

МПС—СССР

**Днепропетровский институт инженеров
железнодорожного транспорта имени М.И. Калинина**

На правах рукописи

Рейдемейстер Геннадий Валерианович

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
РАМ И КУЗОВОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА
И НОРМИРОВАНИЕ НАГРУЗОК НА
ПОЛУВАГОНЫ**

Специальность № 05.22.07

Подвижной состав и тяга поездов

Автореферат

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Днепропетровск

1974

**НТБ
ДНУЖТ**

М Д С - С С С Р

**ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА имени М.И. КАЛИНИНА**

На правах рукописи

РЕЙДЕМЕЙСТЕР Геннадий Валерьянович

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАМ И КУЗОВОВ
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И НОРМИРОВАНИЕ НАГРУЗОК НА
ПОЛУВАГОНЫ**

Специальность №05.22.07

Подвижной состав и тяга поездов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1 9 7 4

**НТБ
ДНУЖТ**

6918a

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров
железнодорожного транспорта им. М.И. Калинина .

Научный руководитель – кандидат технических наук
доцент О.М. Савчук .

Официальные оппоненты :

доктор технических наук А.А. Львов ;

кандидат технических наук

доцент С.И. Конашенко .

Ведущее предприятие – Главное грузовое управление
Министерства путей сообщения .

Автореферат разослан „12” 11 1974 г.

Защита диссертации состоится „12” 12 1974 г.
в _____ часов на заседании объединенного Ученого совета
факультетов механического, электрификации железных дорог,
вычислительной техники и эксплуатации железных дорог
Днепропетровского института инженеров железнодорожного
транспорта по адресу : 320629 ГСП, Днепропетровск , 10,
ул. Университетская, 2 .

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
института .

Отзывы на автореферат просим прислать в 2 экз. о
сверенными печатью подписями .

Ученый секретарь совета .

НТБ
ДНУЖТ

Директивы XXIV съезда КПСС предусматривают как основное направление развития железнодорожного транспорта повышение пропускной и провозной способности железных дорог. Одним из путей решения этой задачи является разработка и внедрение прогрессивных норм загрузки подвижного состава, обеспечивающих лучшее использование грузоподъемности при одновременном повышении сохранности вагонов и безопасности движения .

Развитие промышленности привело в последние годы к изменению и расширению номенклатуры грузов, требующих для своей перевозки открытого подвижного состава. Значительно увеличались перевозки строительных конструкций, различных труб и других скатывающихся грузов, металлопродукции и т.д. Действующие «Технические условия погрузки и крепления грузов» предусматривают перевозку этих изделий главным образом на платформах, являющихся дефицитным подвижным составом.

В последнее время для перевозки указанных видов грузов применяются полувагоны - наиболее распространенный (около 40 % вагонного парка) вид открытого подвижного состава, выполняющий 62 % всего объема перевозок. За последние десять лет перевозка грузов в полувагонах увеличилась на 72 % , а по номенклатуре - более чем в 3 раза. При этом достигается значительный экономический эффект за счет снижения порожнего пробега и повышения эффективности использования вагонов. Однако полувагон предназначен, прежде всего, для перевозки сыпучих навалочных грузов, создающих распределенную нагрузку на пол. При перевозке длинномерных и массивных штучных

НТБ
ДНУЖТ

грузов схемы передачи нагрузки на элементы рамы и кузова могут существенно отличаться от основной - распределенной. Горизонтальные распорные и продольные нагрузки на боковые стенки кузова при перевозке скатывающихся грузов также могут существенно отличаться по характеру распределения и величине от распорных нагрузок, вызываемых опущенным грузом.

В этих условиях назрела необходимость разработки научно обоснованных норм допускаемых нагрузок на элементы полуприцепов.

Решение этого вопроса требует всестороннего исследования несущей способности рам и кузовов подвижного состава и возможно только на базе современных достижений строительной механики и широкого использования электронных вычислительных машин.

В реферируемой работе предложена методика определения допускаемых нагрузок, позволяющая максимально использовать несущую способность конструкции и обеспечить выполнение условий прочности при всех эксплуатационных режимах.

Разработана новая модификация матричного алгоритма метода сил, приспособленного для исследования напряженного состояния рам и кузовов подвижного состава.

Разработан вариант смешанного метода расчета пространственных статически неопределимых стержневых систем в матричной формулировке. Предложен алгоритм расчета смешанным методом, который позволяет автоматизировать все этапы исследования несущей способности конструкции.

Указанные алгоритмы и разработанные по ним программы использованы при исследовании несущей способности рам и кузовов полуприцепов при одновременном действии вертикальных, продольных и распорных нагрузок. По результатам исследований рекомендованы нормы допускаемых распорных нагрузок на боковые стены и

горизонтальных продольных сил на угловые стойки полувагонов для различных вариантов приложения нагрузок. Исследована несущая способность рам и кузовов полувагонов при загрузке металлопродукцией листовым металлом в пачках, штрипсами, сляками и блоками. Показана целесообразность перевозки и рекомендованы рациональные схемы погрузки металлопродукции в полувагоны.

Расчет сложных пространственных стержневых систем, какими являются рамы и кузова подвижного состава, разработан в трудах многих отечественных и зарубежных ученых: А. Ф. Смирнова, И. М. Рабиновича, А. П. Филина, А. М. Масляникова, Д. Г. Аргириса и др. Расчет прочности рам и кузовов подвижного состава получил наибольшее развитие в трудах Е. Н. Никольского, Л. А. Шадура, ряд задач решен А. А. Львовым, И. С. Храповицким, Г. Г. Хливняком и др. Матричные алгоритмы расчета конструкций подвижного состава на ЭВМ разработаны Е. Н. Никольским, Г. П. Бурчалом, В. С. Плоткиным и др.

Для расчетов конструкций подвижного состава традиционным является метод сил. Столь же традиционно деление нагрузок на вертикальные, продольные, распорные и т. д., для каждой из которых составлялась отдельная расчетная схема и выбиралась специфическая основная система. Такой подход значительно упрощал расчет и позволял выполнять его вручную, однако при этом не удавалось получить полной картины напряженного состояния конструкции, недостаточно точно оценивалось совместное воздействие нескольких нагрузок на отдельные элементы. Применение электронных вычислительных машин сняло значительную часть ограничений, неизбежных при ручном счете. Проявилась возможность улучшить расчетные схемы и основные системы, обеспе-

чив более полное и точное их соответствие реальным конструкциям, исследовать совместное действие различных внешних нагрузок. Соответственно возросли полнота представления и правильность оценки напряженного состояния рам и кузовов подвижного состава при различных сочетаниях эксплуатационных нагрузок.

Основное уравнение метода сил в матричной форме имеет вид

$$(B_i' U B_i) X = -(B_i' U \bar{B}_p) P \quad (I)$$

или

$$\delta X = -\bar{\Delta}_p P,$$

где B_i, B_p - матрицы усилий во всех расчетных сечениях статически определимой основной системы от всех единичных линейных неизвестных и внешних нагрузок соответственно;

U - матрица податливости всех элементов системы, рассматриваемых самостоятельно;

X - матрица неизвестных метода сил;

P - матрица внешних нагрузок;

$\delta, \bar{\Delta}_p$ - матрицы единичных и грузовых коэффициентов.

Формула (I) применяется во всех матричных алгоритмах, различие между которыми заключается, главным образом, в способах построения матриц $B_i, \bar{B}_p, \delta$ и $\bar{\Delta}_p$.

В диссертации представлен один из вариантов алгоритма и универсальная программа расчета на ЭЦВМ сложных статически неопределимых стержневых систем типа рам и кузовов подвижного состава, отличающиеся некоторыми особенностями.

Для получения элементов матриц $\delta, \bar{\Delta}_p$ в алгоритме применена формула вычисления определенных интегралов Симпсона, дающая точные результаты при перемножении линейной элоры как на линейную, так и на параболическую второго порядка. При перемно-

жения линейной эшоры на параболическую третьего порядка (при действии сил распора от сыпучего груза) погрешность для практических результатов незначительна. Эти виды эшор характерны для распределенной нагрузки, наиболее часто встречающейся в расчетных схемах вагонов. Принимая во внимание, что продольные силы и крутящие моменты обычно неизменны по длине стержня, компоненты матрицы Δp вычисляются по формуле

$$\Delta_{ip} = \sum_{s=1}^k \left\{ \frac{l_s}{6EJ_s} [M_{HsL} \bar{M}_{HsP} + 2(M_{Hsi} + M_{Ksi}) \bar{M}_{Csp} + M_{KsL} \bar{M}_{KsP}] + \frac{l_s}{EF_s} N_{si} \bar{N}_{sp} + \frac{l_s}{GJ_{\kappa p s}} T_{si} \bar{T}_{sp} \right\}. \quad (2)$$

Здесь s - номер стержня ($s = 1, 2, \dots, k$)

i, p - индексы единичных состояний системы и грузовых эшор ($i = 1, 2, \dots, n$
 $p = 1, 2, \dots, m$);

M, T, N - соответственно ординаты изгибающих и крутящих моментов и продольных сил в стержне;

H, C, K - индексы начала, середины и конца стержня соответственно;

l - длина стержня;

$EJ, EF, GJ_{\kappa p}$ - жесткости стержня при изгибе, растяжении (сжатии) и кручении.

Единичные коэффициенты δ_{ij} вычисляются по аналогичной формуле. Большой объем исходного числового материала повышает вероятность ошибки в матрице B_i . Раздельное вычисление симметричных коэффициентов δ_{ij} и δ_{ji} по формуле, аналогичной (2), и контроль равенства позволяют выявить и исправить все неточности матрицы B_i . Такой контроль не возможен при перемножении эшор по обычно применяемой формуле трапеций.

Вычисления (за исключением решения системы уравнений) по каждому стержню производятся отдельно, что увеличивает возможности ЭВМ. Указанная программа успешно применяется для решения задач прочности конструкций вагонов Днепропетровским институтом инженеров железнодорожного транспорта, Всесоюзным научно-исследовательским проектно-технологическим институтом вагоностроения, она использована при проектировании вагонов, выпускаемых Днепродзержинским, Крюковским, Кашиевским вагоностроительными заводами.

Существенным недостатком метода сил являются трудности автоматизации расчета на этапе выбора основной системы и вычисления элементов матриц B_1 и B_p . В настоящее время имеются программы, позволяющие решать задачи такого рода лишь для неширокого круга систем. В этих условиях большой интерес представляет поиск иных методов, обеспечивающих более широкую автоматизацию вычислительных работ. Применение метода перемещений для расчета рам и кузовов подвижного состава ограничивается из-за чрезмерно большого количества неизвестных, так как почти все узлы системы допускают линейные смещения.

В этих условиях целесообразно применение модификации смешанного метода, разработанной в диссертации.

Основные уравнения смешанного метода можно получить после несложных преобразований уравнений метода перемещений для одного стержня к виду

$$\begin{bmatrix} M_H \\ M_K \\ \delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k & -k & k_{oH} \\ -k & k & k_{oK} \\ -u_{oH} & -u_{oK} & u \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \varphi_H \\ \varphi_K \\ \tilde{R} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C\bar{M}_H \\ C\bar{M}_K \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где n, k - индексы начала и конца стержня ;
 M - вектор момента, действующего на концевые сечения стержня ;
 $\bar{M}$ - вектор опорного момента для стержня с недеформируемыми опорами ;
 φ, δ - поворот и линейное смещение опор стержня ;
 $\bar{R}$ - упругая опорная реакция, вызванная деформацией (поворотом и смещением) опор стержня ;
 C - матрица направляющих косинусов стержня ;
 k, k_0, u_0, u - матрицы приведенных коэффициентов жесткости и податливости стержня, зависящих от жесткости стержня, его длины, положения в пространстве (направляющих косинусов) и способа опирания .

Упругая опорная реакция $\bar{R}$ связана с опорной реакцией A реального стержня и реакции от внешней нагрузки .

$\bar{R}$ того же стержня с недеформируемыми опорами следующими соотношениями :

$$\bar{R} = \bar{R}_n - R_n - R_k - \bar{R}_k . \quad (4)$$

Условимся, что начало стержня левее, ниже или ближе к наблюдателю, чем его конец. Про нумеруем соответственно узлы по порядку, двигаясь слева направо, снизу вверх, от ближних узлов к дальним. Будем поочередно составлять уравнения равновесия узлов, начиная с первого. Для некоторого узла A такое уравнение будет иметь вид

$$P_A + \sum_{i=1}^{n_0+k_1} \bar{R}_{Ai} + \sum_{i=1}^{k_0} \frac{R_i^*}{n_i} - \sum_{i=1}^{n_0} \bar{R}_{Ai} + \sum_{j=1}^{m_0} \xi_j - \sum_{j=1}^{m_0} \xi_j = 0 . \quad (5)$$

Назовем приведенной узловой нагрузкой величину

НБ
ДНУЖТ

$$R_A^* = P_A + \sum_{i=1}^{n_A + k_A} \bar{R}_{Ai} + \sum_{l=1}^{k_A} \frac{R_{li}^*}{n_l} \quad (6)$$

В этих формулах :

- P_A - внешняя узловая нагрузка для узла A
 l - индекс соседнего узла ;
 n - количество стержней, начинающихся в узле ;
 k - количество стержней, заканчивающихся в узле ;
 m - количество контуров, которые ограничены стержнями, начинающимися в узле ;
 ξ - некоторая специально введенная характеристика контура - обобщенная сила .

Упругая реакция l -го стержня представляется в виде

$$R_{Al} = \frac{R_A^*}{n_A} + \sum \xi_{Al}, \quad (7)$$

где $\sum \xi_{Al}$ - сумма обобщенных сил всех контуров, граничащих со стержнем Al

Обобщенную силу в указанную сумму следует вводить со знаком плюс, если контур расположен в координатной плоскости XU дальше или левее стержня, в плоскости XZ - выше или левее, в плоскости YZ - выше или ближе . В противном случае обобщенная сила вводится со знаком минус .

Приведенную узловую нагрузку можно определить последовательно для всех узлов, начиная с первого, по формуле (6) .

Подставив (7) в (3), получим

$$\begin{bmatrix} M_N \\ M_K \\ \delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k & -k & k_{oN} \\ -k & k & k_{oK} \\ -u_{oN} & -u_{oK} & u \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varphi_N \\ \varphi_K \\ \sum \xi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_N \\ g_K \\ \rho \end{bmatrix} . \quad (8)$$

Уравнения смешанного метода для стержневой системы составляются с использованием условий равновесия узлов по моментам и неразрывности деформаций контуров, которые имеют вид

$$\begin{cases} \sum M_{Ai} + M_{Ai} = 0, \\ \sum \delta_j = 0. \end{cases} \quad (9)$$

В первом выражении суммирование распространяется на все стержни, образующие узел A , во втором — на все стержни, образующие контур (при этом используется специальное правило знаков).

Составив уравнения (9) для всех узлов и контуров стержневой системы и учитывая (8), получим систему канонических уравнений смешанного метода

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{1n} & K_{1,n+1}^0 & K_{1,n+m}^0 \\ K_{21} & K_{22} & K_{2n} & K_{2,n+1}^0 & K_{2,n+m}^0 \\ & & & & \\ K_{n1} & K_{n2} & K_{nn} & K_{n,n+1}^0 & K_{n,n+m}^0 \\ \hline U_{n+1,1}^0 & U_{n+1,2}^0 & \dots & U_{n+1,n}^0 & U_{n+1,n+1}^0 & \dots & U_{n+1,n+m}^0 \\ \hline U_{n+m,1}^0 & U_{n+m,2}^0 & \dots & U_{n+m,n}^0 & U_{n+m,n+1}^0 & \dots & U_{n+m,n+m}^0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \dots \\ \varphi_n \\ \xi_{n+1} \\ \xi_{n+m} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \dots \\ g_n \\ p_{n+1} \\ p_{n+m} \end{bmatrix} = 0, \quad (10a)$$

или в компактной записи

$$\begin{bmatrix} K & K^0 \\ U^0 & U \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \varphi \\ \xi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g \\ p \end{bmatrix} = 0. \quad (10б)$$

Здесь n, m — количество узлов и контуров в системе соответственно. Деление матриц на блоки показано штриховыми линиями.

Исходными данными для составления матриц коэффициентов и свободных членов уравнения (10) служат геометрические и упругие

характеристики стержней, условия их закрепления и опорные реакции от внешней нагрузки при недеформируемых опорах. В качестве неизвестных выступают углы поворота узлов и обобщенные силы в контурах стержневой системы. Предложенная в работе модификация смешанного метода обладает следующими преимуществами по сравнению с методом сил

- 1) отпадает необходимость выбора основной системы ;**
- 2) не нужно вычислять внутренние усилия в основной системе (строить эпюры единичных состояний) ;**
- 3) значительно проще вычисляются коэффициенты и свободные члены канонических уравнений .**

Количество неизвестных при этом больше, чем в методе сил, но меньше, чем в методе перемещений (это уменьшение весьма значительно при расчете конструкций вагонов).

Смешанный метод применен в алгоритме и универсальной программе расчета на ЭЦМ стержневых систем типа рам и кузовов подвижного состава.

Указанная программа, наряду с упомянутой ранее программой расчета методом сил, использована в реферируемой работе при решении ряда задач прикладного характера .

В последние годы значительно увеличился объем перевозок различных скатывающихся грузов : леса, стальных, асбесто-цементных и железобетонных труб, опор контактной сети и т.п. Возникла необходимость установления норм допускаемых распорных сил на стойки полувагона при различных схемах загрузки (29 обобщенных вариантов).

Согласно действующим "Нормам для расчетов на прочность и проектирования вагонов", прочность рамы и кузова оценивается по допускаемым напряжениям в соответствии с I и III расчет-

ными режимами. Назовем разность между допускаемым напряжением и суммарным от вертикальных и продольных нагрузок, имевших нормативное значение, резервом напряжений. Этот резерв обуславливает допускаемые распорные нагрузки на боковые стены полувагона, которые определяются как частное от деления резерва напряжений на напряжение от единичной распорной нагрузки.

Построение расчетной схемы и выбор основной системы производились таким образом, чтобы правильно отразить работу конструкции при одновременном действии вертикальных, продольных и распорных нагрузок. При расчете методом сил расчетная схема четверти полувагона была выбрана одиннадцать раз статически неопределимой и содержала тридцать стержней. Решение задачи для всех вариантов нагружения произведено одновременно.

Результаты аналитических исследований несущей способности рамы и кузова полувагона и правомерность сделанных при этом допущений проверены экспериментом. При этом были поставлены следующие задачи :

1) проверить результаты теоретических исследований напряженного состояния кузова при действии сил распора ;

2) оценить достоверность выбранной методики расчета полувагона на ЭЦВМ и приемлемость принятых допущений, для чего замерялись напряжения от вертикальной нагрузки, не вызывавшей распора, и сравнивались с результатами расчета соответствующих вариантов на ЭЦВМ ;

3) выяснить приемлемость условного статического расчета вагона при действии продольных сил для оценки наибольших динамических напряжений при соударениях вагонов .

Распорные нагрузки создавались специальными винтовыми и гидравлическими домкратами, устанавливаемыми между стойками

боковых стен полувагона на требуемой высоте. Каждый опыт повторялся не менее трех раз.

Сравнение расчетных и экспериментальных напряжений в наиболее нагруженных элементах конструкции при действии сил распора показало, что расхождение не превышает 20-22 %. Эксперимент подтвердил также линейную зависимость напряжений от сил распора.

Приемлемость допущений, сделанных при расчете кузова полувагона на вертикальные нагрузки, проверялась измерением напряжений при погрузке штрипсов диаметром 1,45-1,52 м и средней массой 2,75 т. Штрипсы располагались равномерно по площади пола, что вызывает нагрузки, аналогичные нагрузкам от сыпучего груза, но без сил распора. Совпадение расчетных и экспериментальных напряжений в наиболее нагруженных элементах конструкции удовлетворительное.

Экспериментальные соударения груженых вагонов показали, что расчетные напряжения от статического действия продольных сил в наиболее нагруженных консольных частях рамы полувагона удовлетворительно согласуются с амплитудными значениями динамических напряжений, если сила удара соответствует величине расчетной статической нагрузки. Таким образом, результаты эксперимента при действии на вагон всех видов исследуемых нагрузок - распорных, вертикальных и продольных - подтвердили приемлемость избранной методики исследования несущей способности рам и кузовов подвижного состава при сложном пространственном нагружении конструкции.

Рекомендуемые значения допускаемых сил распора на боковые стены четырехосного полувагона с деревянной обшивкой постройки

1964 года приведены в табл. I.

Таблица I

Стойки, воспринимающие распорные нагрузки	Допускаемая распорная нагрузка в Кн на одну стойку, приложенная:		
	поверху	посередине	снизу
Угловые	25	47	50
Шкворневые	24	27	40
Промежуточные	21	26	40
Средние	13	21	40
Промежуточные и средние, нагруженные одновременно ..	8	16	40
Шкворневые, промежуточные и средние, нагруженные одно- временно	7	15	40

Применение рациональных норм допускаемых нагрузок на боковую стену позволило повысить использование грузоподъемности полувагонов при перевозке стальных труб большого диаметра на 20 %. Полученный при этом экономический эффект составил 76 тыс.руб. на I млрд.ткм грузооборота. Кроме того, освобождается для перевозки других грузов значительное количество полувагонов.

На угловые стойки полувагона кроме распорных сил могут действовать горизонтальные продольные нагрузки, которые возникают как инерционные при соударениях вагонов, трогании и торможении поезда. Нормы на такие нагрузки отсутствуют в действующих «Технических условиях погрузки и крепления грузов», в связи с чем их исследование было произведено в реферируемой работе. Инерционные продольные усилия включены в первое расчетное сочетание нагрузок, установленное упомянутыми ранее «Техническими условиями», которое соответствует I расчетному режиму «Норм

для расчетов на прочность и проектирования вагонов". При этом кроме инерционных должны учитываться продольные усилия на автосцепки (2,5 Мн) и вертикальная статическая нагрузка на вагон .

Для исследования напряженного состояния полувагона при действии горизонтальных продольных сил на угловые стойки применена программа расчета на ЭЦМ стержневых систем смешанным методом.

Лимитирующими элементами, прочность которых ограничивает допускаемую нагрузку на угловую стойку, оказались либо сама угловая стойка, либо верхний и нижний пояса фермы в пролете между угловой и шкворневой стойками. При передаче вертикальной нагрузки через подкладки на поперечные балки рамы полувагона вызываемые ею напряжения в лимитирующих элементах невелики. Поэтому резерв напряжений лишь незначительно зависит от вертикальной нагрузки. Увеличение массы груза с 40 до 63 т (на 57,5 %) и количества загруженных поперечных балок рамы от двух до восьми вызывает изменение допускаемой продольной нагрузки на угловую стойку лишь на 6,7 %.

Иное положение складывается, если вертикальная нагрузка передается через крышки люков на продольные балки рамы полувагона. В этом случае в нижнем поясе фермы возникают достаточно высокие напряжения изгиба, заметно влияющие на резерв напряжений в нем. При действии продольной силы на угловую стойку снизу лимитирующим элементом является именно нижний пояс, что приводит к существенной зависимости допускаемой нагрузки на стойку от массы груза. Установлена также существенная зависимость допускаемых продольных нагрузок на угловые стойки от сил распора.

Результаты аналитических и контрольных экспериментальных исследований позволили рекомендовать допускаемые горизонтальные продольные нагрузки на одну угловую стойку четырехосного полувагона постройки с 1964 года, приведенные в табл.2 .

Таблица 2

Схемы приложения силы, параллельной продольной оси вагона, к угловой стойке	Допускаемая нагрузка на угловую стойку в Кн	
	при передаче веса груза через подкладки на поперечные балки рамы	при передаче веса груза, распределенного по площади пола
П о н и з у	540	430 при массе груза 63 т , 530 при массе груза 40 т .
Посредине		100
Поверху		330

Все более широкое использование полувагонов для перевозки металлопродукции вызвало необходимость всестороннего и полного исследования целесообразности таких перевозок и разработки соответствующих рекомендаций. С этой целью были выполнены :

1) аналитические исследования прочности кузова и рамы полувагона при загрузке по различным схемам ;

2) экспериментальные исследования напряженного состояния элементов вагонов, загруженных металлопродукцией по некоторым основным схемам погрузки ;

3) поездные испытания, в процессе которых исследовались динамические напряжения в полувагонах и устойчивость груза при действии горизонтальных динамических усилий для типовых схем

69/89

погрузки ;

4) испытания на соударение вагонов с целью исследования устойчивости груза и сохранности вагонов при маневровых работах.

Типовым для полувагона является распределение нагрузки, характерное для сыпучего груза, когда на хребтовую балку приходится 50 % веса груза, а на каждую из боковых - по 25 % . При погрузке металлопродукции распределение нагрузки существенно изменяется, хребтовая балка может воспринимать от 30 до 75 % и более от веса груза. Соответственно меняются нагрузки и на боковые балки. Неравномерно распределяется нагрузка и по длине вагона. Во многих случаях нагрузка воспринимается непосредственно поперечными балками рамы. Для металлопродукции характерно также отсутствие сил распора на боковые стены.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований напряженного состояния рамы и кузова полувагона, а также получение данные об устойчивости груза показали целесообразность перевозки металлопродукции в полувагонах и позволили разработать рациональные схемы размещения и крепления груза .

Рекомендации были приняты Главным грузовым управлением МПС и учтены при разработке действующих "Технических условий погрузки и крепления грузов". Внедрение рациональных схем погрузки металлопродукции на металлургических заводах "Запорож-сталь" и Криворожском позволило повысить статическую нагрузку на ось груженого полувагона. Годовая экономия эксплуатационных расходов железных дорог составила при этом 83,1 тыс.руб.

НТБ
ДНУЖТ

Выводы и рекомендации

1. Для повышения качества прочностных исследований подвижного состава расчетная схема и основная система пространственной стержневой системы должны наиболее полно отражать реальные условия работы конструкции. В частности, должна быть учтена возможность деформации элементов в различных плоскостях, что позволит нормировать нагрузки на элементы конструкции по результатам аналитических исследований с требуемой для практических целей точностью.

2. Применение смешанного метода, а также метода перемещений к расчету конструкций подвижного состава позволяет автоматизировать все этапы расчета. При этом смешанный метод более рационален благодаря меньшему количеству неизвестных.

3. Разработан и рекомендован алгоритм расчета стержневых систем методом сил, приспособленный для исследования прочности конструкций подвижного состава. Предусмотрен надежный контроль, исключающий ошибки при вводе числового материала и вычислении коэффициентов.

Указанный алгоритм и составленная на его основе программа применяются при расчетах и проектировании вагонов Крюковским, Днепродзержинским и Кадиевским вагоностроительными заводами, Всесоюзным научно-исследовательским проектно-технологическим институтом вагоностроения, Днепропетровским институтом инженеров железнодорожного транспорта.

4. Разработан и рекомендован новый алгоритм расчета стержневых систем смешанным методом, где в качестве неизвестных выступают углы поворота узлов и обобщенные силы в контурах. Составлена универсальная программа расчета сложных пространственных

стержневых систем на ЭЦВМ, позволившая автоматизировать все этапы расчета конструкции .

5. Рекомендуемые по результатам аналитических и экспериментальных исследований нормы наибольших распорных нагрузок на боковые стойки четырехосного полувагона приведены в табл.1. Нормы составлены для обобщенных схем загрузки и предназначены для проверки схем погрузки и крепления труб и других скатывающихся грузов .

6. Рекомендованные нормы горизонтальных продольных нагрузок на угловые стойки полувагона приведены в табл.2. Для повышения допускаемой величины нагрузки на угловые стойки понизу целесообразно груз устанавливать на подкладки , уложенные на поперечные балки рамы полувагона. При одновременном действии сил распора на боковые стены допускаемое значение продольной нагрузки на угловую стойку должно быть снижено. Указанное снижение можно определить по формулам ,приведенным в работе .

7. Аналитические и экспериментальные исследования показали , что полувагоны целесообразно использовать для перевозки металлопродукции .

Наиболее нагруженным элементом при перевозке листовой стали в пачках является хребтовая балка , однако напряжения в ней не превышают допускаемых. Пачки следует располагать равномерно по площади пола, симметрично относительно продольной оси вагона вплотную к боковым стенкам. Если размеры пачек не позволяют заполнить всю поверхность пола , их следует располагать над хребтовой балкой в один продольный ряд. Пачки неполного верхнего яруса следует располагать симметрично относительно середины вагона над тележками.

Пачки промасленного металла следует укладывать на дере-

вянные подкладки, установленные на поперечные балки рамы, а также закреплять упорными и распорными брусками.

8. Слябы и блямсы целесообразно грузить равномерно по площади пола в несколько ярусов. Слябы первого яруса — вдоль вагона вплотную к боковым стенам, второго яруса — поперек вагона, третьего — аналогично первому и т.д. Слябы и блямсы неполного верхнего яруса должны располагаться над тележками вдоль хребтовой балки.

9. Штрипсы диаметром до 1360 мм и массой до 7,5 т. целесообразно расположить в полувагоне на продольных деревянных подкладках двумя группами над тележками. Штрипсы размещаются над хребтовой и шкворневыми балками рамы.

Погрузка металлопродукции по указанным рекомендациям позволяет полностью использовать грузоподъемность полувагона, освободить для перевозки других грузов дефицитный подвижной состав — платформы, в ряде случаев уменьшить расход крепежного реквизита.

Указанные рекомендации по перевозке металлопродукции использованы Главным управлением МПС при составлении технических условий погрузки и крепления грузов издания 1969 года.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах

1. Определение нормативных величин допускаемых нагрузок на отдельные элементы вагонов при загрузке их различными грузами. «Вагоны и вагонное хозяйство», вып. 32. М., ЦИНИ МПС, 1967.

НБ
ДНУЖТ

2. Допускаемые распорные нагрузки на боковые стены четырех-осного полувагона. Труды ДИИТ, вып. II4. Днепропетровск, 1970.
3. Расчет допускаемых распорных нагрузок на боковые стенки полувагона. Труды ДИИТ, вып. I20. Днепропетровск, 1972
4. Алгоритм расчета стержневых систем типа рам и кузовов вагонов методом сил на основе формулы перемножения трапеци-и-дальных параболических эпюр. Труды ДИИТ, вып. I53. Днел-ропетровск, 1974.
5. Допускаемые распорные нагрузки на элементы боковых стен четырехосных полувагонов. Там же .
6. Допускаемые продольные нагрузки на угловые стойки полува-гона . Там же.

Материалы диссертации докладывались

1. На XVI научно-технической конференции ДИИТа в 1967 году.
2. На научно-технической конференции по проблемам развития железнодорожного транспорта, посвященной 40-летию Кали-нинского выпуска 1934 г. ДИИТ, 1974 г.
3. На семинарах кафедр механического факультета и кафедры вагонов и вагонного хозяйства ДИИТа в 1973 и 1974 г.г.
4. На семинаре механики Днепропетровского отделения инсти-тута механики АН УССР и ДИИТа в 1974 г.

НТБ
ДНУЖТ

БТ 26998. Подписано к печати 5/X 1974 г.
Объем I уч.-изд.л.Тираж 150 экз.Заказ № 1915.
ДИИТ, роталпринт, 1974 г.

Сканировала Камянская Н.А.

НТБ
ДНУЖТ