

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

На правах рукописи
УДК 629.4.015

КРЮКОВ Сергей Георгиевич

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ВОЖДЕНИЯ ДЛИННОСОСТАВНЫХ
ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог и тяга поездов

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

Днепропетровск
1987

НТБ
ДНУЖТ

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

Научный руководитель – заслуженный работник высшей школы СССР, доктор технических наук, профессор Е.П.Блохин.

Официальные оппоненты: доктор технических наук П.Т.Гребенюк (ВНИИЖТ),
кандидат технических наук, доцент
А.В.Рыжов (ДИИТ).

Ведущее предприятие – Проектно-конструкторское бюро Главного управления локомотивного хозяйства МПС СССР

Защита диссертации состоится " 3 " июля 1987 г.
в 13 час. на заседании Специализированного совета К ИИ4.07.01
в Днепропетровском ордена Трудового Красного Знамени институте
инженеров железнодорожного транспорта имени М.И. Калинина
(г.Днепропетровск , 320700, ГСП, ул.Акад.Лазаряна, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.
Автореферат разослан " 25 " 05 1987 г.

/ Ученый секретарь Специализированного
совета, кандидат технических наук,

Л.В.Петровиц

НТБ
ДНУЖТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986 - 1990 годы и на период до 2000 года", принятых XXVII съездом КПСС, предусмотрено совершенствование организации эксплуатационной работы железных дорог, повышение среднего веса поездов, увеличение скорости движения. Особое внимание уделено повышению пропускной и провозной способности железных дорог, в том числе на направлениях, связывающих Центр с югом европейской части страны. Наряду с увеличением объема перевозок грузов на 8-10% предусмотрено увеличение пассажирооборота на 7 - 9%, повышение производительности труда работников, занятых на перевозках, на 10-12%.

Важным средством увеличения провозной и пропускной способности железных дорог является повышение массы и длины поездов. Такая мера при наименьших капитальных затратах может обеспечить и наименьшую стоимость перевозок.

В связи со все возрастающим пассажиропотоком серьезные трудности возникли в пассажирском движении. На многих направлениях, например, Москва - Ленинград, а в летний период - Москва-Крым, Москва-Кавказ лимит пропускной способности практически исчерпан. Введение новых пассажирских поездов здесь связано с исключением некоторых грузовых поездов, сокращением "окон" для работ по текущему ремонту пути и контактной сети. Наиболее естественный выход здесь - увеличение длины пассажирских поездов.

Как известно, с увеличением длины и массы поезда возрастает нагруженность подвижного состава в переходных режимах движения. Не исключено, что при определенных обстоятельствах продольные ускорения и усилия могут достигать значений, опасных для пассажиров и конструкции вагонов. Поэтому актуальным является вопрос изучения динамики длинносоставного пассажирского поезда, разработка способов вождения и создание технических средств, обеспечивающих безопасность пассажиров и сохранность оборудования вагонов.

Целями работы являлись:

- выбор методики исследования переходных режимов движения длинносоставных пассажирских поездов и разработка модели для детального изучения способов управления их тяговыми и тормозными средствами;
- определение продольной нагруженности вагонов в режимах тяги и торможения при различных способах размещения локомотивов, типах

поглощающих аппаратов автосцепки, тормозных колодках и режима работы тормозных приборов;

- разработка рекомендаций и создание технических средств, обеспечивающих безопасность проезда в длинносоставных пассажирских поездах.

Методика исследований. В работе применены современные методы экспериментальных исследований переходных режимов движения поездов и моделирования колебаний многомассовых существенно нелинейных механических систем с помощью аналоговых вычислительных машин, элементы теории распределенных систем и обобщенных функций, а также теории нелинейных систем автоматического управления.

Научная новизна:

- получена статистически достоверная информация о продольной нагруженности вагонов при их движении в длинносоставных пассажирских поездах в тяговых и тормозных режимах; рассмотрены различные схемы формирования длинносоставных поездов, а также оборудования вагонов поглощающими аппаратами автосцепки и тормозными колодками различных типов;

- разработана специализированная электронная модель для исследований переходных режимов движения пассажирских поездов с учетом существенно нелинейных характеристик междувагонных соединений, содержащих поглощающие пружинно-фрикционные аппараты типа ЦНИИ-Н6;

- проведены исследования качества и устойчивости двух вариантов систем управления вспомогательным локомотивом по найденным линеаризованным передаточным функциям объектов управления и с помощью электронного моделирования; определены требуемые значения чувствительности и быстродействия систем управления; разработана аппаратура для реализации синхронной системы управления по разности тяговых токов головного и вспомогательного локомотивов;

- исследовано влияние на уровень продольной нагруженности разницы во времени между сбросом тяги и началом торможения;

- изучены причины неудовлетворительной работы электропневматических тормозов (ЭПТ) в длинносоставных пассажирских поездах, определены пути повышения их надежности;

- разработаны и испытаны устройства, обеспечивающие безопасность пассажиров при любых нестационарных режимах движения.

Практическая ценность и внедрение результатов работы.

Результаты исследований внедрены в Проектно-конструкторском бюро Главного управления локомотивного хозяйства МПС СССР и использованы при разработке конструкторской документации на модернизированный преобразователь ПТ-ЭПТ-П и блок включения ЭПТ при экстренном торможении (заявка №3906687/27-II(080512) от 05.06.85., положительное решение от 22.04.86. и заявка №3945941/27-II(100999) от 09.07.85., положительное решение от 05.06.86.) Документация передана Харьковскому заводу "Трансвязь" для выпуска опытных партий этих устройств.

Изготовлены макетные образцы устройств, необходимых для обеспечения безопасности пассажиров в длинносоставных пассажирских поездах. С их использованием выполнены пять технических поездов 36-вагонного поезда по маршруту Днепропетровск - Симферополь и одна по маршруту Симферополь - Москва - Ленинград и обратно.

Электронная модель для исследований нестационарных режимов движения длинносоставных пассажирских поездов, созданная по предложенной методике, признана изобретением (А.С. СССР №1230891, опубли. в ВИ №18, 1986). Применение этой гибридной модели позволяет проводить полунатурные испытания тормозных приборов в лабораторных условиях.

Апробация работы. Основные материалы работы докладывались и обсуждались на республиканской научно-технической конференции "функционально ориентированные вычислительные системы" в Харьковском политехническом институте (1986), научном семинаре кафедры строительной механики ДИИТа (1987), городском научном семинаре по общей механике (Днепропетровск, 1987).

Публикации. Основные положения диссертации отражены в 2-х отчетах по НИР, 9-ти опубликованных работах, получены I авторское свидетельство и I положительное решение об изобретении.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа содержит 171 страницу машинописного текста, 51 рисунок, 31 таблицу, 6 приложений, список литературы из 131 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится обзор основных достижений в области вождения длинносоставных поездов, обоснована актуальность постав-

ленных задач и сформулированы цели работы.

Основоположающими в области динамики поезда являются работы отечественных ученых-механиков Н.Е.Жуковского и В.А.Лазаряна. Дальнейшее развитие они получили в трудах Е.П.Блохина, С.В.Вершинского, П.Т.Гребенюка, Б.Г.Кеглина, С.И.Конашенко, А.А.Львова, Л.А.Манашкина, Л.Н.Никольского, Н.А.Панькина, Ю.М.Черкашина и других авторов. В этих трудах разработаны методы теоретических и экспериментальных исследований, с помощью которых достаточно подробно изучены вопросы динамики грузовых, в том числе длинносоставных поездов. Продольная нагруженность пассажирских вагонов в поезде увеличенной длины оказалась изученной недостаточно.

Большой вклад в изучение вопросов управления тягой рассредоточенных локомотивов внесли также Л.А.Баранов, И.Г.Левин, А.Г.Литвин, А.Е.Пыров, П.Г.Солос. Этими авторами предложены системы телемеханического управления вспомогательными локомотивами различных типов, большое внимание уделено вопросам надежности и помехозащищенности этих систем. Автономным системам управления посвящено меньшее число теоретических работ.

Создание отечественной тормозной техники связано с именами Н.А.Албегова, П.Т.Гребенюка, В.Г.Иноземцева, В.М.Казаринова, Б.Л.Карвацкого, В.И.Крылова, В.Ф.Ясенцева. Они разработали и внедрили на всей сети железных дорог пневматические и электропневматические тормозные приборы, обеспечивающие безопасность и комфорт пассажиров в поездах обычной длины. Однако оказалось, что существенное увеличение длины поезда требует разработки организационно-технических мероприятий, обеспечивающих безопасность пассажиров в таких поездах.

Все это привело к необходимости дальнейших исследований.

В первой главе на базе результатов проведенных в ДИИТе экспериментальных и теоретических исследований переходных режимов движения поездов уточнены методики организации натурных испытаний и моделирования.

Даны краткие характеристики опытных поездов, схемы оборудования их измерительной аппаратурой в различных циклах опытов, рассмотрены способы регистрации и обработки измеряемых величин. В первом цикле опытов выяснилось, что продольные усилия в автосцепках даже при наиболее тяжелых переходных режимах не принимали значений, опасных для прочности вагонов. Поэтому в дальнейшем основное внимание уделено продольным ускорениям.

Как показали эксперименты, максимальные уровни продольных ускорений в пассажирских поездах обычной длины составляют $0,5g$ (" g " - ускорение свободного падения) в эксплуатационных и $0,7g$ в аварийных режимах (ускорения измерялись в диапазоне $0...16 \text{ Гц}$). Эти величины ускорений приняты в качестве допустимых в длинноставных пассажирских поездах.

Для сокращения числа натурных опытов продольная нагруженность в некоторых переходных режимах движения оценивалась методами электронного моделирования, которое позволяло исследовать трудновоспроизводимые и небезопасные в реальных условиях режимы и отработать характеристики систем управления тягой вспомогательного локомотива, тормозных приборов и устройств управления ими.

В основу построения электронной модели положены известные нелинейные дифференциальные уравнения, описывающие движение одномерной цепочки материальных точек, соединенных упруго-фрикционными связями с зазорами. С целью сокращения затрат оборудования применен математический аппарат, позволяющий понизить порядок системы дифференциальных уравнений. Вагоны объединялись в группы с соответствующим преобразованием жесткостей и величин зазоров в междувагонных соединениях к аналогичным параметрам соединений центров масс групп вагонов. Как известно, этот метод обоснован для определения максимальных уровней продольных усилий. Для оценки максимальных уровней продольных ускорений в поезде использованы эмпирические формулы, полученные в результате статистической обработки экспериментальных зависимостей продольных ускорений от продольных усилий. Силовая характеристика междувагонного соединения с аппаратами ДНИИ-Н6 воспроизводилась с помощью специально разработанной электронной схемы. Здесь учтены изменения жесткости соединения при переходе от буферов к пружинным и далее к пружинно-фрикционным частям аппаратов, реализуется гистерезисное рассеивание энергии.

Вычисление тяговых усилий локомотивов осуществлялось путем интегрирования дифференциальных уравнений электромеханических процессов в тяговом приводе. Учтен дискретный характер изменения тяги в электровозах постоянного тока (рассматривался электровоз ЧС2). Для уточненного воспроизведения инерционных свойств тяговых двигателей с помощью кусочно-линейной аппроксимации задавались зависимости магнитного потока и индуктивности двигателей от тягового тока.

Реальные характеристики наполнений тормозных цилиндров при моделировании аппроксимировались кусочно-линейной зависимостью с ограничением. Задержки распространения тормозной волны моделировались с помощью блоков постоянного запаздывания БПЗ-Зм. Электронные модели поезда, тяговых приводов головного и вспомогательного локомотивов и тормозной системы построены на базе 2 комплектов аналоговых вычислительных машин ЭМУ-10.

Во второй главе приведены результаты исследований продольной нагруженности вагонов в тяговых режимах. Рассмотрены пуски в ход одиночного поезда из 36 вагонов с двумя электровозами ЧС2 в голове состава и соединенного поезда с электровозами в голове и середине состава в случаях оборудования вагонов аппаратами ЦНИИ-Н6 и Р2П. Отмечено, что при пусках в ход с 1-3 тяговых позиций (70...140 кН на один электровоз) продольные ускорения не превышают 0,3...0,4g для обеих схем формирования даже в случае максимального темпа набора тяги, который для электровозов ЧС2 составляет 5 позиций в сек.

Для детального изучения продольной нагруженности режим пусков в ход воспроизведен на электронной модели. Исследованы трогания с быстрым набором тяговых усилий, близких к ограничениям по сцеплению. В натуральных испытаниях эти режимы труднопроизводимы из-за возможных пробуксовок колесных пар электровозов.

Установлено, что в одиночном поезде с двумя электровозами ЧС2 в голове состава при троганиях следует ограничиться 4-мя Тяговыми позициями. При больших тяговых усилиях проявляются существенно нелинейные свойства поглощающих аппаратов ЦНИИ-Н6, связанные с включением в работу пружинно-фрикционных частей.

В соединенном поезде электровозами могут быть реализованы предельные по условиям сцепления тяговые усилия. Наименьшая продольная нагруженность наблюдается при управлении тягой по "волне возмущений" (по усилию в передней автосцепке вспомогательного электровоза), несколько большая - при синхронном управлении, однако в обоих случаях она не превосходит допустимый уровень даже при максимальном темпе набора тяги. Формирование длинносоставного пассажирского поезда в виде соединенного предпочтительно.

Регулирование тяги вспомогательного локомотива можно осуществлять с помощью автономной системы, условно названной САУ(\$), либо с помощью системы синхронного управления. Для реализации последней разработана, изготовлена и испытана аппаратура передачи и приема информации, использующая в качестве канала связи цепь управления

электропневматическими тормозами. Информация о значениях тягового тока головного электровоза передается на вспомогательный путем изменения частоты тока контроля целостности цепи ЭПТ. Испытания аппаратуры показали, что преобразование информации при передаче и приеме линейное и практически безынерционное.

Для выбора способа управления вспомогательным локомотивом проведены исследования качества и устойчивости для автономной и синхронной систем. Предварительная оценка сделана по линеаризованным моделям объектов управления с учетом существенно нелинейных свойств релейного элемента. Вычислены передаточные функции линейных частей обеих систем без учета дискретности изменения тягового тока и усилия. Для синхронной системы, использующей в качестве рас-согласования разность тяговых токов головного и вспомогательного электровозов и условно названной САУ(I), передаточная функция вычислена по дифференциальным уравнениям электромеханических процес-сов в тяговом приводе, линеаризованным с помощью метода малых от-клонений

$$W_I(p) = \frac{k(I)}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \quad (1)$$

где $K(I)$ – темп изменения тягового тока, T_1 – постоянная вре-мени тягового двигателя, T_2 – постоянная времени привода главного переключателя электровоза.

В автономной системе в контур управления входит поезд. Для вычисления передаточной функции использована линеаризованная мо-дель поезда в виде стержня переменного сечения

$$\frac{EF_0}{m(x)} \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 S}{\partial t^2}, \quad (2)$$

где EF_0 – жесткость эквивалентного стержня, $m(x)$ – интенсивность массы

$$m(x) = m_0 \left[1 + \sum_{i=1}^3 (-1)^{i+1} \beta B_0(x - x_i) \right], \quad (3)$$

β – скачок интенсивности массы при переходе от вагонов к электро-возу, а B_0 – функция Хевисайда. Собственные формы (моды) колебаний отыскиваются с помощью сплайн-преобразования аргумента

$$X_k(u) = \cos n_k u + \sum_{i=1}^3 C_i \sin n_k (u - u_i) B_0(u - u_i), \quad (4)$$

$$C_i = (1 + \sum_{j=1}^{i-1} \gamma_j)^{-1} \psi_i \left[-\sin n_k u_i + \sum_{j=1}^{i-1} C_j \cos n_k (u_i - u_j) \right], \quad (5)$$

где $n_k = \sqrt{\frac{m_0}{EF_0}}$, γ_k – частота k -го тона собственных колебаний, u – новый пространственный аргумент, определяемый сплайн-преоб-разованием с параметрами γ_i и ψ_i .

Передаточная функция поезда определялась с помощью метода обобщенных координат при воздействии единичным импульсом $G_1(t) \doteq 1$ на вход системы с координатой u_{6x} , реакция (усилие в передней автоцепке вспомогательного локомотива) измеряется в точке с координатой u_{6yx}

$$W_3(p) = \frac{k(s)}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \sum_{k=1}^{\infty} H_k \frac{2h_k p + \nu_k^2}{p^2 + 2h_k p + \nu_k^2}, \quad (6)$$

где $K(s)$ - темп изменения тягового усилия, h_k - параметр затухания, H_k - коэффициент формы

$$H_k = \frac{X_k(u_{6x}) X'_k(u_{6yx})}{\int_0^{u_{max}} [X'_k]^2 du} \quad (7)$$

Ввиду малости постоянных времени T_1 и T_2 по сравнению с периодом низких, наиболее значительных тонов колебаний поезда ν_k , в дальнейшем анализе САУ(З) они не учитываются.

Исследования устойчивости систем, определение параметров автоколебаний, которые могут в них проявиться, выполнены с помощью частотного метода Гольдфарба. В качестве порогового элемента применялось безгистерезисное трехпозиционное релейное звено, поэтому условия существования автоколебаний в системах определялись наличием точек пересечения амплитудо-фазо-частотных характеристик линейных частей разомкнутых систем управления с отрицательной вещественной полуосью. Амплитуды возможных колебаний отыскивались по координатам этих точек.

Для САУ(Г) получена одна частота возможных колебаний

$$\omega_1 = (T_1 T_2)^{-1/2}, \quad (8)$$

для САУ(З) условия возбуждения автоколебаний выполняются для всех частот

$$\omega_{3k} = \nu_k^2 (\nu_k^2 - 4h_k^2)^{-1/2}, \quad (9)$$

однако наилучшие условия для возбуждения автоколебаний выполняются для первой из частот (9), так как для неё коэффициент передачи системы максимальный. Приняв во внимание свойство так называемой конкуренции мод колебаний в распределенной системе, когда генерация на одной моде подавляет генерацию на соседних, для дальнейших расчетов использована первая из частот (9). Получены предельные значения ширины зоны нечувствительности релейного элемента, для которых в системе могут возбудиться устойчивые автоколебания. В случае

единичного выходного сигнала релейного элемента

$$\max \xi_0(I) = \frac{2}{\pi} k(I) \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2}, \quad (10)$$

$$\max \xi_0(S) = \frac{2}{\pi} k(S) \operatorname{Re} W_s^{\text{pas}}(\omega), \quad (11)$$

где $\operatorname{Re} W_s^{\text{pas}}(\omega)$ - действительная часть передаточной функции (6) в частотной форме.

Для максимального темпа изменения тяги в электровозе ЧС2 $k(I) = 600 \text{ А} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$, $k(S) = 220 \text{ кН} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$. Частоты возможных колебаний составляют $\omega_x = 21,8 \text{ с}^{-1}$ и $\omega_s = 0,507 \text{ с}^{-1}$, или 3,47 Гц и 0,08 Гц соответственно. Автоколебания в системах управления установятся, если ширина зоны нечувствительности релейного элемента не превысит $\xi_0(I) = 8 \text{ А}$ и $\xi_0(S) = 175 \text{ кН}$. Таким образом, для исключения нежелательных колебательных явлений в системах управления чувствительность должна выбираться ниже значений, определяемых выражениями (10) и (11).

Для проверки найденного одночастотного решения в САУ(S) использована электронная модель поезда, причем в схемах формирователей силовой характеристики междувагонных соединений исключены цепи, моделирующие зазоры. При соблюдении условий (11) в модели САУ(S) возбуждались устойчивые автоколебания с частотой $\bar{\omega}_s = 0,523 \text{ с}^{-1}$.

Определена требуемая чувствительность систем управления в виде минимальных приращений тяговых усилий и токов при переходе с позиции на позицию. Для САУ(S) при пусках в ход она составляет 35 кН, для САУ(I) - 70 А. Для этих значений ξ_0 на электронной модели изучена динамика регулирования тяги вспомогательного локомотива с применением систем управления различных типов и с учетом нелинейностей и дискретного характера регулирования, не принятых во внимание при аналитических исследованиях. При требуемой чувствительности колебательные процессы регулирования для САУ(S) не проявлялись лишь при темпе изменения тяги I позиция за 2 секунды, для САУ(I) обеспечивается синхронное управление без перерегулирования даже при максимальном темпе изменения тяги, система обладает достаточным запасом устойчивости.

В соединенном пассажирском поезде рекомендовано применение синхронной системы управления как обладающей максимальным быстродействием и достаточной чувствительностью. Приведены схемы оборудования электровозов необходимой аппаратурой для САУ(I).

В третьей главе рассмотрена продольная нагруженность пассажирских вагонов при пневматических торможениях. Показано, что наибольшие её значения наблюдаются при малых начальных скоростях торможений 5 - 10 км/ч.

Приведены результаты экспериментальных исследований продольной нагруженности при служебных торможениях. Остановочные ступенчатые торможения вызывают продольные ускорения не более 0,4g, продольные усилия при этом - не выше 200 кН. При полных служебных торможениях продольные ускорения составляют 0,5...0,7g, усилия - 550 кН. Эти результаты справедливы для случаев оборудования вагонов сплошь чугунными или композиционными тормозными колодками, а также колодками обоих типов (смешанными), пружинно-фрикционными ЦНИИ-Н6 или резино-металлическими Р2П поглощающими аппаратами. Регулировочные торможения с последующим отпуском изучены для случаев движения поезда по разнообразным переломам профиля пути со скоростями 40...120 км/ч. После торможений скорости составляли 30...100 км/ч. Продольные ускорения не превышали 0,35...0,45g, продольные усилия - 300...400 кН. Сделан вывод, что служебные пневматические торможения не вызывают опасной продольной нагруженности в пассажирских поездах из 36 - 40 вагонов.

Экстренные (аварийные) пневматические торможения выполнялись краном машиниста (ЭТ) и стоп-кранами всех вагонов поезда, причем в последнем случае выделены три вида характерных торможений - из головных (ЭТСКГ), средних (ЭТСКС) и хвостовых (ЭТСКХ) вагонов. Рассмотрена продольная нагруженность вагонов при включении воздухораспределителей (ВР) №292 на короткосоставный (К) и длинносоставный (Д) режимы. Максимальные значения измеренных продольных ускорений в долях "g" приведены в табл. I.

Характеристика поезда	Модификация ВР №292	Режим ВР №292	Продольные ускорения			
			ЭТ	ЭТСКГ	ЭТСКС	ЭТСКХ
36 вагонов аппараты ЦНИИ-Н6	Серийный	К	3,0	3,2	0,8	1,7
		Д	1,4	2,4	0,6	1,4
	Модернизированный	Д	0,7	1,5	-	-
40 вагонов аппараты Р2П	Серийный	К	3,0	3,0	0,4	0,6
		Д	0,7	1,5	0,3	0,5

Наибольшие продольные ускорения наблюдаются при торможениях краном машиниста и стоп-кранами головных вагонов. В случае применения короткосоставного режима они носят разрушительный характер. Длинносоставный режим изучен более подробно. Здесь наибольшие продольные ускорения обусловлены неблагоприятными характеристиками наполнений тормозных цилиндров из-за значительных задержек в срабатывании ускорителей экстренного торможения. В случаях задержек порядка 3,5...4 с и более наблюдаются значительные неравномерности в наполнениях тормозных цилиндров к моменту появления наибольших продольных нагрузок в поезде. Давление в тормозных цилиндрах, ближайших к месту разрядки тормозной магистрали, составляло 0,35...0,39 МПа, в наиболее удаленных - лишь 0,06...0,09 МПа.

В результате предложенной ВНИИЖТом модернизации воздухораспределителей №292, заключавшейся в исключении дросселирования сообщения золотниковой камеры с запасным резервуаром, обеспечено достаточно уверенное срабатывание ускорителей ЭТ с задержками 0,3...0,6 с. Отмечена практическая идентичность характеристик наполнений тормозных цилиндров при ЭТ и ЭТСКГ. Однако приемлемые результаты достигнуты лишь при ЭТ. Высокие продольные ускорения при ЭТСКГ объясняются отличным по сравнению с ЭТ состоянием междувагонных соединений. Перед ЭТ тяга локомотива сбрасывается машинистом, время τ между сбросом тяги и началом торможения составляет по опытным данным 0,1...1 с. К моменту образования наибольших продольных нагрузок вследствие динамических процессов в поезде успевают несколько прикрыться зазоры в междувагонных соединениях. При ЭТСКГ торможение не контролируется машинистом, тяга локомотива отключается быстродействующим выключателем через 0,5...1,5 с после начала разрядки. Зазоры в соединениях оказывают значительно большее влияние на продольную нагруженность вагонов, чем в предыдущем случае. Влияние времени τ на уровень продольных ускорений оценено с помощью электронного моделирования. Небезопасные продольные ускорения, достигающие 1,5g, наблюдаются при $\tau > 0$, что соответствует случаям торможений стоп-кранами.

В поезде с аппаратами Р2П экстренные торможения краном машиниста безопасны, однако при торможениях стоп-кранами головных вагонов наблюдаются недопустимые продольные ускорения.

При торможениях стоп-кранами хвостовых вагонов, как правило, зазоры в междувагонных соединениях не проявляются. В случае применения аппаратов ЦНИИ-Н6 опасные продольные ускорения обусловлены

существенными нелинейностями аппаратов при выключении в работу пружинно-фрикционных частей. В этом же режиме при оборудовании вагонов аппаратами Р2П характеристики междувагонных соединений близки к линейным, продольные ускорения невелики.

Приведенные выше данные для экстренных торможений относятся к случаям оборудования вагонов смешанными тормозными колодками. Применение одностипных тормозных колодок способствует некоторому снижению продольных ускорений, причем для композиционных колодок оно наиболее существенно (примерно на $0,3g$).

Экспериментально определены допустимые длины поездов для различных видов экстренных торможений. Результаты приведены в табл. 2.

Тип поглощающего аппарата автосцепки	Модификация ВР#292	Режим ВР#292	Предельное число вагонов		
			ЭТ	ЭТСКГ	ЭТСКХ
ЦНИИ-Н6	Серийный	К Д	20 26	20 25	30 33
	Модер изи- рованный	К Д	22 36	22 26	- 36
Р2П	Серийный	К	25	25	40
		Д	40	27	40

Для обеспечения безопасности пассажиров в длинносоставных пассажирских поездах при пневматическом способе управления автотормозами даны следующие рекомендации:

1. В поезде с аппаратами ЦНИИ-Н6 и серийными воздухораспределителями следует ограничиваться 20 вагонами при короткосоставном и 25 - при длинносоставном режиме. Применение модернизированных воздухораспределителей позволяет формировать поезда из 22 вагонов при короткосоставном и 26 - при длинносоставном режиме.

2. Поезд из вагонов с аппаратами Р2П и серийными воздухораспределителями можно формировать из 25 вагонов при короткосоставном и 27 - при длинносоставном режиме воздухораспределителей №292.

В четвертой главе приведены результаты исследований работы электропневматических тормозов в длинносоставных пассажирских поездах.

В процессе натурных испытаний определено, что при ступенчатых электропневматических торможениях с наполнением тормозных цилиндров до $0,1$ МПа продольные ускорения не превышают $0,2...0,4g$, продольные усилия - 250 кН. При экстренных торможениях с доведением давлений в тормозных цилиндрах до максимальных значений $0,36...$

0,4 МПа продольные ускорения составляют 0,4...0,6g, усилия - 300...500 кН. Эти максимальные уровни продольной нагруженности зафиксированы в поездах из 36 - 40 вагонов с аппаратами ЦНИИ-Н6 и Р2П и с тормозными колодками различных типов в случаях одновременного приведения в действие всех электровоздухораспределителей (ЭВР) №305.

В длинносоставном пассажирском поезде из-за падения напряжения в электрической тормозной магистрали может не срабатывать некоторое количество ЭВР. Продольная нагруженность резко возрастает. В экспериментах наблюдались при ступенчатых торможениях продольные ускорения 0,5...0,6g, усилия - до 400 кН, при экстренных торможениях ускорения повышались до 1,5...1,8g, усилия - до 1200 кН. Для детального анализа зависимости максимальной продольной нагруженности вагонов от числа несработавших ЭВР этот режим воспроизводился на электронной модели. Установлено, что при электропневматических торможениях с максимальным давлением 0,1 МПа несрабатывание 4-8 ЭВР не приводит к опасным продольным ускорениям. В случаях несрабатывания большего числа ЭВР продольные ускорения могут достигать 0,8...0,9g. При более интенсивных торможениях (0,18...0,36 МПа) несрабатывание даже 1-2 ЭВР может привести к продольным ускорениям 0,8...1,1g, при большем числе несработавших ЭВР продольные ускорения могут превышать 2,0g.

Для расчета необходимого напряжения ЭПТ получена рекуррентная формула, позволяющая использовать экспериментальные данные об активном сопротивлении электрической тормозной магистрали Z , приходящемся на одну тормозную единицу

$$U_{n-i} = U_{n-(i-1)} + Z \left[\frac{U_n}{R'} + \frac{1}{R} \sum_{j=n-(i-1)}^{n-1} U_j \right], \quad (12)$$

где R - активное сопротивление ЭВР в режиме торможения, U_i - напряжение на ЭВР i -ой тормозной единицы,

$$R' = \frac{R(R_k + Z_k)}{R + R_k + Z_k}, \quad (13)$$

R_k - активное сопротивление контрольного реле, Z_k - активное сопротивление контрольного провода. Среднее значение Z по данным испытаний составляет 0,35 Ом. Необходимое для поезда из 36-40 вагонов напряжение торможения, рассчитанное по формуле (12), составляет 75 В. Стандартный преобразователь ПТ-ЭПТ-П, применяемый на пассажирских электровозах, обеспечивает в режиме торможения лишь 50 В.

Для одновременного включения всех ЭВР пассажирского поезда из 36-40 вагонов преобразователь ПТ-ЭПТ-II модернизирован. Применена схема импульсного завышения напряжения до 75 В на время, необходимое для приведения в действие электромагнитов ЭВР (примерно на 1-2 с). Для удержания их в возбужденном состоянии достаточно номинального значения напряжения.

Безопасность пассажиров при торможениях стоп-кранами может быть обеспечена с применением электропневматического торможения. Для этой цели разработан, изготовлен и испытан блок автоматического включения ЭПТ. Он управляется контактным датчиком давления, установленным в камере дополнительной разрядки воздухораспределителя №292 электровоза.

Применение блока автоматического включения ЭПТ обеспечивает радикальное снижение продольных ускорений при срывах стоп-кранов. Показано, что в поезде с аппаратами Р2П достаточно установить такой блок на головном электровозе.

В поезде с аппаратами ЦНИИ-Н6 ограничивающим оказывается режим торможения стоп-кранами хвостовых вагонов. Здесь даже в случае применения блока автоматического включения ЭПТ на головном электровозе в поезде могут наблюдаться ускорения $0,9...1,4g$, предельная длина поезда составляет 33 вагона. При оборудовании такими блоками головного и вспомогательного электровозов и включения воздухораспределителей №292 на длинносоставный режим работы в поезде из 36 вагонов продольные ускорения не превышают $0,6...0,7g$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

1. Разработана специализированная электронная модель для исследований переходных режимов движения длинносоставных пассажирских поездов с учетом существенно нелинейных характеристик междувагонных соединений и уточненным воспроизведением инерционных свойств тяговых приводов электровозов.
2. Определены допустимые значения силы тяги при пусках поездов в ход для различных схем их формирования.
3. Разработана и испытана аппаратура передачи и приема информации по цепи управления электропневматическими тормозами для синхронного управления вспомогательным локомотивом.
4. Получены линеаризованные передаточные функции автономной и синхронной систем автоматического управления вспомогательным электровозом. Аналитически и с помощью моделирования определены границы

устойчивости этих систем. Показано, что в соединенном пассажирском поезде синхронной САУ следует отдать предпочтение как более устойчивой, быстродействующей и чувствительной.

5. На основании исследований продольной нагруженности вагонов при пневматических эксплуатационных и аварийных торможениях определены допустимые длины пассажирских поездов по условию обеспечения безопасных продольных ускорений. Исследования выполнены для различных режимов работы тормозных приборов, поглощающих аппаратов и тормозных колодок.

6. Оценено влияние разницы во времени между сбросом тяги локомотивом и началом торможения на уровень продольной нагруженности.

7. Изучены причины неудовлетворительной работы электропневматических тормозов в длинносоставных пассажирских поездах. Предложена методика расчета потребного напряжения торможения.

8. Разработаны и испытаны устройства, обеспечивающие безопасность пассажиров при любых нестационарных режимах движения.

Результаты исследований внедрены в Проектно-конструкторском бюро Главного управления локомотивного хозяйства МПС и использованы при разработке конструкторской документации на блок автоматического включения ЭПТ при экстренных торможениях (проект Л155) и модернизированный преобразователь ПТ-ЭПТ-П (проект Л156).

Ожидаемый экономический эффект от внедрения длинносоставных пассажирских поездов с применением разработанных устройств в пределах только Приднепровской ж.д. на направлении Днепропетровск - Симферополь составляет 475 руб. на одну пару поездов. При обращении таких поездов на указанном направлении с интенсивностью одна пара поездов в сутки экономический эффект составит 173,4 тыс. руб. в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Манашкин Л.А., Кедря М.М., Крюков С.Г. Моделирование процесса трогания тяжеловесного поезда с электровозами, оборудованными системой плавного регулирования скорости движения/ДИИТ. - Днепропетровск, 1983. - 20 с. - Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 21.03.83, №2208.

2. Кедря М.М., Крюков С.Г. Продольные усилия при трогании тяжеловесного поезда с рассредоточенными локомотивами/ДИИТ. - Днепропетровск, 1983. - 16 с. - Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 31.05.83, №3013.

3. Итин М. Е., Крюков С. Г. Линеаризованная передаточная функция тягового двигателя/ДИИТ.-Днепропетровск, 1983.-8 с.-Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 30.06.83, №2348.
4. Некоторые результаты опытов с длинносоставными пассажирскими поездами/Е. П. Блохин, В. Н. Захаров, С. Г. Крюков, Е. Л. Стамблер//Динамика, нагруженность и надежность подвижного состава:междуз. сб. научн. тр.-Днепропетровск:ДИИТ, 1985.-С.3-8.
5. Некоторые особенности управления тормозами соединенного пассажирского поезда/К. И. Железнов, В. В. Ключевский, С. Г. Крюков, В. Т. Стороженко//Динамика, нагруженность и надежность подвижного состава:междуз. сб. научн. тр.-Днепропетровск:ДИИТ, 1985.-С.12-17.
6. Вычислительный комплекс стенда для исследования систем управления тягой и торможением железнодорожных поездов/Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин, М. М. Кедря, С. Г. Крюков//Функционально ориентированные вычислительные системы: тез. докл. респ. конф.-Харьков:ХПИ, 1986.-С.39-40.
7. А. С. СССР №1230891. Устройство для исследования тормозных приборов железнодорожных транспортных средств/Е. П. Блохин, О. М. Савчук, Л. А. Манашкин, С. Г. Крюков и др. ДИИТ (СССР).-№3810317/27-11; Заявл. 30.10.84.//Бюллетень изобретений.-1986.-№18.-С.90.
8. О влиянии типа поглощающего аппарата на переходные процессы в длинносоставных пассажирских поездах/Е. П. Блохин, Л. С. Бадикова, С. Г. Крюков, Е. Л. Стамблер//Проблемы динамики, прочности и устойчивости железнодорожного подвижного состава:междуз. сб. научн. тр.-Днепропетровск:ДИИТ, 1986.-С.45-48.
9. Кедря М. М., Крюков С. Г. К вопросу воспроизведения силовой характеристики аппарата ЦНИИ-Н6 на АВМ//Проблемы динамики, прочности и устойчивости железнодорожного подвижного состава:междуз. сб. научн. тр.-Днепропетровск:ДИИТ, 1986.-С.48-52.
10. Вождение сдвоенных пассажирских поездов/Е. П. Блохин, В. Г. Иноземцев, С. Г. Крюков, Е. Л. Стамблер//Железнодорожный транспорт.-1987.-№2.-С.28-29.



НТБ
ДНУЖТ

Крюков Сергей Георгиевич

"Разработка способов вождения длинносоставных пассажирских поездов"

05.22.07 - подвижной состав железных дорог и тяга поездов

Подписано к печати 15.05.87. БТ 70210 формат 60x84 1/16. Бумага
для множительных аппаратов. Ротапринт. Усл. печ. л. I. Уч. - изд. л. I.

Тираж 100 экз. Заказ 1047. Бесплатно.

Участок оперативной полиграфии ДИИТа

320700, ГСП, Днепропетровск, 10, ул. Акад. В. А. Лазаряна, 2

Сканировала Юнаковская В. В.

НТБ
ДУЖТ