

ВИРТУАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ КУРСОВОГО ДВИЖЕНИЯ
МНОГОЗВЕННЫХ АВТОПОЕЗДОВ

Э. И. ЯСЮКОВИЧ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

В работе рассматриваются математическая модель и программное обеспечение, позволяющие оценить курсовую устойчивость автопоезда с использованием таких показателей, как критическая скорость по курсовой и траекторной устойчивости. При этом результаты моделирования могут быть представлены не только числовыми данными и динамическими характеристиками, но и в виде анимационной сцены движения машины в реальном масштабе времени.

При разработке математической модели была принята плоская динамическая схема многозвонного поезда с жесткими колесами при условии, что центры поворота его звеньев находятся в точках пересечения нормалей к передним и задним колесам. Кроме этого, звенья автопоезда имеют между собой упругие связи и поэтому в качестве независимых координат выбраны поступательные перемещения центров масс каждого звена по продольной и поперечной осям и их курсовые углы.

Математическая модель курсового движения автопоезда состоит из двух видов дифференциальных уравнений: динамических и уравнений кинематических связей.

В динамических уравнениях математической модели боковые реакции опорного основания являются неизвестными величинами, которые определяются в результате совместного решения динамических уравнений и уравнений кинематических связей колес звеньев автопоезда с дорожной поверхностью. Последние уравнения составлены в предположении отсутствия бокового проскальзывания колес на опорной поверхности. Для этого уравнения линейных скоростей центров колес звеньев автопоезда были выражены через первые производные от принятых независимых координат. Затем эти скорости были спроектированы на нормали к плоскостям вращения соответствующих колес и проинтегрированы по времени, в результате чего после несложных преобразований получены уравнения кинематических связей колес автопоезда с опорным основанием.

При записи уравнений движения первого и последующих звеньев автопоезда было сделано предположение, что каждое звено имеет передние управляемые колеса, углы поворота которых при криволинейном движении зависят от курсовых углов звеньев автопоезда.

Для задания траектории движения автопоезда в исходных данных прописывался закон изменения угла поворота переднего левого управляемого колеса ведущего звена в виде таблицы фиксированных значений моментов времени и соответствующих им скоростей указанного угла поворота. Угловые параметры правого управляемого колеса ведущего звена определялись в соответствии с кинематикой рулевой трапеции. Скорости углов поворота и сами углы всех остальных управляемых колес автопоезда вычислялись на основе параметров поворота соответствующих его звеньев.

В работе приводятся результаты виртуальных испытаний курсового движения трехзвенного автопоезда на основе математической модели, которая имеет вид системы обыкновенных дифференциальных уравнений, не разрешенных относительно старших производных.

Для решения уравнений полученной математической модели разработано программное обеспечение на языке VBA в среде программы Excel, которое позволяет проинтегрировать их на заданном интервале времени, то есть провести виртуальные испытания курсового движения автопоезда.

Результаты виртуальных испытаний сохраняются на первых двух листах Excel и в текстовом файле, который используется MaxScript-программой формирования анимационной сцены движения автопоезда. На первый лист выводятся также диаграммы движения центров масс каждого звена автопоезда в координатах XOY , а на второй – динамические характеристики движения основных параметров автопоезда: независимые координаты и боковые реакции опорной поверхности на его колеса.

В работе приводятся результаты имитационного моделирования режимов движения автопоезда «смена полосы движения», «обгон», «разворот на 180 градусов», «движение по круговой траектории».

Результаты проведенного анализа подтверждают работоспособность разработанного программного обеспечения и возможность использования его для проведения виртуальных испытаний курсового движения многозвенных колесных машин, а также в качестве средства функционального проектирования основных массогеометрических параметров, обеспечивающих требуемые показатели курсовой и траекторной устойчивости многозвенных автопоездов.

Разработанное программное обеспечение позволяет моделировать и неустановившиеся режимы движения автопоезда, такие, как трогание с места, разгон и торможение. Для этого в динамических уравнениях математической модели касательные силы тяги или тормозные моменты, приложенные к соответствующим колесам автопоезда, принимают ненулевые значения.