

УДК 629.1.07

В.В. Филатов

студент МАДИ,

тел.: 8(985) 978-06-39,

e-mail: 2vfilatov@gmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САПР SOLID WORKS MOTION ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАВНОСТИ ХОДА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Аннотация. В статье дается описание принципа модульности конструкции наземного транспортного средства. Рассмотрен способ исследования плавности хода семейства автобусов перспективной модульной конструкции, описана методика создания математической твердотельной модели транспортного средства средствами САПР «Solid Works Motion» и решения задачи по оптимизации параметров плавности хода.

Ключевые слова: принцип модульности, плавность хода, САПР, Solid Works Motion.

Введение

Целью данной научно-исследовательской работы является изучение параметров плавности хода автобуса модульной конструкции. Принцип такой конструкции крайне актуален, так как его реализация способна решить следующие задачи: оптимизация производственного процесса транспортного средства, уменьшение издержек при производстве узлов и агрегатов, универсальность транспортного средства, повышение ремонтпригодности и упрощение утилизации.

Результатом научной деятельности является исследование плавности хода математических моделей модульных прототипов автобусов, разработанных на основе современных образцов, а так же классификаторы автобусной техники. Данное исследование может быть использовано при принятии конструкторских решений при проектировании подвески и ходовой части перспективных автобусов модульной конструкции.

Научно-исследовательская работа предполагает два крупных этапа: анализ и синтез. На этапе анализа раскрывается сущность применения принципа модульности на различных этапах создания транспортного средства, приводятся в пример существующие образцы, а также методика разработки математической модели транспортного средства и моделирование его движения по трассе с препятствиями различной конфигурации. В результате сбора информации о современных образцах автобусной техники, используемой в городских условиях, формируются классификаторы, из которых выводятся исходные данные для построения математических моделей.

На этапе синтеза создаются три твердотельные параметризованные математические модели двухосного, трехосного и трехосного сочлененного автобусов соответственно. Затем, варьируя различные геометрические, массовые параметры модели и параметры подвески (коэффициент жесткости упругого элемента, коэффициент сопротивления демпфирующего элемента, параметры геометрии направляющего элемента и т.д.) можно сделать вывод о качестве подвески данного семейства автобусов.

Принцип модульности

Главным преимуществом модульной компоновки является возможность создать транспортное средство в зависимости от его назначения, устанавливая на унифицированную раму группу модулей.

Модули могут нести различную функциональную нагрузку, например, силовые модули, грузовые модули (платформы для транспортировки грузов), транспортные модули, модули управления (рис. 1). Таким образом, спроектировав унифицированную ходовую часть для установки модулей, мы получаем возможность создания целого семейства транспортных средств различного класса, назначения в зависимости от компоновки, построенного на единых взаимозаменяемых узлах и агрегатах. В настоящее время принцип широко применяется в мировом автомобилестроении.

В качестве примера приведем концерн *Volkswagen Group*, инженеры которого разработали универсальную модульную платформу MQB (рис. 2) в 2011 г. Архитектура этой платформы основана на принципе изменяемых и унифицированных габаритных размеров.

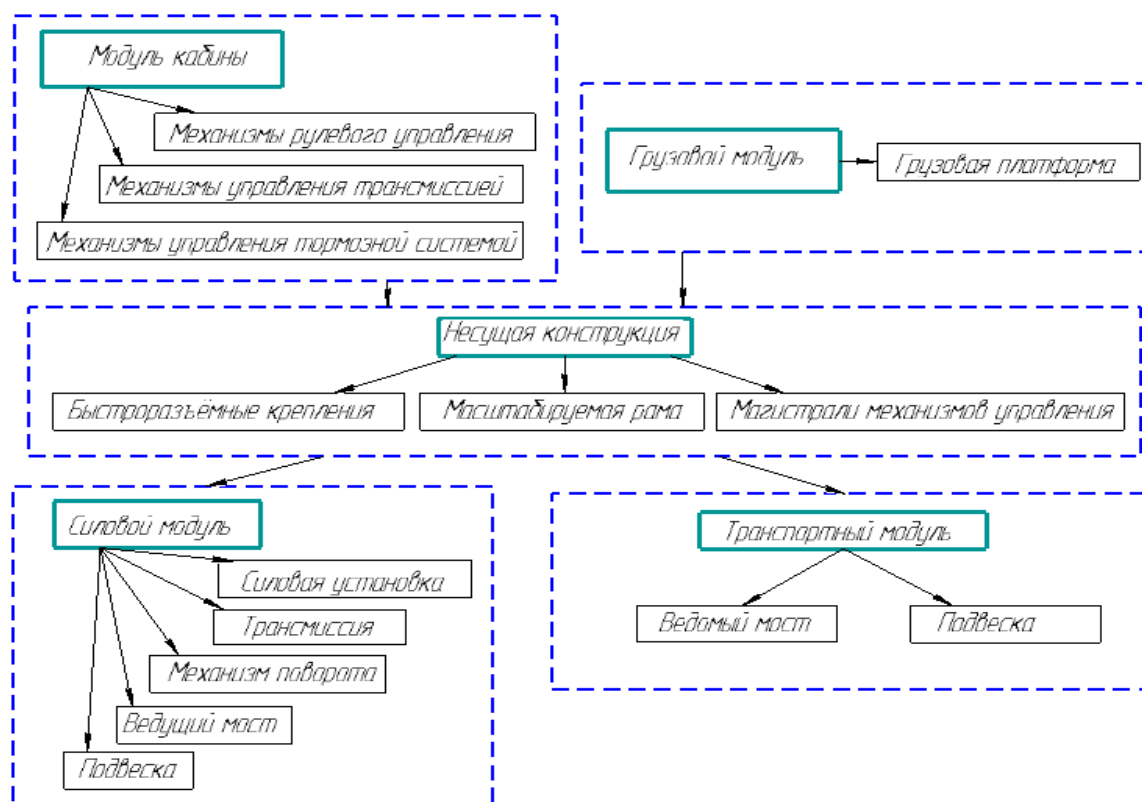


Рис. 1. Вариант иерархического построения конструкции модульного грузового транспортного средства

Изменяемыми являются расстояние от педали газа до переднего моста, унифицированными размерами – размеры колесной базы, свесов, колеи и колес. Состыковывая модули различных размеров на базе одной платформы можно собрать автомобили различного класса и типа.

Сближение конструкции двигателей и унификация их расположения позволили добиться полной взаимозаменяемости различных моторно-трансмиссионных установок. На базе этой платформы создано множество моделей концерна, таких, как Volkswagen Polo, Beetle, Golf, Jetta, Scirocco, Passat, Tiguan, Audi A3, Skoda Octavia, Seat Leon.

В Советском Союзе в конце 1980-х гг. велись разработки прототипов магистральных тягачей нового поколения. Самым примечательным среди них был проект генерального конструктора «ОАО МАЗ» Михаила Степановича Высоцкого (10.02.1928 – 25.02.2013) МАЗ 2000 «Перестройка» (рис. 3).

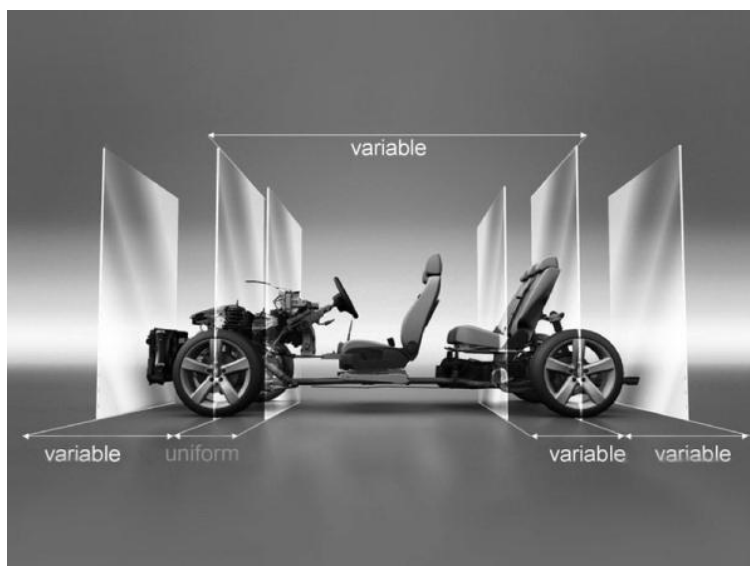


Рис. 2. Модульная платформа MQB

В передней части автомобиля располагался блок, состоящий из двигателя, коробки передач, переднего ведущего моста с подвеской и рулевого управления. Задняя же часть могла собираться из независимых

модулей. Таким образом, имелась возможность изменения длины и грузоподъемности магистрального автопоезда путем добавления нескольких грузовых блоков. К сожалению, прототип в серию не пошел, но идея осталась, актуальность ее применения в современном процессе создания транспортных средств высока.



Рис. 3. Фото прототипа МАЗ 2000 «Перестройка» (экземпляр №1)

САПР Solid Works Motion

Solid Works Motion (COSMOS Motion) – модуль, позволяющий проводить кинематическое и динамическое исследование математических моделей различного уровня сложности. В данной работе исследуется кинематика и динамика транспортного средства (автобуса). Целью Solid Works Motion является анализ движения механизмов. Данный функциональный модуль имитирует движение расчетной модели, базируясь на созданной 3D сборке. Добавление использует уровни «Движение сборки» и «Физическое моделирование», являющиеся базовыми для конфигурации Solid Works Standard. После проведения расчета формируются эпюры перемещений, скоростей, ускорений и прочих параметров каждой из точек 3D-модели.

Операции преобразования 3D сборки в расчетную модель следующие.

– Основная часть расчетной модели создается в Solid Works Standard. Соединения Motion представляют собой сопряжения в Solid Works.

- В дополнение к сопряжениям можно задать коэффициенты трения и параметры взаимодействия «трущихся» деталей.
- Сопряжения (применительно к анализу) могут быть заменены податливыми втулками, обладающими заданной жесткостью и демпфирующими свойствами.
- В интерфейсе сопряжений Solid Works также определяются грани, воспринимающие усилия, с целью последующего использования результатов динамического анализа в Simulation.
- Модуль Motion допускает расчет на модели, в которой отсутствует твердотельная информация. В этом случае используются компоновочные эскизы, созданные в контексте сборки. Для выполнения динамического анализа соответствующим блокам должны быть присвоены массово-инерционные характеристики.

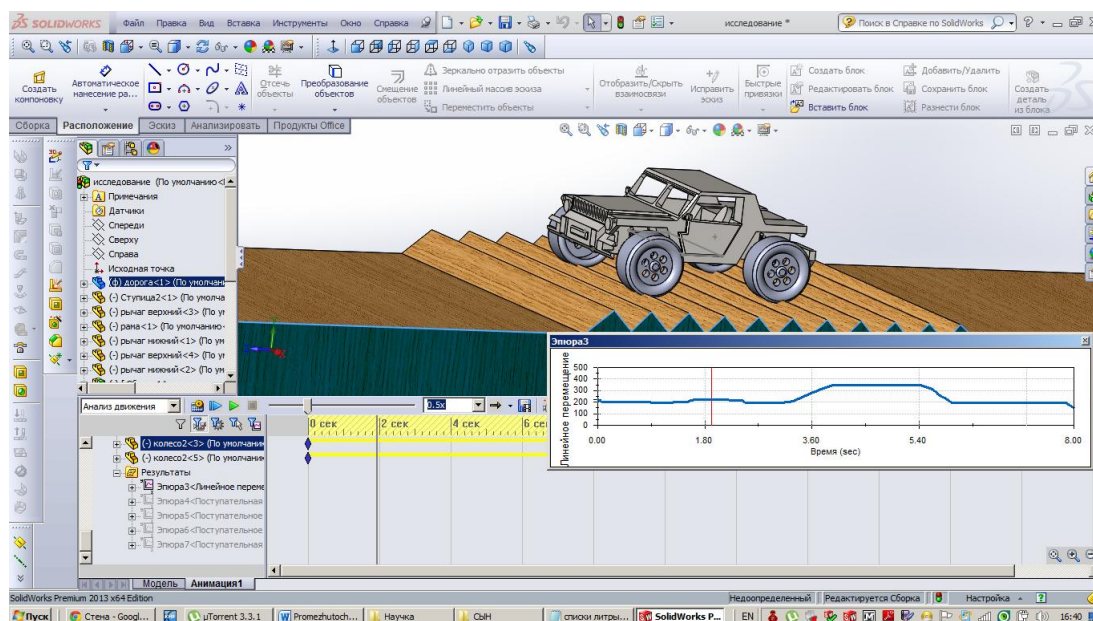


Рис. 4. Математическая модель движения транспортного средства по неровностям в Solid Works Motion

Условия, определяющие движение следующие.

- Возможность создания виртуальных пружин и демпферов, в общем случае, нелинейных. Возможность придания пружине вязкостных свойств.

- Пространственные контакты, характеризующиеся демпфирующими свойствами и жесткостью контакта.
 - Задание действующих сил, моментов, приложенных к объектам сборки, подчиняющихся математическому закону пользователя.
 - Возможность учитывать гравитационную силу.
 - Пространственный контакт в вычислительной процедуре может быть интерпретирован как контакт между реальными объектами модели или как взаимодействие их упрощенных моделей, полученных триангуляцией.
 - Алгоритм идентифицирует кинематически-переопределенные модели и автоматически корректирует соединения.
 - Все вычисления выполняются в зависимости от реального времени.
- Рассмотрим управление вычислительным процессом.
- В модуле Solid Works Motion имеются три вычислительных процедуры, интегрирующие уравнения движения. Пользователь может выбрать процедуру в зависимости от особенностей задачи.
 - В процессе решения может осуществляться визуализация движения модели.
- Обработка результатов исследования.
- Данные по кинематическим и динамическим характеристикам (перемещение, скорость, ускорение, сила, момент) системы в численном, табличном, графическом виде для соединений, пружин и демпферов, а также характерных точек модели.
 - Анимация результатов средствами Solid Works Animator.
 - Создание траекторий характерных точек моделей и сохранение их в качестве кривых Solid Works.
 - Передача результатов динамического анализа– сил в сопряжениях и инерционных нагрузок в модуль Solid Works Simulation.

Методика проведения исследования движения математической модели транспортного средства

Рассмотрим методику проведения исследования движения на примере математической модели переднеприводного автомобиля 4x2.

Первым этапом исследования является построение 3D сборки транспортного средства (рис. 5).

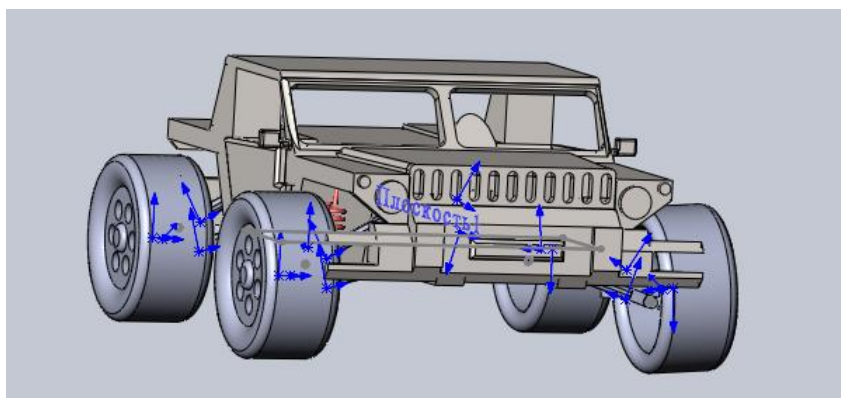


Рис. 5. Твёрдотельная 3D-модель багги (4x2)

Исследуемый тип подвески – рычажная независимая (рис. 6). Данная модель состоит из 17 элементов.

Были спроектированы детали: колесо, рычаг подвески верхний, рычаг подвески нижний, ступицы колес (левая и правая), несущий кузов. Каждой детали присвоена соответствующая масса. Далее детали объединялись в сборку, накладывались соответствующие сопряжения.

Вторым этапом является проектирование трассы. Создается деталь, представляющая собой трассу с препятствиями различной конфигурации (рис. 7). В данном случае модель содержит два препятствия, условно названные как «Выступы» и «Подъем-спуск». При испытании математической модели автобусов используются искусственные неровности типа «лежачий полицейский», спроектированные в соответствии с ГОСТ Р 52605-2006.

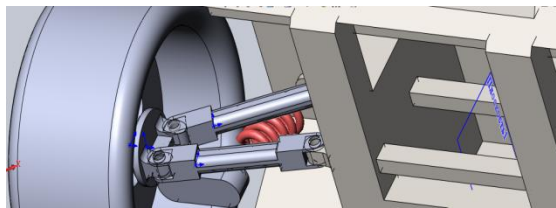


Рис. 6. Конструкция подвески рассматриваемой модели

На третьем этапе трасса и автомобиль объединяются в сборку, задаются соответствующие сопряжения. С помощью добавления Solid Works Motion создаем исследование. Движение – прямолинейное, равномерное. Тип исследования – анализ движения. Задается симуляция 3D контакта каждого из колес автомобиля и дороги соответствующей командой Solid Works Motion. Скольжением пренебрегаем, установив значение коэффициента трения в положение «Липкий» в параметрах 3D контакта. Теперь необходимо задать упругие, демпфирующие элементы и двигатели.



Рис. 7. Общий вид испытательной трассы

Для этого на панели инструментов выбираем соответствующие элементы и устанавливаем на модель.

На четвертом этапе задаем точку на уровне головы водителя, где необходимо замерить вертикальные перемещения, скорости и ускорения для оценки перегрузки водителя во время преодоления препятствий. Запускаем расчет. Во вкладке «Результаты» можно отобразить необходимые эпюры в заданной точке и сделать вывод о плавности хода модели. Вертикальные ускорения в точке, соответствующей голове водителя, при заданной скорости движения должны быть меньше $1,0g$. Если условие выполняется, то плавность хода удовлетворительна.

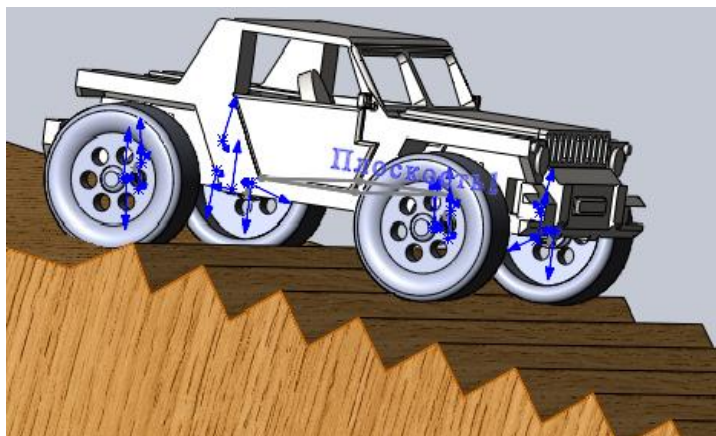


Рис. 8. Въезд на препятствие «выступы»

По данным графиков (рис. 9) можно судить об эффективности работы систем поддрессоривания и, путем варьирования характеристик направляющих, упругих и демпфирующих элементов, а также положения центра тяжести и геометрических характеристик самой модели (база, колея, передний и задний свесы), добиться оптимального результата по плавности хода модели.

Математическая модель дорожного полотна с искусственной неровностью

Моделирование геометрии искусственной неровности (рис. 10) осуществлялось в соответствии с ГОСТ Р 52605–2006. Информация о геометрических характеристиках «лежачего полицейского» указана в приложении данной работы. Ширина дорожного полотна – 3 м, длина – 10 м. 3D контакт колес и дорожного полотна – «абсолютно липкий» (отсутствует скольжение колес при движении).

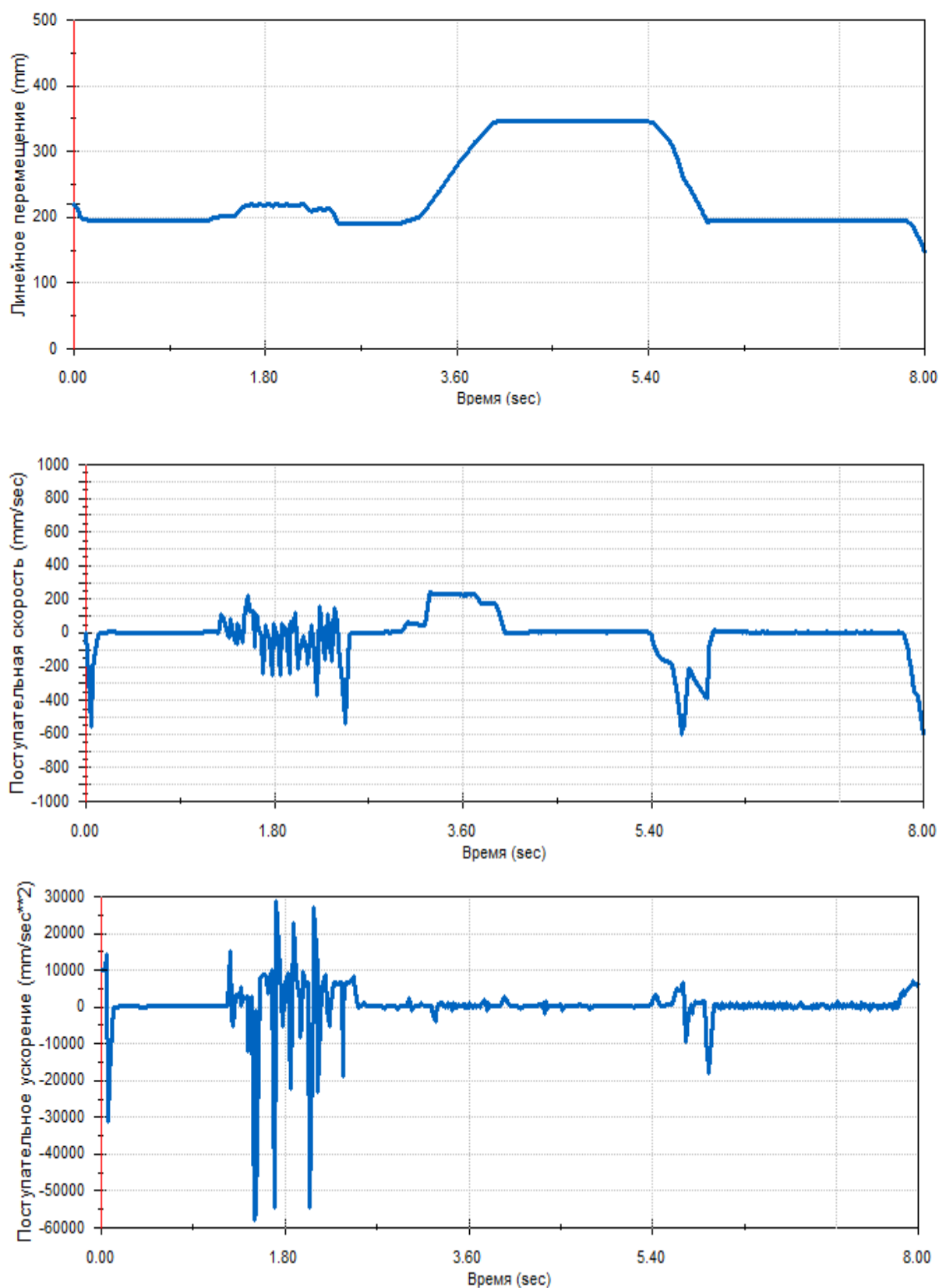


Рис. 9. Эпюры вертикального перемещения, скорости и ускорения в исследуемой точке (уровень головы водителя)

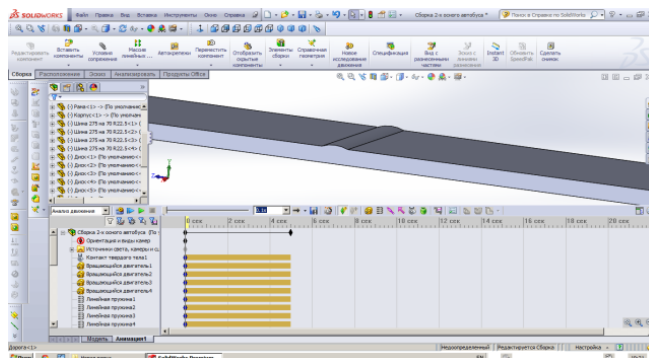


Рис. 10. Модель искусственной неровности

Математическая модель заднего и переднего мостов в сборе

В качестве прототипа моделирования была выбрана зависимая автобусная пневмобаллонная подвеска автобуса Scania (рис. 11), потому что такая конструкция нашла широкое применение среди низкопольных современных автобусов.



Рис. 11. Пневматическая зависимая подвеска Scania

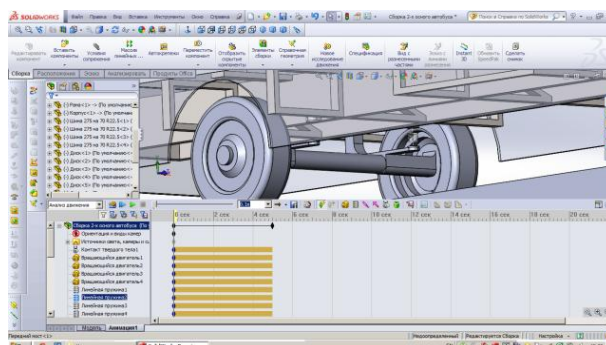


Рис. 12. Передний мост

Пневмоподвески широко применяются на городских и междугородных автобусах, причем спереди пневмоэлементы являются составной частью как зависимых, так и независимых по кинематике подвесок (рис. 12).

Пневмоподвеска легче рессорной, обеспечивает более высокую плавность хода и дает возможность регулировать расстояние от пола кузова до поверхности дороги. Это особенно важно для грузовых автомобилей, где необходимо облегчить процесс погрузки-разгрузки автомобиля у пандусов, складских помещений и т.п. Пневматическая подвеска автобусов обеспечивает постоянство уровня пола вне зависимости от количества пассажиров, что увеличивает комфорт и безопасность при их посадке и высадке. Конструкция пневматических подвесок некоторых автобусов дает возможность дополнительно понижать уровень пола на остановках.

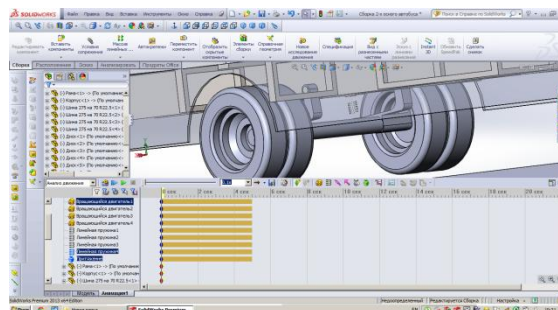


Рис. 13. Задний мост

Различают два типа пневматических упругих элементов:

- 1) с переменной эффективной площадью, зависящей от перемещения опорных фланцев элемента (обычно резино-кордные);
- 2) поршневого типа, у которых в процессе деформации эффективная площадь остается постоянной.

Наибольшее распространение получили резино-кордные двойные пневмобаллоны. Такой баллон устанавливается между опорными

фланцами (пластинами) подвески и крепится к ним с помощью винтов, при этом буртики оболочки зажимаются между фланцами, герметизируя внутреннюю полость. Кольцо ограничивает радиальное расширение, обеспечивает правильное складывание оболочек при сжатии, способствует повышению несущей способности и износостойкости баллона.

Собственная частота колебаний при увеличении статической нагрузки несколько уменьшается, тем медленнее, чем выше давление газа, а потому плавность хода пустого и наполненного людьми автобуса не может быть одинаковой.

Долговечность баллонов определяется не только их собственной конструкцией и качеством полиамидных материалов и резины, но также и конструкцией направляющего аппарата подвески. Его кинематика должна быть такой, чтобы баллоны работали только на сжатие. Число слоев корда (обычно это нейлон и капрон) равно двум – четырем. Внутренний слой резины должен быть не только воздухонепроницаемым, но и маслостойким. Внешний слой должен сопротивляться воздействию лучей солнца, озона, бензина – для него применяют неопрен. Таким образом, пневмобаллон состоит из нескольких слоев прорезиненной кордной ткани (каркас) с внутренним герметизирующим и внешним защитным слоями.

Пневматический упругий элемент целесообразно применять в двух случаях: когда поддрессоренная масса при загрузке автомобиля меняется в широких пределах (задние подвески грузовых автомобилей, в том числе седельных магистральных тягачей, автобусов, прицепов), или когда к плавности хода предъявляются особые требования, для выполнения которых необходимо регулирование характеристики подвесок (рис. 13). В этом случае параллельно пневмобаллонам часто устанавливают дополнительные пневморезервуары, обеспечивающие более пологую характеристику упругого элемента.

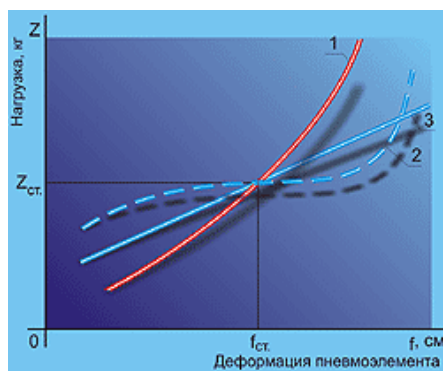


Рис. 14. Характеристика пневматического упругого элемента

На графике (рис. 14) приведены характеристики различных пневмоэлементов. По мере сжатия простого баллона растет не только давление воздуха в нем, но и его эффективная площадь, поэтому жесткость подвески увеличивается (кривая 1). При дополнительных резервуарах подвеска на двухсекционных баллонах обеспечивает частоту колебаний подрессоренных масс не более 80 мин^{-1} (кривая 2). Трехсекционные баллоны позволяют снизить эту частоту еще на 10–15%.

Стремление уменьшить габариты упругого элемента, собственную частоту колебаний и емкость дополнительных резервуаров привело к развитию конструкций с пневмоэлементами рукавного и диафрагменного типа (кривая 3).

Математические модели прямолинейного движения двухосного, трехосного, трехосного сочлененного автобусов с зависимой подвеской

Рассмотрим прямолинейное движение математических моделей двухосного, трехосного и трехосного сочлененного автобусов. Исследование проводится в среде добавления Solid Works V13 Motion. Допустим вертикальные и продольно-угловые колебания машин. Остальными видами колебаний пренебрегаем.

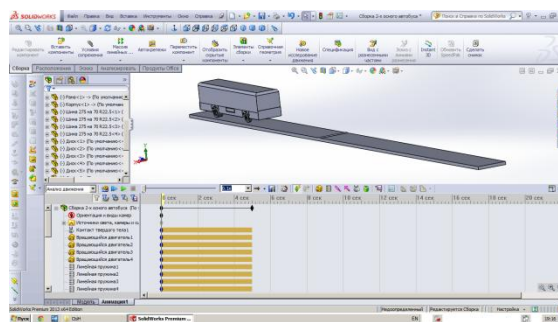


Рис. 15. Математическая модель двухосного автобуса

Геометрические и массовые параметры моделей двухосного, трехосного и трехосного сочлененного автобусов взяты из сводной таблицы, которая была составлена после создания классификатора современных образцов автобусов. Были взяты средние значения геометрических и массовых параметров автобусов как исходные данные.

Рассмотрим критический случай нагружения автобусов, когда его масса равна максимально допустимой. Приведем массы трансмиссии, силовой установки и ходовой части к раме автобуса. Масса корпуса автобуса равна полной массе за вычетом массы приведенной рамы. Массы рам соответственно для двухосного, трехосного и трехосного сочлененного автобусов равны: 10000, 14 593, 9500 (5600) кг. Массы корпусов соответственно: 6730 кг, 8500 и 7500 (4500) кг. Массы задаются через пункт «массовые характеристики детали» пользователем. Положение центра тяжести определяется в зависимости от геометрии конструкции.

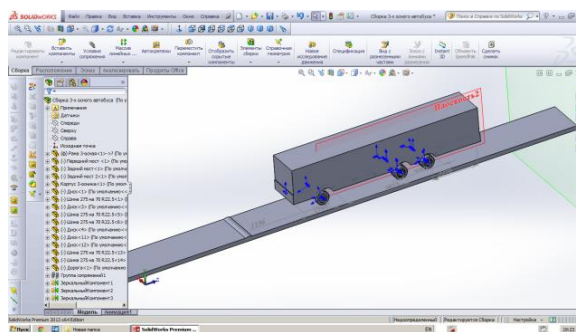


Рис. 16. Математическая модель трехосного автобуса

Заданные массы по умолчанию можно варьировать в процессе исследования для получения оптимальной характеристики работы подвески при различных режимах. Заданы упругие и демпфирующие элементы. Характеристика упругого элемента – нелинейная (пневмобаллон).

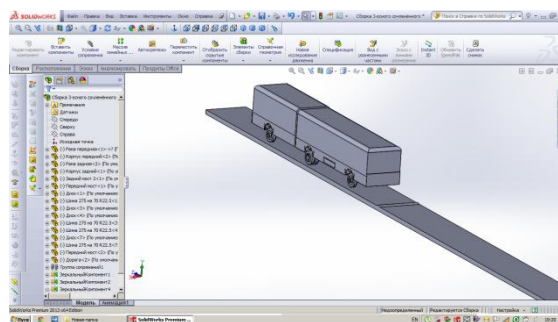


Рис. 17. Математическая модель трехосного сочлененного автобуса

Характеристика демпфирующего элемента – линейная (гидравлический амортизатор). Двигатель установлен на колеса задней оси, колеса вращаются с частотой 800 об/мин, что приблизительно соответствует скорости в 40 км/ч.

Математические модели двухосного, трехосного и трехосного сочлененного автобусов представлены на рис. 15, 16, 17 соответственно. Сочленение сцепленного автобуса выполняется в виде шарнира с одной вращательной степенью свободы. Оно представлено на рис. 18.

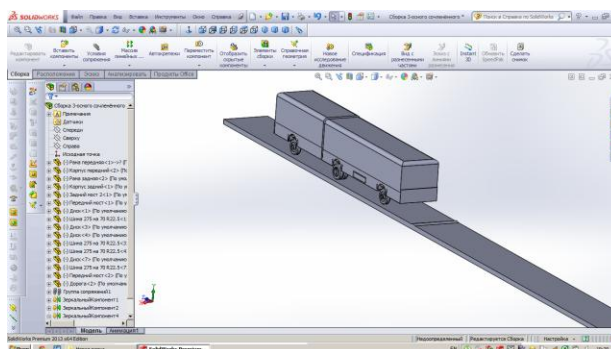


Рис. 18. Шарнирное соединение трехосного сочлененного автобуса

Дифференциальные уравнения колебаний двухосного автобуса при наезде на единичную неровность

Рассмотрим колебания в диапазоне 0-15-20 Гц. Упрощенная пространственная расчетная схема показана на рис. 19.

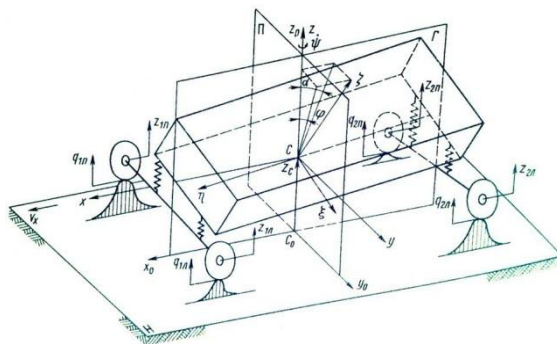


Рис.19. Расчетная схема колебаний двухосного автобуса с зависимой передней и задней подвесками

Приняты следующие допущения.

1. Кузов автомобиля – твердое тело, пренебрегаем деформацией рамы на кручение и изгиб.
2. Центр тяжести кузова находится в продольной плоскости и движется так, что проекция его скорости на плоскость H остается постоянной.
3. Отсутствует влияние продольных и поперечных реакций дороги на колебания масс автомобиля.
4. Оси мостов движутся в плоскостях, перпендикулярных плоскости рамы, траектории центров масс мостов – прямые.
5. Моменты инерции мостов относительно осей вращения колес равны нулю.
6. Неуравновешенность и гироскопические моменты вращающихся масс трансмиссии и двигателя равны нулю.
7. Колебания масс автомобиля малы.
8. Контакт шин с дорогой точечный.

Дифференциальные уравнения составим для главной подвижной системы координат с помощью уравнений Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dT} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial T}{\partial q_j} = Q_j.$$

Положение автомобиля определяется обобщенными координатами Zc – расстояние от плоскости H до центров колес (колеса передней оси имеют индекс 1, задней – 2, левой и правой колеи – л и п) и углом α (угол продольного крена). После серии преобразований, представленных в [1], получим систему дифференциальных уравнений в общем случае:

$$\begin{aligned} \ddot{\phi} &= \frac{d_p}{I_{xx} - \frac{(I_{xz}^n)^2}{I_{zz}}} (F_{1л} + F_{2л} - F_{1п} - F_{2п}); \\ \ddot{\alpha} &= -\frac{a}{I_{yy}} (F_{1л} + F_{1п}) + \frac{b}{I_{yy}} (F_{2л} + F_{2п}); \\ \ddot{z}_C &= \frac{1}{M_{\Pi}} (F_{1л} + F_{1п} + F_{2л} + F_{2п}) - g; \\ \ddot{z}_{1л} &= \left(\frac{1}{M_1} + \frac{d_k^2}{I_{xx1}} \right) N_{1л} + \left(\frac{1}{M_1} + \frac{d_k^2}{I_{xx1}} \right) N_{1п} - \\ &\quad - \left(\frac{1}{M_1} + \frac{d_k d_p}{I_{xx1}} \right) F_{1л} - \left(\frac{1}{M_1} + \frac{d_k d_p}{I_{xx1}} \right) F_{1п} - g; \\ \ddot{z}_{1п} &= \left(\frac{1}{M_1} + \frac{d_k^2}{I_{xx1}} \right) N_{1п} + \left(\frac{1}{M_1} + \frac{d_k^2}{I_{xx1}} \right) N_{1л} - \\ &\quad - \left(\frac{1}{M_1} + \frac{d_k d_p}{I_{xx1}} \right) F_{1п} - \left(\frac{1}{M_1} + \frac{d_k d_p}{I_{xx1}} \right) F_{1л} - g; \\ \ddot{z}_{2л} &= \left(\frac{1}{M_2} + \frac{d_k^2}{I_{xx2}} \right) N_{2л} + \left(\frac{1}{M_2} + \frac{d_k^2}{I_{xx2}} \right) N_{2п} - \\ &\quad - \left(\frac{1}{M_2} + \frac{d_k d_p}{I_{xx2}} \right) F_{2л} - \left(\frac{1}{M_2} + \frac{d_k d_p}{I_{xx2}} \right) F_{2п} - g; \\ \ddot{z}_{2п} &= \left(\frac{1}{M_2} + \frac{d_k^2}{I_{xx2}} \right) N_{2п} + \left(\frac{1}{M_2} + \frac{d_k^2}{I_{xx2}} \right) N_{2л} - \\ &\quad - \left(\frac{1}{M_2} + \frac{d_k d_p}{I_{xx2}} \right) F_{2п} - \left(\frac{1}{M_2} + \frac{d_k d_p}{I_{xx2}} \right) F_{2л} - g. \end{aligned}$$

Здесь F_{ij} – силы со стороны подвесок, N_{ij} – нормальные реакции дороги, I_{xx1} , I_{xx2} – моменты инерции мостов, M_1 , M_2 – массы мостов, M_{Π} – подрессоренная масса.

Так как лежащий полицейский имеет равную высоту по всей ширине, то $Z_{1л} = Z_{1п}$ и $Z_{2л} = Z_{2п}$. Система уравнений сводится к 5 уравнениям. В Solid Works Motion датчики ускорений устанавливаются в центре тяжести и над передним и задним мостами. Затем показатели плавности хода сравниваются с предельно допустимыми по стандартам ISO, VDI или нормам № 1102-73.

Разработанные модели прямолинейного движения двухосного, трехосного и трехосного сочлененного автобусов, а так же метод осуществления математического моделирования средствами Solid Works Motion позволяют решать задачи оптимизации параметров плавности хода перспективного семейства автобусов модульной конструкции с унифицированными узлами подвески. Также модели дают наглядное представление о работе подвески при наезде на препятствие при различных скоростях движения, позволяют судить о влиянии распределения масс при различной загрузке автобуса (полный, пустой, частично нагруженный). Результатом исследования являются графики перемещений, скоростей, ускорений исследуемых точек автобуса (центр тяжести, место водителя и т.д.). Для этого, необходимо задать конкретные параметры и запустить расчет. Таким образом, задача представляет собой серию проведенных исследований движения моделей.

Результаты работы могут быть использованы при проектировании новых ТС с модульной компоновкой.

Математические модели, созданные в САПР Solid Works, можно использовать в учебном процессе, как наглядное представление работы подвески ТС при движении на участке с неровностями.

В данной статье стоит упомянуть о том, что существуют специализированные САПР, (например, «Эйлер»), функциональная база которых позволяет решать данную и подобные задачи моделирования движения автотранспортного средства гораздо быстрее и удобнее, что позволит получить более точный результат.

Литература

1. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель / под ред. А.А. Хачатурова. М.: Машиностроение, 1976.
2. Яблочников Е.И., Куликов Д.Д., Молочник В.И. Моделирование приборов, систем и производственных процессов: учеб. пособие. СПб: СПбГУИТМО, 2008. 156 с.
3. Князьков В.В., Алексеева Р.Е., Фазлулин Э.М. Моделирование и инженерный анализ в интегрированной среде Solid Works / COSMOS Woks/. Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров. Междунар. конф. ААИ МГТУ «МАМИ», 27–28 марта 2012 г. М., 2012. С. 60–66.
4. Каталог САПР. Программы и производители / сост. Латышев П.Н. М.: Солон-Пресс, 2006. 608 с. (Серия «Системы проектирования»).
5. Большаков В., Бочков А., Сергеев А. 3D-моделирование в Auto CAD, КОМПАС-3D, Solid Works, Inventor, T-Flex. СПб: Питер, 2010.
6. Павлов В.В., Кувшинов В.В. Теория движения МГ и КМ: учебник для вузов. Чебоксары: ООО «Чебоксарская типография №1», 2011. 424 с.

References

1. Dinamika sistemy doroga – shina – avtomobil' – voditel' / pod red. A.A. Hachaturova, Moscow, Mashinostroenie, 1976.

2. Jablochnikov E.I., Kulikov D.D., Molochnik V.I. Modelirovanie priborov, sistem i proizvodstvennyh processov, SPb, SPbGUITMO, 2008, 156 p.

3. Knjaz'kov V.V., Alekseeva R.E., Fazlulin Je.M. Modelirovanie i inzhenernyj analiz v integrirovannoju srede Solid Works / COSMOS Woks/, Avtomobile- i traktorostroenie v Rossii: priority razvitiya i podgotovka kadrov. Mezhdunar. konf. AAI MGTU «MAMI», 27–28 marta 2012, Moscow, 2012. pp. 60–66.

4. Katalog SAPR. Programmy i proizvoditeli / sost. Latyshev P.N, Moscow, Solon-Press, 2006, 608 p. (Serija «Sistemy proektirovaniya»).

5. Bol'shakov V., Bochkov A., Sergeev A. 3D-modelirovanie v AutoCAD, KOMPAS-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex, SPb, Piter, 2010.

6. Pavlov V.V., Kuvshinov V.V. Teorija dvizheniya MG i KM, Cheboksary: OOO «Cheboksarskaja tipografija №1», 2011, 424 p.

V. Filatov

CAD Solid Works Motion use for research motion smoothness of the vehicle

Abstract. In the article the description of the principle of a modularity of a vehicle design is given. The research method of motion smoothness of buses of a perspective modular design is considered, the technique of creation of mathematical solid-state model of the vehicle is described by means of CAD "Solid Works Motion" and the solution of a task on optimization of parameters of motion smoothness.

Keywords: principle of a modularity, motion smoothness, CAD, Solid Works Motion.