

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА ИМЕНИ М.И.КАЛИНИНА

На правах рукописи

КЕДРЯ Михаил Михайлович

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
НАГРУЖЕННОСТИ ВАГОНОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ
ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

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
1979

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА ИМЕНИ М.И.КАЛИНИНА

На правах рукописи

КЕДРЯ Михаил Михайлович

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
НАГРУЖЕННОСТИ ВАГОНОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ
ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ Поездов

05.22.07 - Подвижной состав и тяга поездов

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Днепропетровский
институт инженеров
желез. дор. транспорта
им. М. И. Калинина
БИБЛИОТЕКА
ОСНОВНОЙ ОТДЕЛ

Днепропетровск
1979

6838a

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

Научные руководители :

Заслуженный деятель науки УССР, академик АН УССР, доктор технических наук, профессор В.А.Лазарян ;

Старший научный сотрудник, кандидат технических наук
Л.А.Манашкин.

Официальные оппоненты :

доктор технических наук, профессор А.А.Львов ;
кандидат технических наук, доцент О.М. Савчук.

Ведущее предприятие: Днепродзержинский вагоностроитель-
ный завод им. газеты " Правда "

Защита диссертации состоится *31 января* 1980 г
на заседании специализированного Совета К II4.07.01 в
Днепропетровском институте инженеров железнодорожного
транспорта им.М.И.Калинина по адресу 320629, ГСП, г. Дне-
пропетровск-10, ул. Университетская, 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
института.

Автореферат разослан *26 января* 1979 г.

Ученый секретарь специализированного совета,
кандидат технических наук, доцент
Л.В.ПЕТРОВИЧ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В решениях XXV съезда КПСС по десятилетнему плану предусмотрено дальнейшее развитие железнодорожного транспорта. Особое внимание при этом должно быть уделено повышению пропускной и провозной способности железных дорог. Решение этих задач связано с увеличением весовой нормы и скоростей движения поездов.

При эксплуатации поездов повышенного веса необходима информация о нагруженности подвижного состава. Из многочисленного числа нагрузок, действующих на вагоны поезда, следует выделить, прежде всего, продольные усилия, возникающие при переходных режимах движения поездов. Эти усилия возрастают с увеличением веса, а в ряде случаев и скорости движения поезда. Анализ эксплуатации тяжеловесных поездов, проведенный в СССР и за рубежом, показал, что наблюдавшиеся изломы автосцепок и даже элементов конструкций вагонов возникали не только при аварийных ситуациях, но и в результате многократного повторения динамических нагрузок, наибольшие значения которых являются случайными величинами. Вопросы, связанные с изучением статистических характеристик усилий, действующих на вагоны в поезде, являются актуальными в настоящее время, так как необходимым этапом определения надежности элементов ударно-тяговых приборов является исследование их нагруженности в эксплуатации.

Зная нагруженность вагонов, можно разработать более долговечные конструкции элементов подвижного состава, а исследование влияния способов вождения поездов на нагруженность вагонов позволит рекомендовать такие режимы управления, при которых подвижному составу будет наноситься наименьший урон.

Отдельные экспериментальные работы по определению статис-

тических характеристик продольных усилий не позволили получить полную информацию ввиду ограниченности диапазона варьируемых параметров конструкций и времени на проведение исследований. Кроме того, эксперименты в натуре связаны с большими затратами. Следовательно, статистическую оценку нагруженности подвижного состава в условиях эксплуатации целесообразно получить теоретически с помощью современных ЭВМ.

Цель работы. I. Разработка методики исследования с помощью ЭВМ переходных режимов движения одномерных нелинейных механических систем, которые представляют собой железнодорожные поезда, при действии на них внешних сил со случайными параметрами при случайных начальных состояниях поезда.

2. Получение статистических параметров продольных растягивающих и сжимающих усилий, действующих на вагоны при трогании и регулируемом торможении поезда ступенью в режимах эксплуатации.

3. Оценка эффективности рекомендаций по управлению тяжело-весными поездами путём анализа статистических параметров продольных усилий.

Методы исследования. Для решения поставленной задачи использованы современные методы математической статистики и электронного моделирования одномерных нелинейных многомассовых механических систем с использованием стандартных ЭВМ и дополнительных специальных устройств.

Научная новизна. Разработана методика определения с помощью ЭВМ статистических характеристик продольных усилий при движении поезда по переломам продольного профиля пути. Для этого созданы специальные устройства, позволяющие моделировать силовые характеристики фрикционных поглощающих аппаратов с "захватываниями" и последующими "срывами" клиньев, имеющими место в эксплуатации и силы, действующие на поезд.

В отличие от ранее использовавшихся способов задания силы тяги при исследовании переходных режимов движения поездов предложена методика вычисления её величины путём решения дифференциального уравнения изменения тока тяговых двигателей при выводе сопротивлений пускового реостата. Показано, что переходные процессы в цепи тяговых двигателей не оказывают существенного влияния на уровень силы тяги и ими можно пренебречь при определении продольных растягивающих усилий.

Методами электронного моделирования и математической статистики произведена оценка нагруженности вагонов при трогании и торможении грузовых поездов на характерных участках продольного профиля пути.

Получены линейные зависимости статистических параметров продольных растягивающих и сжимающих усилий, действующих на вагоны поездов весом 3,0-10,0 тыс. тонн. Статистические распределения усилий сглаживаются рядами Грама-Шарлье.

Исследовано влияние напряжения в контактной сети, темпа нарастания силы тяги, жесткости междвагонных соединений и величины зазоров в них, а также статистической неоднородности поезда по массе на продольные усилия при трогании поездов.

При регулировочных торможениях исследовано влияние параметров продольного профиля пути и момента включения тормозов на продольные сжимающие усилия.

Практическая ценность работ. 1. Разработанная на базе стандартных АВМ электронная аппаратура расширяет их возможности для исследования переходных режимов движения поездов. Предложенная в работе методика электронного моделирования может быть использована при исследовании динамики одномерных существенно нелинейных механических систем.

2. Методами электронного моделирования в лабораторных усло-

виях оценены статистические характеристики продольных сжимающих и растягивающих усилий в поездах в условиях эксплуатации .

3. Произведена оценка нагруженности вагона для перевозки нефтебитума, изготовленного на ДВЗ им. газеты "Правда" при разработке методики ускоренных испытаний. Внедрение этой информации позволило существенно сократить затраты на проведение экспериментальных исследований.

4. Результаты исследований использованы при подготовке рекомендаций по вождению тяжеловесных поездов на Приднепровской железной дороге .

Апробации. Основные положения работы доложены и обсуждены на симпозиуме "Проблемы моделирования динамики подвижного состава" (г. Брянск, 1973 г.), на юбилейной научно-технической конференции по проблемам железнодорожного транспорта (г. Днепропетровск, 1977 г.), на республиканском научном семинаре "Вычислительная техника, автоматическое управление и регулирование" (г. Днепропетровск, 1978 г.), на научном семинаре "Общая механика" (г. Днепропетровск, 1979 г.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано II работ .

Структура диссертации. После обзора выполненных работ и существующих методов исследования проводится постановка задачи и определяются цели исследований.

В первой главе приводятся и обосновываются принятые математические модели переходных режимов движения поездов при трогании и регулировочном торможении.

Во второй главе описывается принцип действия отдельных узлов и электронных схем, а также структура всей специализированной модели поезда. Результаты электронного моделирования сопоставляются с данными экспериментальных исследований и расчётов на ЭЦМ.

В третьей главе содержатся все основные результаты статистических исследований по троганию с места и регулировочному торможению грузовых поездов, их анализ и обобщение .

Завершается работа заключением.

Объём работы. Данная работа состоит из введения, трёх глав и заключения. Она изложена на 85 страницах машинописного текста, содержит 53 рисунка , 18 таблиц, список использованной литературы из 162 наименований и приложение .

Основное содержание работы. Во введении приводится обзор литературы по исследованию переходных режимов движения поездов, обоснование актуальности работы, формулируется постановка задачи и цель исследований .

Исследованию динамических усилий, действующих на отдельные вагоны при соударениях, а также усилий, возникающих в поездах при переходных режимах движения, посвящены работы Н.Е. Жуковского, В.А. Лазаряна, Е.П. Блохина, С.В. Вершинского, Л.Н. Никольского, Н.А. Панькина и др. авторов .

В связи с тем, что большинство теоретических и экспериментальных работ по переходным режимам движения поездов было выполнено с целью определения верхних границ максимальных усилий, в данной работе проводится разработка методики статистических исследований с помощью АВМ режимов троганий и регулировочных торможений, наиболее часто возникающих в эксплуатации. Эта методика позволит производить оценку нагруженности вагонов в указанных режимах. Для этого необходимо разработать алгоритмы и электронную аппаратуру, с помощью которых можно проводить статистические исследования .

В первой главе „Математическое моделирование переходных режимов движения поездов с зазорами в упруги“ приводятся дифференциальные уравнения, описывающие продольные колебания вагонов в

грузовом поезда при переходных режимах движения. Так как рассматриваются случаи, когда зазоры оказывают влияние на переходной процесс, расчётная схема поезда представляется в виде одномерной цепочки твёрдых тел, соединённых существенно нелинейными деформируемыми элементами. В работе предложен способ задания силы тяги путём решения дифференциального уравнения изменения тока в цепи тяговых двигателей (ТД). В предположении, что все тяговые двигатели электровоза имеют идентичные характеристики и буксование колёсных пар отсутствует, выражения для вычисления силы тяги F_k имеют вид

$$\begin{cases} U_d = z_a i + \frac{60}{\pi} \mu \frac{V_0}{D_s} C \Phi + 1,35 \cdot 2p \cdot \sigma \cdot \omega_a \cdot 10^{-8} \frac{d\Phi}{dt}, \\ U_d = \frac{U_{kc} - R_p i}{m}, \\ F_k = \frac{2\mu}{D_s} \eta_s K \Phi i. \end{cases} \quad (I)$$

Здесь U_d - напряжение, приложенное к ТД; U_{kc} - напряжение в контактной сети; R_p - активное сопротивление пускового резистора; z_a - активное сопротивление всех обмоток ТД; m - число последовательно соединённых ТД; D_s - диаметр бандажа колёсной пары по кругу катания; μ - передаточное отношение редуктора тяговой передачи; η_s - к.п.д. редуктора; C, K - постоянные параметры, зависящие от конструкции и типа ТД; i - ток в цепи возбуждения ТД; Φ - магнитный поток главного полюса; $2p$ - число пар полюсов ТД; σ - коэффициент рассеяния главного полюса; ω_a - число витков обмотки возбуждения.

С целью сокращения объёма электронного оборудования, повышения надёжности и упрощения контроля за работой всего комплекса АВМ, опираясь на результаты проведенных в ДИИТе теоретических исследований, выполнены преобразования математической модели поезда, позволяющие понизить порядок системы дифференциальных

уравнений.

Смысл упрощения математической модели поезда заключается в том, что дискретная одномерная механическая система заменяется эквивалентным по массе стержнем, движение которого описывается дифференциальным уравнением в частных производных с нелинейной зависимостью между усилиями и деформациями .

Далее строятся дифференциально-разностные уравнения колебаний стержня, описывающие движение каждого элемента, на которые он может быть разбит. При этом предполагается, что движение всех точек таких элементов происходит с ускорением, равным ускорению его центра масс .

Выполненные преобразования показали, что : 1) массы вагонов объединяются в одну группу ; 2) эквивалентная жесткость одного соединения меньше жесткости соединения в реальной системе во столько раз, сколько вагонов в группе ; 3) зазор в эквивалентном соединении равен сумме зазоров в соединениях вагонов, вошедших в группу ; 4) все соединения в пределах группы работают синхронно на одних и тех же участках силовой характеристики ; 5) эквивалентные тормозная сила, составляющая силы тяжести, сила основного сопротивления движению определяются мгновенными значениями суммы сил, действующих на каждый вагон группы .

Анализ результатов экспериментальных и теоретических работ показал, что величина силы тяги, которую развивают локомотивы при трогании поездов, может изменяться от режима к режиму случайно. По результатам экспериментальных исследований получены средние значения ΔP_i ступеней изменения силы тяги, их среднеквадратичные отклонения $\sigma_{\Delta P}$ и средние значения интервалов времени T_i между включением двух соседних ступеней .

Известно, что тормозные силы зависят от вида диаграммы наполнения тормозных цилиндров воздухом. У воздухораспределителей

с условным номером 270-005 в момент прихода волны разряда тормозной магистрали сначала появляется незначительный скачок давления, а затем, спустя некоторый промежуток времени, происходит интенсивное наполнение тормозного цилиндра воздухом до заданного давления. В реальных условиях чувствительность воздухораспределителей к перепаду давлений различна. Поэтому возможно появление тормозной силы раньше в сечении, удалённом от локомотива, чем в первом. Это подтверждается данными экспериментальных исследований усилий, возникающих в тяжеловесных грузовых поездах при торможении. Запаздывание начала появления тормозной силы от момента начала разряда тормозной магистрали в данном месте поезда является случайной величиной .

Кроме того, тормозная сила зависит от коэффициента трения, который в свою очередь зависит от скорости движения и силы нажатия тормозной колодки. Так как состояние трущихся поверхностей весьма различно, то тормозная сила, так же, как и запаздывание в срабатывании тормозных систем, является случайной величиной. По данным (Казаринов В.М. и др. Теоретические основы проектирования и эксплуатации автотормозов. М. "Транспорт", 1968), коэффициент неравномерности работы тормозных сил составляет 1,3 .

Во второй главе "Электронное моделирование переходных режимов движения поезда" описывается принцип построения электронной модели поезда и её работа при исследовании переходных режимов движения в стохастической постановке .

Электронная модель поезда собрана на базе стандартных АВМ и включает в себя следующие основные элементы : 1) ячейки для моделирования силовых характеристик упруго-фрикционных поглощающих аппаратов; 2) блоки для формирования напряжений-аналогов тормозных сил со случайным уровнем; 3) устройство для моделирования распространения волн в тормозной системе ; 4) устройство для мо-

делирования силы тяги ; 5) устройство для моделирования напряжений-аналогов сил основного сопротивления движению; 6) генератор для моделирования изменения составляющей силы тяжести с комплектом блоков постоянного запаздывания, позволяющих моделировать движение поезда с постоянной скоростью по переломам продольного профиля пути ; 7) стандартные операционные усилители и интеграторы для моделирования скоростей и относительных перемещений вагонов поезда ; 8) регистрирующее устройство .

Ячейки для моделирования силовых характеристик упруго-фрикционных поглощающих аппаратов выполнены на базе стандартных блоков операционных усилителей. В каждой ячейке использован один операционный усилитель, что позволило существенно сократить количество электронного оборудования. Кроме того, в ней предусмотрена возможность моделирования явлений "захватывания" и последующих "срывов" клиньев, которые, как известно имеют место при ударном сжатии фрикционных поглощающих аппаратов автосцепки. Применение такой электронной схемы позволило довольно точно моделировать участок перехода на силовой характеристике от нагрузки к разгрузке. К специфическим особенностям разработанной схемы следует отнести возможность появления структурной неустойчивости при моделировании нелинейных многомассовых систем, что наложило свой отпечаток на выбор конструктивных параметров схемы и масштабов. При исследовании переходных режимов движения жесткость междувagonных соединений устанавливалась равной интегральному значению с некоторым разбросом.

Моделирование процесса набора силы тяги со случайным уровнем ступеней её прироста проводилось при помощи специальной электронной схемы. Для моделирования процесса осаживания поезда и задания произвольного состояния состава схема дополнена четырьмя решающими усилителями. Два из них служат для задания силы

ооаживания (уровень и разброс которой выбирались в соответствии с параметрами первой позиции контроллера машиниста). Третий усилитель моделирует произвольную паузу перед началом набора тяги, а четвертый, работающий в масштабном режиме, обуолавливает подачу в модель поезда напряжений-аналогов силы тяги или силы ооаживания .

При исследовании влияния напряжения в контактной сети на распределение продольных усилий при трогании поезда решалась система уравнений (I). Магнитная характеристика ТД моделировалась на нелинейном блоке методом кусочно-линейной аппроксимации, процесс образования противо-э.д.с. и вращающего момента на валу ТД - на блоках произведения. Для моделирования изменения сопротивления пускового реостата был собран специальный релейный блок, состоящий из решающего усилителя, в обратную связь которого включён секционированный резистор, в определённом масштабе соответствующий пусковому реостату исследуемого электровоза. При работе блока с помощью группы реле производилось последовательное отключение секций, имитирующее работу группового переключателя. Случайная величина напряжения в контактной сети моделировалась аналогично силе тяги со случайным уровнем .

Моделирование изменения составляющей силы тяжести вагонов и локомотивов при движении поезда по переломам продольного профиля пути осуществляется с помощью генератора напряжений треугольной формы. Выработанное генератором напряжение поступает на операционный усилитель, преобразующий это напряжение в соответствии с законом изменения составляющей силы тяжести. Во входную цепь усилителя включены диоды для задания "зоны нечувствительности", диоды в цепи обратной связи реализуют нелинейность типа "ограничение". "Зона нечувствительности" позволяет моделиро -

вать движение на площадке, а «ограничение» - по спуску с постоянным уклоном. Моделирование распространения волны возмущений вдоль поезда, движущегося с постоянной скоростью по перелому продольного профиля пути, осуществляется цепочкой блоков постоянного запаздывания, выполняющих задержку сигналов на время, соответствующее движению вагона (или группы вагонов) по характерным участкам профиля.

Для реализации на электронной модели процесса торможения использовано изготовленное в лаборатории динамики ДИИТа устройство, вырабатывающее напряжения-аналоги тормозных сил со случайными уровнями и запаздываниями относительно фиксированных моментов времени, определённых моментами прихода волны разрядки или зарядки магистрали воздухом.

Моделирование распространения фронта волны разрядки тормозной магистрали и отпуска тормозов осуществляется регистром, выполненным на стандартных триггерах с раздельными входами, связанными линиями задержки из RC цепочек. При торможении волна разряда магистрали соответствует волне перехода триггеров в единичное состояние. Волне перехода триггеров в нулевое состояние соответствует волна отпуска тормозов. Скорость распространения волны в магистрали определяется частотой следования импульсов, задаваемых низкочастотным генератором периодических колебаний. Величина запаздывания регулируется с помощью ячеек, выполненных на базе неуправляемого переключающего диода.

Формирование напряжений-аналогов силы нажатия тормозных колодок производится путём подключения к входным цепям группы интеграторов, заряженных до определённого уровня (с установленным разбросом) конденсаторов. При этом выходные напряжения интеграторов возрастают от нуля до наибольшего значения по экспоненциальному закону. Моделирование процесса отпуска происходит в те

моменты, когда отключаются входные конденсаторы и разряжаются ёмкости обратных связей на резисторы.

Нелинейная зависимость коэффициента трения от скорости движения моделируется с помощью операционного усилителя, во входную цепь которого включен делитель напряжения с нелинейным полупроводниковым резистором.

Напряжения - аналоги тормозных сил, подаваемые на входы модели поезда, формируются путём произведения напряжений-аналогов сил нажатия и напряжений-аналогов коэффициентов трения.

Моделирование сил основного сопротивления движению осуществляется путём подачи напряжений соответствующего знака в модель поезда на входы интеграторов скорости.

Результаты решений в виде напряжений-аналогов максимальных по абсолютному значению усилий в шестнадцати равномерно распределённых по длине поезда сечениях регистрировались многоканальным пиковым вольтметром.

После окончания решения осуществлялась последовательная выдача этих значений на разграфлённую ленту самописца, позволяющую распределить полученные величины по уровням и построить гистограмму.

Контроль работы модели поезда периодически осуществлялся путём : а) записи силовой характеристики в каждом сечении на двухкоординатном самописце; б) соответствия уровня напряжений-аналогов внешних сил задаваемым значениям ; в) качественного и количественного анализов осциллограмм переходных процессов при решении контрольных примеров.

Исследовался поезд, в котором средняя жесткость междугонного соединения при нагружении в основном составляла 2600 тм^{-1} при среднеквадратичном отклонении 300 тм^{-1} . Среднее же значение зазора в соединениях равнялось 63 мм, а среднеквадратич-

ное отклонение его - 8 мм .

С целью проверки приемлемости принятых при моделировании расчётных схем, а также проверки достоверности получаемых статистических параметров нагрузок результаты моделирования сравнивались с результатами экспериментов. При сравнении рассматривались режимы трогания с места поезда весом 10,0 тыс.тонн случайно нарастающей силой тяги и произвольным начальным состоянием состава и регулировочное торможение с отпуском тормозов растянутого поезда весом 8,0 тыс.тонн на площадке. В табл. I приведены средние значения максимальных растягивающих и сжимающих усилий $\bar{S}_{max}$ и их среднеквадратичные отклонения σ_s , полученные при моделировании и в эксперименте .

Таблица I

Режим	$\bar{S}_{max}$, тс		Погрешность, %	σ_s , тс		Погрешность, %
	Эксперимент	Модель		Эксперимент	Модель	
Трогание	68,5	73,1	7	20,0	15,6	22
Торможение	43,1	48,1	12	20,1	18,2	9
Отпуск тормозов	50,1	50,6	1	22,1	19,6	11

Из табл. I следует, что принятые расчётные схемы и специализированная электронная модель приемлемы для исследования статистических параметров продольных усилий при переходных режимах движения поездов.

Для определения минимального количества наблюдений, позволяющих получать достаточно достоверные статистические данные, исследовались продольные усилия, возникающие при движении поезда весом 4,0 тыс.тонн по одиночному перелому продольного профиля пути "симметричная яма" с параметрами $\Delta i = 30\%$, $R = 20 \cdot 10^3$ м

на выбеге и при регулировочном торможении с начальной скоростью 100 км/ч и отпущом тормозов при скорости 80 км/ч. По каждому варианту статистической обработке подвергалась как вся выборка, состоящая из 100 решений, так и часть её из 30 первых решений (табл.2).

Таблица 2

Режим движения	Растягивающие силы		Сжимающие силы	
	30 решений	100 решений	30 решений	100 решений
Выбег	—	—	$\bar{\sigma}_{\max} = 31,2 \tau$ $\sigma_s = 9,9 \tau$	$\bar{\sigma}_{\max} = 31,4 \tau$ $\sigma_s = 10,6 \tau$
РТ на площадке	$\bar{\sigma}_{\max} = 40,2 \tau$ $\sigma_s = 14,5 \tau$	$\bar{\sigma}_{\max} = 40,1 \tau$ $\sigma_s = 16,7 \tau$	$\bar{\sigma}_{\max} = 21,4 \tau$ $\sigma_s = 9,2 \tau$	$\bar{\sigma}_{\max} = 20,7 \tau$ $\sigma_s = 10,2 \tau$
РТ на переломе	$\bar{\sigma}_{\max} = 43,5 \tau$ $\sigma_s = 17,4 \tau$	$\bar{\sigma}_{\max} = 43,1 \tau$ $\sigma_s = 17,5 \tau$	$\bar{\sigma}_{\max} = 24,1 \tau$ $\sigma_s = 11,7 \tau$	$\bar{\sigma}_{\max} = 22,9 \tau$ $\sigma_s = 11,3 \tau$

Из табл.2 следует, что значения $\bar{\sigma}_{\max}$ и σ_s для выборок из 100 и 30 решений отличаются незначительно. Сравнивая эти значения по критерию Смирнова, убеждаемся, что при уровне значимости 0,05 и критическом значении 0,0716 во всех рассматриваемых случаях разница между интегральными распределениями для выборок из 100 и из 30 решений остаётся меньшей, чем критическое значение, поэтому эти выборки могут быть отнесены к одному и тому же закону распределения. В дальнейшем, при исследовании регулировочных торможений, статистические параметры продольных усилий определялись по 30 решениям, а при трогании с места — по 50–100 решениям.

В третьей главе «Анализ и обработка результатов исследований» приводятся статистические характеристики продольных усилий, возникающих в грузовых поездах при различных режимах трогания и регулировочном торможении в ситуациях, имеющих место при эксплуатации. Проведены исследования влияния напряжения в контактной сети, темпа набора силы тяги, запаздывания включения тормозов на переломе продольного профиля пути и статистической неоднородности поезда по массе на уровень продольных усилий. Исследовано влияние электромеханических переходных процессов в цепи ТД электровоза и сил, действующих на его автосцепке, на уровень силы тяги.

Результаты исследований, полученные при электронном моделировании, представлены в виде канонических разложений в ряд Грама-Шарлье, а величины средних и среднеквадратичных отклонений нагрузок, действующих на вагоны, и величины коэффициентов ряда определены в виде регрессионных зависимостей от веса поезда Q , скорости движения V , произведения $K\delta$ средних величин жесткости междувагонного соединения и зазора в нём, параметров продольного профиля пути и характеристик поезда, объединённых фактором $\Phi = \Delta i Q V / (R + 10000)$.

Моделирование процессов трогания с места поезда с произвольным распределением зазоров при колебаниях напряжения в контактной сети проводилось путём решения дифференциальных уравнений (I). Предполагалось, что распределение напряжения в контактной сети изменяется по нормальному закону в соответствии с исследованиями, проведенными ДИИТом на участке Стрий-Львовиче-Мумачево Львовской железной дороги. После обработки результатов решений оказалось, что распределение продольных усилий в поезде носит статистический характер. Такой способ моделирования силы тяги можно применять также при изучении вопросов потребления энергии

движущимися поездами.

Параллельно был исследован вопрос влияния электромеханических переходных процессов в силовой цепи электровоза на уровень силы тяги. Для этого сила тяги прикладывалась к поезду мгновенно в виде ступени, соответствующей средней величине силы тяги на первой позиции контроллера и в случае, когда напряжение к токосъёмнику подключалось при положении рукоятки контроллера на первой позиции. Замеренные в том и другом случаях продольные усилия в сечениях поезда практически не отличались по величине. При моделировании по второму варианту нарастание усилий происходило более плавно, а удары, действующие на локомотив со стороны поезда, приводили к незначительным (около 2 %) колебаниям силы тяги относительно среднего значения. Следовательно, переходными процессами в цепи ТД в момент включения напряжения и переключения позиций можно пренебречь.

В.Г.Иноземцевым в работе Управление автотормозами и тягой грузовых поездов весом 6,0-8,0 тыс.тонн ("Электрическая и тепло-возная тяга", 1975, № II) рекомендуется при трогании тяжёловесных поездов выдерживать рукоятку контроллера на первой позиции. С целью выяснения влияния времени выдержки на статистические характеристики продольных усилий были проделаны решения по троганию поезда весом 10,0 тыс.тонн в случаях, когда после имитации включения первой позиции давалась пауза, равная времени распространения волны ударов от локомотива до последнего вагона и от локомотива до последнего вагона и обратно. Результаты исследований показали, что средний уровень продольных усилий снижается при выдержке рукоятки контроллера в течение времени распространения волны ударов от локомотива до последнего вагона на 22 % по отношению к среднему уровню сил, имеющему при темпе набора силы тяги в эксплуатации.

При регулировочном торможении поезда на переломе продольного профиля пути «симметричная яма» изучались вопросы, связанные с влиянием момента включения тормозов на величину среднего уровня максимальных сжимающих усилий. При этом оказалось, что наименьшего значения средний уровень достигает при включении тормозов в момент выезда головы состава за пределы сопрягающей кривой. Включение тормозов в момент нахождения головы состава вблизи наиболее низкой точки сопрягающей кривой приводит к наибольшему значению среднего уровня этих сил среди рассматриваемых ситуаций.

При исследовании режимов троганий поездов изучалось влияние неоднородности состава по массе на статистические параметры и распределение нагрузок. Исследования, проведенные Е.П.Блохиным в детерминированной постановке, показали, что наибольшие значения усилий в неоднородном поезде в среднем превышают эти же значения в однородном поезде на 30 %. Выполненные в диссертации исследования показали, что при трогании силой тяги со случайным уровнем ступеней и произвольным начальным состоянием статистически неоднородного поезда весом 3,3 тыс. тонн, средние значения максимальных усилий превышают средний уровень их, имеющий место в однородном поезде, на 13 %, а превышение среднеквадратичных значений составляет 22 %. При этом превышение наибольших усилий $S_{max} = \bar{S}_{max} + 3\sigma$, составляет 17 %. При исследованиях были использованы распределения масс вагонов, полученные в БИТме под руководством Л.Н.Никольского.

Полученные в работе статистические зависимости параметров распределений усилий (взятых в виде ряда Грама-Шарлье) от параметров, характеризующих конкретные условия формирования усилий, позволяют определить ожидаемые распределения в конкретных вероятных ситуациях. По заданию ДВЗ им.газеты «Правда» была

произведена оценка нагруженности вагона для перевозки нефтебитума при его движении в составе поезда. Эта информация использована для разработки программы ускоренных испытаний .

З а к л ю ч е н и е

1. Разработана методика исследования в стохастической постановке переходных режимов движения поездов, которая позволяет определять статистические характеристики продольных усилий в упряжи при трогании с места и регулировочном торможении на переломах продольного профиля пути, не проводя дорогостоящих экспериментов.

2. Разработана и изготовлена электронная аппаратура, с помощью которой можно проводить исследования переходных режимов движения поездов в стохастической постановке .

3. Получены распределения и статистические параметры сил, действующих на вагоны грузовых поездов при трогании с места и регулировочном торможении на переломах продольного профиля пути.

4. Показано, что статистическая неоднородность по массе приводит к повышению среднего уровня продольных усилий при трогании поезда с места. Это необходимо учитывать при оценке нагруженности подвижного состава .

5. Построены зависимости статистических параметров распределений продольных усилий от веса поезда, скорости движения, параметров продольного профиля пути, жесткости и зазора междугонного соединения. Эти зависимости позволяют получать распределения усилий при произвольных вероятных значениях указанных параметров.

6. Показано, что переходные процессы в цепи тяговых двигателей электровозов при трогании поезда с места не оказывают существенного влияния на уровень силы тяги и при исследовании

переходных режимов движения ими можно пренебречь.

7. Рекомендуются, для уменьшения уровня продольных усилий пуск в ход предварительно сжатого поезда проводить с выдержкой на первой позиции контроллера, равной времени распространения волны ударов от головы до хвоста поезда.

8. Результаты исследований использованы для оценки нагруженности вагона для перевозки нефтебитума при его движении в составах поездов различного веса и при разработке рекомендаций по вождению тяжеловесных поездов на Приднепровской железной дороге.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах :

1. Манашкин Л.А., Кедря М.М., Шумилин В.И. Электронное моделирование силовых характеристик межвагонных соединений с фрикционными поглотителями аппаратами. Известия вузов. Машиностроение". 1971, № 2.

2. Блохин Е.П., Итин М.Е., Манашкин Л.А., Кедря М.М., Клоевский В.З., Тихомиров А.И., Ковалев И.Е. Применение электронного моделирования при испытаниях систем управления и при статических механических испытаниях транспортируемого оборудования. В сб.: "Динамика подвижного состава железных дорог". Труды БИИМа, вып. 26. Брянск, 1974.

3. Блохин Е.П., Итин М.Е., Кедря М.М., Манашкин Л.А. Применение электронного моделирования к исследованию динамических процессов в объединенных поездах с автоматически управляемыми вспомогательными локомотивами. В сб.: "Автоматическое управление и вычислительная техника на железнодорожном транспорте". Труды ДИИТа, вып. 162/6. Днепропетровск, 1975.

4. Манашкин Л.А., Бондарев А.М., Кедря М.М. Исследования с помощью АБМ статистических характеристик продольных сил, действующих на вагоны при экстренных и полных служебных торможениях. Рукопись депонирована в ЦНИИТЭИ МПС, № 329/76.

5. Манашкин Л.А., Бондарев А.М., Кедря М.М. Исследование с помощью АБМ сил, действующих на вагоны неоднородного поезда при пуске в ход и экстренном торможении. Труды ДИИТа, вып. 190/23. Днепропетровск, 1977.

6. Манашкин Л.А., Кедря М.М. Исследование с помощью АБМ статистических характеристик продольных усилий, действующих на вагоны при пуске поезда в ход. Труды ДИИТа, вып. 190/23. Днепропетровск, 1977.

7. Манашкин Л.А., Кедря М.М., Бондарев А.М. Исследование с помощью АБМ продольных сил в поезде при регулированных торможениях и движении через перелом продольного профиля пути. В кн.: Проблемы механики наземного транспорта. Изд. ДИИТа, вып. 199/25. Днепропетровск, 1978.

8. Кедря М.М. Электронное моделирование возмущающих сил, действующих на вагоны и локомотивы поезда при движении по перелому продольного профиля пути. Рукопись депонирована в ЦНИИТЭИ МПС, № 331/79.

9.Кедря М.М.Определение с помощью АВМ продольных усилий, возникающих при пуске в ход грузового поезда при случайном изменении уровня напряжения в контактной сети. Рукопись депонирована в ЦНИИТЭИ МПС, № 882/79 .

10.Манашкин Л.А.,Кедря М.М.,Бондарев А.М. Исследование статистических характеристик продольных усилий, действующих на вагоны грузовых поездов при регулировочных торможениях и движениях через переломы продольного профиля пути. Рукопись депонирована в ЦНИИТЭИ МПС, № 894/79 .

11.Бондарев А.М.,Манашкин Л.А.,Юрченко А.В.,Погребной А.П.,Кедря М.М. О статистических исследованиях параметров нагрузок, возникающих в вагоне для перевозки нефтебитума. В сб.: "Проблемы динамики и прочности железнодорожного подвижного состава". Изд.ДПИТа, вып.205/26. Днепропетровск, 1979 .

Сканировала Семенова Т.Л.

Автореферат .

Ответственный за выпуск Петрович Л.В.
БТ 02766. Подано к печати 3.12.1979 г. Формат 60х84/16.
Усл.печ.л. 1,40. Тираж 150. Заказ № 12057. Бесплатно.
Городская типография № 3 Днепропетровского областного управления по делам издательства, полиграфии и книжной торговли,
320000 г. Днепропетровск, ул. Серова, 7.