

материалов, что подтверждает ее важность учета в расчетах. Из графика видно, что наибольшее приращение (для данного случая) получает окружающая деформация ползучести, что можно легко объяснить увеличением со временем работы диаметра толстостенного цилиндра (текущего участка трубопровода). Заметим, что результаты расчета сравнены с экспериментальными данными [1] и выявлено их хорошее соответствие.

Таким образом, при длительной эксплуатации трубопроводов АЭС в условиях сложного нагружения при повышенных температурах необходим учет эффекта формоизменения вследствие термического расширения, пластичности и ползучести. Неучет деформационного характера нагружения трубопровода, проявляющегося в релаксации напряжений, и нестационарности нагружения и температурного распределения может привести к неверной оценке реальных величин деформаций. При этом решение задачи должно включать в себя моделирование процесса деформирования трубопровода на каждом шаге нагружения. В этой связи, разработанная механико-математическая модель и алгоритм нахождения основных характеристик НДС для длинного толстостенного цилиндра, являющимся в общем случае моделью участка трубопровода АЭС может быть реальным инструментом для прогнозирования ресурса данных элементов конструкций (пуская и в первом приближении). Так как предложенный в работе подход для определения НДС трубопроводов весьма выгоден в силу простоты реализации, отсутствия дополнительных экспериментальных исследований и удовлетворительной точности получаемых результатов.

Авторы работы выражают глубокую благодарность д.ф.-м.н., профессору И.С. Куликову и д.т.н., профессору Б.Е. Тверковкину за плодотворные обсуждения и дискуссии в Белорусском национальном техническом университете и ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» НАН Беларуси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стасенко, И.В. Расчет трубопроводов на ползучесть//М.: Машиностроение, 1986 – 256с.
2. Займовский, А.С. Тепловыделяющие элементы атомного реактора/ А.С. Займовский, В.В. Калашников, Головин И.С – М.: Атомиздат, 1970 – 517с.
3. Куликов, И.С. Прочность элементов конструкций при облучении / И.С. Куликов, В.Б. Нестеренко, Б.Е. Тверковкин. – Минск: Наука и техника, 1990. – 144с.
4. Писаренко, Г.С. Уравнения и краевые задачи теории пластичности и ползучести / Г.С. Писаренко, Н.С. Можарский – Киев: Наукова думка, 1981. – 496с.
5. Работнов, Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.:Наука. 1979. 744с.
6. Ширвель, П.И. Решение радиационно-термоупругой задачи для сплошного цилиндра / П.И. Ширвель, И.С. Куликов//Республиканский межведомственный сборник научно-технических статей «Теоретическая и прикладная механика». Минск, 2008, Вып.23, С.55-63.
7. Рихтмайер, Р.Д. Разностные методы решения краевых задач / Р.Д. Рихтмайер, К. Мортон. – М.: Мир, 1972. – 418с.
8. Победря, Б.Е. Численные методы в теории упругости и пластичности. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 344с.

УДК 629.113.073

Гурвич Ю.А., Сафронов К.И.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВИРТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ УПРАВЛЯЕМОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ МНОГООСНЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В статье описана методика исследования характеристик управляемости и устойчивости многоосных транспортных средств в пакете SolidWorks Motion. Разработана динамическая модель двух-, трех- и четырехосных транспортных средств, с помощью которой посредством виртуальных испытаний определены показатели управляемости и устойчивости движения машины. Приведены результаты виртуальных испытаний. Показано, что виртуальное моделирование позволяет в значительной степени сократить стадию проектирования и объем натурных испытаний машин.

Проблема обеспечения управляемости и устойчивости транспортных средств и мобильного технологического оборудования до сих пор остается актуальной и однозначно до конца не решена [1 – 5]. Наиболее остро эта проблема встает при проектировании многоосных транспортных средств и машин с шарнирно-сочлененной рамой, поскольку их производительность в основном зависит от способности маневрировать в стесненных условиях при значительных габаритах и грузоподъемности машин. Такие машины должны также обладать повышенной проходимостью, грузоподъемностью и поэтому они находят своё применение в строительной, горнодобывающей, лесохозяйственной и других отраслях промышленности и народного хозяйства.

Исследование динамических характеристик этих машин с использованием аналитических методов [1, 2] сопряжено со сложностью решения системы дифференциальных уравнений с большим количеством неизвестных.

Применение методов виртуального моделирования также позволяют исследовать характеристики маневренности и устойчивости автомобиля в динамической постановке, т.е. воспроизвести поведение объекта с учётом массово-инерционных характеристик, конструктивных особенностей рамы и ходовой части.

В данной работе, в отличие от [3], описана методика расчёта показателей маневренности и устойчивости многоосных машин: двухосный автомобиль МАЗ 5551, трехосный – МАЗ 6517, четырехосный – МАЗ 6516, которая базируется на построении модели и проведении виртуальных испытаний в пакете SolidWorks Motion [6].

В основу методики расчета характеристик управляемости и устойчивости движения многоосных машин (в соответствии с ГОСТ [7 – 9]) в пакете SolidWorks Motion входит:

1. определение радиусов траекторий установившегося поворота при различных скоростях движения;
2. определение углов поворота колес, при которых наблюдается потеря устойчивости машины, совершающей установившийся поворот;
3. определение предельных углов бокового крена машины, совершающей установившийся поворот;
4. определение силовых характеристик взаимодействия колес машины с полигоном при установившемся повороте;
5. определение траекторий неустановившегося поворота при различных скоростях движения;
6. определение углов поворота управляемых колес, при которых наблюдается потеря устойчивости машины, совершающей неустановившийся поворот;
7. определение предельных углов бокового крена машины, совершающей неустановившийся поворот;
8. определение силовых характеристик взаимодействия колес с полигоном при неустановившемся повороте.

Исследования динамических характеристик движения двухосных машин. В качестве объекта исследования динамических характеристик двухосных рассмотрим самосвал МАЗ 5551, общий вид которого приведен на рисунке 1, а виртуальная модель – на рисунке 2.

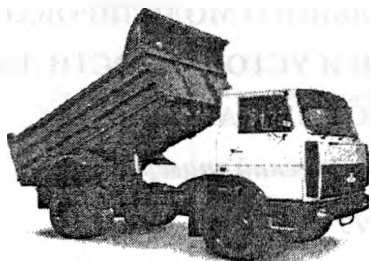


Рис. 1 – Общий вид автомобиля МАЗ 5551

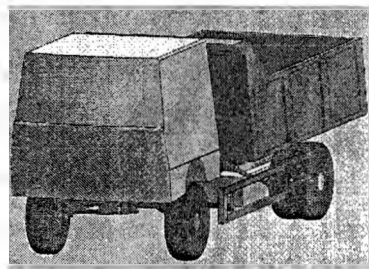


Рис. 2 – Виртуальная модель автомобиля МАЗ 5551

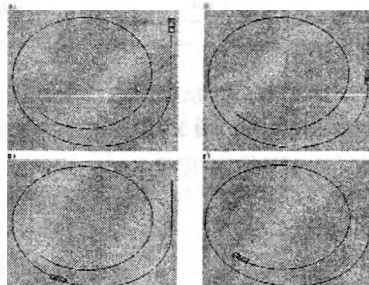
Модель многоосных машин состоит из рамы, колёс, передней оси, рулевой трапеции, кабины и кузова. Все основные части модели имеют следующие взаимосвязи:

- поворотным шарниром связаны: задние колёса с рамой, передние колёса с передней осью, передняя ось с рамой и некоторые звенья рулевой трапеции.

- контактное соединение определено: между всеми колёсами и полигоном, передней осью и рамой.

Для каждой группы контактов задавались свои коэффициенты трения, жесткости и демпфирования. Скорость движения автомобиля задавалась через угловую скорость вращения каждого колеса. Критерием потери устойчивости на этом этапе будет величина скорости движения машины и угол поворота колес в момент отрыва переднего внутреннего колеса.

На рисунке 3 представлены этапы движения модели двухосной машины во время прохождения поворота на скорости 40 км/ч



а) – начало движения; б) – вход в поворот; в) – начало установившегося поворота; г) – конец движения

Рис. 3 – Этапы движения модели двухосной машины

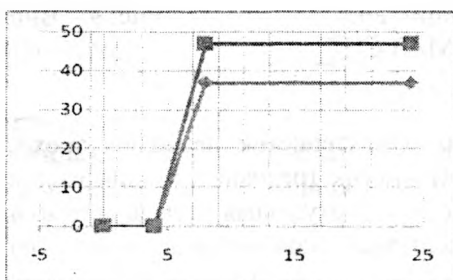


Рис. 4 – Функция изменения положения управляемых колес

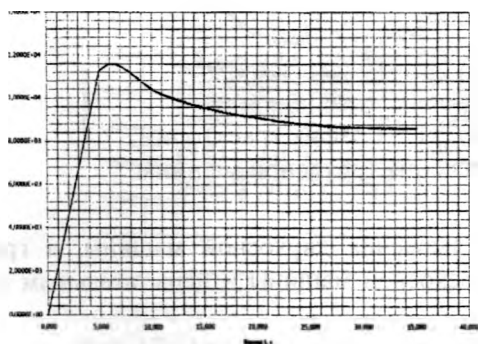


Рис. 5 – Изменение скорости движения модели двухосной машины

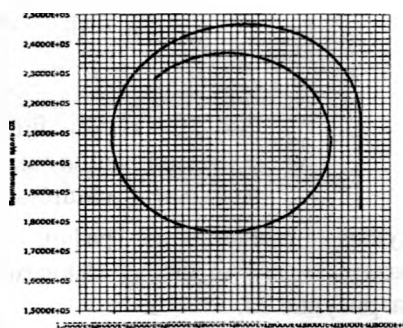


Рис. 6 – График траектории движения двухосной машины

Управление поворотом многоосной машины осуществляется через изменение угла поворота управляемых колес с течением времени (рисунок 4). На рисунке 5 приведен график изменения скорости движения модели при прохождении поворота. На рисунке 6 представлен график траектории движения двухосной машины. Графическая зависимость контактных сил между каждым колесом двухосной машины и испытательным полигоном отображена на рисунке 7.

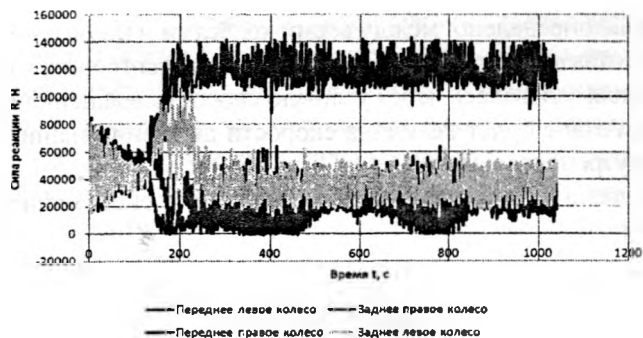


Рис. 7 – График зависимости контактных сил между каждым колесом двухосной машины и дорогой



Рис. 8 – Общий вид автомобиля МАЗ 6517

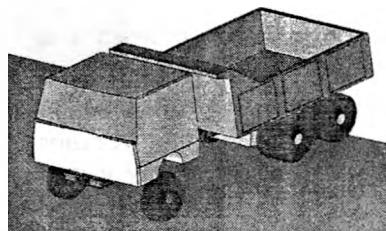


Рис. 9 – Виртуальная модель автомобиля МАЗ 6517

Исследования динамических характеристик движения трехосных машин. В качестве объекта исследования динамических характеристик трехосных машин рассмотрим самосвал МАЗ 6517, общий вид которого приведен на рисунке 8, а виртуальная модель автомобиля показана на рисунке 9. График изменения скорости движения модели трехосной машины приведен на рисунке 10.

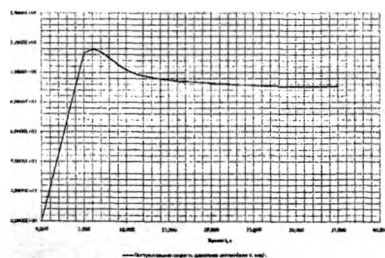


Рис. 10 – Изменение скорости движения модели трехосной машины

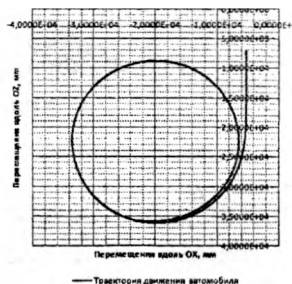


Рис. 11 – График траектории движения трехосной машины

На рисунке 6 представлен график траектории движения двухосной машины, а графическая зависимость контактных сил между каждым колесом трехосной машины и испытательным полигоном отображена на рисунке 12.

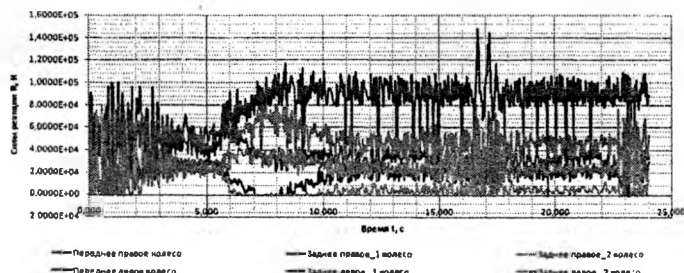


Рис. 12 – График зависимости контактных сил между каждым колесом трехосной машины и дорогой



Рис. 13 – Общий вид автомобиля МАЗ 6516

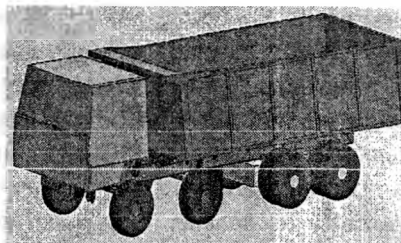


Рис. 14 – Виртуальная модель автомобиля МАЗ

Исследования динамических характеристик движения четырехосных машин. В качестве объекта исследования динамических характеристик четырехосных машин рассмотрим автомобиль МАЗ 6516, общий вид которого приведен на рисунке 13, а виртуальная модель автомобиля на рисунке 14. График изменения скорости движения модели четырехосной машины приведен на рисунке 15.

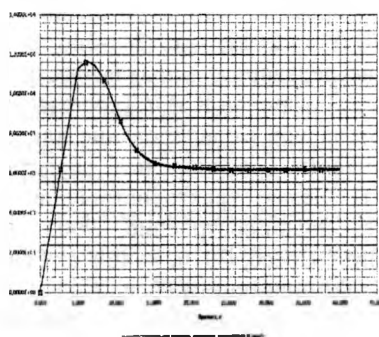


Рис. 15 – Изменение скорости движения модели четырехосной машины

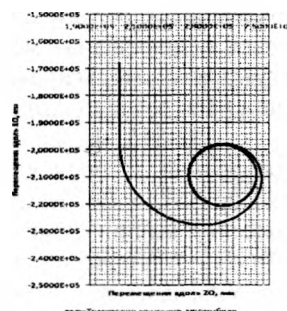


Рис. 16 – График траектории движения четырехосной машины

На рисунке 16 представлен график траектории движения четырехосной машины. Графическая зависимость контактных сил между каждым колесом четырехосной машины и испытательным полигоном показана на рисунке 17.

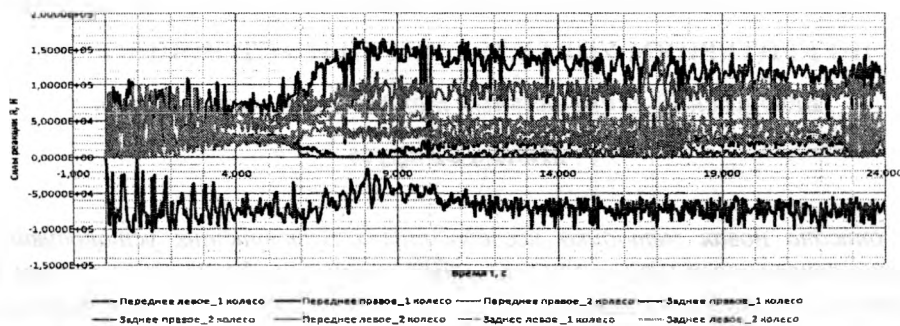


Рис. 17 - График зависимости контактных сил между каждым колесом четырехосной машины и дорогой

Заключение. В данной работе впервые разработана методика виртуальных испытаний по определению характеристик управляемости и устойчивости многоосных машин, совершающих установившийся и неуставившийся поворот с помощью пакета SolidWorks Motion.

В ходе исследования были получены: графики траекторий поворота при различных скоростях движения машин; значения скоростей и величины углов поворота колес при потере устойчивости во время прохождения поворота; определены силовые характеристики взаимодействия колес с полигоном при установившемся и неуставившемся повороте. Реализована анимация поведения модели за все время испытаний.

Результаты виртуальных испытаний согласуются на качественном и количественном уровнях с данными заводских экспериментальных исследований, а также с результатами, полученными в [1 – 5].

Использование методов виртуальных испытаний позволяют с достаточной для практики точностью смоделировать поведение не только серийных, но и перспективных многоосных машин в обычных и экстремальных условиях. Это значительно сокращает объём натурных испытаний, время выпуска и стоимость доводки серийных и проектируемых машин.

Работа выполнялась в рамках Государственной программы научных исследований (ГПНИ) «Механика, техническая диагностика, металлургия» на 2011 – 2015 годы, шифр задания «Механика - 1.06», № госрегистрации 20122239 БелИСА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурвич Ю.А. Динамика поворота шарнирно-сочленённой машины с двумя осями / Гурвич Ю.А., Петровский А.Л. // Научные труды научно-практической конференции учёных МАДИ(ГТУ), РГАУ-МСХА, ЛНАУ. 17-18 июня 2010 г. Том 6. Естественные и технические науки. Москва-Луганск. Издательство МАДИ(ГТУ), РГАУ-МСХА, ЛНАУ. – с. 85-90.
2. Гурвич Ю.А. Разработка методов описания динамики многоосных и шарнирно-сочлененных машин по критериям управляемости и устойчивости / Гурвич Ю.А., Сафронов К.И. // Теоретическая и прикладная механика №27. Мн.: 2012, – с. 341-346.
3. Петровский А.Л. Применение методов виртуального моделирования при исследовании управляемости и устойчивости шарнирно-сочлененных машин / Петровский А.Л., Гурвич Ю.А., Сафронов К.И. // Теоретическая и прикладная механика №28. Мн.: 2013, – с. 332-335.
4. Альгин В.Б. Виртуальное моделирование как способ получения адекватных результатов поперечной и продольной устойчивости транспортных средств / Альгин В.Б., Харитончик С.В., Колесникович А.Н. // Сб. Науч. Тр./НИРУП "Белавтотракторостроение" Минск, Беларусь, 2005.
5. Теория движения колёсных машин / Смирнов Г.А.. – М.: Машиностроение, 1990. – 352с. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / Алямовский А.А. – М.: ДМК-Пресс, 2010. – 464 с. ГОСТ Р 52302–2004 «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытания». СТБ ГОСТ Р 52302–2006 «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытания». ГОСТ 27257–1987 «Методы определения параметров поворота колесных машин».

УДК 629.113.073

Сафронов К.И., Гурвич Ю.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СХЕМЫ ПРИВОДА ВЕДУЩИХ КОЛЕС НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВОРОТА ДВУХОСНЫХ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННЫХ МАШИН ПО КРИТЕРИЯМ УПРАВЛЯЕМОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В статье описана новая методика исследования характеристик установившегося поворота двухосных шарнирно-сочлененных машин при различных режимах работы трансмиссии. Разработанная механико-математическая модель установившегося поворота машины впервые позволяет определить кинематические и силовые характеристики в функции угла складывания и скорости движения шарнирно-сочлененных машин при каждом режиме работы привода ведущих колес.

В мировой практике создания специальных машин для дорожно-строительной, лесопромышленной и карьерной отраслей используются схемы с шарнирно-сочлененной и многоосной компоновкой. Для обеспечения высоких показателей проходимости применяются различные схемы привода колес, причем на каждой из машин схема привода может оперативно изменяться в зависимости от состояния дорожного покрытия и скоростных режимов движения. Оперативное изменение схемы привода колес возможно за счет применения в трансмиссии дифференциалов с системой блокировки, а также раздаточных коробок с различными вариантами включения привода (комбинированный привод).

Блокированный привод ведущих колёс является одним из основных средств обеспечения проходимости колёсной машины. С другой стороны блокированный привод ведущих колёс создаёт