

результатов показывает хорошую качественную и количественную сходимость расчетных и экспериментальных значений основных показателей динамики – максимальное расхождение в исследуемом интервале скоростей составило 12-15 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Челноков И. И. и др. Гасители колебаний вагонов. М: Трансжелдориздат, 1963. 176 с.
2. Анисимов П.С. Исследование сил трения в клиновом гасителе колебаний тележки ЦНИИ-ХЗ. Труды ЦНИИ МПС, вып.519, М.: Транспорт. 1974, с.126-144.
3. Хусидов В.Д., Анисимов П.С. Силовые характеристики фрикционных клиновых гасителей колебаний в математических моделях исследований грузовых вагонов. Вестник ВНИИЖТ, 2005, №4.
4. Иноземцев В.Г., Хусидов В.Д., Хохлов А.А., Петров Г.И., Хусидов В.В. Динамика грузового вагона, пути снижения износов колес и предотвращение сходов. – М.: 2000. -137с.

УДК 629.4.015

Секерова Шолпан Абилхасимовна – аспирант (Москва, МИИТ)

Адилханов Ержан Газизович – аспирант (Москва, МИИТ)

Мусаев Жанат Султанбекович – к.т.н., доцент (Алматы, КазАТК)

АНАЛИЗ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ПО ПРОДОЛЬНОЙ ДИНАМИКЕ ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА

Обеспечение безопасности движения грузовых поездов является одной из важнейших задач железнодорожного транспорта, так как во время переходных режимов движения поезда возникают продольные динамические силы, которые могут достигать опасных (с точки зрения прочности и устойчивости вагонов от их выжимания) значений, особенно при нестационарных процессах, вызванных управлением движением поезда. При вождении тяжеловесных и длинносоставных поездов возникает много трудностей вождения при подъеме или спуске, а также при торможении. В связи с этим, возникает необходимость решения задач продольной динамики теоретическими или экспериментальными методами. При этом должны оцениваться режимы тяги и торможения, которые можно безопасно реализовать в эксплуатации поездов.

Как известно, к основным режимам движения относят: стационарные (установившиеся) и переходные (неустановившиеся). Стационарные режимы движения – процессы движения поезда, возникающие под действием постоянных или очень медленно изменяющихся сил при увеличении или уменьшении скорости движения. А переходные режимы движения – это процессы, возникающие при трогании поезда с места, при торможении, при движении тяжеловесного поезда по переломному продольному профилю пути, толчки при маневрах и т.п. На переходные режимы движения в поездах повышенного веса и длины влияют зазоры, имеющиеся в автосцепках, которые в эксплуатации достигают 60-80 мм, а также характеристики межвагонных поглощающих аппаратов.

При стационарных режимах движения поезда усилия, возникающие в ударно-тяговых приборах, определяются внешними силами и не зависят от начальных условий. При переходных режимах движения к внешним силам добавляются силы инерции от динамических перемещений вагонов.

Переходные режимы движения поезда рассматривались многими учеными. Впервые теоретическое изучение переходных режимов движения поездов было проведено Н.Е. Жуковским [1]. Им были предложены две модели поезда: в виде сплошного стержня и в виде цепочек дискретных масс.

Следует отметить, что впервые Н.Е. Жуковским были решены задачи продольной динамики и предложены формулы, позволяющие определить продольные силы при натянутых и провисших сцепках для неразрезной упряжи, а также задача трогания с места растянутого состава, т.е. состава без зазоров в ударно-тяговых приборах. Применительно к нескованной винтовой упряжи, Н.Е. Жуковский предложил модель поезда, состоящую из однотипных и одинаково нагруженных вагонов, как упругую нить с отдельной массой локомотива или как отдельные массы вагонов, соединенные с упругими связями, допускающими свободные относительные перемещения при провисании стяжки.

Академиком академии наук Украины В.А. Лазаряном [2] выполнены фундаментальные исследования переходных режимов поезда (трогание с места, торможение, движение через переломы профиля железнодорожного пути) с использованием электронного моделирования для решения систем нелинейных дифференциальных уравнений. Разработанные математические модели процессов в поезде и вычислительные приемы решения задач позволяют достаточно точно находить величины продольных сил, действующих на вагон при переходных режимах.

В.А. Лазаряном были найдены общие закономерности волнового характера распространения возмущений вдоль поезда. Для учета диссипативных свойств системы и оценки влияния сопротивлений, обусловленных взаимными перемещениями вагонов, он предложил рассматривать состав как упруговязкий стержень или как упругий стержень с гистерезисом.

Профессор С.В. Вершинский [3], анализируя движение по перелому профиля пути, представлял поезд в виде непрерывного и нерастяжимого гибкого стержня с сосредоточенными массами (локомотивами) по концам, т.е. неизменяемую по длине механическую систему. Используя теорему о движении центра инерции системы, он дал решение по определению продольных сил в автосцепках грузового поезда при установившемся движении (см. рис.1), по формуле:

$$(M + M_1 + M_2) \ddot{x} = T_{\kappa 1} + T_{\kappa 2} - W_1 - W' - W_2 - W_{01} - W_{02} \quad (1)$$

где M – масса состава; M_1, M_2 – массы локомотивов; $T_{\kappa 1}, T_{\kappa 2}$ – касательная сила тяги соответственно головного и хвостового локомотива; W_1, W', W_2 – силы сопротивления движению вагонов соответственно на первом, промежуточном (приведенном) и конечном участках пути; W_{01}, W_{02} – сила сопротивления движению соответственно головного и хвостового локомотива; \ddot{x} – продольное ускорение в поезде.

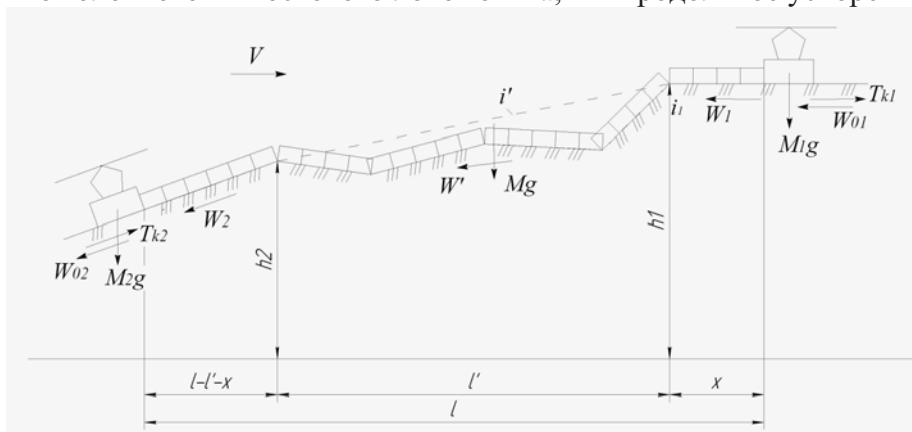


Рисунок 1 – Схема для вывода уравнений движения поезда по ломаному профилю

Профессором М.Ф. Вериго [4] были рассмотрены продольные усилия, действующие между вагонами в составе поезда и при маневровых соударениях вагонов. Используя расчетную схему поезда с растянутым составом, т.е. без зазоров в ударно-тяговых приборах, предложенную Н.Е. Жуковским, М.Ф. Вериго были приведены расчетные схемы и методы решения задач продольных колебаний вагонов при неустановившемся движении поезда.

В.М. Казариновым [5] были определены продольные динамические усилия в поезде при торможении. Он определял эти силы по методике, разработанной проф. Б.Л. Карвацким, согласно которой продольные силы определялись по индикаторным диаграммам изменения давления в тормозном цилиндре. Согласно этой методике развитие тормозной силы при полном служебном или экстренном торможении характеризуется четырьмя фазами в соответствии с диаграммой наполнения тормозных цилиндров сжатым воздухом в функции времени по длине поезда. Если в I фазе производилось торможение сжатого поезда, т.е. без зазоров в межвагонных аппаратах, то поезд оставался сжатым и во II фазе, но если в I фазе тормозил растянутый состав, то окончательное сжатие его происходит во II фазе. В этих случаях наибольшая сила реакции возникает теоретически в середине поезда. С III фазы давления в тормозных цилиндрах от первого до последнего вагона выравниваются, достигая максимальной величины, и в конце фазы становятся одинаковыми во всем поезде. В III фазе ранее сжатые поглощающие аппараты автосцепок дают последовательную отдачу – полную или частичную, в зависимости от типа аппарата. В IV фазе в действии тормозов никакой разницы нет, в этой же фазе при неравномерном распределении по поезду удельной тормозной силы никаких реакций в сцепных приборах также не будет.

В изучении продольной динамики грузового поезда наибольшее распространение получила дискретная, повагонная модель с различным определением тормозных сил экипажей. По мере появления новых, мощных вычислительных аппаратов и расширения их возможностей появились новые пути совершенствования расчетных схем межвагонных связей и самих вагонов. Исследователи начали принимать во внимание не только характеристики поглощающих аппаратов, но и упругие свойства конструкции кузова и рамы вагона, учитывать особенности процессов возникновения и распространения тормозных сил в поезде.

В работе П.Т. Гребенюка [6] особое внимание уделено переходным режимам движения тяжеловесных поездов. П.Т. Гребенюком были исследованы переходные режимы движения грузовых поездов, обоснованы расчетные нормативы продольных сил и тормозных путей, также установлены требования, правила и нормативы для расчетов, испытаний и эксплуатаций длинносоставных поездов. Также им рассматривались процессы динамики торможения длинносоставных грузовых поездов, когда возрастающие тормозные силы распространяются вдоль состава с различными, соответствующими их уровню скоростями.

П.Т. Гребенюк установил, что в случае применения двухэтапного торможения длинносоставных и тяжеловесных вероятность продольных сил менее 0.5 МН значительно выше, чем при обычном способе торможения. А тормозные пути при сравнении двухэтапного торможения и наиболее распространенных приемов регулировочного торможения (одинаковое общее снижение давления в тормозной магистрали) практически равны.

На рис.2а. приведена схема движения поезда по участку пути, имеющему перелом профиля. На схеме учтено, что межвагонные соединения имеют продольные зазоры, допускающие относительные перемещения вагонов. Для вагона с номером i текущая координата $z_i = L_i + x_i$ где L_i – координата центра масс вагона в начальный момент

времени; x_i - перемещение центра масс относительно его положения в статически равновесном состоянии.

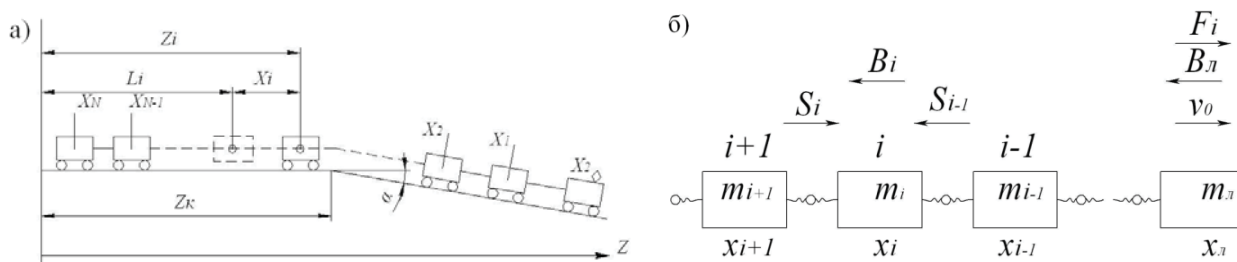


Рисунок 2 – Расчетная схема поезда

В работе [7], профессора А.Л. Лисицын и Л.А. Мугинштейн, ввели дискретную модель поезда в математическую модель системы «локомотив-состав-путь». Усовершенствованная ими комбинированная модель описывает продольные взаимодействия в составе поезда, вертикальную динамику экипажа, процессы в тяговом приводе и в контакте колес локомотива с рельсами. Эта модель была применена при исследовании переходных режимов движения поезда критической массы в сложных условиях эксплуатации. Предложенная методика выбора нагруженности электровоза по сцеплению обеспечивает его эффективную и надежную работу; рассмотрен также выбор критической массы поезда. Используемые при этом подходы являются развитием основных положений теории тяги и динамики поезда. Выполнена оценка вертикальных и продольных сил, показано влияние крутизны подъема на процессы продольной динамики в поезде с учетом нестационарных режимов тяги.

В работе [8], В.А. Лазярян, Е.П. Блохин, Л.В. Белик рассматривают влияние различных схем формирования неоднородных по массе железнодорожных составов на усилия при экстренном торможении. Решение получено путем численного интегрирования с помощью ЭЦВМ дифференциальных уравнений, описывающих переходный процесс.

Профессора Е.П. Блохин, Л.А. Манашкин исследовали переходные режимы движения поездов с различными силовыми характеристиками межвагонных связей без зазоров. В работе [9] в полной мере рассмотрены различные амортизаторы удара с различными силовыми характеристиками. Например, при рассмотрении межвагонных связей с линейными и кусочно-линейными силовыми характеристиками ими было установлено, что по мере увеличения силы начальной затяжки поглощающего аппарата при нагрузке 0,2 МН продольные силы и ускорения понижаются, а затем возрастают, хотя во всех случаях не превышают значений, имеющих место при нулевой начальной затяжке, [9].

В работах Е.П. Блохина и Л.А. Манашкина уделено внимание изучению всех основных видов возмущающих воздействий, возникающих при пуске поезда в ход, его торможении, движении по переломам; решены методические вопросы, связанные с численной реализацией решения задач продольной динамики исследовано влияние неоднородности поезда, нелинейности межвагонных связей и зазоров в них на величину продольных сил и их распределение по длине поезда.

Можно отметить труды некоторых ученых как Н.Н. Лейко, С.А. Кобзева, Ю.К. Горячева, А.А. Бакман, О.Б. Каплуновой, В.Ю. Бубнова посвященные исследованию продольных динамических сил возникающих в длинносоставных и тяжеловесных поездах, а также межвагонным зазорам, приводящим к обрывам поезда.

Профессор Н.А. Панькин [10] для исследования продольных сил пользовался непрерывной моделью поезда как одномерной средой с нелинейными уравнениями состояния межвагонных связей. Он качественно выяснил характер распространения сильных возмущений вдоль поезда, показал, что в поезде с нелинейными обратимыми связями этот процесс резко отличается от распространения малых возмущений, и определил образования в поезде ударных волн. Также Н.А. Панькин занимался исследованием процессов трогания сжатого поезда, сопротивление движению которого нарастало постепенно по мере трогания отдельных вагонов.

Выводы

Из проведенного анализа научно-исследовательских работ по продольной динамике грузового поезда следует, что продольные динамические силы в основном возникают в неоднородном составе и зависят от многих факторов (режимов ведения поезда, длины и загруженности поезда, от расстановки локомотивов в составе, параметров поглощающих аппаратов и характеристик воздухораспределителей). Для более подробного исследования продольных динамических сил, возникающих в длинносоставном грузовом поезде при различных режимах движения с учетом всех вышеперечисленных факторов, необходимо выбрать математическую модель, адекватно отражающую главные черты динамического процесса поезда. В связи с этим, авторами статьи в качестве программного аппарата для исследования продольных динамических сил и численного моделирования движения поезда был выбран программный комплекс (ПК) «Универсальный механизм» с модулем «UM Train» разработанный Д.Ю. Погореловым, который берет за основу математическую модель, описанную в [11, 12], подходящую для исследования больших продольных динамических сил в поезде при различных условиях эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуковский Н.Е. «Работа (усилие) русского сквозного и американского не сквозного тягового приборов при трогании поезда с места и в начале его движения». Полное собрание сочинений, т.8, ОНТИ, М–Л, 1937.
2. Лазарян В.А. «Исследование неустановившихся режимов движения поездов». Трансжелдориздат, М., 1949.
3. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагона: Учебник для вузов ж.–д. трансп./ Под ред. С.В. Вершинского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М., Транспорт, 1991, 360 с.
4. Вериго М.Ф. «Динамика вагонов», конспект лекций для студентов – заочников специальности «Вагоностроение и вагонное хозяйство», Москва – 1971, 174с.
5. Казаринов В.М «Автотормоза», М.: Транспорт, 1974, 240с.
6. Гребенюк П.Т. Нормативы продольных сил тормозных путей длинносоставных и скоростных поездов: Справочник/Труды ВНИИЖТ. М.: Интекст, 2007. – 240 с.
7. Мугинштейн Л.А., Лисицын А.Л. Нестационарные режимы тяги (Сцепление. Критическая норма массы поезда). – М.: Интекст, 1996. – 176с.
8. В.А. Лазарян, Е.П. Блохин, Л.В. Белик «Влияние неоднородности состава на продольные усилия в поезде при экстренном торможении»./Переходные режимы движения и колебания подвижного состава. Труды Днепропетровск-1973, вып.143, стр.3-8.
9. Блохин Е.П., Манашкин Л.А. «Динамика вагонов» (нестационарные продольные колебания). – М.: Транспорт, 1982. – 222с.
10. Панькин Н.А. Распространение сильных возмущений в поезде. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Москва, 1964.
11. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М., Транспорт, 1985. 287с.
12. Гребенюк П.Т. «Правила тяговых расчетов»/Труды ВНИИЖТ». – М.: Интекст, 2004. – 112с.