

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО КАРКАСА РАМЫ СПОРТИВНОГО АВТОМОБИЛЯ КЛАССА «ФОРМУЛА СТУДЕНТ»

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

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

В статье представлено описание научно-исследовательской работы, выполняемой сотрудниками НГТУ в рамках участия в международном проекте Formula Student. В работе рассматривается расчетная оценка прочности пространственного каркаса безопасности спортивного автомобиля класса «ФОРМУЛА СТУДЕНТ», приведены основные требования к проектированию, обусловленные техническим регламентом международных студенческих соревнований «Formula SAE». Представлены данные по характеристикам компонентов автомобиля, включающие описание антропометрических показателей водителя, а также показатели массы и координат центра масс элементов, которые положены в основу разработки режимов нагружения. Приведены результаты нагружения стержневых моделей каркасов безопасности при различном расположении элементов, влияющих на жесткость конструкции. Описана особенность оценки прочности, секций каркаса безопасности, а также приведены результаты оптимизации конструкции каркаса с точки зрения влияния отдельных элементов конструкции на показатели жесткости.

Ключевые слова: каркас безопасности, стержневая модель, направляющий аппарат, режим нагружения.

INVESTIGATION OF PASSIVE SAFETY SPATIAL FRAME SPORTS CAR CLASS «FORMULA STUDENT»

Kulagin A. L., Goncharov K. O., 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: alexander_skb@mail.ru

The paper describes the research work carried out by employees of the NSTU, through participation in the international Formula Student project. In this paper the design of the spatial evaluation of strength safety cage sports car class "Formula Student" are the basic requirements for the design, due to the requirements of the regulation of international technical competitions «Formula SAE». The data on the characteristics of the car's components, which include a description of the driver of anthropometric indices, as well as indicators of the origin of mass and center of mass of the elements that are the basis of development modes of loading. The results of the loading rod models cage, with different arrangement of the elements affecting the rigidity of the structure. Describe the features of evaluation of strength, safety cage sections, as well as the results of optimization of the design framework for the impact of individual design elements on the performance of rigidity.

Key words: roll cage, beam model, a guiding device, the mode of loading.

Введение. Актуальность темы целиком связана с международным инженерным проектом «ФОРМУЛА СТУДЕНТ», где затрагиваются современные тенденции в проектировании, производстве и менеджменте, а также функции командной работы, такие как планирование, организация, мотивация, контроль, коммуникации, процессы разработки и принятия решения.

Расчет включает в себя детальную проработку элементов конструкции спортивного автомобиля с применением расчетных методов и современных программных пакетов, что позволяет точно и достоверно оценить характеристики спроектированных элементов при различных режимах нагружения.

Проектирование каркаса безопасности гоночного болида класса «ФОРМУЛА СТУДЕНТ» взаимосвязано с комплексом конструкционных требований и ограничений. Требования и ограничения, предъявляемые к конструкции каркаса, направлены на обеспечение безопасности жизни и здоровья пилота при аварийных ситуациях [5].

Цель исследования. Исследование свойств пассивной безопасности пространственного каркаса рамы спортивного автомобиля класса «ФОРМУЛА СТУДЕНТ».

Материал и методы исследования. Базовая конструкция каркаса безопасности болида класса «ФОРМУЛА СТУДЕНТ» включает в себя следующие компоненты (рис. 1): главная дуга – 1, передняя дуга – 2, распорки главной дуги – 3, распорки передней дуги – 4, элементы боковой защитной структуры – 5, элемент крепления плечевых ремней безопасности – 6, фронтальная защитная структура – 7.

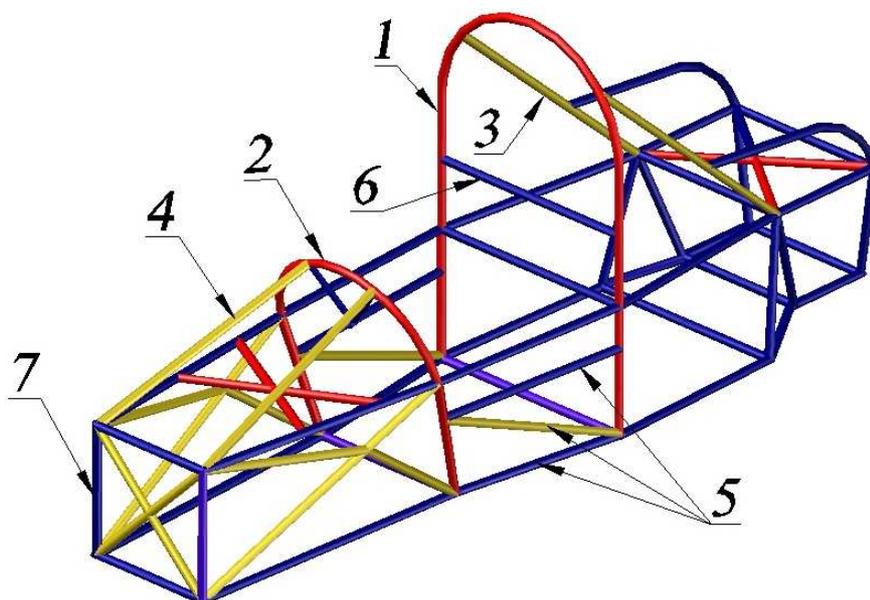


Рис. 1. Базовая конструкция каркаса безопасности болида класса «ФОРМУЛА СТУДЕНТ»

Конструкция каркаса безопасности состоит из трубчатых стальных элементов бесшовного типа с содержанием углерода в материале не менее 0,1 %.

Для учета контрольных размеров относительно взаимного расположения пилота и элементов каркаса безопасности проектирование ведется под человека 95 % процентиля (рис. 2), с основными параметрами (табл. 2).

Таблица 2. Основные параметры пилота, 95 % процентиля

Область	Значение, мм
Голова с учетом шлема	300
Плечи и шея	200

Бедрa	200
Расстояние АВ	490
Расстояние ВС	280

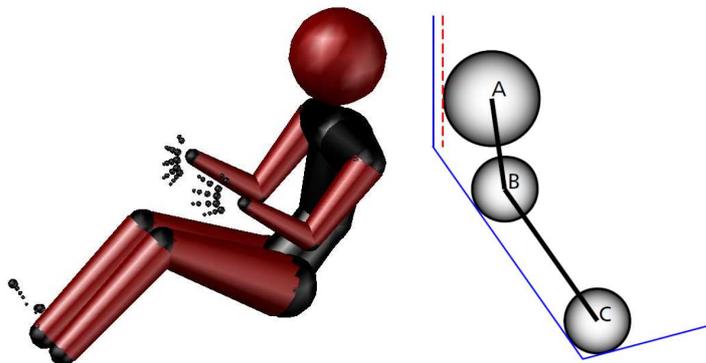


Рис. 2. Пилот, 95 % процентиль

Минимальное контрольное расстояние между шлемом пилота и прямой линией, образованной касательными к верхней части главной и передней дуг, должно составлять не менее 50.8 мм.

Передняя дуга должна поддерживаться распорками, расположенными спереди, предназначение данных элементов заключается в защиты ног пилота, и при рассмотрении каркаса безопасности в профильной проекции должны выходить по длине за ноги пилота.

Фронтальная защитная структура – связующее звено, обеспечивающее безопасность пилота при фронтальном столкновении.

Боковая защитная структура предназначена для защиты пилота при боковом столкновении (рис. 3). Верхний элемент 1 боковой защитной структуры должен соединять переднюю и главную дуги на высоте от 300 до 350 мм над уровнем опорной поверхности при полной массе болида. Нижний элемент 2 боковой защитной структуры должен соединять нижнюю часть передней и главной дуги. Диагональный элемент 3 боковой защитной структуры должен соединять верхний и нижний элементы боковой защитной структуры спереди главной дуги и сзади передней дуги.

Разработка силовой схемы каркаса безопасности основана на детальной проработке компоновочной схемы, определении координат центра масс, а также расчете нагрузок, приходящихся на оси автомобиля. При проработке компоновочных решений автомобиля важно правильно определить показатели массы, а также положение координаты центра масс.

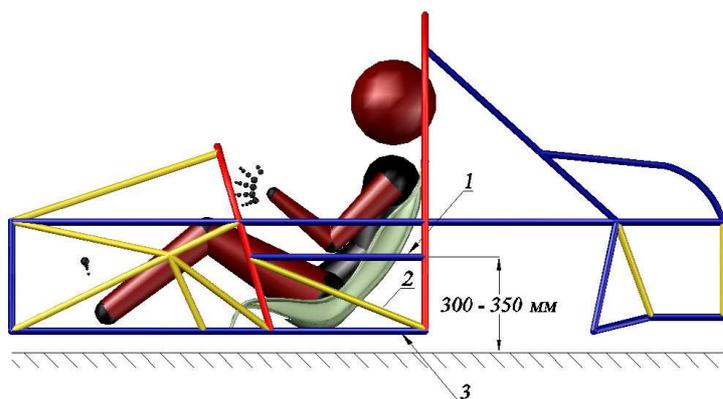


Рис. 3. Боковая защитная структура

Для определения массы автомобиля есть несколько способов решения данной задачи. Первый заключается в методе аналогий, где определение массы элементов автомобиля осуществляется по справочным данным. Недостаток данного метода заключается в крайне малом объеме справочной информации. Дополнительно техническое задание проекта «Formula Student» заключается в проектировании и изготовлении спортивного автомобиля, где важны массы и габариты деталей. Элементы болида имеют индивидуальную конструкцию, в связи с чем отсутствует возможность применения стандартных деталей, используемых и изготавливаемых в массовом производстве.

Основа второго варианта решения задачи – создание трехмерной модели элементов автомобиля и последующая оценка массы и координат центра масс в зависимости от используемого материала и объема самой детали.

Данные о массе и координатах центра масс элементов занесены в таблицу 2

Таблица 2. Данные по массе и координатам центра масс элементов болида

Элемент	Обозначение на схеме	Масса, кг	Координаты, м	
			X_i	Y_i
Рама	M_1	48	1,769	0,307
Пилот	M_2	75	1,471	0,441
Двигатель	M_3	59	2,16	0,321
Кресло	M_4	7	1,49	0,34
Рулевой вал	M_5	1,5	1,117	0,511
Рулевая рейка	M_6	2	0,94	0,476
Педальный узел	M_7	3,65	0,477	0,121
Демпфирующее устройство	M_8	1,8	0,266	0,246
Аккумулятор	M_9	3,94	1,765	0,109
Дифференциал	M_{10}	1,9	2,745	0,26
Опоры дифференциала	M_{11}	4,6	2,745	0,167
Передняя подвеска	M_{12}	34	0,865	0,266
Задняя подвеска	M_{13}	38	2,745	0,266
Кузов	M_{14}	17	1,535	0,482
Суммарное значение		299		
Колесная база			1,88	

Для обеспечения безопасности на гоночной трассе, где высока интенсивность движения, чередующиеся различные по сложности участки трассы, нельзя допускать превышение допустимой нагрузки на элементы конструкции, так как это может привести к разрушению данных элементов и аварии [4]. Таким образом, важен правильный выбор имитируемого режима нагружения.

В данной работе рассматривается расчетный метод оценки прочности конструкции каркаса безопасности, основанный на методе конечно-элементного моделирования [1, 2, 3, 5].

При расчете каркаса безопасности, моделирование элементов, оговоренных в регламенте, осуществлялось стержневыми элементами. Сечение главной и передней дуг составляет: внешний диаметр 25 мм, толщина стенки 2,5 мм. Сечение иных элементов каркаса безопасности составляет: внешний диаметр 25 мм, толщина стенки 2 мм. Свойства материала соответствуют стали 20, то есть модуль Юнга – $2,1 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона – 0,3, плотность – $7,85 \cdot 10^{-9}$ Т/мм³.

Распределение нагрузки производилось по двум точкам, принадлежащим рычагам подвески автомобиля. Приложенные силы были направлены в противоположные стороны, создавая тем самым скручивающий момент. Нагрузка составила 776 Н при полной массе 300 кг. Закрепление конструкции производилось в местах крепления задней подвески по одной степени свободы в вертикальном направлении.

На основании исходной конструкции каркаса гоночного автомобиля с повышенной жесткостью и базовой конструкции того же гоночного автомобиля (рис. 4) с элементами подвески был проведен расчет на кручение каркаса безопасности.

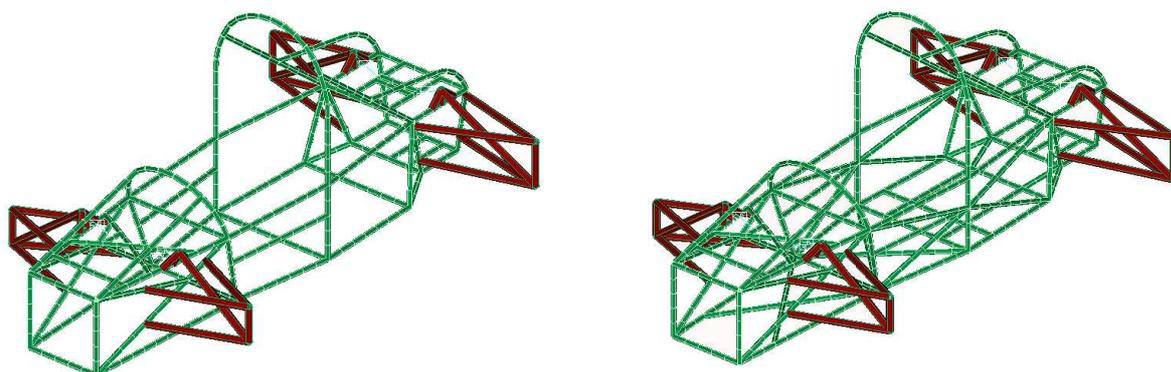


Рис. 4. Исходная стержневая модель каркаса гоночного автомобиля с недостаточной и повышенной жесткостью

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты расчета на кручение исходной конструкции рамы болида с повышенной жесткостью представлены на рис. 5.

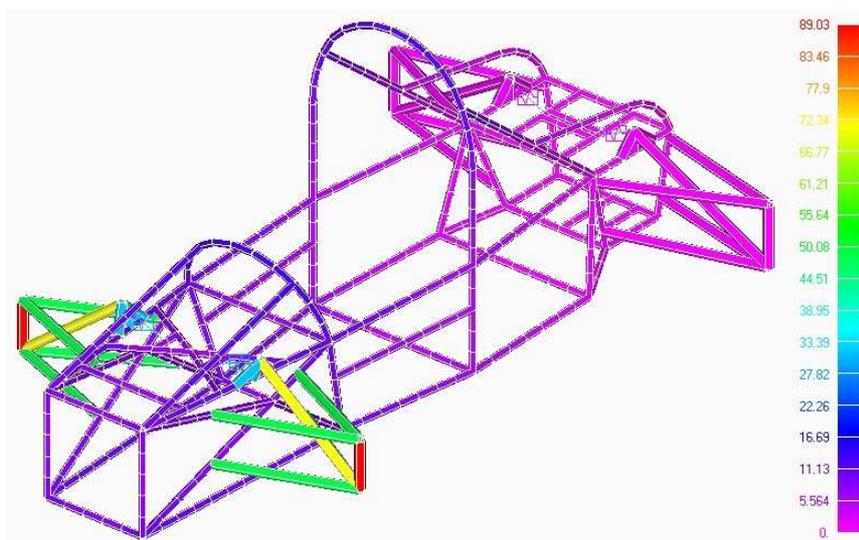


Рис. 5. Результаты расчета стержневой модели каркаса гоночного болида
 $C = 5010 \text{ Нм/рад}$ – жесткость конструкции

$m = 60 \text{ кг}$ – масса конструкции

$C = 1255 \text{ Нм/рад}$ – жесткость конструкции.

$m = 39 \text{ кг}$ – масса конструкции

Анализ конструкции аналогов данной модели показал, что наиболее оптимальным вариантом является конструкция со следующими характеристиками:

$C = 2000 - 2500 \text{ Нм/рад}$ – жесткость конструкции.

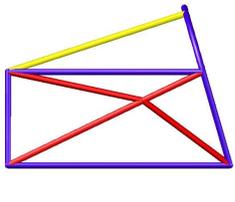
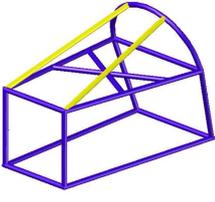
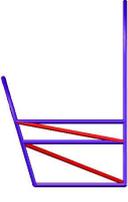
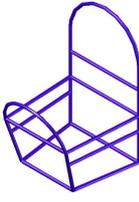
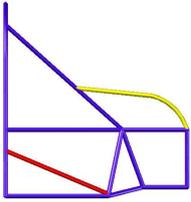
$m = 40 - 45 \text{ кг}$ – масса конструкции

На основании расчетов можно сделать вывод о том, что исходная модель удовлетворяет требованиям прочности с коэффициентом запаса $n = 2 - 2.5$, однако имеет высокие показатели массы. Базовая модель является оптимальной по массе, однако не удовлетворяет прочностным требованиям. Исходя из вышесказанного, было принято решение о проведении анализа влияния введения дополнительных усиливающих элементов в каждую часть базовой конструкции.

Далее проводились расчеты на кручение каждой секции. Нагружение производилось путем приложения пары сил величиной в 100 Н , закрепления производилось по трем степеням свободы.

На основании данных расчетов были выбраны наиболее оптимальные конструкции каждой секции, представленные в таблице 3.

Таблица 3. Оптимальный вариант конструкции гоночного автомобиля

Секция	Передняя		Центральная		Задняя
Часть	боковая	основание	боковая	основание	боковая
1	2	3	4	5	6
Вид секции					
Жесткость на кручение, Нм/рад	1255,906	1255,906	1800,5	1255,906	1530,455
Процент увеличения базовой жесткости	-	-	32%	-	18%

Вывод. Исходя из проведенных исследований, было минимизировано влияние недостаточной жесткости каркаса безопасности гоночного автомобиля путем внесения дополнительных элементов, увеличивающих жесткость, а также было принято решение о создании подробной конечно-элементной модели каркаса гоночного автомобиля на основе выше представленных вариантов конструкций отдельных секций с целью проведения расчета напряженно-деформированного состояния конструкции под действием разнообразных нагрузок.

Список литературы

1. 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.
2. 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.
3. 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.

4. Adams Herb. Chassis engineering / Adams Herb // The Berkly Publishing Group. – 1993. – 142 p.
5. Formula SAE Rules. SAE International, 2012. – 131 p.

Рецензенты:

Беляков В. В, д.т.н., профессор кафедры «Автомобили и тракторы» НГТУ им. Р. Е. Алексева, 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.