

5 492

Библиотека ДНУ

СССР – МПС

Днепропетровский институт инженеров железнодорожного
транспорта

Итин Михаил Евгеньевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННЫХ ПОЕЗДОВ С АВТОМАТИЧЕСКИ
УПРАВЛЯЕМЫМИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫМИ ЛОКОМОТИВАМИ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1974

НТБ
ДНУЖТ

СССР - МПС
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА

ИТИН МИХАИЛ ЕВГЕНЬЕВИЧ

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННЫХ ПОЕЗДОВ С АВТОМАТИЧЕСКИ
УПРАВЛЯЕМЫМИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫМИ ЛОКОМОТИВАМИ

05.22.07 - Подвижной состав и тяга поездов

68182

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

Днепропетровск

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Экспериментальные исследования проводились на опытном кольце Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, Приднепровской и Донецкой железных дорогах.

Научный руководитель:
доктор технических наук

Е.П.БЛОХИН

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

В.Н.ТВЕРИТИН

доктор технических наук, профессор

Н.И.УРЬЕВ

Ведущее предприятие:

Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта.

Автореферат разослан " 4 " февраля 1974 года

Защита диссертации состоится " 7 " марта 1974 года

в 14 " час на заседании Ученого Совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта

(г.Днепропетровск-320010, ул.Университетская, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета
доцент

А.Ф.ЛОГВИН

НТБ
ДНУЖТ

Высокие темпы развития экономики нашей страны, обусловленные ускоренным научно-техническим прогрессом и совершенствованием экономической социалистической интеграции, предъявляют все большие требования к железнодорожному транспорту, призванному обеспечивать растущие потребности народного хозяйства в перевозках. Повторю в Директивах XXIV съезда КПСС по девятому пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР предусмотрено, что основным направлением развития железнодорожного транспорта следует считать увеличение пропускной и провозной способности железных дорог.

Одним из основных способов увеличения провозной способности железных дорог является существенное повышение веса грузовых поездов. Исследования, проведенные в ЦНИИ МПС, Институте комплексных транспортных проблем и Московском институте инженеров железнодорожного транспорта показывают, что при электрической и тепло-возной тяге оптимальный вес поезда равен 5,8 - 8,0 тыс. тонн. В перспективе на отдельных направлениях железных дорог экономически целесообразным и технически возможным может оказаться вес поезда в два-три раза больше. Возведение таких поездов возможно лишь в случае применения многократной тяги. Уже в 1963-1964 годах на некоторых участках железных дорог для обеспечения пропуска возросшего грузопотока применялось формирование грузовых поездов, вес которых достигал 8 - 10 тыс. тонн. При этом локомотивы размещали одной группой в голове состава. Постановка группы локомотивов только в головное тягловое звено не вызывает затруднений в управлении этими локомотивами, особенно, если они соединены по системе многих единиц, но может привести к появлению в упорки усилий, при которых станет возможным разрушение вагонов. Это объясняется тем, что увеличение веса поезда приводит к соответствующему росту в нем продольных усилий. Наибольших значений эти усилия достигают при переходных режимах движения. Даже при существующих в настоящее время весах поездов бывают случаи, когда продольные усилия в поезде

достигает значений, опасных для прочности подвижного состава.

Распределение отдельных локомотивов или их групп вдоль состава позволяет, как показано ниже, существенно уменьшить продольные усилия в поезде при трогании и торможении.

В СССР проявляется тенденция формирования длинносоставных поездов путем соединения двух или более поездов установленной весовой нормы и длины из проходящих по участку составов, что значительно облегчает их формирование на станции отправления, пропуск по участку и разъединение для дальнейшего раздельного следования или переформирования. Такие поезда принято называть объединенными, а локомотивы, находящиеся внутри состава - вспомогательными.

Грузовые поезда повышенного веса с распределенными локомотивами курсируют также на ряде железных дорог США, Канады, Бразилии, Франции, Австрии, ФРГ, Швейцарии. Эти поезда, как правило, эксплуатируются по замкнутым маршрутам на участках протяженностью несколько сотен километров без расформирования и служат, в основном, для перевозки руды и угля. Вес таких поездов исчисляется иногда десятками тысяч тонн.

При эксплуатации объединенных поездов возникает проблема согласованного управления головным и вспомогательными локомотивами. Поскольку движением объединенного поезда в целом управляет машинист головного локомотива, то осуществление им функции управления вспомогательными локомотивами связано со значительными трудностями (оценка профиля пути, на котором находится каждый локомотив в данный момент времени, выбор рационального режима движения, своевременная надежная и быстрая передача необходимой информации на локомотивы и т.д.). Неправильная оценка условий движения всего поезда, несогласованные действия локомотивных бригад или нарушения каналов связи могут привести к появлению усилий, при которых станет реальным выдавливание вагонов или разрыв упряжи поезда.

Наилучшим способом управления можно считать автоматическое управление всеми локомотивами объединенного поезда, при котором принимается во внимание задаваемый участок пути, веса поездов и мощности локомотивов, время и скорость движения, допустимый уровень продольных усилий. Создание такой сложной, с расширенными функциями системы автомашиниста возможно, однако в настоящее время целесообразно внедрение более простых и достаточно надежных систем, которые в последующем могли бы играть роль резервных для более сложных систем.

В данной работе исследуются переходные режимы движения объединенного грузового поезда, вызванные набором и сбросом тяги, торможением, переломами продольного профиля пути и способами управления вспомогательными локомотивами с целью установления некоторых требований к техническим условиям на схемы формирования объединенных поездов, способы и системы управления вспомогательными локомотивами и создания на их основе системы автоматического управления вспомогательными локомотивами. Основные положения работы проверены в лабораторных и эксплуатационных условиях.

Разработка систем управления вспомогательными локомотивами и выбор рациональных схем формирования объединенных поездов основываются на результатах теоретических и экспериментальных исследований переходных режимов движения таких поездов. Фундаментальными исследованиями неустановившихся режимов движения поездов занимались Н.Е. Жуковский, А.М. Гольцкицкий-Цвирко, В.А. Лазарян, С.А. Богомолов, М.М. Протодьяконов, Ф.В. Флоринский, С.В. Варшавский, Л.Н. Никольский, Е.П. Блохин, Н.А. Палькин, В.М. Казаринов, В.Г. Иноземцев и другие.

Широкие теоретические и экспериментальные исследования переходных режимов движения объединенных поездов были поставлены Е.П. Блохиным. Автору предоставилась возможность принять участие во всех этих экспериментальных и некоторых теоретических исследованиях.

Поставленные в работе задачи решены в одних случаях теоретически, путем интегрирования с помощью ЭЦМ и АМ дифференциальных уравнений, описывающих переходные режимы движения, а в других - экспериментально, путем проведения многочисленных опытов с объединенными поездами в реальных условиях. В ряде случаев результаты решений и результаты опытов сопоставлены между собой. Эксперименты с объединенными поездами в реальных условиях преследовали и другие цели: проверка введенных допущений, отработка системы управления и т.д.

С помощью ЭЦМ интегрируются дифференциальные уравнения, описывающие переходные режимы движения поезда как системы. Решены задачи о распределении вдоль состава максимальных продольных усилий при трогании с места и торможении поездов, у которых локомотивы по-разному размещены вдоль состава, а их тяговые и тормозные средства включаются одновременно и неодновременно. Результаты этих исследований позволили сформулировать некоторые рекомендации и требования на схемы формирования объединенных поездов и способы управления вспомогательными локомотивами.

В процессе исследований, выполненных с помощью ЭЦМ и АМ поезд рассматривался как одномерная система деформируемых тел с существенно нелинейными связями (зона анкилозиса, зазор). Каждое тело (вагон, локомотив) представлялось в виде сосредоточенной массы m_i и безынерционного деформируемого элемента.

Движение такой механической системы описывается дифференциальными уравнениями

$$\begin{cases} \ddot{q}_i = \frac{1}{m_i} [S_i(q_i, \dot{q}_i) - S_{i+1}(q_{i+1}, \dot{q}_{i+1}) + F_i^a(t, x_i)] \\ \dot{x}_i = v_i \quad (i=1, 2, \dots, n; S_1 = S_n = 0) \\ \dot{q}_i = v_{i-1} - v_i \quad (i=2, 3, \dots, n) \end{cases} \quad (I)$$

Здесь: v_i - абсолютная скорость движения i -того экипажа массой m_i ; x_i - путь, пройденный экипажем; $q_i = x_{i-1} - x_i$ - относительное перемещение центров масс двух соседних экипажей; S_i - продольное усилие в i -том междувагонном соеди-

НТБ
ДНУЖТ

или; F_i^* - внешние силы, которые в зависимости от направления могут играть роль ускоряющих сил или сил сопротивления.

Система уравнений (I) интегрируется при начальных условиях

$$v_i(0) = v_{i0}; \quad q_i(0) = q_{i0}; \quad x_i(0) = x_{i0}. \quad (2)$$

Исследование движения поезда сводится к решению задачи Коши для систем обыкновенных дифференциальных уравнений, в правые части которых входят функции $F_i^*(t, x_i, v_i)$ и $S_i(q_i, \dot{q}_i)$. Первая функция описывает возмущающие силы, а вторая - зависимость усилия в междувagonном соединении от величины и скорости его деформации.

Рассматривается математическая модель междувagonного соединения фрикционного типа (наиболее распространенного на подвижном составе железных дорог), для которой функция $S_i(q_i, \dot{q}_i)$ неоднозначно зависит от q_i в промежутке $(\delta_0, \delta_0 + \Delta)$, где δ_0 - максимально возможная величина зазора в соединении, Δ - величина максимального сжатия соединения. Поэтому в случае $q_i \in (\delta_0, \delta_0 + \Delta)$ задача (I) и (2) становится некорректной. Для получения однозначного решения задачи необходимо задавать дополнительное начальное условие

$$\dot{S}_i(0) = S_{i0}. \quad (2')$$

Математическое описание внешних сил $F^*(x_i, v_i, t)$ учитывает, что поезд может двигаться по пути различного продольного профиля и при этом возможны: тяговый режим, оброс тяги, выбег, торможения (экстренное, полное служебное или регулировочное) отпущение тормозов, набор тяги.

Внешние силы, действующие на локомотивы, рассредоточенные вдоль поезда, можно представить в виде:

$$F_i^* = P_i + W_i + B_i + F_i,$$

а на вагоны - в виде:

$$F_i^* = P_i + W_i + B_i,$$

где: P_i — составляющая силы тяжести i -того экипажа; W_i — сила основного сопротивления поступательному движению i -того экипажа; B_i — сила, тормозящая i -тый экипаж; $F_i = F_i(t, v_i)$ — сила тяги локомотива, изменяющаяся в зависимости от скорости движения по его тяговой характеристике. Эта сила при пуске поезда в ход считалась изменяющейся по экспоненциальному закону

$$F_i = F_0 (1 - e^{-\Gamma t}) \quad (3)$$

Предполагалось, что при экстренном торможении $F_i = 0$ и на экипаж, включенный в поезд, действует сила B_i , зависящая от времени и скорости движения i -того экипажа

$$B_i = -T(t - \tau_i) V(|V_i|) S_0 (t - \tau_i) \text{Sign } V_i \quad (i = 1, 2, \dots, n); \quad (4)$$

$$V(|V_i|) = \frac{|V_i| + 100}{5|V_i| + 100}; \quad T(t - \tau_i) = c K_i \frac{16 K_i + 100}{80 K_i + 100},$$

где: τ_i — время запаздывания сил F_i ($i = 2, \dots, n$) по отношению к силе F_1 ; c — постоянная, зависящая от числа тормозных колодок и их материала.

Сила нажатия на одну колодку K_i в тоннах определяется

$$K_i = K_{i0} [1 - e^{-\Gamma_i (t - \tau_i)}]. \quad (5)$$

В случае движения поезда на выбеге по перелому продольного профиля сила F_i принималась равной составляющей силы тяжести P_i i -того экипажа.

При решении задач на ЭЦМ было принято, что поезда являются однородными и состоят из полностью загруженных шестисосных (для случаев трогания с места) и четырехсосных (при торможении) полувагонов.

Были рассмотрены случаи трогания с места поездов, имеющих два, три и четыре локомотива, расположенных только в голове состава или по-разному рассредоточенных по длине. Учитывалось также состояние состава по зазорам в упряжи: пре-зарительно растянутый, предварительно сжатый и наполовину сжатый (от головы до середины

состава).

Анализ результатов показал, что рассредоточение локомотивов существенно (на 55 + 75%) уменьшает продольные динамические усилия в поезде при трогании его с места. С увеличением числа локомотивов в поезде эффективность рассредоточения увеличивается.

Влияет на распределение максимальных усилий в поезде также последовательность включения по времени тяговых средств рассредоточенных по составу локомотивов. Рассматривался пуск в ход поезда для трех вариантов включения тяговых двигателей локомотивов: одновременного (синхронного $\Delta t = 0$), и неодновременного (асинхронного) с запаздыванием или опережением включения тяговых двигателей вспомогательных локомотивов относительно головного на величину $\Delta t = \pm n\tau$, где τ - время распространения волны возмущения от одного локомотива к другому, n - целое число. Получены распределения максимальных усилий вдоль состава для двоякоходовых поездов при $\Delta t = 0$, $\Delta t = \tau$ и $\Delta t = -\tau$, а для строенных поездов при $\Delta t = 0$ и $\Delta t = \tau$.

Результаты исследования показали, что включение тяговых двигателей "по волне возмущений", когда $\Delta t = \tau$, приводит к увеличению в 1,5 - 2 раза продольных усилий, однако по абсолютному значению они значительно меньше тех усилий, которые могут привести к разрушению вагонов. В случае же включения тяги второго локомотива "с опережением", когда $\Delta t = -\tau$, появляются сжимающие усилия, которые могут при определенных условиях вызвать порожние или неполностью загруженные четырехосные вагоны, постановка которых в объединенные поезда инструкцией не запрещается. Поэтому, когда каждым локомотивом управляет машинист, то пуск поезда в ход "по волне возмущений" целесообразен, т.к. исключает включение второго или третьего локомотива с опережением. Включение тяговых двигателей вспомогательных локомотивов "по волне возмущений" можно вполне допустить при оборудовании этих локомотивов системами автоматического управления.

Существенно влияет на распределение наибольших усилий в поезде неодновременность включения тормозов первой и последующих частей объединенного поезда.

Исследовался режим экстренного торможения для одоенного объединенного поезда с разобщенными и соединенными тормозными магистралями. Для первого варианта рассматривались случаи одновременного ($\Delta t = 0$) и неодновременного ($\Delta t = \pm 0,5 \div 10 T_r$) включения тормозных средств локомотивов (T_r - время распространения тормозной волны от одного локомотива к другому). Для второго варианта (с соединенными тормозными магистралями) рассматривались случаи включения тормозных средств вспомогательного локомотива одновременно с головным ($\Delta t = 0$) и со значительным опережением ($\Delta t = -10 T_r$). В последнем случае можно считать, что включаются тормозные средства только вспомогательного локомотива.

Получены распределения максимальных S_{max} усилий по длине поезда, а также зависимость наибольших из этих значений $\max S$ усилий от отношения $\Delta t / T_r$ при $\Delta t / T_r = \pm (0,5 \div 10) T_r$.

Результаты исследования показывают, что в процессе экстренного торможения объединенного поезда запаздывание с включением тормозных средств вспомогательных локомотивов по отношению к головному приводит к существенному возрастанию (в 3,5 - 4 раза) продольных усилий. Так, включение тормозных средств вспомогательного локомотива с запаздыванием на величину $\Delta t = T_r$ приводит к появлению сжимающих усилий до 135 т, а растягивающих усилий - до 60 т. Включение тормозных средств только головного локомотива ($\Delta t = 10 T_r$) при разобщенных тормозных магистралях приводит к появлению значительных (до 180 т) сжимающих усилий, постоянные составляющие которых имеют уровень 80-90 т и действуют в течение нескольких секунд, что также может привести к выдавливанию из колеи порожних или частично загруженных четырехосных вагонов.

Наименьшими продольные усилия получаются при однократном включении тормозных средств головного и вспомогательного локомотивов (-40 т , $+20 \text{ т}$). На таком же, примерно, уровне находятся продольные усилия при включении тормозных средств вспомогательного локомотива с опережением, на время распространения тормозной волны ($\Delta t = -T_r$) по отношению к головному и в случае включения тормозов только вспомогательного локомотива при соединенных тормозных магистралях. Как показано в работе, эти результаты удовлетворительно согласуются с данными, полученными во время опытных поездок на экспериментальном кольце ЦНИИ МПС с поездами весом 10000 и 15000 т и в эксплуатационных условиях с поездами весом 5600 + 12500 т , у которых локомотивы распределялись по длине состава.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований продольных усилий в объединенных поездах при пуске их в ход и торможения позволили сформулировать некоторые предложения к требованиям на схемы формирования объединенных поездов и способы управления вспомогательными локомотивами. В отношении предложений к схемам формирования, существенными являются рекомендации, определяющие условия, при которых поезда следует формировать в виде объединенных, а также порядок размещения составов, если их вес, длина и загруженность вагонов неодинаковы. Из рекомендаций к требованиям на способы управления вспомогательными локомотивами наиболее важными являются те рекомендации, которые определяют последовательность включения по времени тяговых и тормозных средств рассредоточенных по длине состава локомотивов в зависимости от характера переходного режима, состояния состава по зазорам в упряжке, а также применяемого режима тяги или торможения.

Известны следующие способы и системы управления локомотивами, находящимися внутри состава.

В СССР наиболее распространенным пока еще способом является такой, при котором команды управления передаются машинистом головного локомотива машинистам вспомогательных локомотивов с помощью поездной радиосвязи. При этом торможение второй и последних частей поезда осуществляется системой пневматической синхронизации, разработанной в ЦНИИ МПС. Несмотря на сравнительную простоту (в техническом отношении) этого способа управления, его недостатки очевидны: ненадежность канала радиосвязи в сложных условиях местности (тоннели, глубокие выемки), которая может привести к несогласованным действиям машинистов рассредоточенных локомотивов; субъективность оценки и выбор рационального режима движения всех локомотивов (в том числе значительно удаленных от головного) со стороны машиниста головного локомотива. Практика эксплуатации объединенных поездов подтверждает отмеченные недостатки.

В нашей стране разработаны несколько систем управления вспомогательными локомотивами. Одна из них - автономная система автоматического управления вспомогательными электровозами постоянного тока, о которой будет сказано ниже, в макетном варианте для электровоза ВЛ-22^М была разработана и изготовлена ДИИЛ'ом, а затем испытана в эксплуатационных условиях еще в 1970-1971 гг.

Три другие системы представляют собой телемеханические системы управления.

Система телеуправления вспомогательными локомотивами "Братск-1", разработанная Московским институтом инженеров железнодорожного транспорта в 1972 г., предназначена для электровозов переменного тока и использует в качестве канала связи контактную сеть. Эта система, выполненная по временному принципу, прошла испытания на Братском отделении Восточно-Сибирской железной дороги.

Отделением электрификации ЦНИИ МПС была разработана частотная система телеуправления, в которой также применена контактная сеть в качестве канала связи. В этой системе использованы логические элементы системы "Сейма-2" и она также рассчитана на электровазы переменного тока. Система прошла испытания на опытном кольце ЦНИИ МПС в 1972 году.

Система дистанционного управления пневматическими тормозами и отключения тяги разработана Тормозным отделением ЦНИИ МПС. Система построена по временному принципу и использует в качестве канала связи радио, а также край дистанционного управления тормозами усл. № 408.

Из зарубежных систем управления следует отметить разработки, проведенные в США и Франции.

В 1965 году фирмой "General Railway Signal Company" (США) совместно с железной дорогой Луисвилл и Нэшвилл была разработана и испытана система автоматического управления вспомогательными локомотивами с использованием тензотермических датчиков, смонтированных на автосцепках и тахогенератора на оси колесной пары. Вся система в целом (включая локомотив) представляет собой усилитель мощности, обеспечивающий с помощью электронно-вычислительного устройства поддержание постоянного отношения мощности на переднем сцепном приборе к мощности на заднем сцепном приборе. Отношение это зависит от соотношений весов составов, входящих в объединенный поезд и мощности их локомотивов.

В 1967 году фирмой "WABCO" и 1968 году фирмой "Радиашн" в США были созданы системы телеуправления вспомогательными локомотивами, получившие название соответственно "RMU" и "Локо-роль ТМ". В этих системах локомотивы, рассредоточенные по длине состава, управляются по системе многих единиц, где роль междо-мотивных соединений играют устройства кодированной радиосвязи, построенные по временному принципу. С помощью таких систем, получивших распространение на дорогах США, Канады и Бразилии,

обеспечивалось движение поездов весом до 48000 тонн.

Научно-исследовательским отделом электротяги Национального общества французских железных дорог (НОФ) в 1966 году была разработана система телеуправления с использованием в качестве канала связи контактного провода и выполненная также по временному принципу. Эта система позволяла осуществлять управление двоянными и строятными поездами.

Анализируя указанные системы телеуправления вспомогательными локомотивами следует отметить, что их общим недостатком является неустойчивость работы канала связи (радио), большой уровень помех (контактная сеть), а также трудности осуществления несинхронного управления тягой вспомогательными локомотивами на участках сложного профиля пути. К достоинствам систем телеуправления можно отнести возможность применения синхронного способа управления тормозными средствами вспомогательных локомотивов. При этом системы кодирования, декодирования проверки команд должны обеспечить минимальную, не более 0,5 сек, задержку во времени при включении тормозных средств вспомогательных локомотивов относительно головного локомотива.

В соответствии с основными положениями изложенных в диссертации требований, под руководством автора, ДИИТом была разработана, изготовлена и испытана автономная система автоматического управления тяговыми и тормозными (для двоянных объединенных поездов) средствами вспомогательных локомотивов. Предполагалось, что такая система управления должна обеспечивать возможно меньшие продольные усилия, действующие на вагоны объединенного поезда при наборе и сбросе тяги, торможении и движении по переломам продольного профиля пути. Поэтому была выбрана самонастраивающаяся автономная система автоматического управления замкнутого типа, основным регулирующим параметром которой является продольное усилие в передней автосцепке вспомогательного

локомотива, измеряемое специальными индукционно-трансформаторными датчиками, установленными на поглощающем аппарате. Дополнительными источниками информации, обуславливающими с помощью логического блока набор и сброс тяги, темп набора и сброса тяги, а также приведение в действие тормозной системы, являются: сила тока тяговых двигателей вспомогательного локомотива, скорость движения, давление воздуха в хвостовой части тормозной магистрали переднего поезда, давление воздуха в тормозном цилиндре вспомогательного локомотива, срабатывание на нем защит (отключение быстродействующего выключателя, падение напряжения в контактной сети, срабатывание реле боковозания). Система поддерживает с помощью тяговых средств вспомогательного локомотива заданное значение усилия в своей передней автоцепке. Если мощности головного и вспомогательных локомотивов, а также веса первого и последующих составов равны, принимается "нулевое" значение усилий и объединенный поезд для режима тяги может рассматриваться, как состоящий из отдельных поездов с локомотивом в голове каждого.

В течение 1970-1973 гг. были последовательно разработаны, изготовлены и испытаны в лабораторных и эксплуатационных условиях системы автоматического управления для электровозов ВЛ-22^М, ВЛ8 и ВЛ10.

Исследование о помощи ЭЦМ динамических процессов в объединенных поездах, у которых вспомогательные локомотивы управляются автоматически системами с обратной связью, является очень трудной и трудноразрешимой задачей. В этом случае представляется более целесообразным применять систему "АВМ (модель объединенного поезда с локомотивами) - САУ (действующий макет)".

Такая система, созданная в лаборатории динамики и прочности подвижного состава ДИИТа с участием автора, позволяет, например, исследовать взаимодействие объекта управления (объединенного поезда) и системы автоматического управления при переходных

и стационарных режимах движения; исследовать динамические процессы в объединенном поезде, вызванные такими режимами, как отключение одного из локомотивов при срабатывании на нем защиты, бокоовании, резком изменении напряжения в контактной сети и т.д.; проверить работу отдельных блоков САУ и всей системы в целом до проведения поездных испытаний.

Система "АВМ-САУ" включает в себя следующие устройства:

1) электронную модель динамических процессов объединенного поезда, состоящего из 64-х четырехосных полувагонов и двух электровозов ВЛ-22^М, один из которых находится в голове, а другой - вспомогательный - в середине состава; 2) электронную модель электромеханических процессов, происходящих во вспомогательном электровозе с переходным релейным блоком, имитирующим при моделировании работу контакторов электровоза; 3) действующий экспериментальный макет САУ.

В качестве расчетной схемы поезда принята, описанная ранее, модель: одномерных твердых тел, соединенных деформируемыми элементами с существенной нелинейностью. В соответствии с указанной математической моделью собрана электронная модель динамических процессов объединенного поезда на базе трех соотыкованных АЭМ типа МПТ-9.

Электродинамические процессы в силовой цепи тягового двигателя вспомогательного электровоза описаны уравнениями:

$$\begin{cases} U_g = r_1 i_a + e + L' \frac{di_a}{dt} + U_1; \\ i_a = i_f + i_u; \\ U_1 = e_{сб} + L_{1n} i_f \end{cases} \quad (6)$$

В этих уравнениях: i_a - ток в цепи якоря; i_f - ток цепи обмотки возбуждения; i_u - ток в цепи шунта ослабления поля; U_g - напряжение, приложенное к тяговому двигателю; L' - индуктивность обмотки якоря и дополнительных полюсов; $e_{сб}$ - электродвижущая сила самоиндукции обмотки возбуждения; e -

противоэлектродвижущая сила тягового двигателя; Z_1 - суммарное реактивное сопротивление обмотки якоря (Z_a) и дополнительных полюсов (Z_{gn}), $Z_1 = Z_a + Z_{gn}$; Z_{an} - активное сопротивление обмотки главных полюсов.

Известно, что

$$L \frac{di_a}{dt} = K_a e_{cb}; \quad (7)$$

$$e_{cb} = 2p\delta W_f; \quad (8)$$

$$e = K'_e V_{20} \Phi, \quad (9)$$

где: $2p$ - число пар полюсов тягового двигателя; δ - коэффициент рассеивания магнитного потока главных полюсов; W_f - число витков обмотки возбуждения; K'_e - постоянная, определяемая конструкцией тягового двигателя; Φ - магнитный поток тягового двигателя; V_{20} - линейная скорость движения электровоза.

Воспользовавшись выражениями (7) и (9), уравнения (6) можно привести к виду:

$$\begin{cases} U_g = (K_1 + K_2 \beta_1) \frac{d\Phi}{dt} + K'_e V_{20} \Phi + (z + z_{2n} \beta_1) i_{cb}; \\ U_g = c U_k - cd R_p i_a; \\ i_a = (1 + \beta_2) i_1 + \beta_3 \frac{d\Phi}{dt} \end{cases} \quad (10)$$

где: $z = z_1 + z_{2n}$; $\beta_1 = \frac{z_1}{R_w}$, R_w - сопротивление пункта обмотки возбуждения тягового двигателя; $K_1 = 135.2p\delta W_f$; $K_2 = 2p\delta W_f$; c и d - параметры зависящие от схемы соединения тяговых двигателей; R_p - сопротивление пускового реостата;

$$\beta_2 = \frac{z_{2n}}{R_w} \quad \beta_3 = \frac{2p\delta W_f}{R_w}$$

Сила тяги электровоза вычислялась как

$$F_k = K'_m \Phi i_a, \quad (11)$$

где K'_m - постоянная, определяемая конструкцией электровоза и его тяговых двигателей.

При моделировании электромеханических процессов вспомогательного электровоза переменные параметры R_1 , R_2 , R_3 и аналоги пусковых сопротивлений реализовывались с помощью делителей напряжений. Значения этих параметров изменялись по сигналам, поступающим от исполнительного блока САУ. На обмотки реле переходного блока, имитирующих работу контакторов электровоза, также поступали сигналы от исполнительного блока САУ. Контактные реле замыкали и размыкали (в соответствии с диаграммой работы контакторов электровоза) группы резисторов, в определенном масштабе представляющих пусковые сопротивления электровоза.

Для моделирования электромеханических процессов использовалась АЭМ МН-7. Напряжение - аналог скорости движения вспомогательного электровоза V_{20} подавалось в модель МН-7 из модели поезда, а формируемое моделью МН-7 напряжение-аналог силы тяги F_{20} поступало в модель поезда в соответствии с уравнениями (1) и (2). Напряжение - аналог силы в передней автосцепке локомотива из модели поезда через интегрирующее звено подавалось непосредственно на обмотку трехпозиционного поляризованного реле САУ. Напряжение-аналог силы тока тяговых двигателей из модели МН-7 поступало на обмотку реле тока САУ.

Моделирование динамических процессов в объединенном поезде и электромеханических процессов на вспомогательном локомотиве производилось в натуральном масштабе времени.

Сравнение осциллограмм и графиков распределения максимальных усилий в объединенном поезде, полученных путем моделирования и экспериментально при проведении в натуре опытов по троганию с места показало, что система "АЭМ-САУ" достаточно хорошо отображает процессы, происходящие в реальных системах.

Одним из основных вопросов, подлежащих исследованию, было изучение влияния параметров системы управления и условий ее работы на качество управления. Здесь под "качеством управления"

определяется время перехода динамической системы "поезд-САУ" в стационарный режим движения. Качество системы управления выше, если время утановления меньше. Исследование, проведенное с помощью системы "АВМ-САУ", показало, что время T перехода в стационарный режим после пуска поезда в ход, срабатывания быстрогодействующего выключателя на вспомогательном локомотиве, пробуксовывания и других причин существенно зависит от порога чувствительности системы управления, от соотношения "загруженности" головного и вспомогательного локомотивов, от величины силы сопротивления движению. Результаты исследования показали, что при наладке системы управления не следует чрезмерно повышать ее чувствительность. Порог чувствительности должен быть несколько большим, чем возможные изменения силы тяги вспомогательного локомотива при переходе с одной реостатной позиции на другую. Так как изменение силы тяги в процессе управления тяговыми двигателями путем изменения степени ослабления поля (ОП1, ОП2) значительно больше, чем на реостатных позициях, необходимо автоматическое повышение порога чувствительности САУ на ходовых позициях.

При формировании объединенного поезда с автоматически управляемым вспомогательным локомотивом желательно, чтобы вспомогательный локомотив был "загружен" не меньше, чем головной. Этот вывод следует из анализа осциллограмм, полученных при моделировании и в опытных поездах.

Сопротивление движению поезда оказывает демпфирующее влияние на протекание переходного процесса

Испытание системы автоматического управления вспомогательными локомотивами в эксплуатационных условиях проводилось при пропуске однопутных и стропенных объединенных поездов. Всего было проведено 59 поездок со стропенными поездами, вес которых достигал 9000 т. В 1973 году с помощью двух комплектов САУ было проведено 5 поездок со стропенными объединенными поездами. Вес таких поездов достигал 12500

Опытные объединенные поезда формировались на базе проходящих по участкам Приднепровской и Донецкой железных дорог составов и в них включались, кроме локомотивов, вагоны-лаборатории, каждый из которых размещался непосредственно за локомотивом (головным и вспомогательными). В этих вагонах на всем пути следования с помощью тензометрической аппаратуры регистрировались параметры, характеризующие действия машиниста головного локомотива, работу САУ на вспомогательном локомотиве, а также усилия в автоцепях различных сечений объединенного поезда.

Основными критериями оценки различных способов управления тяговыми и тормозными средствами вспомогательных локомотивов (кроме отказов в работе устройств) являлись значения продольных усилий, действующих на вагоны поезда. При обработке осциллограмм в каждом опыте были определены максимальные значения растягивающих ("плюс") и сжимающих ("минус") продольных усилий во всех динамометрических сечениях поезда. Эти данные были подвергнуты статистической обработке с целью определения среднего и наибольшего возможного (по правилу трех стандартов) значений продольного усилия, действующего на экипаж, независимо от места нахождения его в поезде. Обработка производилась так, что в одних случаях статистические характеристики определялись для каждого динамометрического сечения отдельно, а в других - по выборкам, содержащим максимальные значения продольных усилий во всех сечениях. Кроме того, определялись статистические характеристики наибольшего (тогда $\bar{S}$) усилия в поезде при данном переходном режиме.

В случае движения по переломам продольного профиля пути сравнение различных способов управления вспомогательным локомотивом производилось по усредненному $\bar{S}$ значению силы, действующей на экипаж в течение времени T

Значение $\bar{S}$ определялось по формуле

$$\bar{S} = \frac{1}{T_n} \sum_{i=1}^{i=n} \int_0^T |S(t)| dt, \quad (II)$$

где i - номер динамометрического сечения, n - общее количество динамометрических сечений в поезде, T - время прохождения поездом одного и того же участка пути длиной 3 км.

С точки зрения прочности лучше, если усредненное значение сил $\bar{S}$, действующей на экипаж в течение времени T , будет наименьшим. Величина $\bar{S}$ была определена в результате специальной обработки осциллограмм усилий с помощью разработанного в ДИИТе устройства считывания осциллограмм, где шаг считывания ординат усилий задавался в интервалом в 1 сек. С помощью ЭЦМ "Напри" вычислялось, согласно (II), значения $\bar{S}_i$, соответствующие различным способам управления вспомогательным локомотивом.

В таблицах, приведенных в работе, даны значения некоторых статистических характеристик, доверительные границы среднего $\bar{S}$ и среднего квадратического отклонения $\bar{S}$ продольных усилий, наибольшие возможные значения продольных усилий для каждого переходного режима и всех этапов опытных поездок. Погрешности среднего $\bar{S}$ и среднего квадратического отклонения $\bar{S}$ вычислены с вероятностью 0,95. Наибольшие возможные значения продольных усилий найдены с учетом возможной положительной ошибки как $(\bar{S} \pm \bar{S}_s) + 3(\bar{S} \pm \bar{S}_s)$. В этих же таблицах приведены наибольшие измеренные значения усилий и указано количество наблюдений.

Кроме того, для ряда опытных поездок статистическая обработка осциллограмм была проведена таким образом, что на протяжении всего зарегистрированного процесса снимались ординаты усилий с интервалом в 5 сек. Полученные данные были обработаны на ЭЦМ и по ним построены полигоны распределения продольных усилий в каждом динамометрическом сечении поезда.

По результатам указанной выше обработки осциллограмм, зарегистрированных в опытных поездках с объединенными поездами в период 1970-1973 гг., было произведено сравнение различных способов управления тяговыми и тормозными средствами вспомогательных локомотивов и проверки выводы исследований, выполненных с помощью ЭЦМ и АБМ.

Управление тягой вспомогательных локомотивов осуществлялось как вручную машинистом (по командам с головного локомотива и по показаниям прибора-динамометра), так и автоматически - с помощью автономной системы автоматического управления.

Управление пневматическими тормозами состава, находящегося за вспомогательным локомотивом производилось следующим образом: вручную (по командам с головного локомотива); по показаниям манометра, указывающего давление воздуха в тормозной магистрали последнего вагона первого поезда при разобщенных тормозных магистралях объединяемых поездов; автоматически - с помощью лючек пневматической синхронизации ЦНИИ МПС, а также специальных устройств, обеспечивавших как одновременное срабатывание тормозов обеих локомотивов, так и опережающее включение тормозов вспомогательного локомотива относительно головного.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные выше результаты теоретических и экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы.

I. Распределение локомотивов по длине тяжеловесного грузового поезда позволяет при пуске его в ход уменьшить на 30-75 % продольные динамические усилия. При этом уменьшение сил прямо пропорционально числу объединяемых поездов и зависит от состава по зазорам в упряжи к началу переходного процесса.

2. При пуске объединенного поезда в ход продольные усилия оказываются наименьшими при одновременном (синхронном) включении тяговых двигателей рассредоточенных локомотивов.

При включении тяговых двигателей вспомогательных локомотивов с запаздыванием по отношению к головному локомотиву продольные усилия возрастают. Так, в случае пуска в ход вспомогательного локомотива по "волне возмущений" ($\Delta t = T$) эти усилия увеличиваются в 1,5 - 2 раза.

Включение тяговых двигателей вспомогательных локомотивов с опережением по отношению к головному локомотиву может вызвать появление сжимающих усилий, которые, при определенных условиях, способны выдавить из колеи порожние или частично загруженные четырехосные вагоны.

3. При пневматическом управлении тормозами наименьшими продольные усилия бывают при одновременном включении тормозных средств рассредоточенных локомотивов.

Включение тормозных средств вспомогательного локомотива с запаздыванием по отношению к головному локомотиву приводит к существенному возрастанию продольных усилий. Так, при экстренном торможении двоярного объединенного поезда включение тормозных средств вспомогательного локомотива с запаздыванием на время распространения тормозной волны ($\Delta t = T_r$) приводит к увеличению наибольших значений сжимающих усилий в 3,7 раза.

В случае разобщения тормозных магистралей объединяемых поездов и включения тормозных средств только головного локомотива возникают значительные (до 200 т) сжимающие усилия, постоянные составляющие которых имеют уровень порядка 100 т и действуют в течение нескольких секунд. Все это также может привести к выдавливанию из колеи порожних или частично загруженных четырехосных вагонов.

4. Приведенные в работе результаты теоретических и экспериментальных исследований продольных усилий позволили сформулировать ряд предложений к требованиям на схемы формирования объединенных поездов и способы управления вспомогательными локомотивами, которые были использованы при создании системы автоматического управления тяговыми и тормозными (для двояных поездов) средствами этих локомотивов.

5. Разработана, исследована и предложена самонастраивающаяся система автоматического управления тяговыми средствами вспомогательных электропоездов постоянного тока. Основным регулируемым параметром ее является продольное усилие в передней автосцепке, которое поддмживается системой на постоянном, заранее задаваемом, уровне.

В отличие от известных систем, в данной системе: используются типовые элементы электроники в сочетании с простыми схемами; измерение усилия в автосцепке производится не тензометрическим устройством (датчиками и усилителем), а индукционно-трансформаторными датчиками, измеряющими ход поглощающего аппарата; отсутствуют электромеханические элементы в функциональном устройстве и сервомеханизмы - в исполнительном. Все это обеспечивает простоту конструкции и достаточно высокую надежность системы в целом.

Подобными системами могут быть оборудованы электропоезда переменного тока и тепловозы.

6. При пуске в ход вспомогательных локомотивов по "волне возмущений", но с использованием предложенной самонастраивающейся системы, наименьшие значения продольных усилий в объединенном поезде на 16 % меньше тех значений, которые имеют место при синхронном включении рассоединенных локомотивов. С увеличением числа объединяемых поездов эти усилия не возрастают.

7. В отличие от систем дистанционного управления предлагаемая автономная система повышает безопасность движения поезда по участкам пути сложного профиля и не ограничивает число обгоняемых поездов.

8. Предложен способ служебных торможений (с использованием в качестве канала связи тормозной магистрали поезда), при котором можно либо сперва включить тормозные средства вспомогательного локомотива, а затем - головного (после прихода волны разрядки тормозной магистрали со стороны вспомогательного локомотива), либо производить торможение обоих составов объединенного поезда со стороны только вспомогательного локомотива. В обоих случаях торможение производит машинист головного локомотива с помощью специального дополнительного, к системе пневматической синхронизации, устройства, устанавливаемого на вспомогательном локомотиве.

Применение такого способа торможения в двоянных объединенных поездах позволяет уменьшить наибольшие значения сжимающих усилий на 20 % и растягивающих - на 40-75 %.

9. Испытания макетов системы автоматического управления тягой вспомогательных электровозов постоянного тока, выполненные в лабораторных (с помощью системы "АВМ-САУ") и эксплуатационных (в двоянных и строенных поездах весом до 12500 т) условиях в период 1971-73 гг. подтвердили достоверность основных положений данной работы и рекомендаций к требованиям, изложенным в диссертации; позволили изготовить и отработать опытную партию системы автоматического управления тяговыми средствами вспомогательных электровозов ВМВ и ВЛЮ. Один экземпляр опытной партии, установленный на электровоза ВМВ-746, показал положительные результаты в процессе испытаний в эксплуатационных условиях; обеспечи-

вая безопаснос.ь движения объединенного поезда, эффективность и надежность работы устройств. Этот экземпляр системы оставлен для длительной эксплуатационной проверки на участке Ясинуватая-Волноваха Донецкой железной дороги.

Основное содержание диссертации сформулировано в следующих работах:

1. Б.П.Блохин, В.А.Каблуков, Л.В.Белик, М.Е.Итин. Исследования экстренных торможений объединенных поездов. Труды ДИИТа, вып. 143, Днепропетровск, 1973.
2. Б.А.Лаварин, Б.П.Блохин, В.Н.Захаров, М.Е.Итин. Автоматическое управление вспомогательными локомотивами объединенного поезда. Труды ДИИТа, вып.128, Днепропетровск, 1972.
3. Б.П.Блохин, М.Е.Итин, Л.А.Манашкин, М.А.Кедря, В.В.Клевеский. Моделирование динамических процессов в объединенном поезде при автоматическом управлении вспомогательным локомотивом. Материалы симпозиума по проблемам моделирования динамики подвижного состава. Брянск, 1973.
4. А.А.Львов, В.Н.Захаров, М.Е.Итин, Б.М.Клежковский. Новая аппаратура, применяемая при исследованиях колебаний подвижного состава. Труды ДИИТа, вып.35, Днепропетровск, 1961.
5. М.Е.Итин, Л.А.Манашкин, В.А.Музыкян, Л.С.Сокол. Опыт эксплуатации вычислительных машин непрерывного действия. Труды ДИИТа, вып.59, Днепропетровск, 1966.
6. М.Е.Итин, Л.А.Манашкин. Зависимость чувствительности тензометрического измерительного канала от несущей частоты усилителя и от соединительной линии. "Измерительная техника", №4, М., 1966.

Содержание работы доложено:

1. На совместном научно-техническом совещании Постоянной комиссии по научным проблемам развития транспорта АН СССР и Научно-технического совета Министерства путей сообщения по вопросам автоматизации управления движением на рельсовом транспорте, Москва, 1973.
2. На симпозиуме "Проблемы моделирования динамики подвижного состава", Брянск, 1973.
3. На семинарах по механике Днепропетровского отделения Института механики АН УССР и Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта, Днепропетровск, 1973.

НТБ
ДНУЖТ

БТ. 25727 Подписано к печати 30.I 74 г.
ДИИТ. Ротапринт. Заказ 471. Тираж 170 экз. Объем I п.л. 1974г.

Сканировала Камянская Н.А.

НТБ
ДНУЖТ