

1.02.06  
1873

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Челябинский политехнический институт  
имени Ленинского комсомола

Ученый секретарь  
Института

На правах рукописи

МОШКИН Сергей Николаевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ И ОЦЕНКА  
СРЕДНЕГО РЕСУРСА НЕСУЩИХ КОРПУСОВ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ  
ЦИСТЕРН ТОПЛИВОЗАПРАВЩИКОВ

Специальность 01.02.06 - "Динамика и прочность машин,  
приборов и аппаратуры"

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

Челябинск - 1981

ЦНИИ

Работа выполнена в отраслевой научно-исследовательской лаборатории "Динамика и прочность конструкций" Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель - доктор технических наук,  
профессор Н.И.Гриненко

Официальные оппоненты- доктор технических наук,  
профессор В.Я.Иванян,  
кандидат технических наук,  
доцент И.Я.Березин

Ведущее предприятие указано в решении специализированного совета.

Защита состоится 8 апреля 1981 г. на заседании специализированного совета Д 053.13.01 Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан        марта 1981 г.

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу:

454044, г. Челябинск-44, проспект им. В.И. Ленина, 76, ЧПИ,  
ученому секретарю специализированного совета.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
кандидат технических наук,  
доцент



(А.А. КОЩЕВ)



**АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ.** В постановлении ЦК КПСС о проекте XXVI съезду КПСС по основным направлениям экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года, среди наиболее важных задач намечено расширение производства автоцистерн для нефтепродуктов и повышение качества, надежности, экономичности и производительности машин, оборудования и других изделий машиностроения, снижение их материалоемкости. Создание новых подвижных средств заправки жидкого топлива, способных обеспечить быстро возрастающие потребности авиации и автомобильного транспорта, в виде перспективного ряда большегрузных топливозаправщиков с несущей конструкцией цистерны-полуприцепа емкостью 30 и более м<sup>3</sup>, дает большой экономический эффект при их эксплуатации.

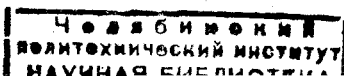
Однако, у таких безрамных цистерн-полуприцепов значительно увеличиваются нагрузки на корпус и вероятность потери герметичности из-за нарушения прочности или возникновения усталостных трещин, что может привести к опасным последствиям, связанным с угрозой для жизни людей. Повышение степени ответственности несущей конструкции, в полостях которой размещен жидкий огнеопасный груз, и соответствующее ужесточение требований к прочности и надежности несущего корпуса цистерны, при строгом ограничении металлоемкости, приводят к необходимости разработки более достоверных методов определения динамической нагруженности корпусов больших цистерн, учитывающих реальные условия эксплуатации, и способов оценки долговечности на стадии проектирования топливозаправщиков. Решение этой проблемы способствует созданию эффективных машин с повышенным ресурсом и снижению затрат времени и средств при их проектировании и доводке.

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ.** 1. Создание методики теоретического определения динамической нагруженности несущих корпусов цистерн-полуприцепов большого удлинения с учетом их изгибной и крутильной податливости при симметричном и несимметричном случайном воздействии дорожного микропрофиля.

2. Экспериментальная проверка методики теоретического определения статистических параметров нагруженности.

3. Определение характеристик сопротивления усталости материала цистерны и расчет ее среднего ресурса.

ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ построена на комплексном сочетании теоретических и экспериментальных методов.



Теоретическое исследование нагруженности сложной механической системы "цистерна-тягач" выполнялось математическим моделированием реальных динамических процессов в частотной области на ЭЦВМ методами статистической динамики. Экспериментальное определение динамических нагрузок корпуса цистерны выполнялось при натуральных пробеговых испытаниях опытного образца топливозаправщика ТЗ-30. Оценка среднего ресурса корпуса цистерны получена с помощью расчетного интегрального метода, основанного на использовании опорных кривых усталости образцов материала, получаемых экспериментально.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований состоит в следующем:

предложен метод теоретического определения динамических нагрузок, использующий уточненную модель несущих конструкций цистерн на основе их схематизации в виде тонкостенного стержня с недеформируемым контуром поперечного сечения;

впервые получены расчетные зависимости для определения вероятностных характеристик нагруженности упругого корпуса, как звена с распределенными параметрами при случайных поперечно-угловых колебаниях автопоезда;

выполнено экспериментальное исследование динамической нагруженности опытного образца топливозаправщика ТЗ-30 в режиме установившегося движения, подтверждающее достаточную для инженерных расчетов точность предлагаемой теоретической методики;

проведены усталостные испытания образцов-свидетелей материала корпуса цистерны и построены кривые усталости при случайном нагружении для стали I2X18 NiOT, позволяющие учесть конструктивно-технологические особенности цистерны;

апробирован интегральный метод оценки долговечности, использующий данные теоретического расчета нагруженности в реальных режимах движения, позволяющий оценивать ресурс вариантов конструкции на этапе ее проектирования.

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ.** Разработанная методика позволяет количественно оценить величины перегрузок, перерезывающих сил изгибающих и крутящих моментов в сечениях корпуса цистерны, определить, в рамках принятой идеализации, статистические характеристики напряжений и выявить резервы прочности конструкции. На основе полученных зависимостей для статистических показателей транспортировочного нагружения, на этапе проектирования, может быть выбрана наиболее рациональная конструктивно-силовая схема несущего корпуса цис-

терны-полуприцепы, аргументированно назначены необходимые требования к параметрам подрессоривания и ограничения на режимы эксплуатации. Использование предлагаемой методики для сравнения различных вариантов проектируемой цистерны по их ресурсу, способствует созданию эффективных топливозаправщиков и снижению их металлоемкости.

Исследуемые в работе проблемы динамического нагружения и накопления усталостных повреждений несущих тонкостенных конструкций представляют интерес для различных отраслей промышленности - автомобилестроения, самолетостроения, химического машиностроения и т.д.

**РЕАЛИЗАЦИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ.** Методика и программы расчета динамической нагруженности и оценки ресурса несущих корпусов большегрузных топливозаправщиков внедрены в производственном объединении "ЖДАНОВТЯМАШ" и используются при проектировании новых и модернизации существующих топливозаправщиков. Экономический эффект от внедрения результатов работы составляет свыше 200000 руб. Различные варианты программы определения собственных частот и форм изгибных колебаний, позволяющие анализировать упругие свойства проектируемых тонкостенных стержневых конструкций, внедрены в расчетную практику заинтересованных конструкторских бюро.

**АПРОБАЦИЯ.** Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на научно-технических конференциях Челябинского политехнического института (г. Челябинск, 1975-1980г.г.); на XI научно-технической конференции "Пути повышения, прочности, надежности и долговечности выпускаемых машин и оборудования" (г. Свердловск, 1976г.); на XPI традиционном семинаре МЕТУ (г. Москва, 1977г.); на региональной научно-технической конференции "Управление виброиспытаниями" (г. Челябинск, 1979г.); на научно-технической конференции "Новые методы прогноза надежности машин и оборудования" (г. Свердловск, 1980г.).

**ПУБЛИКАЦИИ.** По материалам диссертации опубликовано 6 научно-технических отчетов ЧПИ, зарегистрированных во ВНИИД и 5 статей.

**ОБЪЕМ РАБОТЫ.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. Содержит 125 страниц текста, 33 иллюстрации, 20 таблиц. Список литературы включает 95 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВО ВВЕДЕНИИ сформулированы проблемы, возникающие в связи с разработкой перспективного ряда большегрузных топливозаправщиков с несущей конструкцией котла цистерны и приведена краткая аннотация работы.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ "Состояние вопроса и постановка задач исследования" проведен анализ режимов нагружения несущих корпусов большегрузных цистерн-полуприцепов и выбран, в качестве основного расчетного, динамический режим установившегося прямолинейного движения топливозаправщика. Такой режим является наиболее характерным в процессе эксплуатации автопоезда и дает основной вклад в накопление усталостных повреждений несущей конструкции. Выполнен обзор работ по определению динамической нагруженности несущих систем транспортных средств. Отмечается большой вклад в решение задач динамики и прочности систем "дорога - транспортное средство - груз", внесенный советскими учеными. Показано, что наиболее перспективными для расчета динамической нагруженности при случайном возмущении являются методы, базирующиеся на достижениях статистической динамики и теории вероятностей и в приложениях к транспортным системам объединенные спектральной теорией подрессоривания. Однако, несмотря на большое число работ по исследованию динамики автомобилей и автопоездов, в настоящее время отсутствуют надежные методы определения динамической нагруженности несущих корпусов большегрузных цистерн-полуприцепов, доведенные до практических приложений, особенно при пространственных случайных колебаниях автопоезда в реальных условиях движения. Выполнен обзор наиболее распространенных методов расчета усталостной долговечности машиностроительных конструкций с точки зрения их использования на этапе проектирования. Отмечается перспективность разработанного в отраслевой научно-исследовательской лаборатории "Динамика и прочность конструкций" Челябинского политехнического института метода линейного суммирования повреждений от случайных процессов в целом (интегрального метода), использующего кривые усталости, полученные при случайном нагружении образцов. Сформулированы цели и задачи теоретического и экспериментального исследования по определению динамических нагрузок и оценке долговечности несущих корпусов большегрузных цистерн-полуприцепов.

ВО ВТОРОЙ ГЛАВЕ "Теоретическое определение статистических характеристик нагруженности несущих корпусов цистерн-полуприцепов при

действии симметричного и несимметричного дорожного микропрофиля", на основе общепринятых в теории поддрессирования допущений, составлена линейная математическая модель динамической системы "цистерна-тягач", учитывающая податливость несущего корпуса цистерны при изгибе и кручении. В силу достаточного удлинения рассматриваемого класса цистерн, схематизация несущего корпуса выполнена на основе предложенной В.П.Жигаревым, А.С.Парсамяном и А.А.Хачатуровым модели рамы грузового автомобиля, в виде упругого на изгиб и кручение стержня, как звена с распределенными параметрами. Однако, для уточнения указанной модели, при описании упругих колебаний цистерны используется схематизация несущего корпуса в виде тонкостенного стержня переменного замкнутого сечения с произвольно распределенными по длине массой и жесткостью. Наличие достаточно часто расположенных внутренних элементов усиления котла цистерны в виде жестких в своей плоскости перегородок, волнорезов и шпангоутов, дает возможность рассматривать поперечное сечение как недеформируемый жесткий контур и использовать методы статического расчета тонкостенных замкнутых профилей, разработанные А.А.Уманским, в качестве базы для решения соответствующей динамической задачи. В рассматриваемом расчетном случае (в процессе установившихся колебаний) гидродинамические нагрузки от волнового движения жидкости, в силу их малости при больших уровнях заполнения, не учитывались и жидкость в полостях цистерны считалась "затвердевшей".

Введение обоснованного допущения о слабой связанности изгибных и крутильных деформаций корпуса цистерны при упругих колебаниях, дает возможность выполнить исследование динамики пространственной системы с помощью двух независимых расчетных схем, одна из которых (рис.1) описывает вертикальные и продольно-угловые колебания автопоезда с учетом изгиба цистерны, а вторая (рис.2) - поперечно-угловые колебания автопоезда с учетом закручивания котла цистерны. При этом используется модель внешнего возмущения, предложенная И.Г. Пархиловским, в соответствии с которой случайное поле дорожной поверхности представлено статистическими характеристиками двух его ортогональных сечений. Симметричное воздействие микропрофиля определяется высотой неровностей по средней линии дороги, а несимметричное воздействие - углом наклона поперечного сечения дорожной поверхности.

Система дифференциальных уравнений пространственных колебаний автопоезда, составлена с помощью уравнений Лагранжа второго рода.

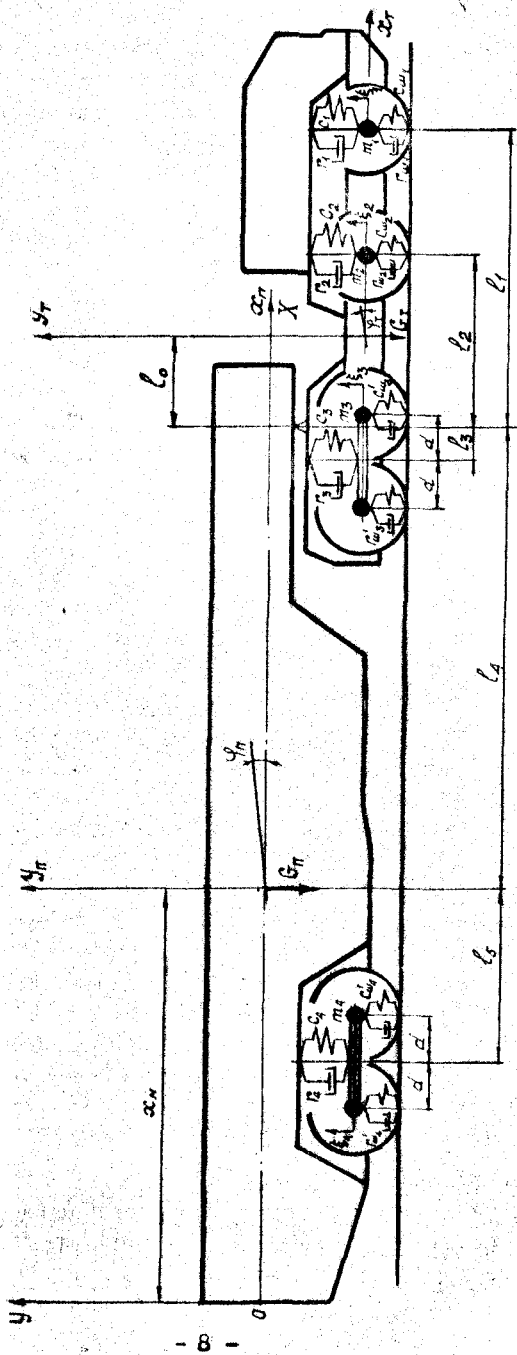


Рис.1. Расчетная схема автопоезда при симметричном воздействии дороги



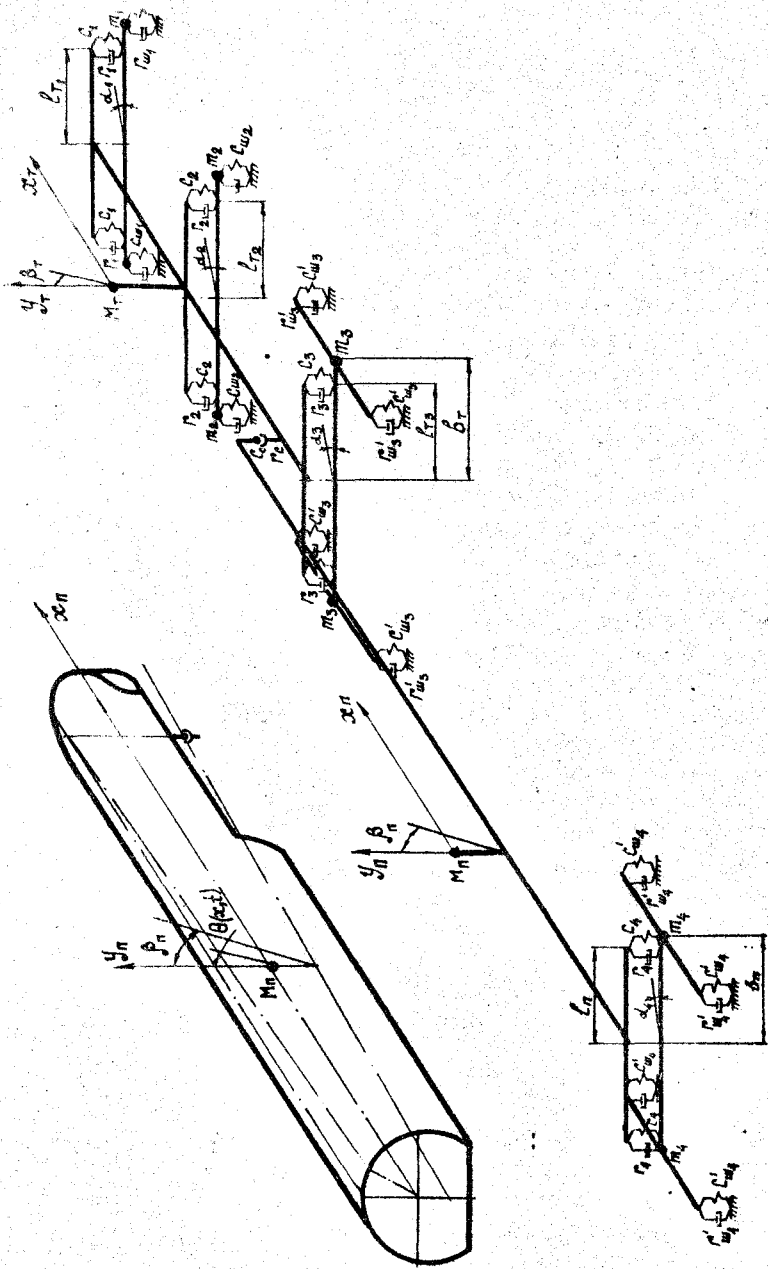


Рис.2. Расчетная схема автопоезда при несимметричном воздействии дороги

Особое внимание уделено описанию упругих вынужденных колебаний тонкостенного корпуса с использованием разложения в ряды по собственным формам изгибных и крутильных колебаний. Решение задачи о собственных колебаниях несущего корпуса цистерны как тонкостенного стержня выполнено с помощью численного метода начальных параметров в матричной форме. Приводится подробное изложение алгоритма нахождения собственных частот и форм упругих колебаний для случая опирания цистерны на двух жестких опорах при изгибе и для шарнирного (в смысле деформации) закрепления одного из сечений цистерны в опорно-сцепном устройстве при кручении. Составлены программы для ЭЦВМ, позволяющие анализировать упругие свойства тонкостенных стержневых конструкций и определены собственные частоты и формы низших тонов изгибных и крутильных колебаний несущего корпуса цистерны топливозаправщика ТЗ-30.

С позиций спектральной теории поддрессоривания изложена методика определения нагруженности цистерн-полуприцепов, базирующаяся на основных зависимостях статистической динамики для стационарных многомерных линейных систем при прохождении через них гауссовых стационарных случайных процессов. Используются формулы, связывающие спектральную плотность случайного процесса на входе системы со спектральной плотностью установившегося процесса изменения выходной переменной. Под выходной переменной подразумеваются физические величины, характеризующие динамическую нагруженность корпуса - вертикальные перегрузки, перерезывающие силы, изгибающие и крутящие моменты в сечениях корпуса. Для определения этих величин получены их амплитудно-фазовые частотные характеристики (АФЧХ), выраженные через АФЧХ обобщенных координат системы. Зависимости внутренних силовых факторов от обобщенных координат для заданной схемы опирания упругой цистерны установлены в следующем виде:

$$W_k(i\omega) = \sum_{j=1}^K C_{kj}(x) \cdot W_{qj}(i\omega),$$

где  $q_j = g, \alpha, M_k, M_k, B, M_{\omega}$  - выходные переменные, характеризующие нагруженность;

$C_{kj}(x)$  - коэффициенты, постоянные для данного сечения;

$W_{qj}(i\omega)$  - АФЧХ обобщенной координаты  $q_j$ .

Выражения для внутренних силовых факторов при кручении упругой цистерны под действием несимметричного возмущения микропрофиля дороги получены на основе формул теории тонкостенных стержней. Приведена методика и алгоритм вычисления статистических характеристик

динамической нагруженности, составлена программа для ЭЦВМ и выполнен расчет нагрузок топливозаправщика ТЗ-30. Получены графики изменения статистических характеристик нагруженности по длине несущего корпуса цистерны и в зависимости от скорости движения для трех типов дорог. Выполненная в рамках принятой идеализации цистерны, как тонкостенного стержня, оценка напряженного состояния корпуса позволила сделать вывод о том, что основным расчетным случаем для проверки усталостной прочности конструкции цистерны этого топливозаправщика является случай динамического нагружения корпуса нормальными напряжениями при продольных вертикальных колебаниях автопоезда от симметричного воздействия неровностей дороги.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ "Экспериментальное определение вероятностных характеристик динамической нагруженности несущих корпусов автоцистерн" сформулированы цели экспериментального исследования нагруженности. Излагается методика проведения натурных транспортных испытаний опытного образца топливозаправщика ТЗ-30, в ходе которых производилась регистрация следующих выходных случайных процессов: 1) вертикальных ускорений в точках подвесок и конструкции цистерны-полуприцепа; 2) динамических напряжений в конструкции цистерны-полуприцепа. Измерение вертикальных виброускорений осуществлялось индуктивными датчиками ДУ-5С, размещенными по длине корпуса цистерны, работающими в комплекте с усилителем виброизмерительной аппаратуры ВИБ-6ТН. Измерение динамических напряжений выполнялось методом электрогенезометрии.

Регистрация вертикальных ускорений и динамических напряжений выполнялась магнитоэлектрическими осциллографами К 20-21. Выбранные мерные участки испытательной трассы имели типичный и стабильный микропрофиль, а длина их обеспечивала представительность реализации. Зафиксированные при испытаниях реализации случайных процессов изменения виброускорений и динамических напряжений были подвергнуты статистической обработке. Полученные после дискретизации выборки обрабатывались на ЭЦВМ с помощью вычислительной программы, в которой реализован алгоритм "быстрого" преобразования Фурье для получения фильтровой оценки спектральной плотности. Результатом работы этой программы были оценки энергетического спектра и дисперсии случайного процесса. Расчет погрешности экспериментальных исследований показал, что максимальная величина ошибки определения вертикальных ускорений и динамических напряжений не превышает 13%. Выполнено сравнение результатов теоретического определения статистических

характеристик динамической нагруженности с результатами, полученными при натуральных испытаниях, показано их хорошее качественное и удовлетворительное количественное совпадение (рис.3, 4).

ЧЕТВЕРТАЯ ГЛАВА "Оценка среднего ресурса несущих корпусов автоцистерн" посвящена исследованию возможностей расчета долговечности корпусов автоцистерн на стадии проектирования. Для расчета усталостной долговечности необходимы сведения, относящиеся к двум различным областям:

1. Данные о действующих в точках конструкции эксплуатационных напряжениях в различных режимах движения. На стадии проектирования эти данные могут быть получены расчетным путем по предлагаемой методике в виде статистических характеристик случайных нагрузок и дополнены сведениями о наиболее вероятном предполагаемом процентном распределении различных дорог и скоростей движения в общем пробеге автопоезда, задаваемом в техническом задании на проектирование.

2. Сведения о характеристиках усталости материала конструкции при действии эксплуатационных нагрузок, которые получают в результате усталостных испытаний деталей или стандартных образцов материала, в соответствии с ГОСТ 23026-78.

Анализ существующих методов расчета усталостной долговечности показывает, что в большинстве из них используются кривые усталости, полученные при гармоническом нагружении образцов, несмотря на замеченное существенное различие в механизмах накопления повреждений под действием гармонических и случайных, особенно широкополосных нагрузок. При этом, для использования уже имеющихся гармонических кривых усталости различных материалов, действительный случайный процесс нагружения конструкции приходится упрощать либо путем схематизации и приведения его к совокупности амплитуд, либо эквивалентной (в смысле повреждающего действия) заменой гармоническим. Расчет долговечности при таком подходе, содержит два вида ошибок, не поддающихся учету. Первые возникают из-за дискретизации действительного процесса нагружения конструкции, замены его полигармоническим или гармоническим, с неизбежными потерями информации об упрочняющем и разрушающем воздействии реального случайного процесса. Ошибки второго типа возникают вследствие использования гармонической кривой усталости, которая не отражает истинного процесса накопления усталостных повреждений в образцах под действием нагрузки, изменяющейся по случайному закону. Указанные ошибки приводят к существенному отличию результатов экспериментальных исследований долговечности конст-

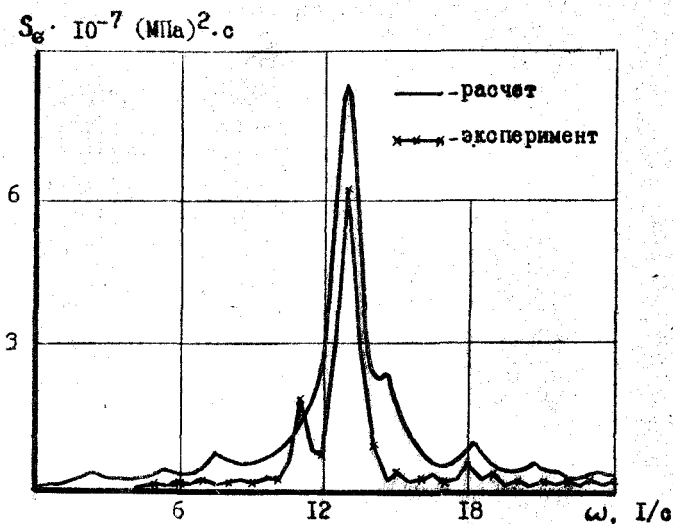


Рис. 3. Спектральная плотность динамических напряжений в месте установки тензодатчика № 176.

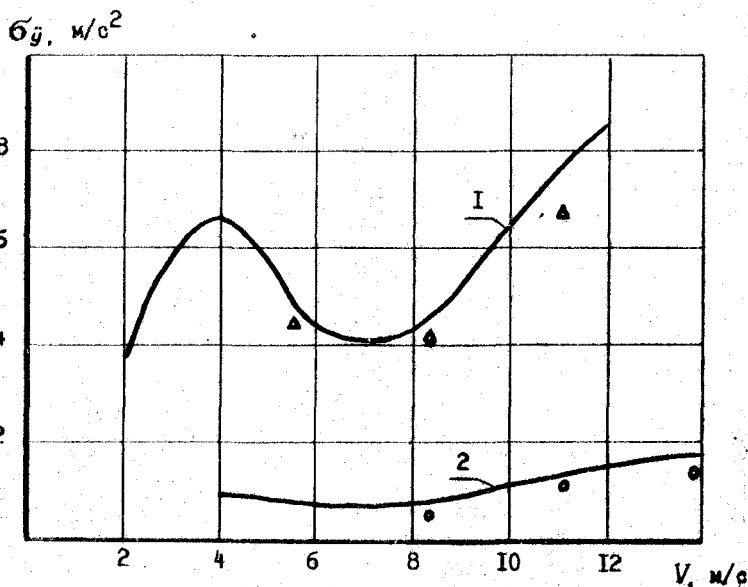


Рис. 4. Изменение СКО вертикальных ускорений в сечении  $\alpha = 6,95\text{м}$  от скорости движения. 1 - грунт; 2 - асфальт;  $\Delta, \circ$  - экспериментальные оценки

рукций при случайном нагружении от значений долговечности, рассчитываемых на основе линейной гипотезы суммирования повреждений. Введение корректировки линейного закона суммирования повреждений не дает существенного повышения точности теоретических оценок.

В данной работе для расчета ресурса несущего корпуса цистерны используется разработанный в отраслевой научно-исследовательской лаборатории "Динамика и прочность конструкций" Челябинского политехнического института интегральный метод оценки долговечности.

Идея метода состоит в том, что для определения накопленного повреждения предлагается производить суммирование относительных повреждений от случайных процессов в целом, путем постановки в соответствие случайному нагружению конструкции некоторой критериальной кривой, полученной при испытаниях образцов в условиях, отвечающих реальному случайному процессу нагружения конструкции. Долговечность оценивается сравнением статистических характеристик случайного процесса нагружения конструкции с критериальной поверхностью усталости, полученной при таком же случайном нагружении образцов. На основе предложенной авторами интегрального метода классификации случайных процессов по мере их широкополосности  $\beta$  и введения коэффициентов эквивалентности по структуре и асимметрии процессов, осуществлен переход от поверхностей усталости, с различным значением меры широкополосности и асимметрии, к опорной кривой усталости (одной для данного материала), получаемой при нагружении образцов узкополосным случайным процессом простой структуры ( $\beta = 1$ ) без асимметрии.

Нагруженность конструкции в процессе эксплуатации всегда может быть представлена в виде последовательности стационарных (квазистационарных) режимов и в каждом из них случайный процесс нагружения имеет свои значения математического ожидания напряжений  $m_{\sigma}$ , СКО напряжений  $\sigma_{\sigma}$  и параметра широкополосности  $\beta$ .

Относительное повреждение, полученное от всех случайных процессов (от всей совокупности эксплуатационных нагрузок) в течение срока службы, определяется на основе статистической модели линейной гипотезы суммирования повреждений от случайных процессов в целом:

$$P = \sum_{j=1}^k P_j = \sum_{j=1}^k \frac{n_{\sigma j}}{N_{\sigma j}}$$

Здесь  $P_j$  — относительное повреждение, получаемое элементом конструкции при работе на  $j$ -м режиме случайного нагружения;

$n_{\sigma j}$  — число условных циклов изменения напряжений  $j$ -го режима (число пересечений уровня математического ожидания с одним зна-

ком производной), накопленное при нагружении конструкции случайным процессом со статистическими характеристиками  $m_{\sigma j}$ ,  $\sigma_{\sigma j}$ ,  $\beta_j$ ;

$N_{0j}$  — число условных циклов напряжений до выполнения критерия повреждения, определяемое по кривой усталости при случайном нагружении  $\lg N_{0j} - \sigma_{\sigma j}$  для значений  $m_{\sigma j}$  и  $\beta_j$ .

Очевидно, что при выполнении критерия повреждения, в качестве которого выбран момент появления сквозной трещины, приводящей к негерметичности емкости, величина суммы относительных повреждений становится равной единице:

$$\sum_{j=1}^k \frac{N_{0j}}{N_{0j}} = 1.$$

Последняя формула аналогична известной формуле линейного суммирования повреждений, но имеет статистический смысл, так как в данном случае суммируются повреждения от случайных процессов в целом.

В соответствии с положениями интегрального метода, были проведены усталостные испытания образцов материала цистерны и получены опорные кривые усталости при случайном нагружении. Применение составных образцов с концентраторами позволило учесть влияние последних на параметры кривой усталости. Вычисление оценки среднего ресурса с помощью интегрального метода выполняется в следующей последовательности:

для каждого  $j$ -го режима движения автопоезда (заданного скоростью и типом дороги), рассчитываются статистические характеристики нагруженности сечений корпуса — СКО напряжений  $\sigma_{\sigma j}$ , эффективная частота  $f_{\sigma j}$ , параметр широкополосности  $\beta_j$  и асимметрии  $\mu_j$ ;

с помощью опорных кривых усталости, полученных при случайном нагружении образцов материала цистерны, определяют средние значения располагаемых долговечностей  $N_{0j}$  для каждого  $j$ -го режима нагружения (с учетом приведения действующих случайных процессов нагружения с  $\beta_j \neq 1$  и  $\mu_j > 0$  к узкополосным  $\beta_j = 1$  и без асимметрии  $\mu_j = 0$ );

по известному относительному распределению режимов нагружения определяется располагаемое число циклов (средний ресурс)

$$n_{\sigma \Sigma} = 1 / \left( \sum_{j=1}^k \frac{\alpha_j}{N_{0j}} \right),$$

где  $\alpha_j = \frac{N_{0j}}{n_{\sigma \Sigma}} = \frac{t_j}{T}$  — относительная длительность  $j$ -го режима эксплуатации,

$n_{\sigma \Sigma}$  — суммарное число условных циклов, накопленное за время эксплуатации.

Средний ресурс в единицах времени выражается через известные из динамического расчета эффективные частоты процессов нагружения

$$T = \sum_{j=1}^k \frac{\alpha_j}{f_{e_j}}$$

Средний пробег цистерн-полуприцепа равен

$$L = T \cdot \sum_{j=1}^k (\alpha_j \cdot V_j),$$

где  $V_j$  — средние скорости движения на участке  $j$ -го режима нагружения.

По изложенной методике выполнена оценка долговечности несущего корпуса цистерны топливозаправщика ТЗ-30 и определен ее средний ресурс.

В ЗАКЛЮЧЕНИИ сформулированы основные выводы по диссертационной работе.

1. Для исследования динамической нагруженности разработана пространственная расчетная схема автопоезда, включающая упругий на кручение и изгиб несущий корпус цистерны, как звено с распределенными параметрами. В рамках принятой идеализации выполнено математическое описание линейной динамической системы цистерна-тягач. Сравнение результатов расчета статистических параметров колебаний с данными натурального эксперимента показало их удовлетворительную сходимость, что говорит об адекватном отражении изучаемого явления в модели.

2. Полученные соотношения для определения параметров динамической нагруженности несущих корпусов дают возможность оценить влияние конструктивных факторов и условий эксплуатации на напряженное состояние цистерны. Расчетные зависимости для определения вероятностных характеристик нагруженности упругого корпуса, как тонкостенного стержня, при поперечно-угловых колебаниях автопоезда получены впервые.

3. На основе теоретических разработок создана методика определения динамической нагруженности несущих корпусов цистерн-полуприцепов, с помощью которой выполнен расчет динамических нагрузок корпуса цистерны топливозаправщика ТЗ-30.

Разработанная методика позволяет количественно оценить величины нагрузок, перерезывающих сил изгибающих и крутящих моментов в произвольном сечении корпуса цистерны, определить, в рамках принятой идеализации, статистические характеристики напряжений, выявить ослабленные сечения и резервы прочности конструкции. На основе полученных зависимостей для статистических показателей транспортировочного нагружения, на этапе проектирования, может быть выбрана наиболее рациональная конструктивно-силовая схема несущего корпуса цис-



терны-полуприцепа, аргументированно назначены необходимые требования к параметрам подрессоривания и ограничения на режимы эксплуатации.

4. Выполнено экспериментальное исследование динамической нагруженности несущего корпуса цистерны ТЗ-30. Удовлетворительное совпадение результатов теоретического определения нагрузок и натурального эксперимента подтверждает эффективность предлагаемой методики определения динамических нагрузок.

5. Проведены усталостные испытания образцов материала корпуса цистерны ТЗ-30 и получены опорные кривые усталости при случайном нагружении для стали 12Х18Н10Т. На примере определения ресурса несущего корпуса цистерны ТЗ-30, показана возможность применения интегрального метода для расчетов долговечности в сложных режимах случайного нагружения.

6. Разработанная методика и программы расчета могут быть использованы для определения динамической нагруженности и оценки ресурса несущих конструкций, используемых в различных отраслях промышленности и допускающих идеализацию их расчетных схем в виде тонкостенных стержней.

В ПРИЛОЖЕНИИ приведены таблицы результатов расчета динамической нагруженности корпуса цистерны топливозаправщика ТЗ-30 и акты внедрения методики и вычислительных программ.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Вероятностный анализ при расчете на изгиб многоопорных автоцистерн. - В кн.: Динамика и прочность конструкций, Челябинск, ЧПИ, 1975, № 159. - с. 51-61. (Соавторы: Гриненко Н.И., Казаков А.Л.).
2. О колебаниях тела и жидкости, частично заполняющей его цилиндрическую поверхность. - В кн.: Динамика и прочность конструкций, Челябинск, ЧПИ, 1975, № 159. - с. 41-50. (Соавтор Казаков А.Л.).
3. Поперечно-угловые колебания большегрузных автоцистерн. - В кн.: Вопросы улучшения динамических характеристик машин, Челябинск, ЧПИ, 1976, № 175. - с. 90-94. (Соавторы: Ведерников Н.Н., Казаков А.Л.).
4. Продольная динамика специализированных автопоездов для перевозки жидких грузов. - В кн.: Вопросы улучшения динамических характеристик машин, Челябинск, ЧПИ, 1976, № 175. с. 95-98. (Соавторы: Ведерников Н.Н., Казаков А.Л.).
5. Оценка нагруженности несущих корпусов большегрузных автоцистерн от несимметричного воздействия микропрофиля дороги. - В сб.: "Пути

повышения прочности, надежности и долговечности выпускаемых машин и оборудования". Тезисы докладов XI научно-технической конференции. Свердловск, 1976. - с.17-18. (Соавтор Казаков А.Л.).

6. Научно-технические отчеты ЧПИ, инвентарные номера ВНИИ: Б225402, Б225416, Б236740, Б341824, Б490019, Б490020.

**Мошкин Сергей Николаевич**

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ И ОЦЕНКА  
СРЕДНЕГО РЕСУРСА НЕСУЩИХ КОРПУСОВ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ  
ЦИСТЕРН ТОПЛИВОЗАПРАВЩИКОВ

Специальность 01.02.06 - "Динамика и прочность машин,  
приборов и аппаратуры"

Техн. редактор Миних А. В.

---

ФБ 04035. Подписано к печати 3/III-81г. Формат бумаги 60x90 1/16.  
Объем 1 п. л., 0,8 уч.-изд. л. ЧПИ. Тираж 100 экз. Заказ № 78/270.