

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «LINKOR» ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СОСТАВЕ ПОЕЗДА

*И. В. СОБОЛЕВ, Т. Н. ЧЕРНИГОВСКАЯ, С. В. МЕРКУРЬЕВ*  
*Иркутский государственный университет путей сообщения,*  
*Иркутский государственный технический университет, Российская Федерация*

Безопасность эксплуатации железнодорожных транспортных средств в условиях повышенных скоростей движения в большой мере определена характером и интенсивностью динамических процессов, протекающих в составе движущегося поезда.

Со всей очевидностью возникает задача выявления механизмов интенсификации динамических процессов и определения условий экстремальности динамических проявлений в составе поезда при различных чрезвычайно разнородных условиях эксплуатации. Решение этой задачи приводит к необходимости построения математической модели, описывающей процессы нелинейного динамического взаимодействия элементов транспортной системы и определяющей динамические нагрузки на сооружение и путевое полотно.

Предлагаемые алгоритмы, реализованные в виде программного комплекса «LINKOR», рассматривают состав поезда в виде нелинейной связки твердых тел, учитывающей люфтовые зазоры в соединениях и в опирании колесных пар на рельсы.

Отличие выполненных разработок состоит в учете различных разнородных факторов, ранее не учитываемых совместно в аналогичных исследованиях: люфтовые соединения вагонов по трем направлениям; упругость сцепки по трем направлениям; учет динамики всего состава как совокупности твердых тел; люфтовые зазоры между колесом и рельсом, упругая податливость рельсов по двум направлениям; продольные зазоры между рельсовыми плетями, упругость дискретного опирания рельса, обусловленная наличием шпал.

Для формирования аналитических выражений жесткостных характеристик системы используется модификация метода перемещений посредством декомпозиции исходной динамической системы на элементы – твердые тела с наложением связей, препятствующих перемещениям каждого тела по возможным направлениям движения (обеспечение кинематической неподвижности системы). Каждый элемент декомпозированной системы (в данном случае твердое тело) подвергают процедуре сканирования связей – поочередному перемещению каждой из них по своему направлению на некоторую единичную величину с определением реакций во всех наложенных связях.

Такой подход в общем случае правомочен в случае линейно-упругой системы, обладающей свойством суперпозиции. Однако в данном случае специфика цепочной последовательности элементов позволила реализовать подобный метод при нелинейных проявлениях в сцепке вагонов и в опирании колесной пары. Значения перемещений каждого твердого тела (вагона) в фиксированные моменты времени (мгновенные значения вектор-функции обобщенных перемещений) реализуются в виде перемещений жестких связей (угловых и линейных), наложенных на центр масс тела.

Вектор обобщенных мгновенных перемещений сцепки тел единственным образом определяет величины перемещений опорных узлов и относительные перемещения в устройствах сцепок. Эти величины в свою очередь определяют упругие силы в узлах (в том числе и нелинейные) и величины реакций в связях, задействованные в уравнениях динамического равновесия. В этом случае вектору обобщенных узловых перемещений ставятся во взаимнооднозначное соответствие аналитические выражения, определяющие некоторый вектор узловых реакций, позволяющий производить операцию формирования динамической модели в виде системы разрешающих уравнений, построенных на основе принципа Даламбера. Такой способ позволяет решить задачу с как угодно высокой степенью точности, с учетом реальных условий эксплуатации и уточненных характеристик исследуемых объектов.

Многофакторность модели и шаги, сделанные в направлении обеспечения ее адекватности, позволяют комплексно исследовать процессы, недоступные для анализа ранее, в рамках линейных моделей ограниченной размерности.

В просчитанных вариантах моделирования наиболее интенсивные воздействия на полотно проявляются в процессе переходных режимов – трогания поезда или переключения режима тяги. При этом для периодов наиболее интенсивного воздействия на полотно характерны нестационарные колебательные режимы, сопровождающиеся интенсивными ударными короткоимпульсными нагрузками. Длины импульсов и их интенсивность в значительной мере зависят от жесткостных свойств сцепки и люфтовых зазоров в ней. Наиболее интенсивные динамические воздействия имеют характер высокочастотных пиковых проявлений на интервалах времени, измеряемых сотыми и тысячными долями секунды.

В отдельных случаях нестационарные переходные колебания самоорганизуются в выраженные периодические высокочастотные процессы с периодически меняющейся амплитудой колебаний. При этом периоды изменения высокочастотной амплитуды (пульсация амплитуды) и их максимальные значения практически постоянны. Явления подобного рода, свойственные нелинейно связанным многомассовым колебательным системам, впервые были описаны и объяснены Энрико Ферми как следствия межмодального энергетического обмена, в процессе которого амплитуды колебаний на отдельных частотах периодически могут достигать больших значений, поглощая энергию других колебательных мод.

Анализ условий экстремальности динамических проявлений становится в значительной степени более трудоемким, требующим установления причинно-следственных связей в рамках многомерных и многофакторных процессов в условиях дискретизации переменной времени.

УДК 656.212

## **ОЦЕНКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СОРТИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА**

*О. И. ТАРАНЕЦ*

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. академика В. Лазаряна (ДИИТ), Украина*

Важнейшим элементом в технологии перевозочного процесса на железных дорогах Украины является переработка вагонов на сортировочных станциях. От качества работы и технических характеристик сортировочных устройств этих станций зависит безопасность технологического процесса расформирования и формирования составов, сохранность грузов, а соответственно рентабельность и конкурентоспособность железных дорог на рынке транспортных услуг.

Ключевую роль в работе сортировочных станций играют сортировочные горки. Автоматизация сортировочного процесса расформирования составов является основным направлением повышения производительности сортировочных горок, повышением качества процесса расформирования составов, эффективного использования технических средств, улучшения условий труда, уменьшения затрат на расформирование составов. В то же время автоматизация сортировочных горок является достаточно дорогим мероприятием, которое требует вложения значительных средств. Поэтому в условиях существования различных систем автоматизации горочных процессов возникает вопрос технико-экономического обоснования их внедрения и сравнения конкурирующих вариантов решений. В соответствии с Правилами и нормами проектирования сортировочных устройств конкурирующие варианты конструкции сортировочной горки должны быть оценены путем моделирования процесса расформирования потока составов. Однако в настоящее время отсутствует не только программное обеспечение, которое может решать подобные задачи, но и соответствующая нормативная база, математические модели и методический подход в целом. В то же время техническое обеспечение сортировочных горок является существенно изношенным и морально устаревшим, поэтому задачи его модернизации и реконструкции являются достаточно актуальными.

В современных условиях анализ конструкции и технического обеспечения сортировочных горок выполняется на основании скатывания расчетной группы отцепов при их известных параметрах и условиях окружающей среды. Подобный подход дает возможность оценить лишь работоспособность сортировочной горки и не позволяет определить технико-экономические показатели ее функционирования, ставить и решать задачи совершенствования их конструктивных параметров и алгоритмов управления. Для получения таких показателей необходимо перейти от детерминированного подхода к стохастическому.