

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА имени М.И.КАЛИНИНА

На правах рукописи

МАСЛЕЕВА Людмила Григорьевна

ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОДОЛЬНЫХ УСИЛИЙ В ПОЕЗДЕ, ВЫЗВАННЫХ ПЕРЕЛОМАМИ
ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПУТИ И УПРАВЛЯЮЩИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

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

НТБ
ДНУЖТ

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

Научный руководитель
заслуженный работник высшей школы УССР, доктор технических
наук, профессор **Б.П.Блохин.**

Официальные оппоненты
заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических
наук, профессор **С.В.Вершинский ;**

кандидат **технических наук, доцент И.Г.Карбас.**

**Ведущее предприятие Всесоюзный
научно-исследовательский институт транспортного строительства и
Днепропетровская ордена Ленина железная дорога.**

Защита состоится 28 июня 1979 г. в 14.00 на заседании
специализированного Совета К ИА.07.01 в Днепропетровском ин-
ституте инженеров **железнодорожного транспорта им.М.И.Калинина**
(г.Днепропетровск, 320629, ГСП, ул.Университетская, 2).

С диссертацией **можно ознакомиться в библиотеке ДИИТа.**

Автореферат **разослан "26" июля 1979 г.**

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

НТБ
ДНУЖТ

Актуальность темы. В директивных документах партии и правительства подчеркивается, что одним из основных направлений развития железнодорожного транспорта СССР следует считать увеличение провозной и пропускной способностей дорог. Решение этих задач связано прежде всего с увеличением весов поездов и скоростей их движения (при одновременном повышении безопасности), а также с дальнейшим расширением сети путей сообщения, особенно в восточных районах страны.

69/5a

Как известно, с увеличением весов, длин поездов и скоростей движения возрастает нагруженность подвижного состава. Исследуя динамику поезда, прежде всего приходится принимать во внимание продольные силы, возникающие в упряжных приборах. Эти силы могут достигать опасных (с позиций прочности и устойчивости вагонов от их выжимания) значений особенно при нестационарных процессах, вызванных управлением движением поезда и переломами продольного профиля пути. Изучение указанных переходных процессов имеет важное практическое значение, в частности, для конструирования подвижного состава, эксплуатационной работы железных дорог, а также проектирования продольного профиля пути. Так, например, разработка (1972-76гг.) новых норм сопряжения элементов профиля пути потребовала детального изучения продольных усилий в поездах, предназначенных для эксплуатации в современных и перспективных условиях.

Предыдущие исследования динамики поезда на переломах профиля пути в основном посвящались определению усилий квазистатического характера, а задачи об определении усилий ударного характера были решены для небольшого числа частных случаев движения поездов, веса которых значительно ниже существующей нормы.

Целью работы является разработка методики определения про-

НТБ
ДНУЖТ

дольных усилий, возникающих в длинносоставных грузовых поездах в процессе их движения по участкам со сложным очертанием продольного профиля пути при наличии управляющих воздействий; применение указанной методики для определения количественных зависимостей продольных усилий от параметров поезда и профиля пути; установление на базе полученных результатов условий сопряжения элементов продольного профиля пути; применение разработанной методики моделирования к решению задач, связанных с увеличением провозной способности некоторых участков железных дорог.

Общая методика исследования. В работе с использованием ЭВМ проводятся теоретические исследования продольных усилий, базирующиеся на применении численных методов интегрирования нелинейных дифференциальных уравнений, которые описывают движение поезда по пути ломаного профиля. При решении некоторых задач используются методы математической статистики. Проводится анализ продольных усилий, полученных во время экспериментальных поездок с опытными поездами. С целью апробации математической модели результаты расчетов сопоставляются с данными опытов.

Научная новизна. Разработана методика математического моделирования движения длинносоставного грузового поезда по участкам пути ломаного профиля достаточно большой протяженности (до нескольких десятков километров), позволяющая оценивать продольные силы ударного и квазистатического характера. Алгоритм и программа численного решения задачи с помощью ЭВМ гарантируют необходимую точность результатов независимо от длины отрезка интегрирования и обеспечивают минимальные затраты машинного времени благодаря применению переменного шага интегрирования и распространению на рассматриваемый тип задач приема повышения порядка системы дифференциальных уравнений. Учтена возможность многократной смены

режимов управления с целью регулирования скорости движения. Модель позволяет рассматривать процессы, связанные как с включением, так и с отпуском пневматических тормозов состава. При этом параметры, характеризующие изменение тормозных сил во времени, задаются зависящими от номера экипажа в соответствии с опытными данными.

Получены зависимости наибольших продольных сил в поезде от параметров профиля пути, позволившие установить такие условия сопряжения элементов профиля, при которых продольные силы в поезде не превышают допустимый уровень.

Практическая ценность. Результаты исследований использованы: при разработке пунктов 2.4, 2.5, 2.6 строительных норм и правил СНиП П-39-76, регламентирующих устройство продольного профиля пути; при разработке рекомендаций по вождению поездов повышенного веса (7200 тс) на Приднепровской железной дороге.

Кроме того, в рамках договора о творческом содружестве между Главтранспроектотом Минтрансстроя, МИИТом, ЦОИМ АН УССР и ДИИТом с помощью разработанной методики были выполнены исследования и выработаны рекомендации, касающиеся корректировки проекта постройки одного из участков трассы Байкало-Амурской магистрали. По просьбе ЦНИИС Минтрансстроя был произведен также анализ (с позиции уровня продольных сил) профиля одного из сложных участков переустраиваемой железной дороги республики Куба и даны соответствующие рекомендации.

Апробация. Основные материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технической конференции по проблемам проектирования, строительства и эксплуатации Байкало-Амурской магистрали (Москва, 1977); Всесоюзной конференции "Проблемы механики наземного транспорта" (Днепропетровск,

1977); городском семинаре по общей механике (Днепропетровск, 1973, 1979); симпозиуме по проблемам моделирования динамики подвижного состава (Брянск, 1973); научно-технической конференции ДИИТа (Днепропетровск, 1974).

Публикации. По материалам исследований опубликовано II работ.

Структура работы обусловлена необходимостью совершенствования и дополнения известной математической модели, выбора математических методов решения задачи, апробации модели, решения конкретных задач, поставленных практикой проектирования железных дорог и эксплуатации подвижного состава.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 82 наименования, приложения; содержит 105 страниц текста, 70 рисунков, 25 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводятся обоснование актуальности работы и краткий обзор основных достижений в области переходных режимов движения поездов, формулируются постановка задачи и цель исследований.

Изучению продольных усилий при переходных режимах движения поездов посвящены работы Н.Е. Жуковского, В.А. Лазарина, Ф.В. Флоринского, С.В. Вершинского, Л.Н. Никольского, Е.П. Блохина, Н.А. Панькина, С.В. Дуваляна, П.Т. Гребенюка и других авторов. Путем математического моделирования наиболее детально изучены динамические процессы, вызванные пуком в ход и экстренными торможениями поезда на участке прямолинейного профиля. В меньшей мере оказалось исследованым движение поезда через переломы продольного профиля пути. Этими задачами занимались М.М. Протодяконов, В.А. Лавряня, С.В. Вершинский, В.М. Мучников, С.А. Вольфон, В.М. Ка-

лекин, И.Г.Барбас, В.А.Денисов и другие.

В подавляющем большинстве теоретических работ задача определения продольных сил, вызванных движением поезда по пути ломаного профиля, решалась в линейной постановке, и поэтому приведенные в них результаты применимы лишь к тем частным случаям движения грузовых поездов, при которых зазоры в упругих приборах не проявляются. В нелинейной постановке задача решалась путем электронного моделирования применительно к коротким поездам, состоящим из 17 экипажей. При этом не учитывались фрикционные свойства поглощающих аппаратов автосцепки, которые являются самыми распространенными на сети дорог, а скорость при следовании поезда через переломы принималась постоянной. Влияние управляющих воздействий на уровень продольных сил изучено не в полной мере, т.к. рассмотрено лишь добавление силы тяги на переломе. Динамика длинносоставного поезда, движущегося по пути ломаного профиля, в предыдущих работах не исследовалась.

В реферируемой работе сделана попытка ликвидировать указанные пробелы.

В главе I приводятся некоторые результаты экспериментального исследования продольных усилий, возникающих при движении тяжеловесного грузового поезда по переломам продольного профиля пути. Опыт был проведен ДИИТом (при участии автора) в 1972 г. на участках Саксагань - Полевское и Новомосковск - Баловка Приднепровской железной дороги. Поезд (весом 8000 т) состоял из трех электровозов в голове, двух вагонов-лабораторий и 88 четырехосных полувагонов, оснащенных современным тормозным и автосцепным оборудованием. Продольные силы измерялись в девяти равномерно распределенных по длине поезда сечениях.

Исследовалось движение поезда по участкам пути с перева-

листым профилем в режиме тяги, "на выбеге", а также в режиме регулировочного торможения. Анализ экспериментальных данных показал, что в опытах по регулировочным торможениям, в которых начальная скорость движения поезда составляла $52 + 75 \text{ км.ч}^{-1}$, продольные силы ударного характера в динамометрических автосцепках достигали 100тс. Этот уровень сил согласно нормам расчетов вагонов на прочность является предельно допустимым для режима регулировочного торможения при скорости свыше 50 км.ч^{-1} в поездах весом до 10000 тс. Если учесть, что в условиях эксплуатации величина зазоров в упряжи может быть больше измеренной в опытно-составе, и скорость движения может превышать реализованную в рассматриваемых экспериментах, то станет очевидной возможность возникновения продольных сил, превосходящих нормы, даже в поезде весом 8000 тс.

Вышесказанное подтверждает актуальность исследований переходных процессов, вызванных управлением движением длинносоставных поездов на переломах продольного профиля пути.

Следует подчеркнуть, что экспериментальные исследования не позволяют установить необходимые зависимости продольных сил от параметров профиля пути, т.к. диапазон значений этих параметров в реальных условиях весьма ограничен. Кроме того в опытах, большая часть которых проводится на магистральных участках железных дорог, должна быть исключена возможность появления аварийных ситуаций. Отмеченные обстоятельства приводят к необходимости использования теоретических методов исследования при решении рассматриваемых в работе задач.

Во второй главе на базе известной методики математического моделирования, разработанной В.А.Лазаряном и его последователями, строится модель движения длинносоставного грузового поезда по

участкам пути ломаного профиля при наличии управляющих воздействий, обосновывается выбор способа численного интегрирования дифференциальных уравнений и производится аппроксимация математической модели.

В качестве расчетной схемы поезда принята цепочка твердых тел, соединенных деформируемыми элементами, структура которых учитывает упругие и диссипативные свойства поглощающих аппаратов автосцепки и конструкций вагонов, зазоры в межвагонных соединениях. Движение поезда описывается системой обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений, порядок которой равен удвоенному числу экипажей в поезде ($2N$). Задаче об определении продольных усилий ξ_j решается путем численного интегрирования уравнений движения при заданных начальных и некоторых дополнительных условиях. Результирующая внешних сил, действующих на j -й экипаж, в общем случае учитывает составляющие силы тяжести от уклона пути, силу основного сопротивления движению, силу тяги локомотива и тормозную силу при электрическом и пневматическом торможениях.

Продольный профиль пути предполагается состоящим из прямолинейных участков с разностью уклонов Δi_k , сопрягающихся в вертикальной плоскости круговыми кривыми радиуса R_k .

Уровни силы тяги и тормозной силы локомотива при электрическом торможении задаются зависящими от скорости его движения в соответствии с тяговой и тормозной характеристиками. Сила, тормозящая экипаж при пневматическом торможении, предполагается зависящей от скорости движения и величины сил нажатия на тормозные колодки. Модель учитывает неодновременность "срабатывания" тормозных цилиндров по длине поезда, а также неоднородность параметров, характеризующих изменение тормозных сил во времени в различных частях состава.

Сила основного сопротивления движению задается зависящей от типа экипажа и его скорости.

При разработке алгоритма решения задачи предполагалось, что система управления функционирует с учетом заданного уровня скорости и допускаемых отклонений фактической скорости движения от этого уровня.

Метод численного интегрирования выбирался с учетом особенностей дифференциальных уравнений и получаемых решений. В связи со спецификой правых частей рассматриваемых уравнений (непрерывны только первые производные по времени от искомым решений) применяются методы интегрирования второго порядка. Особенность получаемых решений состоит в том, что их в ряде случаев приходится рассматривать на достаточно длинных отрезках интегрирования. Последнее приводит к необходимости поиска приемов, позволяющих сократить затраты машинного времени, а также предъявляет особые требования к устойчивости получаемых решений. Требуемая точность этих решений может быть обеспечена лишь тогда, когда решение заданной системы уравнений устойчиво к постоянным возмущениям правых частей и применяемые формулы интегрирования гарантируют невозрастание общей величины ошибки независимо от длины отрезка интегрирования. Как известно, последним свойством обладают формулы, относящиеся к группе сильно устойчивых. В качестве формул интегрирования, обладающих указанными свойствами, были выбраны из группы многошаговых формулы второго порядка типа Адамса-Лашфорта и Адамса - Мултона. Первая использовалась на этапе прогноза, а вторая - на этапе коррекции решения. Простота оценки погрешности в случае применения этих формул (по сравнению с формулами типа Рунге-Кутты) позволила построить алгоритм с переменным шагом интегрирования. Этот алгоритм обеспечивает сокращение затрат машинного времени на вычисления (без

ущерба для точности конечных результатов) особенно в тех случаях, когда решения рассматриваются на длинных отрезках интегрирования, характерных сменой переходных процессов ударного и квазистатического характера.

Устойчивость решений, получаемых на достаточно большом отрезке интегрирования, подтверждается в работе численным экспериментом.

С целью наиболее эффективного сокращения затрат машинного времени на вычисления используется прием понижения порядка системы дифференциальных уравнений путем надлежащего объединения экипажей в группы. При этом изменяются временные характеристики моделируемых переходных процессов, а уровень продольных сил может быть оценен с достаточной для практики точностью. В процессе решения задачи интегрируется система дифференциальных уравнений, описывающих движение центров масс группы вагонов, в каждую из которых входят по n экипажей. Поиск предела, до которого можно понижать (без ущерба для требуемой точности результатов) порядок упомянутой системы уравнений, производился на примерах регулировочного торможения поезда на площадке ($N = 48, 72, 96$), движения "на выбеге" по переломам продольного профиля пути ($N = 48, 72, 96$), движения поезда по участку пути вогнутого профиля длиной около 3-х км, сопровождающегося многократной сменой режимов управления ($N = 72$). Показано, что для решения подобных задач целесообразно принимать значение $n = 6$ (n варьировалось в пределах $I + I_2$); это позволяет сократить затраты машинного времени в 10 раз по сравнению с затратами машинного времени при $n = I$.

Исследован также вопрос о возможности понижения порядка системы уравнений в случае определения статистических характеристик сил, действующих на вагоны статистически неоднородного

НТБ
ДНУЖТ

поезда ($N = 72$) в процессе его движения " на выбеге" через пере-
ломы продольного профиля пути. При равных объемах выборок для
значений $n = 1-8$ сравнивались интегральные и дифференциальные
законы распределения, математические ожидания, дисперсии. Пока-
зано, что с достаточной для практики точностью эти характеристи-
ки могут быть получены при понижении порядка исходной системы
дифференциальных уравнений не более, чем в 6 раз.

Для апробации математической модели результаты численного
решения нелинейных задач о движении однородного поезда по пути
ломаного профиля в режимах тяги, "выбега", регулировочного тормо-
жения (веса поездов 6000-8000тс) сравнивались с результатами из-
мерений продольных сил в опытах. Сопоставления показали, что ис-
пользуемая математическая модель достаточно полно отображает про-
цессы, протекающие в реальных условиях.

В третьей и четвертой главах приводятся результаты исследо-
ваний, выполненных с целью установления условий сопряжения на
переломах продольного профиля пути. Эти условия согласно СНиП
делятся на допускаемые и рекомендуемые. При решении указанной
задачи предполагалось, что в условиях эксплуатации на участках,
запроектированных по рекомендуемым нормам, возможно наложение
возмущений от управления движением на возмущения от переломов
профиля пути, а на участках, запроектированных по допускаемым
нормам, такое наложение исключается.

Условия сопряжений устанавливались такими, чтобы уровень
продольных сил не превосходил допускаемый нормами расчетов ваго-
нов на прочность.

Исследования проводились, в основном, для поездов, состав-
ленных из четырехосных или восьмиосных вагонов. Веса поездов
соответствовали диапазону современных и перспективных величин

(5100-11200тс), а длины — нормальным длинам приемо—отправочных путей станций (850+1250 м). В большинстве случаев принималось, что вагоны оборудованы воздухораспределителями усл. №270-005, поставленными на средний режим, композиционными тормозными колодками, поглощающими аппаратами автосцепки типа Ш-1-ТМ или Ш-2Т. Среднее значение зазора в упряжи полагалось равным 0,065м.

Зависимости наибольших продольных сил $m\lambda S$ в поезде от параметров профиля пути устанавливались для так называемых расчетных вариантов, каждый из которых соответствует определенным параметрам поезда и профиля пути. При этом значения V , Δi , R варьировались в диапазонах: $V=60+100\text{км.ч}^{-1}$; $\Delta i=0,005+0,04$; $R=5+100\cdot 10^3\text{м}$.

В третьей главе с целью выбора и обоснования расчетного варианта для установления допустимых условий соприкосновения изучается влияние неоднородности состава, начального состояния межвагонных соединений и скорости движения через перелом, угла, характеризующего несимметричность перелома относительно вертикали, а также влияние предыдущего излома профиля на уровень продольных сил при движении поезда "на выбеге".

Рассмотрена статистическая неоднородность поезда по типу и степени загрузки вагонов, величинам зазоров в упряжи, типам поглощающих аппаратов автосцепки. При этом среднее значение коэффициента неоднородности, определяемого как отношение наибольших продольных сил в рассматриваемом неоднородном и однородном поезде с усредненными значениями варьируемых параметров, оказалось близким к единице, а наибольшее его значение, оцененное по правилу 3б — равным 1,2.

Изучение влияния начального состояния соединений показало, что уровень продольных сил получается наибольшим в том случае,

когда зазоры во всех междвагонных соединениях при переходном процессе проявляются, а наименьшим – когда они не проявляются. В последнем случае переходный процесс имеет квазистатический характер. Возникающие при этом продольные силы могут оказаться опасными с точки зрения устойчивости вагонов от схода с рельсов из-за выжимания. Поэтому первый случай выбран в качестве расчетного для установления условий сопряжения с позиции прочности, а второй – с позиции устойчивости вагонов.

Найденные зависимости $\max S(V)$ показали, что скорость движения поезда через перелом влияет на уровень продольных сил ударного характера и не влияет на уровень неударных сил.

Результаты исследований позволили установить, что уровень продольных сил ударного и квазистатического характера практически не зависит от величины угла, характеризующего несимметричность перелома относительно вертикали, и определяется лишь разностью сопрягаемых уклонов и радиусом сопрягающей кривой. При этом из двух задач о движении поезда по выпуклому или вогнутому перелому можно решать лишь одну, поскольку усилия в этих случаях отличаются лишь знаком.

На отдельных примерах исследовалось движение поезда по участку пути, содержащем два излома профиля вогнутого и выпуклого типа. Оценивалось влияние длины разделительной площадки на уровень ударных сил, образующихся при въезде поезда на второй излом. Показано, что наибольшее значение продольной силы может быть оценено с достаточной точностью, если рассматривать движение поезда по одиночному перелому, а влияние предыдущего перелома учитывать начальным состоянием состава. Погрешность такой оценки не превышает 20% при самой неблагоприятной длине разделительной площадки.

Выполненные исследования позволили принять в качестве расчетного вариант движения "на выбеге" однородного поезда по одиночному симметричному перелому с параметрами Δi и R . В одних случаях предполагалось, что поезд при въезде на сопрягающую кривую полностью сжат, в других - полностью растянут.

Для указанного расчетного варианта найдены зависимости наибольших продольных сил в поезде от параметров профиля пути. Оказалось, что значения $\max S$ при фиксированных значениях R монотонно растут с увеличением Δi до некоторого значения Δi_1 , а затем при дальнейшем изменении Δi ($\Delta i > \Delta i_1$) наибольшие силы практически не изменяются. При фиксированных значениях Δi величины $\max S$ уменьшаются с ростом R , причем значительное изменение имеет место в области малых значений R .

Для расчетного варианта получена оценка влияния параметров поезда (длины, веса, погонной нагрузки) на уровень ударных и квазистатических сил.

Используя идентичность характеров зависимостей $\max S(\Delta i, R)$, полученных в линейном и нелинейном вариантах решения задачи, удалось найденные численным путем результаты аппроксимировать простым аналитическим выражением.

Зависимости $\max S(\Delta i, R)$ позволили установить допустимые (по условиям прочности и устойчивости вагонов от схода с рельсов из-за выкливания) значения радиусов сопряжений.

В четвертой главе обосновывается выбор расчетного варианта для установлении рекомендуемых значений параметров сопряжений.

Как уже упоминалось рекомендуемые значения радиусов сопряжений устанавливались для случаев, когда на воздушном от переломов профиля пути накладываются возмущения от управления движением. Такие режимы управления как набор и сброс силы тяги, включение и

выключение электрического тормоза локомотива при регулировании скорости в процессе движения не являются лимитирующими с точки зрения уровня продольных сил, поскольку для этих режимов всегда может быть подобран приемлемый темп изменения тяги и тормозной силы. Наиболее неблагоприятным в этом смысле является режим торможения пневматическими тормозами состава. Поэтому в качестве расчетного рассматривался режим торможения поезда ступенью при движении по пути ломаного профиля.

Прежде всего был исследован случай регулировочного торможения поезда на горизонтальном участке пути. Изучалось влияние формы характеристики наполнения тормозных цилиндров на уровень сжимающих продольных сил ударного и квазистатического характера. Рассматривались линейная, "мягкие" и "жесткие" характеристики, которые задавались кусочно-линейными. Показано, что с позиции уровня продольных сил неударного характера наиболее благоприятной является линейная, а с позиции уровня сил ударного характера — "мягкая" (при определенных значениях ее параметров) форма этой характеристики.

Для поездов, параметры которых приведены выше, получена оценка продольных сил, возникающих в упруги при регулировочных торможениях на горизонтальном участке пути (отпуск тормозов производился после снижения начальной скорости движения на 10 км.ч^{-1}). Как показали расчеты, уровень сжимающих сил ударного характера, возникающих на этапе наполнения тормозных цилиндров, близок к уровню растягивающих сил, образующихся на этапе отпуска тормозов. Указанное обстоятельство позволило в целях упрощения задачи рассматривать в качестве расчетного вариант торможения поезда ступенью при въезде его на участок вогнутого профиля пути. С целью отыскания наиболее неблагоприятной ситуации наложения воз-

мущений от перелома профиля пути и регулировочного торможения приходилось решать несколько задач, отличающихся друг от друга местом начала торможения на сопрягающей кривой.

Для выбранного расчетного варианта определены зависимости наибольших продольных сил в поезде (ударного и неударного характера) от параметров поезда и профиля пути. В процессе исследований оказалось, что наибольшее значение ударной силы в этих случаях можно оценить приблизительно (с погрешностью порядка 10%) путем суммирования наибольшей силы, возникающей в поезде при движении его "на выезде" через перелом, и наибольшей силы, возникающей в том же поезде при торможении на горизонтальном участке пути.

Найденные зависимости продольных сил от параметров профиля пути позволили установить (по условиям прочности и устойчивости вагонов) рекомендуемые значения радиусов сопряжений.

Результаты исследований, приведенные в третьей и четвертой главах, были использованы при разработке новой редакции строительных норм и правил (СНИП П-39-76), в частности пунктов 2.4, 2.5, 2.6, регламентирующих устройство продольного профиля пути.

Предлагаемая методика моделирования использовалась также для корректировки проекта отдельных участков Байкало-Амурской магистрали. Выполненные исследования позволили предложить возможные варианты корректировки сопряжений на некоторых участках трассы, что привело к сокращению объема земляных работ на этих участках.

В пятой главе приводятся результаты исследований, цель которых заключалась в выявлении возможности вождения поездов повышенного веса на некоторых грузонапряженных участках Придне-

17

Директор	0
Учред	1 ак

НТБ
ДНУЖТ

в
5169

ловской железной дороги.

Безопасность движения таких поездов на указанных участках в основном определяется уровнем продольных сил, действующих на вагоны. Оценку этих сил целесообразно производить в два этапа путем теоретических исследований с помощью математического моделирования (для чего требуется наличие надежной модели и быстродействующих вычислительных средств) и путем проведения экспериментов в реальных условиях.

Теоретические исследования и позволяют выявить возможность возникновения опасных ситуаций и предупредить их появление в условиях эксплуатации, а также выработать предварительные рекомендации и программу контрольных экспериментов на этапе их подготовки.

В процессе подготовки программы опытных поездок на некоторых участках Приднепровской железной дороги с помощью предлагаемой методики моделирования были выполнены расчеты продольных усилий в поезде при его движении по неблагоприятным (с точки зрения уровня сил) отрезкам опытных перегонов. Расчеты производились для участков с затяжными спусками и участков с чередующимися "ямами" и "горбами" (при разности уклонов до 15‰). Начальное значение скорости на каждом из них принималось в соответствии с тяговым расчетом. В реферируемой работе в качестве иллюстрации приведен один из вариантов расчета продольных сил в поезде весом 7600тс, движущемся по отрезку пути длиной около 35 км. Поддержание заданного уровня скорости обеспечивалось многократной сменой соответствующих режимов управления. При этом на каждом шаге интегрирования регистрировались значения наибольших в поезде растягивающей и сжимающей сил.

Расчеты показали, что при движении поезда по рассматриваемым

участкам пути уровень продольных сил не превышает допустимый как по условию прочности, так и по условию устойчивости вагонов от выкашивания. Опытные поездки подтвердили результаты, полученные теоретическим путем.

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволили повысить на отдельных участках Днепропровокской железной дороги весовую норму поезда до 7200тс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

1. Разработана методика определения продольных сил в длинносоставном грузовом поезде в процессе его движения по участкам пути большой протяженности (до нескольких десятков километров) со сложным очертанием профиля. Алгоритм решения задачи построен с учетом управления движением поезда согласно заданной скорости.

2. Показана целесообразность (с позиций точности результатов и затрат машинного времени на вычисления) понижения порядка системы дифференциальных уравнений и применения переменного шага интегрирования.

3. Исследования, проведенные с помощью предлагаемой методики моделирования, позволили обосновать выбор расчетных вариантов для установления условий сопряжения элементов продольного профиля пути. Для этих вариантов (с учетом неблагоприятного влияния возмущений от переломов профиля пути и управляющих воздействий) найдены зависимости наибольших продольных сил в поезде от параметров профиля пути, которые позволяют установить допустимые и рекомендуемые значения радиусов сопряжений элементов профиля пути. Результаты исследований использованы при разработке строительных норм и правил СНиП II-39-76, пунктов

2.4, 2.5, 2.6, регламентирующих устройство продольного профиля пути.

4. Исследовано влияние формы характеристики наполнения тормозных цилиндров на уровень сжимающих продольных сил при регулировочных торможениях поезда. Установлены рациональные значения параметров этих характеристик с точки зрения уровня сил ударного и неударного характера.

5. Методика оценки продольных сил использована для корректировки проекта постройки некоторых участков трассы БАМ, что привело к уменьшению объема земляных работ на этих участках.

6. С помощью предлагаемой методики моделирования исследована возможность вождения поездов увеличенного веса на некоторых грузонапряженных участках Приднепровской железной дороги, что позволило после проведения контрольных поездок повысить на этих участках весовую норму поезда до 7200 тс.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах автора:

1. Об алгоритме определения с помощью ЭЦМ динамических усилий в поезде, управляемом с учетом заданной скорости движения. В кн.: Проблемы механики наземного транспорта. Днепропетровск, изд. ДНУТ, 1977, с.54-56,

2. О влиянии неоднородности состава на продольные усилия в поезде при его движении по пути ломаного профиля. Труды ДИИТ, вып.182, 1976, с.63-67 (соавтор Е.П.Блохин).

3. О возможности понижения порядка системы дифференциальных уравнений движения поезда при возмущениях, распространяющихся вдоль его длины. В кн.: Проблемы механики наземного транспорта. Днепропетровск, изд. ДИИТ, вып. 199/25, 1978, с.47-54 (соавтор

Е.П.Блохин).

4. К задаче о регулировочном торможении поезда, движущемся по пути ломаного профиля. Труды ДИИТ, вып.152, Днепропетровск, 1973, с.79-86 (соавторы Е.П.Блохин, Е.Л.Стамблер, Л.В.Белик, П.Т.Гребенюк).

5. Исследование переходных режимов движения поезда. Труды БИПА, вып.26, Брянск, 1974, с.183-189 (соавторы В.А.Лазарян, Е.П.Блохин, Л.В.Белик, Е.Л.Стамблер).

6. Решение при помощи ЭВМ задачи о движении поезда как системы. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС, № 115/74 (соавторы Е.П.Блохин, Л.В.Белик).

7. Об оценке наибольших продольных усилий в поезде, движущемся по перелому продольного профиля пути. Труды ДИИТ, вып. 169/21, Днепропетровск, 1975, с.86-91, (соавторы Е.П.Блохин, Е.Л.Стамблер).

8. К вопросу об упрощении математической модели некоторых одномерных механических систем. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС, № 397/76 (соавторы Л.А.Манашкин, А.М.Бондарев).

9. Применение математического моделирования переходных режимов движения поездов к решению некоторых вопросов проектирования продольного профиля БАМа. Труды МИИТ "Научные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации Байкало-Амурской магистрали", вып.581, М., 1977, с.31-38 (соавторы Е.Л.Стамблер, Н.Е.Науменко, Н.М.Хачапуридзе, А.В.Гавриленков).

10. К вопросу о понижении порядка системы дифференциальных уравнений движения поезда при оценке статистических характеристик сил, действующих на вагоны в случаях движения через переломы продольного профиля пути. В кн.: Проблемы механики наземного транспорта. Днепропетровск, изд. ДИИТ, 1977, с. 48-54 (соавторы

Е.П.Блохин, Л.А.Манашкин).

II. О форме кривой наполнения тормозных цилиндров подвижного состава железных дорог. В сб.: Исследования колебаний подвижного состава. Труды ДФИТ, вып. 190/23, Днепропетровск, 1977, с.73-78 (соавторы Е.П.Блохин, Е.А.Стамблер).

Маслеева Людмила Григорьевна

«Исследование продольных усилий в поезде, вызванных переломами продольного профиля пути и управляющими воздействиями»

Об.22.07 – Поданный состав и тяга поездов.

Надано к печати 18/У 1979 г. БТ 02103.

Формат бумаги 60x84/16. Бумага для многократных аппаратов. Ротапринт.

Усл.печ. л. 1,16. Уч.-изд.л. 1. Тираж 120 экз. Заказ № 1142.Бесплатно.

ДНУТ, 320629, ГСП, г. Днепропетровск, 10, ул. Университетская, 2.

Сканировала Камянская Н.А.

НТБ
ДНУЖТ