхней и нижней рам вагона-самосвала при ударном нагружении сосредоточенным грузом.

Анализ повреждаемости думпкаров на горнообогастительных комбинатах показывает, что основная часть разрушений происходит в процессе погрузки. Согласно техническим условиям эксплуатации перед загрузкой глыбами большой массы на пол вагона должен быть насыпан защитный слой. Однако, на практике не всегда удается выполнить это требование. Поэтому за основной режим исследования напряженно-деформированного состояния конструкции думпкара при загрузке принимается удар глыбой большого веса по незащищенному полу вагона.

Определение динамических напряжений в элементах конструкции вагона-самосвала при ударном нагружении проводится в два этапа. На первом этапе определяется ударная сила $P(t)$, возникающая в зоне удара при падении груза. Затем (второй этап исследования), по известной ударной силе отыскиваются динамические перемещения, внутренние усилия и напряжения.

НТБ
ДНУЖТ

Для определения ударной силы (силы контактного взаимодействия) используется уравнение поперечного упругого удара С.П.Тимошенко

$$V_0 t - \int_0^t \int_0^t \frac{P(t)}{M_T} dt dt = \bar{K} P(t) + q_n(t) \quad (1)$$

где V_0 - скорость падающего тела в начальный момент контакта, M_T - масса падающего тела, \bar{K} - коэффициент, зависящий от формы и материала соударяющихся тел, $q_n(t)$ - перемещение ударяемой системы в точке удара.

Для определения перемещения системы в точке удара исследуются колебания конструкции вагона. Например, при центральном ударе расчетная схема думпкара может быть выбрана в виде вертикальной цепочки n абсолютно твердых тел, соединенных упругими связями. Движение такой цепочки тел описывается следующей системой линейных дифференциальных уравнений

$$M \ddot{q} + C q = P \quad (2)$$

где M - матрица инерционных коэффициентов, q - матрица-столбец обобщенных координат, C - матрица квазиупругих коэффициентов, P - матрица-столбец обобщенных сил. Здесь

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_n \end{bmatrix}, \quad q = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_n \end{bmatrix},$$

$$C = \begin{bmatrix} K_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & 0 \\ 0 & 0 & \dots k_{n-1} + k_n \end{bmatrix}, \quad P = \begin{bmatrix} P(t) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Ударная сила $P(t)$ определяется численно, из совместного решения уравнения С.П.Тимошенко (1) и системы дифференциальных уравнений (2). Для определения напряжений в дальнейшем будет использоваться ударный импульс S . Его величина отыскивается с помощью численного интегрирования ударной силы.

Динамические напряжения в элементах конструкции (второй этап исследования) определяются из рассмотрения собственных колебаний вагона при импульсном возбуждении.

Расчетная схема вагона-самосвала выбирается в виде пространственной стержневой системы. Масса конструкции сосредотачивается в узлах.

Применив принцип Даламбера, получаем систему дифференциальных уравнений, описывающих колебания думпкара. Эти уравнения, записанные в форме разрешающих уравнений метода конечных элементов имеют вид

$$\tilde{z}\tilde{Z} = R_p \quad (3)$$

где \tilde{z} - матрица жесткости, \tilde{Z} - матрица-столбец узловых перемещений, R_p - матрица-столбец реакций от внешних нагрузок (сил инерции). Эти матрицы имеют вид

$$\tilde{z} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{1m} & z_{1,m+1} & z_{1,m+n} \\ z_{m1} & z_{mm} & z_{m,m+1} & z_{m,m+n} \\ z_{m+1,1} & z_{m+1,m} & z_{m+1,m+1} & \dots z_{m+1,m+n} \\ z_{m+n,1} & \dots z_{m+n,m} & z_{m+n,m+1} & z_{m+n,m+n} \end{bmatrix}, \tilde{Z} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_m \\ z_{m+1} \\ \dots \\ z_{m+n} \end{bmatrix}, R_p = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -m_1 \ddot{z}_{m+1} \\ \dots \\ -m_n \ddot{z}_{m+n} \end{bmatrix}$$

Здесь z_1, \dots, z_m - угловые перемещения узлов, z_{m+1}, \dots, z_{m+n} - линейные перемещения узлов, m_1, \dots, m_n - величины сосредоточенных масс. При составлении матрицы-столбца реакций R_p силы инерции, связанные с поворотом узлов не учитывались. Поэтому в первых уравнениях системы (3) правые части равны нулю, и следовательно, порядок системы можно понизить.

Исключив угловые перемещения, получаем

$$BZ = -M\ddot{Z} \quad (4)$$

где

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & b_{2n} \\ b_{m1} & b_{m2} & b_{mn} \end{bmatrix}, M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & m_2 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & m_n \end{bmatrix}, Z = \begin{bmatrix} z_{n+1} \\ z_{m+2} \\ z_{m+n} \end{bmatrix}.$$

Решение системы (4) имеет вид

$$Z = \sum_{k=1}^n \frac{h_k h_k^T M}{h_k^T M h_k} \left[Z(0) \cos \vartheta_k t + \frac{1}{\vartheta_k} \dot{Z}(0) \sin \vartheta_k t \right] \quad (5)$$

(Значком T обозначена операция транспонирования матрицы). В этой формуле $h_k = [h_{1k} \ h_{2k} \ \dots \ h_{nk}]^T$ - k -й собственный вектор, ϑ_k - k -я частота собственных колебаний, $Z(0)$ и $\dot{Z}(0)$ - векторы начальных условий.

Частоты и формы собственных колебаний отыскивались с помощью метода Гивенса.

Пусть удар падающим грузом производится по массе m_j . Тогда скорость этой массы в конце удара будет

$$\dot{z}_j = \frac{s}{m_j} \quad (6)$$

Вектор начальных перемещений $Z(0)$ равен нулю, а в векторе начальных скоростей отлична от нуля только компонента \dot{z}_j определяемая по формуле (6). Используя начальные условия и перемножив матрицы, которые входят в (5), получим

$$Z = \sum_{k=1}^n a_k h_k \sin \vartheta_k t$$

где

$$a_k = \frac{s h_{jk}}{\vartheta_k \sum_{i=1}^n m_i h_{ik}^2}$$

Таким образом, в любой момент времени можно определить линейные, а затем и угловые перемещения узлов. Усилия и напряжения в элементах конструкции думпкара от этих перемещений определяются с помощью МКЭ.

В качестве примера рассмотрено определение динамических напряжений в элементах верхней рамы физической модели думпкара ТВС-165 (в 1/5 натуральной величины).

В четвертой главе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований прочности физической модели думпкара ТВС-165 при ударном нагружении (центральный удар) и при вертикальной статической нагрузке. Результаты аналитических исследований напряженного состояния натурных вагонов-самосвалов ТВС-60 и ТВС-105 сопоставлены с экспериментами.

С целью отработки методики расчета на прочность вагонов-самосвалов было проведено экспериментальное и аналитическое исследование напряженного состояния конструкции физической модели думпкара. Модель была изготовлена на кафедре строительной механики ДИИТа при участии лаборатории промышленного транспорта ВНИИВа. Экспериментальные исследования проводились при действии вертикальной статической нагрузки (думпкар в поездном положении) и при ударе падающим грузом (погрузка одиночной глыбы). Общий наибольший вес равномерно распределенной нагрузки составлял 15 кН. Вес падающего груза, выполненного в форме полусферы, равнялся 240 Н. Радиус поверхности полусферы в зоне контакта составлял 0,091 м. Физическая модель думпкара выполнена сборно-разборной, что позволило провести эксперименты с двумя типами конструкции верхней рамы: рама имела кроме поперечных балок только две боковые продольные балки и рама кроме боковых балок имела еще две центральные продольные балки.

Анализ результатов показал, что теоретические и экспериментальные (средние) напряжения в боковой продольной балке отличаются не более чем на 18%, в поперечных балках – на 16%, причем теоретические напряжения выше средних экспериментальных. Следовательно, можно сделать вывод, что предложенная расчетная

схема (схема 5) позволяет с достаточной точностью исследовать напряженно-деформированное состояние вагона-самосвала при различных конструктивных вариантах верхней рамы.

Для окончательного решения вопроса о применимости предлагаемой методики расчета на прочность конструкции думпкара был проведено сопоставление результатов экспериментальных и аналитических исследований напряженно-деформированного состояния натурных думпкаров 7BC-60 и 2BC-105.

Для думпкара 7BC-60 сопоставление проводилось при действии вертикальной статической нагрузки. Вес груза составлял 900 кН (полуторная нагрузка) и прикладывался равномерно по площади пола кузова. Максимальное превышение расчетных напряжений в элементах верхней рамы над опытными составляет 18%, в хребтовой балке - 20%.

Сравнение результатов теоретического расчета с экспериментальными данными при ударном нагружении проводилось для думпкара 2BC-105. Рассматривался случай падения шарообразного груза весом 28 кН с высоты 1 м на незащищенный пол вагона. Анализ результатов показал удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных (максимальное отличие для элементов верхней рамы составило 7%, для хребтовой балки - 17%).

В пятой главе приводятся основные положения расчета на прочность вагонов-самосвалов. Дан пример расчета думпкара BC-145 (модель 34-667) при различных эксплуатационных нагрузках. Показано применение разработанной методики к выбору рациональных параметров конструкции верхней рамы.

Расчет на прочность необходимо начинать с определения напряжений в элементах конструкции думпкара при действии вертикальной статической нагрузки. Расчетная схема выбирается в виде пространственной пластинчато-стержневой системы. При наличии

6694a

симметрии следует рассматривать половину или четверть конструкции. Элементы верхней рамы нагружаются собственным весом и полезной нагрузкой. Элементы нижней рамы нагружаются только собственным весом. Нагрузка, действующая от распора груза и передаваемая через механизм открывания бортов, прикладывается к крайним поперечным балкам верхней рамы и по концам хребтовой балки (с противоположными знаками).

При I режиме (соударение грузовых вагонов) необходимо дополнительно учитывать продольные силы, действующие по осям автосцепок.

При разгрузке (У режим) расчетная схема вагона-самосвала остается прежней. Со стороны поднимающейся боковой продольной балки (в местах установки цилиндров опрокидывания) прикладываются вертикальные силы равные усилиям, возникающим в штоках цилиндров. Для того, чтобы расчетная схема была геометрически неизменяемой (из-за ошибок вычислений), вводятся фиктивные элементы с малой изгибной жесткостью.

Для определения напряженного состояния конструкции думпкара при ремонтном режиме необходимо соответствующим образом выбирать способ опирания хребтовой балки. Расчетная схема вагона-самосвала не изменяется.

В работе приведен пример расчета на прочность думпкара ВС-145 с укороченными консолями (модель 34-667). Рассматривались I, II, III и IV эксплуатационные режимы. Причем исследовался как центральный удар так и удар в область шкворня.

Прямая задача оптимизации конструкции и размеров основных элементов думпкара с точки зрения его прочности в точной постановке еще не решена. Поэтому на этапе проектирования новых и модернизации существующих типов думпкаров необходимо выполнять многовариантные расчеты. В работе предлагаемая методика приме-

няется к исследованию напряженного состояния различных конструктивных схем верхней рамы. Варьировалось количество поперечных балок, поперечное сечение основных элементов верхней рамы и жесткость амортизационной прослойки пола. По результатам статического и динамического расчетов к проектированию был принят один из вариантов думпкара с укороченными консолями. Построена опытная партия вагонов модели 34-667.

В приложениях приведены геометрические характеристики, матрица жесткости и матрица эквивалентных узловых нагрузок для стержня переменного поперечного сечения, матрица жесткости для ортотропной изгибаемой пластины, построение матриц направляющих косинусов для стержней и пластин и тексты основных программ на алгоритмическом языке ФОРТРАН.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Основные результаты, полученные в диссертационной работе:

1. Разработана уточненная (по сравнению с ранее применяемыми) методика исследования напряженно-деформированного состояния верхней и нижней рам вагонов-самосвалов при различных эксплуатационных нагрузках. Эта методика позволяет учесть совместную работу основных узлов думпкаров и еще на этапе проектирования выбрать рациональные параметры кузова и нижней рамы вагона.

2. Проведен анализ существующих методов расчета на прочность вагонных конструкций. Показана целесообразность применения метода конечных элементов к исследованию нагруженности думпкара, представляемого пространственной пластинчато-стержневой системой.

3. Получена матрица жесткости стержня переменного по высоте поперечного сечения. Этот конечный элемент использован при расчете стоек кузова и других элементов конструкции думпкара.

4. Разработана автоматизированная система прикладных прог-

рам (АСПП "ДУМПКАР") для расчета на прочность вагона-самосвала. АСПП "ДУМПКАР" позволяет учитывать особенности конструкции и условия эксплуатации вагона.

5. Предложен способ определения динамических напряжений, возникающих в элементах конструкции думпкара при ударе глыбой. Используемые в этом способе частоты и формы собственных колебаний отыскивались с применением метода конечных элементов.

6. Проведен анализ различных расчетных схем, с помощью которых оценивалась прочность думпкара при III эксплуатационном режиме и при ударе одиночной глыбой большого веса по незащищенному полу вагона. Даны рекомендации.

7. Результаты аналитических исследований сопоставлены с экспериментами, проведенными на физической модели вагона-самосвала. Предлагаемая методика расчета на прочность думпкаров также подтверждена натурным экспериментом.

8. Методика расчета на прочность верхней и нижней рам вагона-самосвала при различных эксплуатационных нагрузках внедрена на Калининградском вагоностроительном заводе. Фактический экономический эффект от внедрения методики составляет 30 тыс. руб. в год.

9. По данной методике выбраны рациональные параметры верхней рамы проектируемого думпкара ВС-145 (модель 34-667). Построена опытная партия. Народнохозяйственный эффект от внедрения данного думпкара составит 7800 руб в год (в расчете на I вагон).

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

- I. Исследование ударного нагружения думпкара при различной конструкции пола. - Рукопись депонирована в ЦНИИТЭИ МПС, № 773/78.- 7 с. (соавторы Барбас И.Г., Островерхов Н.П.).

2. К вопросу методики расчета продольного борта думпкара.-Сб. научн.тр. Всесоюз. научно-иссл.ин-та вагоностроения, вып.36.- М., 1978, с.76-84. (соавторы Барбас И.Г., Логинов А.И., Панасенко В.И.).
3. Применение метода конечных элементов к расчету конструкций подвижного состава. (учебное пособие, часть 2).- Днепропетровск: ДИИТ, 1979.-42 с. (соавторы Барбас И.Г.,Данович В.Д., Радзиховский Ю.А.).
4. Об изгибе гофрированной пластины нагрузкой, распределенной по линейному закону. -В сб.:Проблемы динамики и прочности железнодорожного подвижного состава, вып.205/26.- Днепропетровск: ДИИТ, 1979, с.97-100. (соавторы Барбас И.Г., Дядищев В.А., Панасенко В.И.).
5. К вопросу о расчете на прочность боковой продольной балки думпкара. -Рукопись депонирована в ЦНИИТЭИ МПС, № 839/79.- 8 с. (соавторы Барбас И.Г., Бадикова Л.С., Гальченко А.Г.).
6. О расчете на прочность моторного думпкара при ударном нагружении.- В сб.: Проблемы динамики и прочности железнодорожного подвижного состава, вып. 210/27.- Днепропетровск: ДИИТ, 1980, с.99-102. (соавтор Барбас И.Г.).
7. О расчетных схемах для исследования напряженного состояния конструкции думпкара при статическом нагружении.-В сб.:Проблемы динамики и прочности железнодорожного подвижного состава, вып.210/27.-Днепропетровск: ДИИТ,1980, с.95-99. (соавторы Радзиховский Ю.А., Радзиховская Е.Ф.).
8. Об определении частот собственных колебаний вагонов с помощью метода конечных элементов.- В сб.:Проблемы механики железнодорожного транспорта./Тезисы докладов Всесоюз.конференции (Днепропетровск,1980).-Киев:Наукова думка, 1980, с.115. (соавтор Радзиховский Ю.А.).

9. Расчет думпкара на прочность при динамических и статических нагрузках с применением метода конечных элементов.-В сб.: Проблемы механики железнодорожного транспорта./Тезисы докладов Всесоюз.конференции (Днепропетровск,1980).-Киев:Наукова думка, 1980,с.51-52. (соавторы Дядищев В.А., Лысенко В.И., Логинов А.И., Панасенко В.И., Радзиховская Е.Ф.).
10. Исследование напряженного состояния верхней рамы думпкара в момент начала разгрузки.-В сб.:Проблемы динамики и прочности железнодорожного подвижного состава, вып.220/28.-Днепропетровск: ДИИТ,1981, с.80-83.(соавторы Кострица С.А., Радзиховский Ю.А., Радзиховская Е.Ф.).
11. О выборе конструкции верхней рамы думпкара с односторонней разгрузкой.-В сб.:Проблемы динамики и прочности железнодорожного подвижного состава, вып.220/28.-Днепропетровск: ДИИТ, 1981, с.77-80.(соавторы Логинов А.И.,Панасенко В.И.,Плоткин В.С.).
12. О применении метода конечных элементов к расчету на прочность вагонов-самосвалов.-Рукопись депонирована в ЦНИИТЭИ МПС, № 1171/81.-6 с.(соавторы Барбас И.Г., Бадикова Л.С., Кострица С.А., Кострица Л.Ф., Таряник В.М.).
13. Применение теории Сирса-Тимошенко к исследованию нагружения инженерных конструкций падающим грузом.-Рукопись депонирована в ЦНИИТЭИ МПС, № 1173/81.-10 с. (соавторы Барбас И.Г.,Карбан В.В., Лазарян Н.И.).
14. Определение частот и форм собственных колебаний думпкара.-В сб.:Проблемы динамики и прочности железнодорожного подвижного состава.-Днепропетровск: ДИИТ, 1982, с.87-89. (соавторы Даценко В.Н., Радзиховский Ю.А., Радзиховская Е.Ф.).
15. Совершенствование методов расчета думпкаров на прочность при использовании электронных вычислительных машин.-Рукопись де-

понирована в ДНИИТЭИ МПС, № 1820/82.- 7с. (соавторы Бадикова Л.С., Барбас И.Г., Дадченко В.Н., Клименко И.В., Султан А.В., Шапошников В.В.),



Татарчук Владимир Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ
ВАГОНОВ-САМОСВАЛОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗКАХ

05.22.07 - Подвижной состав и тяга поездов

Подписано к печати 19.01.1983. БТ 21602.

Формат 60x80 1/16. Бумага для множительных аппаратов.Ротапринт.

Усл.печ.л. I,I Уч.-изд.л. I Тираж 100 экз. Заказ № 730.

Бесплатно.

Участок оперативной полиграфии ДНИТа.

320629, ГСП, Днепропетровск, 10, ул.Акад. В.А.Лазаряна, 2.