

Ю.А.Гурвич, К.И.Сафронов

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

*Белорусский национальный технический университет, Минск*

*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:

- определение радиусов траекторий установившегося поворота при различных скоростях движения;
- определение углов поворота колес, при которых наблюдается потеря устойчивости машины, совершающей установившейся поворот;
- определение предельных углов бокового крена машины, совершающей установившейся поворот;
- определение силовых характеристик взаимодействия колес машины с полигоном при установившемся повороте;

- определение траекторий неустановившегося поворота при различных скоростях движения;
- определение углов поворота управляемых колес, при которых наблюдается потеря устойчивости машины, совершающей неустановившейся поворот;
- определение предельных углов бокового крена машины, совершающей неустановившейся поворот;
- 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.

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.



Рисунок 1 – Общий вид автомобиля МАЗ 5551

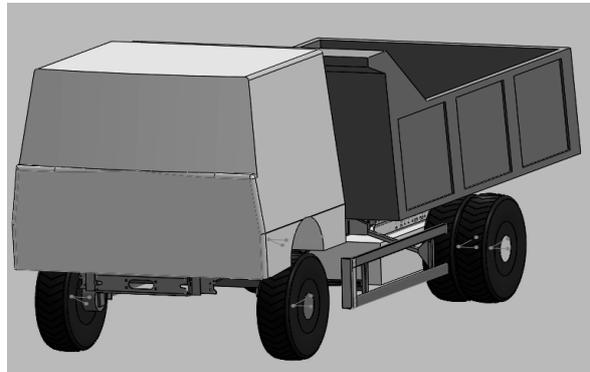
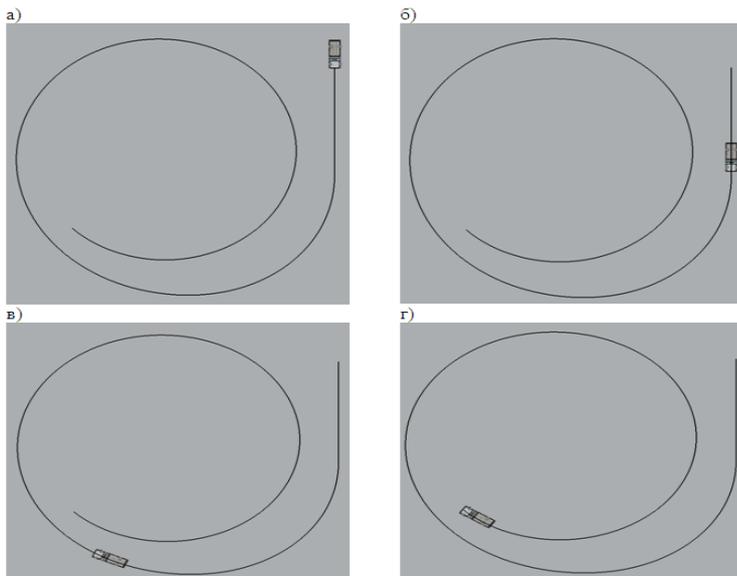


Рисунок 2 – Виртуальная модель автомобиля МАЗ 5551



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

Рисунок 3 – Этапы движения модели двухосной машины

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.

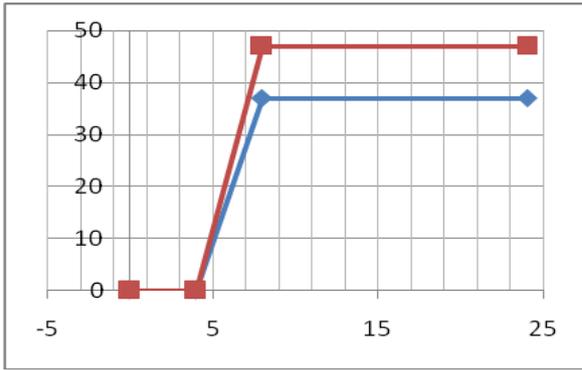


Рисунок 4 – Функция изменения положения управляемых колес

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.

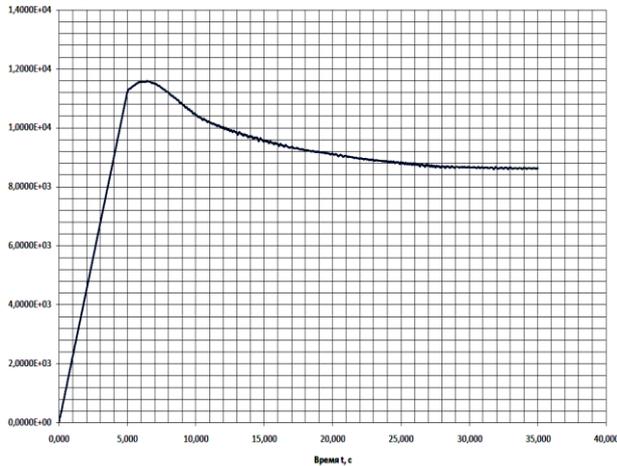


Рисунок 5 – Изменение скорости движения модели двухосной машины

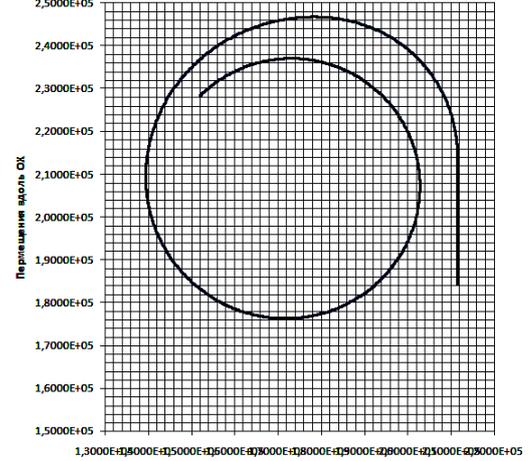


Рисунок 6 – График траектории движения двухосной машины

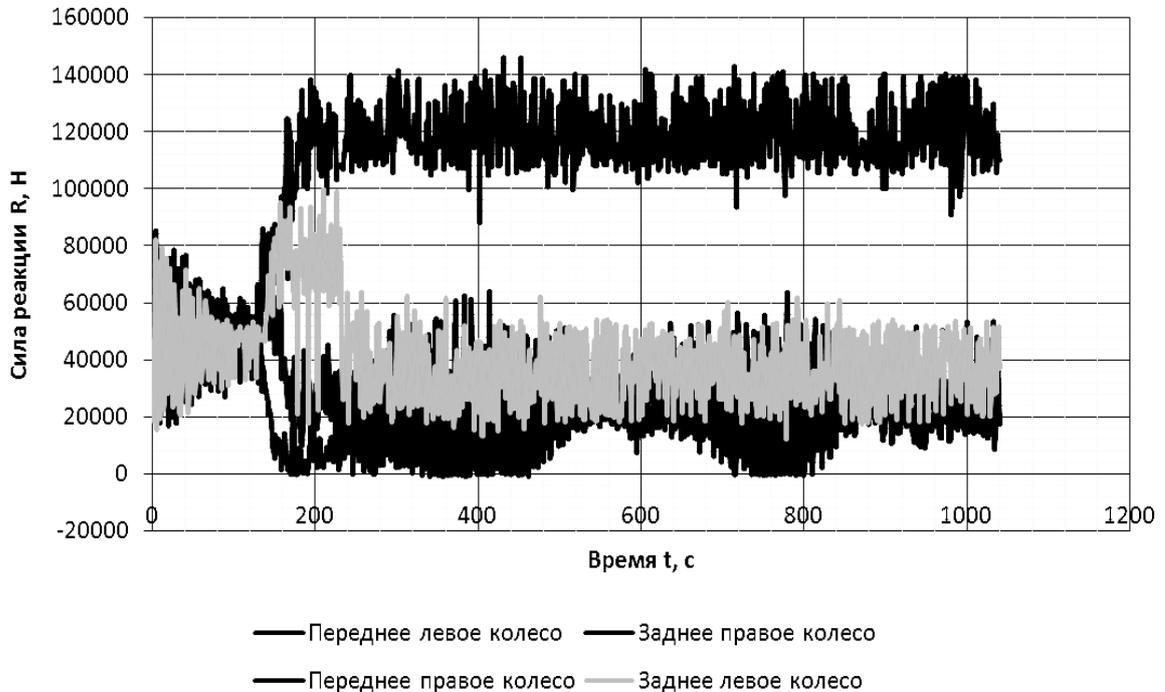


Рисунок 7 – График зависимости контактных сил между каждым колесом двухосной машины и дорогой

**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. 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.



Рисунок 8 – Общий вид автомобиля МАЗ 6517

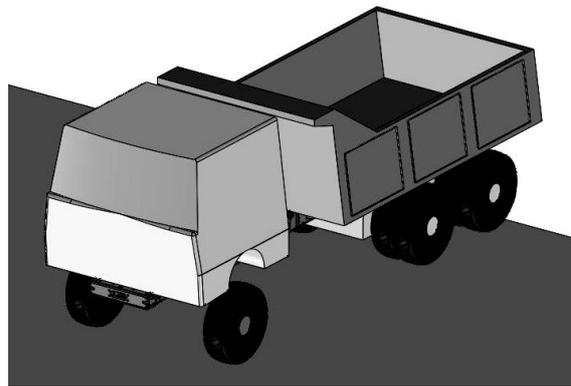


Рисунок 9 – Виртуальная модель автомобиля МАЗ 6517

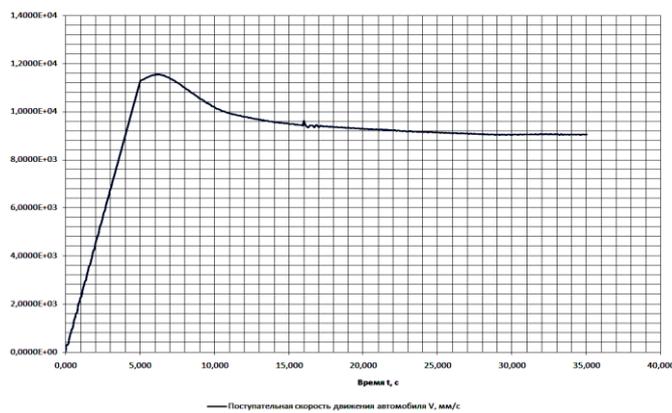


Рисунок 10 – Изменение скорости движения модели трехосной машины

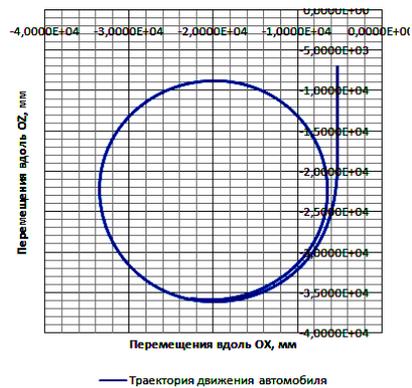


Рисунок 11 – График траектории движения трехосной машины

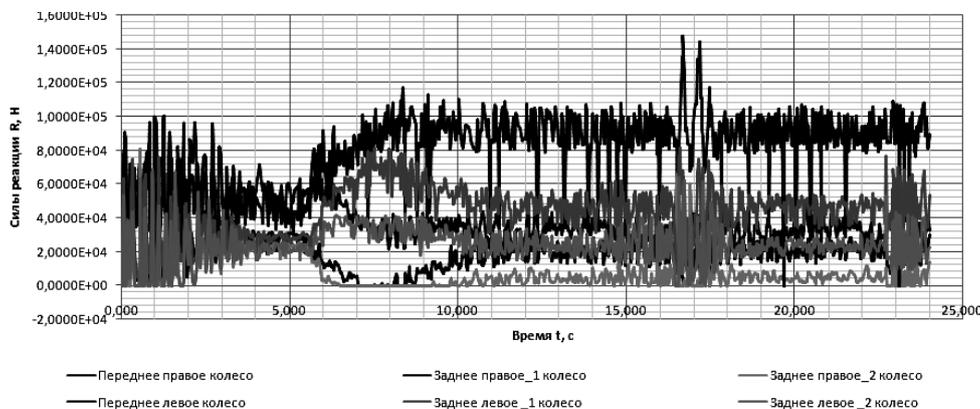


Рисунок 12 – График зависимости контактных сил между каждым колесом трехосной машины и дорогой

**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.



Рисунок 13 – Общий вид автомобиля МАЗ 6516

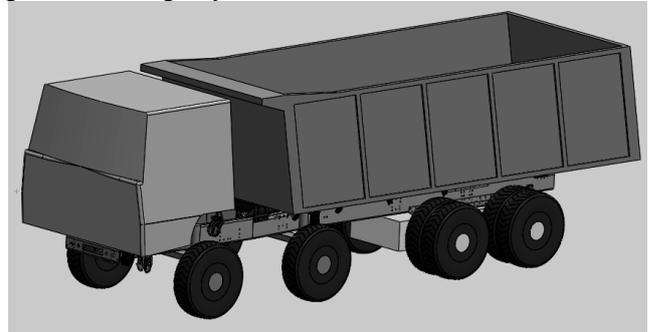


Рисунок 14 – Виртуальная модель автомобиля МАЗ 6516

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.

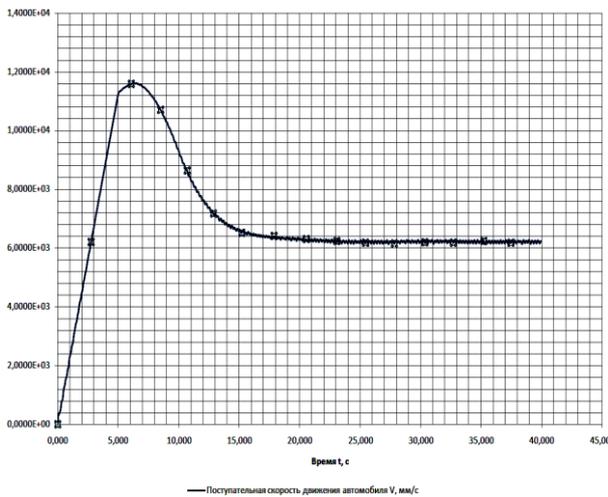


Рисунок 15 – Изменение скорости движения модели четырехосной машины

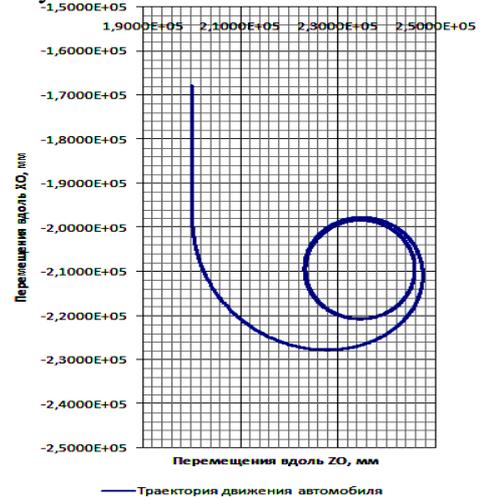


Рисунок 16 – График траектории движения четырехосной машины

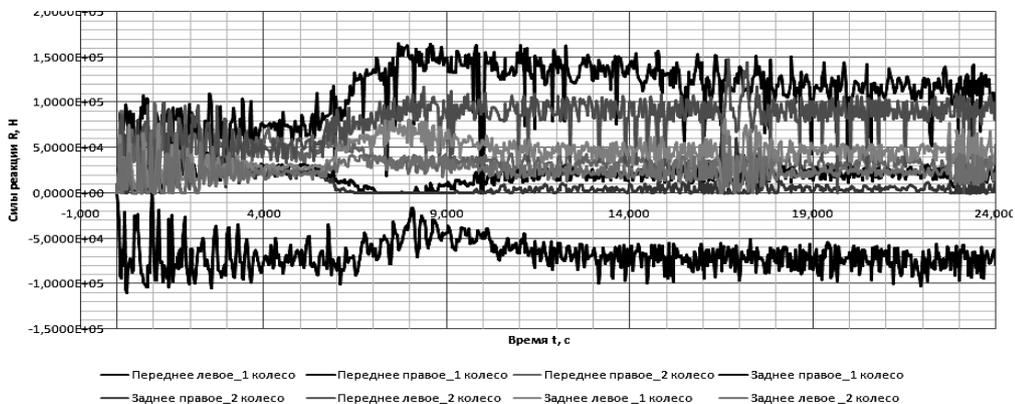


Рисунок 17 - График зависимости контактных сил между каждым колесом четырехосной машины и дорогой

**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 / Ю.А. Гурвич, А.Л. Петровский // 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 / Ю.А.Гурвич, К.И.Сафронов // 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 / А.Л. Петровский, Ю.А.Гурвич, К.И.Сафронов // 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 / В.Б. Альгин, С.В. Харитончик, А.Н. Колесникович // Сб. Науч. Тр./НИРУП "Белавтотракторостроение" Минск, Беларусь, 2005.
5. Теория движения колёсных машин / Г.А. Смирнов. – М.: Машиностроение, 1990. – 352с.
6. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А.А. Алямовский. – М.: ДМК-Пресс, 2010. – 464 с.
7. ГОСТ Р 52302–2004 «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытания».
8. СТБ ГОСТ Р 52302–2006 «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытания».
9. ГОСТ 27257–1987 «Методы определения параметров поворота колесных машин».

### **Applying a virtual testing method to study the controllability and stability of the two-, three- and four axles transport vehicles**

*Y.Gurvich, K.Safronov*

The article describes a technique to study the controllability and stability of the transport vehicles in the package SolidWorks Motion. Developed a dynamic model considered two-, three- and four axles transport vehicles, which through virtual testing determined for the handling and stability of the car, which would greatly reduce the amount of field tests.