

УДК 629.113

ИМИТАЦИЯ УСЛОВИЙ АВАРИЙНОГО НАГРУЖЕНИЯ КАРКАСА СПОРТИВНОГО АВТОМОБИЛЯ КЛАССА «ФОРМУЛА СТУДЕНТ»

Гончаров К. О., Кулагин А. Л., Тумасов А. В., Орлов Л. Н.

ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексева, Нижний Новгород, Россия (603950, ГСП-41, Нижний Новгород, ул. Минина, 24), e-mail: zemadm@mail.ru

В статье представлено описание научно-исследовательской работы, выполняемой сотрудниками НГТУ в рамках участия в международном проекте Formula Student. Содержатся характерные требования по геометрическим особенностям каркасов болидов, которым должны соответствовать исследуемые несущие конструкции автомобилей. В работе рассматривается моделирование аварийных режимов нагружения, а также модели нагружения каркаса гоночного автомобиля при таких видах воздействия, как опрокидывание и фронтальное столкновение. Приводятся результаты расчета модели каркаса безопасности на опрокидывание, фронтальное столкновение, показываются напряженно-деформированные состояния модели несущего каркаса гоночного автомобиля в аварийных режимах нагружения. Имитационное моделирование аварийных ситуаций способствует оптимальному выбору конструкции рамы и каркаса безопасности автомобиля, позволяет определить наиболее опасные с точки зрения пассивной безопасности сечения и элементы конструкции пространственной рамы автомобиля класса Formula Student.

Ключевые слова: имитация аварийного нагружения, расчет на опрокидывание, режим нагружения, каркас безопасности, напряженно-деформированное состояние.

IMITATION OF CRASH LOAD OF THE FRAME OF SPORTS CAR CLASS «FORMULA STUDENT»

Goncharov K. O., Kulagin A. L., Tumasov A. V., Orlov L. N.

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia (603950, Nizhny Novgorod, 24, Minin Street), e-mail: zemadm@mail.ru

The paper describes the research work carried out by employees of the NSTU through participation in the international project Formula Student. Contains specific requirements for the geometric features of carcasses of cars, which must comply with the studied structural engineering vehicles. In this paper the simulation of emergency operation of loading and loading frame model racing car with these types of exposure as rollover and frontal collision. Results of the calculation model skeleton safety rollover, frontal collision, showing the stress-deformed state of the model with the structural framing race car in emergency mode of loading. Simulation modeling of emergency promotes optimal choice of frame and safety cage of the car, to determine the most dangerous in terms of passive safety sections and elements of design space frame car class Formula Student.

Key words: crash-test imitation, calculation of the rollover, the mode of loading, roll cage, stress-state.

Одной из важнейших задач при конструировании спортивных автомобилей является задача обеспечения их высокой степени пассивной безопасности. Конструкция пространственной рамы и каркаса безопасности выполняет функцию сохранения жизни пилота при аварийных ситуациях – столкновениях, опрокидываниях.

Накопленный опыт по организации соревнований спортивных автомобилей класса «Formula Student SAE» нашел отражение в техническом регламенте [6] по проектированию автомобилей данного класса.

Требования регламента «Formula Student SAE» содержат описание геометрических особенностей каркасов болидов, которым должны соответствовать данные несущие конструкции автомобилей.

Конструкция каркаса безопасности болида класса Формула Студент [6] состоит из нескольких основных компонентов (рис. 1).

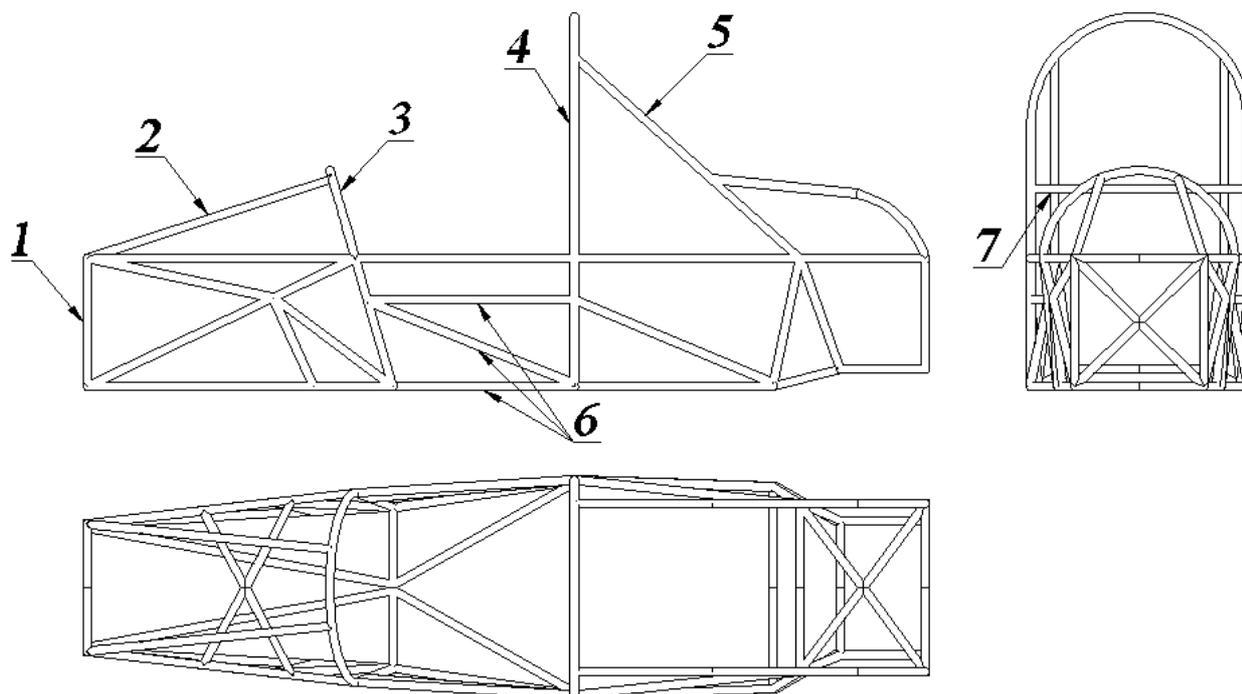


Рис. 1. Базовая конструкция каркаса безопасности болида класса Формула Студент: 1 – фронтальная защитная структура, 2 – распорка передней дуги, 3 – передняя дуга, 4 – главная дуга, 5 – распорка главной дуги, 6 – элементы боковой защитной структуры, 7 – элемент крепления плечевых ремней безопасности

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к легковым автомобилям, рассматривались следующие режимы эксплуатационных и аварийных нагрузок [2, 3, 4, 5]:

- опрокидывание;
- лобовое столкновение со 100 % перекрытием;
- действие крутящей нагрузки [1].

Оценка прочности и жесткости каркаса по результатам расчета его стержневой и подробной конечно-элементной модели осуществляется в программных комплексах LS-DYNA и NASTRAN, на основании которых установлен характер распределения эквивалентных напряжений.

Опрокидывание легкового автомобиля по Правилам ЕЭК ООН имитируется плитой, давящей на левый передний угол кузова, массой равной 60 % от полной массы автомобиля.

Полная масса гоночного автомобиля класса Formula SAE составляет 300 кг (для каждого конкретного автомобиля спортивной команды масса может незначительно изменяться). Это

означает, что эквивалентная нагрузка, приложенная в вершину дуги безопасности и ближайшие узлы, располагающиеся с левой стороны, равна:

$$F = 300 \cdot 0,6 \cdot 9,81 = 1766 \text{ Н}$$

Было проведено шесть расчетов, в каждом из которых фиксировались значения деформаций дуги безопасности. В каждом из шести режимов нагружения сила прикладывалась перпендикулярно касательной в соответствующей точке дуги безопасности. Закрепления конструкции производились в местах крепления нижних рычагов передней и задней подвески по трем степеням свободы. Схема нагружения и участок дуги, на котором производились расчеты, представлены на рис. 2.

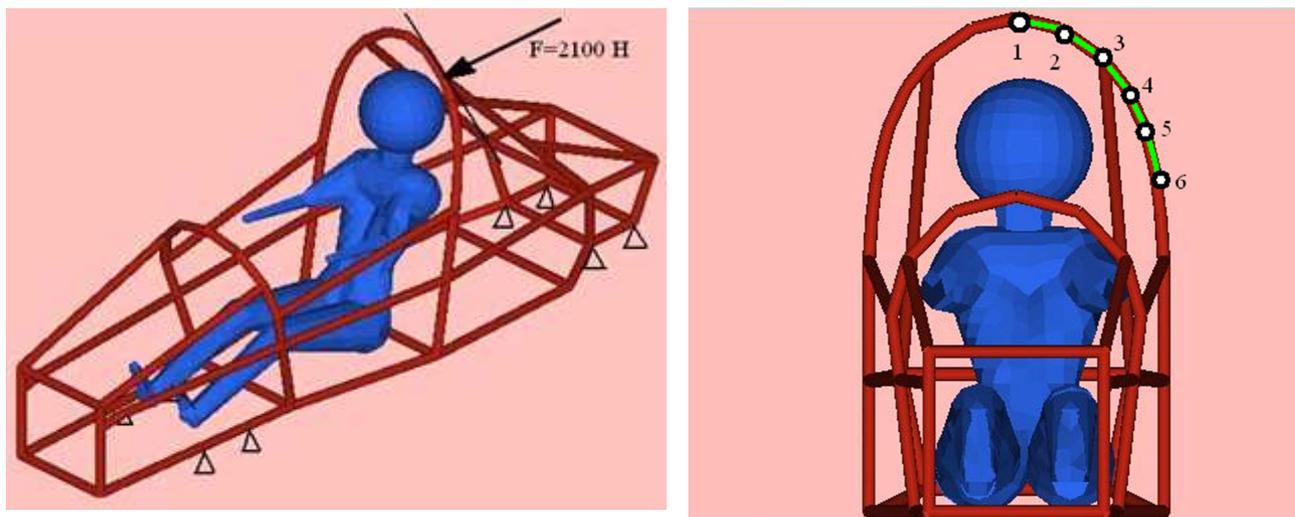


Рис. 2. Схема нагружения модели несущего каркаса гоночного автомобиля при расчете на опрокидывание и участок дуги безопасности «1-2-3-4-5-6», рассматриваемый при расчетах

Для оценки пассивной безопасности гоночного автомобиля в условиях опрокидывания были выбраны следующие параметры расчета: время расчета – 1 секунда, шаг интегрирования 0.05 секунд; сила изменяется во времени по линейному закону $F(t) = 2t$.

Результаты расчета представлены на графике, изображенном на рис. 3. Из графика видно, что наиболее нагруженным является узел № 4 (рис. 2). Именно в этом узле возникают наибольшие деформации, равные 19 мм. В начальный момент времени в условиях отсутствия деформаций регламентируемое расстояние составляло 120 мм. С учетом деформаций минимальное расстояние от дуги безопасности до шлема водителя становится равным разнице значений, то есть 101 мм (рис. 4).

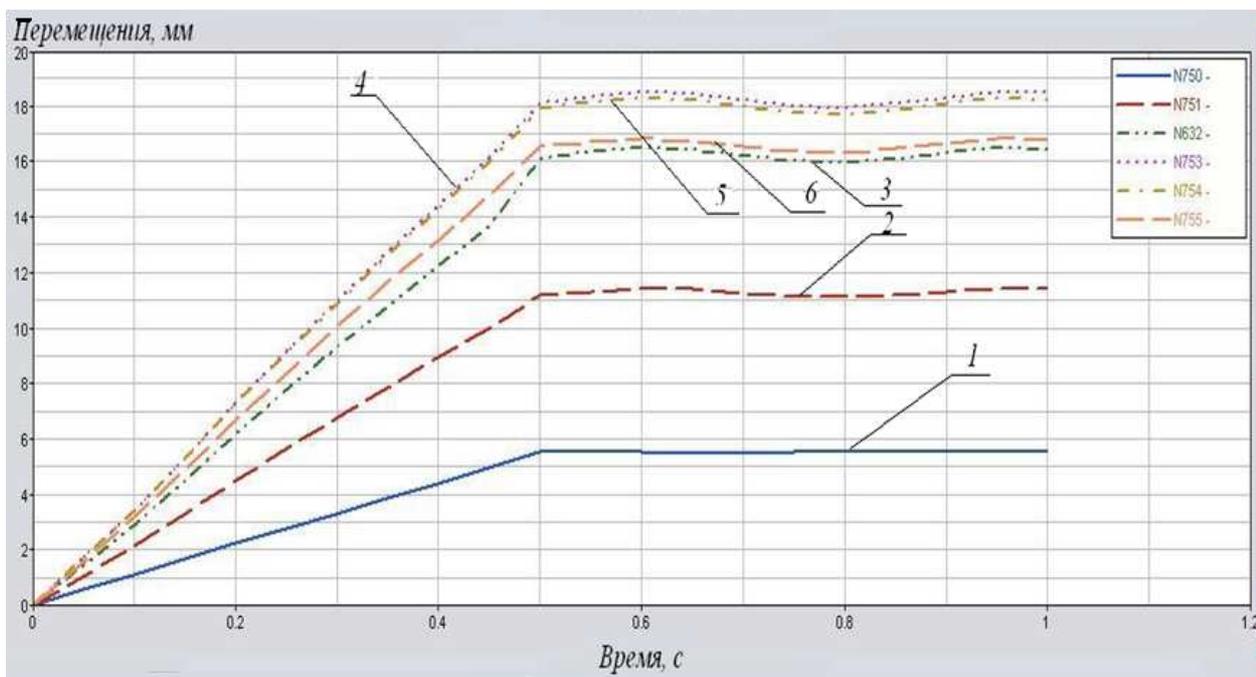


Рис. 3. График зависимостей узловых перемещений от времени

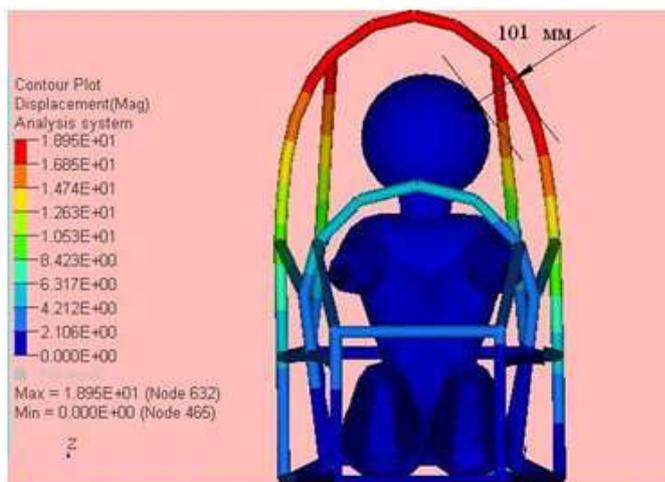


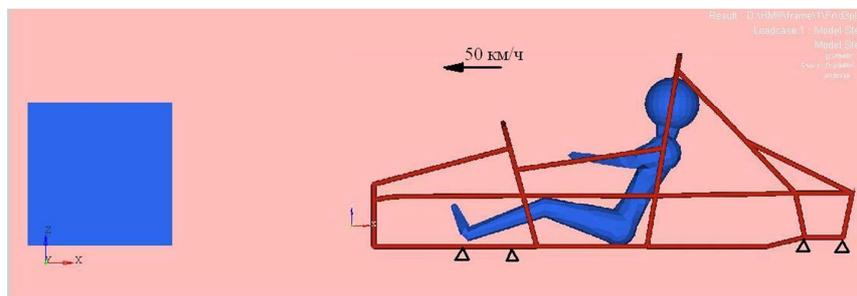
Рис. 4. Результаты расчета модели несущего каркаса на опрокидывание с максимальными деформациями дуги безопасности

Регламентируемое расстояние от дуги безопасности до шлема пилота по нормали составляет 50 мм [6]. Исходя из результатов расчета, можно сделать вывод о том, что конструкция отвечает требованиям безопасности при опрокидывании, так как минимальное расстояние от дуги безопасности до шлема водителя с учетом максимальных деформаций дуги в два раза больше регламентируемого минимального значения.

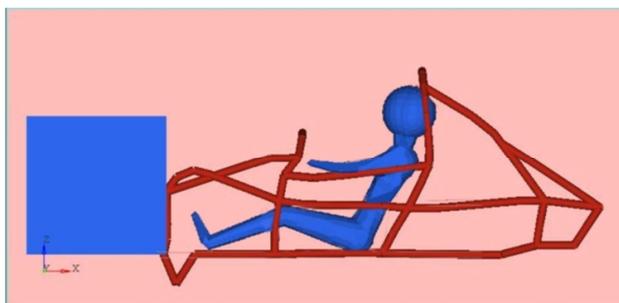
Испытание на лобовое столкновение легкового автомобиля по Правилам ЕЭК ООН производится при движении автомобиля со скоростью 50 км/ч. При этом одним из основных критериев безопасности является сохранение необходимого жизненного остаточного пространства, находясь в котором водитель не получит серьезных травм в результате удара.

Для имитации полной массы автомобиля (300 кг) принято решение о ее распределении по узлам соединения поперечин и лонжеронов, а также по местам крепления нижних рычагов подвесок. При этом основная часть массы сосредотачивается в узлах, расположенных наиболее близко к местам крепления двигателя и сиденья водителя.

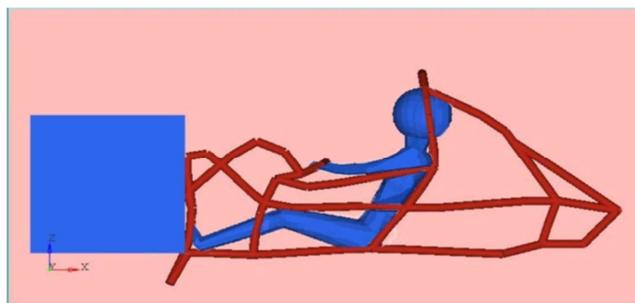
Модели автомобиля задавалась скорость равная 50 км/ч. Закрепление модели производилось по одной степени свободы (против вертикального перемещения) в местах крепления передней и задней подвесок (рис. 5).



а)



б)



в)

Рис. 5. Схема моделирования процесса лобового столкновения: а) условия моделирования столкновения, б) деформированное состояние модели несущего каркаса болида при лобовом ударе со временем расчета 0,0999 с, в) деформированное состояние модели несущего каркаса болида при лобовом ударе со временем расчета 0,1999 с

Результаты расчета показаны на рисунке 5, где представлены общие виды деформированной конечно-элементной модели несущего каркаса. По результатам можно сделать вывод о том, что остаточное пространство внутри болида достаточно для безопасного нахождения в нем водителя. Ввиду больших деформаций, можно сделать вывод о том, что необходимо провести моделирование и расчет подробной конечно-элементной модели, а также энергопоглощающего деформируемого устройства в передней части конструкции, которое предусмотрено общим регламентом [1, 6]. Исходя из имитационного эксперимента балочные элементы имеют низкую способность к поглощению энергии удара, в связи с чем целесообразно оптимизировать данную модель с учетом всех недостатков.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что данная конструкция позволяет сохранить жизненное пространство водителя в условиях лобового столкновения с препятствием, однако предельное положение ног водителя по отношению к жесткой

стенке говорит о том, что необходимо проведение дополнительных мер по усилению конструкции каркаса гоночного автомобиля.

Основываясь на результатах оптимизационного анализа конструкции каркаса гоночного автомобиля [1], было принято решение о создании подробной конечно-элементной модели каркаса гоночного автомобиля с целью проведения расчета напряженно-деформированного состояния болида в условиях лобового столкновения.

Модели автомобиля задавалась скорость равная 50 км/ч. Закрепление модели производилось по одной степени свободы (против вертикального перемещения) в местах крепления передней и задней подвесок. Результаты проведенного расчета на определенном шаге времени показаны на рис. 6.

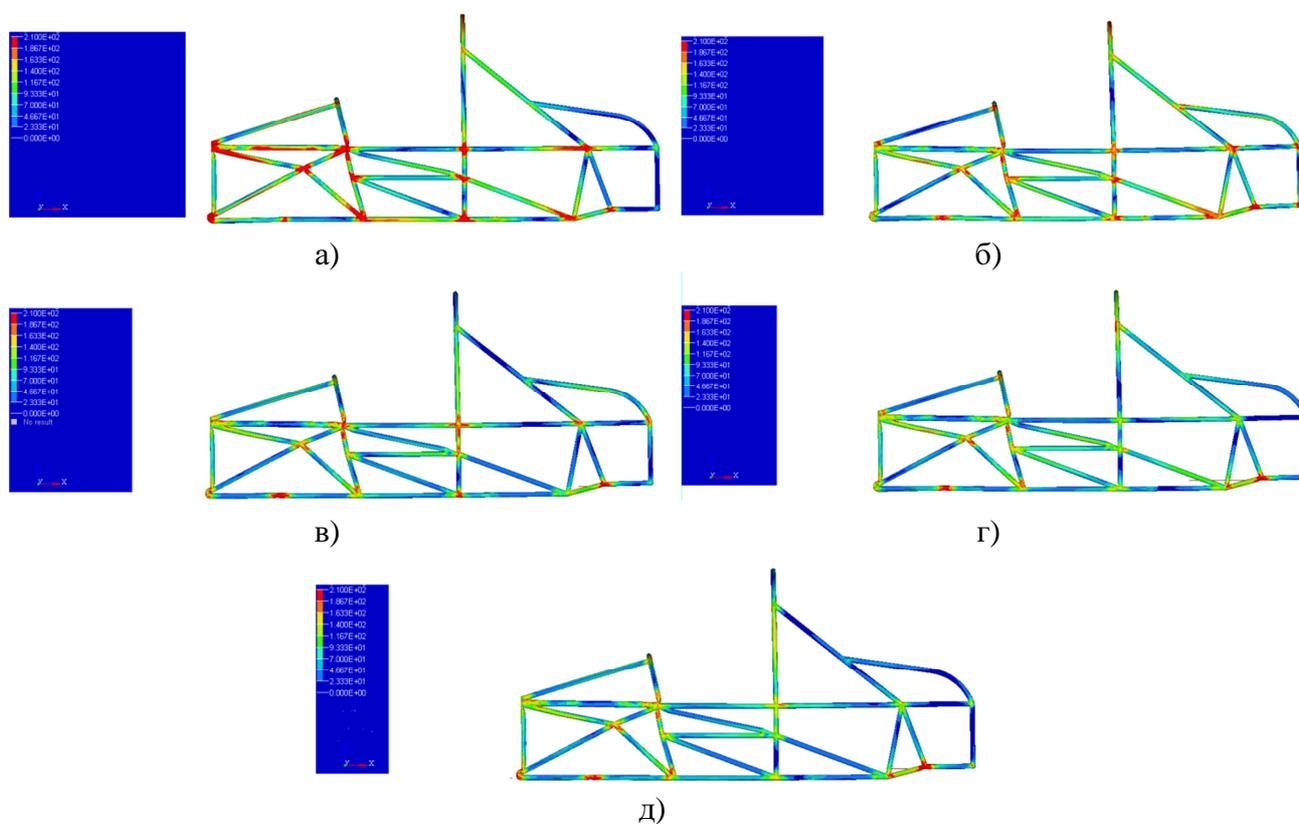


Рис. 6. Напряженно-деформированное состояние модели несущего каркаса гоночного автомобиля при лобовом ударе. Время расчета: а) 0,01 с; б) 0,02 с; в) 0,03; г) 0,04 с; д) 0,05 с

Имитационное моделирование аварийных ситуаций (опрокидывание, лобовое столкновение) позволило определить наиболее опасные с точки зрения пассивной безопасности сечения и элементы конструкции пространственной рамы гоночного автомобиля класса Formula Student, произвести проверку соответствия разработанной модели заявленному регламенту. Моделирование аварийного нагружения способствует оптимальному выбору конструкции рамы и каркаса безопасности.

Список литературы

1. Кулагин А. Л. Проектирование безотказных узлов подвески спортивного автомобиля класса «Formula Student»: дисс... магистр. по направл. 190500. – НГТУ, Нижний Новгород. – 2012. – 119 с.
2. Орлов Л. Н. Основы разработки конечно-элементных моделей кузовных конструкций автотранспортных средств. Расчеты на безопасность и прочность / Л. Н. Орлов. – Нижний Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева, 2009. – 153 с.
3. Орлов Л. Н. Оценка пассивной безопасности, прочности кузовных конструкций автомобилей и автобусов / Л. Н. Орлов. – Нижний Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева, 2005. – 130 с.
4. Тумасов А. В. Исследование свойств активной безопасности транспортных средств методом имитационного моделирования / А. В. Тумасов, А. М. Грошев. В. Г. Дыгало и др. // Журнал ААИ. – 2011. – №2. – С. 34-37.
5. Adams Herb. Chassis engineering /Adams Herb // The Berkly Publishing Group. – 1993. – 142 p.
6. Formula SAE Rules. SAE International. – 2012. – 131 p.

Рецензенты:

Беляков В. В, д.т.н., профессор кафедры «Автомобили и тракторы» НГТУ им. Р. Е. Алексеева, начальник управления научно-исследовательских и инновационных работ ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е.Алексеева», г. Нижний Новгород.

Молев Ю. И., д.т.н., профессор кафедры «Строительные и дорожные машины» ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е.Алексеева», г. Нижний Новгород.