УДК 621.113: 631.37

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-2-16-22

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ПОЕЗДА¹Доровских Дмитрий Владимирович¹Глазков Юрий Евгеньевич¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат: Автопоезд представляет собой сложную механическую систему, которая состоит из многих модулей и узлов, взаимодействующих между собой. Исследовали динамику движения торможения автопоезда в прямолинейном движении. Проводили математическое и компьютерное моделирование. При разработке компьютерной модели автопоезда использовали программный комплекс Universal Mechanism. В качестве объекта моделирования был выбран двухзвенный седельный автопоезд в составе двухосного автомобиля-тягача и трехосного полуприцепа категории N3 + O4. Компьютерная модель построена с использованием подхода системы твердых тел. При построении модели автопоезда все его элементы образованы в виде графических объектов, определены их параметры и заданы шарнирные и силовые связи между элементами. Исследования устойчивости движения автопоезда в тормозном режиме проведены при использовании разработанной компьютерной модели. Исходные данные для исследований принимались аналогично данным математического моделирования. Движение автомобильного поезда в тормозном режиме исследовалось на промежутке времени $t = 5$ с, или до полной остановки автопоезда. В результате численного моделирования инструментом UM Simulation получены данные о положении звеньев автопоезда в каждый момент времени с шагом 0,025с в интервале 5с. Максимальное расхождение результатов исследования показателей устойчивости движения автопоезда в тормозном режиме с использованием математической и компьютерной моделей не превышает 10%, что свидетельствует об адекватности разработанной математической модели и достоверности результатов, полученных с ее использованием.

Ключевые слова: автопоезд, компьютерная модель, устойчивость, торможение

INVESTIGATION OF THE STABILITY OF ROAD TRAINS¹Dorovskikh Dmitriy¹Glazkov Yuriy¹FSBEI HE "Tambov state technical university"

Abstract: The road train is a complex mechanical system, which consists of many modules and nodes that interact with each other. The dynamics of the braking movement of the road train in rectilinear motion were investigated. Mathematical and computer modeling was performed. The Universal Mechanism software package was used to develop a computer model of the road train. A two-link truck train consisting of a two-axle tractor vehicle and a three-axle semi-trailer of the N3 + O4 category was selected as the object of simulation. A computer model is constructed using the solids system approach. When building a model, all elements of the road train are formed in the form of graphic objects, their parameters are determined, and articulated and power connections between the elements are specified. Studies of the stability of the road train in the braking mode were carried out using the developed computer model. The initial data for the studies were taken similarly to the data of mathematical modeling. The movement of an automobile train in the braking mode was studied for a period of time $t = 5$ s, or until the road train completely stopped. As a result of numerical modeling with the UM Simulation tool, the data on the position of the links of the road train at each moment in time with a step of 0.025 s in the interval of 5 s. The maximum discrepancy between the results of the study of road train stability indicators in braking mode using mathematical and computer models does not exceed 10%, which indicates the adequacy of the developed mathematical model and the reliability of the results obtained using it.

Keywords: road train, computer model, stability, braking

Введение. Устойчивость движения автомобильных поездов в тормозном режиме зависит от их технического состояния и условий эксплуатации. Во время движения автопоездов, под влиянием дорожных условий, водителям иногда приходится прибегать к экстренному торможению. Хотя доля экстренных торможений незначительная, именно они определяют безопасность движения транспортных средств. По сравнению со служебными торможениями, экстренные более опасны, особенно при нервных тормозных силах на колесах осей автопоезда, поскольку могут привести к потере устойчивости транспортного средства. При торможении автопоезда с бортовой неравномерностью тормозных сил, возникает крутящий момент в горизонтальной плоскости, что может привести к заносу и отклонению автопоезда даже при незаблокированных колесах, а также повлечь составление звеньев. Значительное влияние на эксплуатационные свойства автопоездов и устойчивость в частности, оказывает также нарушение геометрии их ходовой части, особенно перекося осей [1].

Экспериментальная часть. Учитывая вышесказанное, возникла необходимость в проведении исследований устойчивости движения седельного двухзвенного автопоезда в тормозном режиме и разработки компьютерной модели автопоезда. Компьютерная модель разрабатывалась с помощью программного комплекса Universal Mechanism (ПК УМ). Этот программный комплекс обладает удобным интерфейсом, включает в себя мощное универсальное ядро, отвечающее современным требованиям, а также ряд специализированных модулей, в частности UM Automotive, созданный для моделирования динамики автомобилей. В структуру Universal Mechanism входят два инструмента: UM Input, средствами которого осуществляется непосредственное построение компьютерной модели, и UM Simulation, который используется для исследования динамики разработанной модели.

В качестве объекта моделирования избран двухзвенный седельный автопоезд в составе двухосного автомобиля-тягача и трехосного полуприцепа категории N3 + O4. На рисунке 1 приведена его упрощенная динамическая модель, разработанная с использованием инструмента UM Input программной среды Universal Mechanism.

Рисунок 1 – Упрощенная динамическая модель автопоезда

При построении модели автопоезда все его элементы образованы в виде графических объектов, определены их параметры и заданы шарнирные и силовые связи между элементами.

Компьютерная модель построена с использованием подхода системы твердых тел. Согласно данному подходу, механическая система представляется как совокупность абсолютно твердых тел, связанных шарнирными связями и силовыми элементами. При построении модели использован метод подсистем, суть которого заключается в том, что при разработке модели, автопоезд представлен как совокупность двух подсистем - тягача и полуприцепа, которые объединены шарнирными и силовыми связями, характеризующими поведение звеньев автопоезда при исследовании динамики модели. Геометрические, инерционные и силовые характеристики элементов модели заданные с использованием совокупности идентификаторов, отдельно для каждой подсистемы, а также части, которые принадлежат обеим подсистемам.

Одним из первых и наиболее важных этапов в разработке компьютерной модели является создание 3D-моделей элементов отдельных подсистем. В структуру модели включены

графические объекты, разработанные стандартными средствами программного комплекса Universal Mechanism, а также проектируемые с использованием трехмерного моделирования. В частности, графические образы для кабины и рамы тягача (рисунок 2), разработанные с использованием CAD программы КОМПАС 3D, остальные элементы модели образованы из стандартных примитивов (параллелепипед, конус, эллипсоид и др.).

После разработки всех необходимых элементов модели, задачи их параметров, создания шарнирных и силовых связей, проведена проверка правильности описания модели по протоколу. Для исследования динамики модели необходимо осуществить настройку нужных показателей в модуле UM Simulation.

Рисунок 2 – Графический образ кабины и рамы автомобиля-тягача

Общий вид моделей подвесок звеньев автомобильного поезда приведен на рисунке 3.

а – задняя подвеска автомобиля-тягача

б – подвеска полуприцепа

Рисунок 3 – Модели подвесок звеньев автопоезда

Для исследования динамики модели в первую очередь необходимо осуществить настройку ее параметров и задать исходные данные, используя инспектор моделирования объекта (рисунок 4). Поскольку автомобильный поезд является многомодульным транспортным средством, нужно указать, какие тела принадлежат каждому из модулей (автомобилю-тягачу и полуприцепу). Для этого в инспекторе моделирования делаем соответствующие настройки в закладке «состав».

При описании модели важно указать характеристики шин, поскольку они определяют влияние сил и моментов, действующих в плоскости контакта между колесами и опорной поверхностью. Необходимые данные вводим в закладке «шины» инспектора моделирования. При разработке модели нами использован метод табличного задания параметров шин.

Настройка компьютерной модели предусматривает также создание модели дороги, на которой происходят исследования. Модель дороги включает следующие элементы:

- Геометрию линии дороги (макро профиль);
- Геометрию поверхности дороги (микро профиль);
- Шероховатость, твердость и материал покрытия.

Рисунок 4 – Инспектор моделирования объекта

Соответственно в исходных условиях, исследования динамики торможения автопоезда происходят на ровном сухом участке дороги с асфальтобетонным покрытием. Используя средства инструмента UM Simulation, определяем микропрофиль участка дороги для имитации движения автопоезда в тормозном режиме. Графики неровностей дорожного покрытия под левым и правым бортами автопоезда представлены на рисунке 5.

1 – высота неровностей под правым бортом автопоезда;
2 – высота неровностей под левым бортом автопоезда

Рисунок 5 – Профиль неровностей опытного участка дороги:

Геометрия линии дороги (макропрофиль) построена средствами UM Simulation в соответствии с требованиями нормативных документов, и программы исследований. Макропрофиль тестовых участков дорог, используемых для имитации условий движения модели автопоезда при выполнении маневров, приведены на рисунке 6.

а – участок для выполнения манёвра «прямая»

б – участок для выполнения маневра «движение по кругу»

Рисунок 6 – Макро профиль тестовых участков дорог

Настройка компьютерной модели завершается проведением теста на равновесие, в процессе выполнения, которого исчисляется положения равновесия системы. Данный тест позволяет определить начальные значения координат, соответствующие положению равновесия; вычислить величины статических нагрузок и деформации колес; найти значение активных сил в положении равновесия. Полученные данные в дальнейшем используются в качестве исходных при исследовании динамики модели.

В основу исследования динамической модели в программном комплексе Universal Mechanism заложено выполнение ряда стандартных тестов, при осуществлении которых определяются необходимые исследователю показатели. К данным тестам относятся [2]:

- равновесие;
- поворот руля на месте;
- управления без обратной связи;
- тест с водителем;
- вертикальные прокачки;
- горизонтальные прокачки;
- регулировки развала;
- регулирования схождения;
- регулирования продольного наклона шкворня.

В процессе виртуальных исследований показателей устойчивости автопоезда в тормозном режиме движения, в соответствии с программой испытаний и требований нормативных документов [3, 4, 5], необходимо осуществить ряд маневров, среди которых:

- движение на прямолинейном отрезке дороги - «прямая»;
- движение по кругу.

Среди стандартных тестов, заложенных в программный комплекс, для выполнения предусмотренных маневров больше подходит «тест с водителем». Поэтому он избран за основу при исследовании компьютерной модели. Данный тест служит для имитации маневров с заданной

траекторией движения автомобиля. Для управления автомобилем в данном случае используется одна из моделей водителя на выбор исследователя: модель МакАдама, модель с прогнозированием второго порядка и комбинированная модель. В ходе исследования использована модель водителя с прогнозированием второго порядка, поскольку, она позволяет получить незначительные отклонения реального пути автопоезда от заданного.

После завершения необходимых настроек, переходим к исследованию модели.

Используя разработанную компьютерную модель, проведем исследования устойчивости движения автопоезда в тормозном режиме. Исходные данные для исследований принимаем аналогично данным математического моделирования.

Также будем считать, что в начале исследования автопоезд движется параллельно оси Ox , которая направлена вдоль дороги. Движение автомобильного поезда в тормозном режиме исследуем на промежутке времени $t = 5$ с, или до полной остановки автопоезда, если это произойдет раньше. В результате численного моделирования инструментом UM Simulation получаем данные о положении звеньев автопоезда в каждый момент времени с шагом 0,025 с в интервале 5 с.

Результаты и их обсуждение. В таблице 1 приведены результаты исследований тормозной динамики компьютерной модели автопоезда в прямолинейном движении.

Результаты исследований устойчивости кругового движения компьютерной модели автопоезда в тормозном режиме приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Исследование динамики торможения автопоезда в прямолинейном движении

Вариант проведения исследований	Показатели тормозной динамики автопоезда			
	Тормозной путь, м	Смещение траектории полуприцепа по траектории тягача, м	Время торможения, с	Замедление при торможении, m/s^2
Результаты математического моделирования	35,45	0,012	3,32	5,02
Результаты компьютерного моделирования	34,86	0,013	3,29	5,06

Таблица 2 – Исследование динамики торможения автопоезда при движении по кругу

Вариант проведения исследований	Показатели тормозной динамики автопоезда			
	Тормозной путь, м	Смещение траектории полуприцепа по траектории тягача, м	Время торможения, с	Замедление при торможении, m/s^2
Результаты математического моделирования	33,98	3,28	5,08	0,2706
Результаты компьютерного моделирования	33,37	3,26	5,11	0,2851

Как следует из данных (таблица 1 и таблица 2), максимальное расхождение полученных результатов исследования показателей устойчивости движения автопоезда в тормозном режиме с использованием математической и компьютерной моделей не превышает 10%, что свидетельствует об адекватности разработанной математической модели и достоверности результатов, полученных с ее использованием.

Первичные исследования динамической модели автопоезда проводились с использованием инструментов визуализации, позволяющие отображать характерные перемещения модели по разработанному участку дороги в соответствии с приложенными кинематическими и силовыми связями и ограничениями.

Список литературы

1. Поляков В., Приходченко Д.Ю., Абрамов Д.А. Теоретическое исследование влияния осевой неравномерности тормозных сил на устойчивость автопоезда // Вестник ВГУ имени Владимира Далея. - Луганск: ВГУ. – 2007. – № 6 (112). – С. 59-62.

2. Антонов Д.А. Расчет устойчивости движения многоосных автомобилей. – М.: Машиностроение. – 1984. – 164 с.
3. Закин Я.Х. Прикладная теория движения автопоезда. – М.: Транспорт. – 1967. – 252 с.
4. Фаробин Я.Е. Теория поворота транспортных машин. – М.: Машиностроение. – 1970. – 176 с.
5. Kienhöfer F., Cebon D. An Investigation of ABS Strategies for Articulated Vehicles // 8th International Symposium on Heavy Vehicles Weights and Dimensions. – Midrand, South Africa. – 2004. – P. 10-14.

References

1. Polyakov V., Prihodchenko D.YU., Abramov D.A. Teoreticheskoe issledovanie vliyaniya osevoj neravnomernosti tormoznyh sil na ustojchivost' avtopoezda // Vestnik VNU imeni Vladimira Dal'ya. - Lugansk: VNTU. – 2007. – № 6 (112). – S. 59-62.
2. Antonov D.A. Raschet ustojchivosti dvizheniya mnogoosnyh avtomobilej. – М.: Mashinostroenie. – 1984. – 164 s.
3. Zakin YA.H. Prikladnaya teoriya dvizheniya avtopoezda. – М.: Transport. – 1967. – 252 s.
4. Farobin YA.E. Teoriya povorota transportnyh mashin. – М.: Mashinostroenie. – 1970. – 176 s.
5. Kienhöfer F., Cebon D. An Investigation of ABS Strategies for Articulated Vehicles // 8th International Symposium on Heavy Vehicles Weights and Dimensions. – Midrand, South Africa. – 2004. – P. 10-14.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Доровских Дмитрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: dima.dorovskikh@yandex.ru.

Глазков Юрий Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: glazkov_yural@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Dorovskikh Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: dima.dorovskikh@yandex.ru.

Glazkov Yuri – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: glazkov_yural@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 24.03.2020 Принята к публикации (Accepted): 24.04.2020

УДК 631.171

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-2-22-29

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОШНИКА ДЛЯ ПОСЕВА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР С НАПРАВИТЕЛЕМ ПОТОКА И ГАСИТЕЛЕМ СКОРОСТИ СЕМЯН

¹Ларюшин Николай Петрович

¹Ванин Дмитрий Владимирович

¹Шумаев Василий Викторович

¹Шуков Александр Васильевич

¹Кирихина Татьяна Александровна

¹ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»

Реферат. Одной из важнейших операций при производстве зерновых культур является посев. Анализ литературы показал, что наиболее перспективны для осуществления этой операции двухдисковые сошники, отвечающие агротехническим требованиям. Исследования проводили на лабораторной установке - почвенном канале. Изучали работу сошника для посева зерновых