

УДК 621.313: 629.331

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ БОЛИДА**

<sup>1</sup>К.В. Глемба, <sup>2</sup>А.В. Лопухов, <sup>2</sup>Н.Л. Файзуллоев, <sup>2</sup>А.А. Союстов, <sup>2</sup>

Д.В. Грашина, <sup>3</sup>А.Ю. Бурцев, <sup>1</sup>А.В. Гриценко

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», <sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» (ЮУрГУ (НИУ)), <sup>3</sup>филиал КузГТУ в г. Белово

Формула SAE, более известная в Европе как «Формула Студент» (ФС) – это студенческие инженерные соревнования SAE в США. Для сохранения жизни пилота основной упор делается именно на пассивную безопасность. В связи с этим на этапах соревнований ФС большое внимание уделяется к каркасу и раме безопасности [1, 2].

Исходя из сказанного, можно сформулировать следующие задачи для дальнейшей научно-исследовательской работы в этом направлении: 1. Сбор информационного фонда по проблемам и задачам, возникающим в аварийных, опасных и нештатных ситуациях в системе «пилот-болид-трек»; 2. Исследование систем электроники болида [3-6] в процессе эксплуатации [7-10], обслуживания и ремонта [11]; 3. Компоновка новых комбинаций схем электроники [2-7] и отработка наиболее надежных вариантов [8-11]; 4. Совершенствование узлов и систем болида [1-3]; 5. Проведение расчетов при имитации нагрузок аварийных ситуаций, таких как боковой удар, фронтальной удар, опрокидывание; 6. Анализ полученных закономерностей изменения параметров силовых элементов пассивной безопасности болида в динамике;

**Расчет пространственной рамы.** В расчетах имитируют нагрузку аварийных ситуаций, таких как боковой удар, фронтальной удар, опрокидывание. Оценка проводится согласно действующему регламенту ФС, и максимально допустимое отклонение перемещение элемента рамы составляет 25 мм. Расчет прочностных характеристик производится при помощи программы "SolidWorksSimulation".

На рисунке 1 приведен пример испытаний главной дуги с приложением нагрузки на элемент рамного каркаса болида по оси X. В результате, максимальное перемещение элемента составило 11,41 мм. Согласно частной методики эксперимента было проведено 6 испытаний. Результаты испытаний некоторых элементов конструкции рамы при различных нагрузках и направлениях воздействий по осям представлены в таблице 1 [1].

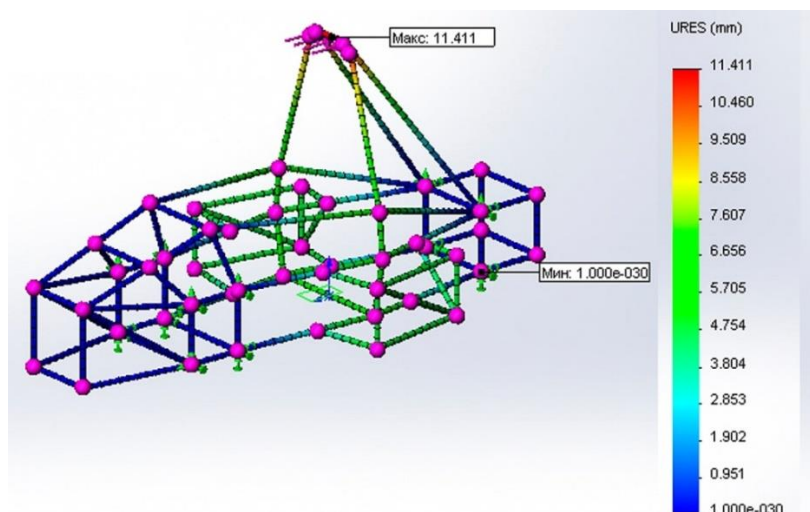


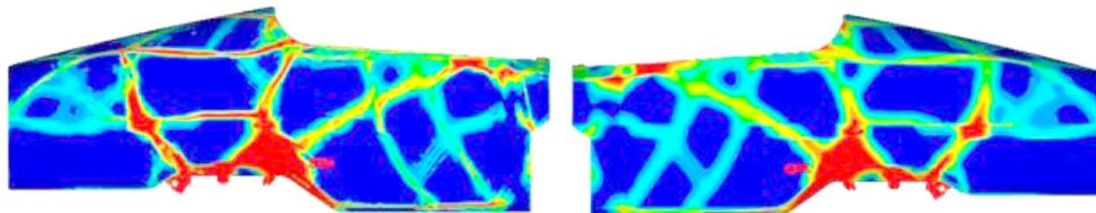
Рисунок 1 – Результаты моделирования статических перемещений главной дуги рамы при нагрузке 6 кН по оси X (программа SolidWorksSimulation)

Таблица 1 - Результаты испытаний элементов конструкции рамы болида

Элементы конструкции рамы, испытывающие нагрузку	Величина приложения нагрузки, кН	Максимальное перемещение (величина деформации рамы), мм
1. Главная дуга: по оси X	6,0	11,411
по оси Y	5,0	20,652
по оси Z	9,0	13,027
2. Передняя дуга: по оси X	6,0	0,947
по оси Y	5,0	2,269
по оси Z	9,0	1,324

В результате максимальная деформация основных защитных элементов каркаса составила 20,65 мм, что меньше значения в 25,0 мм (условия жесткости выполняются). Максимальные эквивалентные напряжения, возникающие в конструкции не превысили 300 МПа. На основе результатов испытаний можно сделать вывод, что данная конструкция полностью подходит для соревнований, так как приложенные нагрузки не оказывают влияния, противоречащие регламенту.

**Расчетная часть конструкции монокок.** На рисунке 2 представлена конструкция монокока, подверженная нагрузкам. Красными зонами выделены области монокока, которые по напряжению материала наиболее опасны для болида, основная зона находится в месте крепления элементов подвески. Данная конструкция проходит по регламенту и выигрывает по весу у рамной конструкции [1].



а)

б)

Рисунок 2 – Симуляция нагрузки с левой (а) и правой (б) стороны на элементы конструкции монокока в зоне крепления элементов подвески (программа Solid Works Simulation): красная область – напряжение материала наиболее опасна; область от оранжевого к синему – напряжение материала уменьшается

В облегчении рамы может помочь использование технологии баттинга (butting) – конструктивного ухищрения, позволяющего уменьшить вес конструкции, не потеряв прочности [1, 2]. Термин «баттинг» означает переменную толщину стенок труб рамы, а обозначения «двойной или тройной баттинг» означает, что эта толщина в середине трубы в два или три раза меньше, чем на краях. Максимальное количество различных толщин по всей длине трубы может достигать трёх.

**Выводы.** Проанализированы конструктивные решения проектирования болида – пространственной рамы и листового монокока. Проведены расчеты с приложением нагрузок, имитирующих различные аварийные ситуации, такие как боковой удар, фронтальный удар и опрокидывание. По результатам расчетов максимальная деформация составила 20,65 мм, что меньше 25,0 мм (условия жесткости соблюдены). Представлена расчетная часть конструкции монокок.

### Список литературы

1. Прочностной анализ рамы болида «Формула студент» ПНИПУ. Режим доступа : <https://research-journal.org/technical/prochnostnoj-analiz-ramy-bolida-formula-student-pnipu>
2. Формула Студент МАДИ (Formula Student MADI). Режим доступа : <https://vk.com/fsmadi>
3. Gritsenko A., Kukov S., Glemba K. Theoretical underpinning of diagnosing the cylinder group during motoring. Procedia Engineering. 2016. Т. 150. С. 1182-1187.
4. Plaksin A., Gritsenko A., Glemba K. Experimental studies of cylinder group state during motoring. Procedia Engineering. 2016. Т. 150. С. 1188-1191.
5. Гриценко А.В., Глемба К.В., Куков, С.С. Методические приемы повышения точности диагностирования подшипников коленчатого вала АПК России. 2010. Т. 57. С. 51-56.
6. Гриценко А.В. Алгоритм, информационные характеристики процесса технического диагностирования, методики проектирования и оптимизации устройств диагностирования. АПК России. 2013. Т. 63. С. 38-41.
7. Гриценко А.В., Глемба К.В., Ларин О.Н., Бакайкин Д.Д., Куков С.С. Новый метод, средство и программная среда для тестирования ЭМФ автомобиля. Известия ВолГТУ. 2014. Т. 6. № 18 (145). С. 53-56.

8. Гриценко А.В., Куков С.С., Бакайкин Д.Д. Теоретическое исследование работы электромагнитной форсунки и ее влияние на процесс топливоподачи // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ им. В. П. Горячкина. 2012. № 3 (54). С. 40–41.

9. Гриценко А.В., Куков С.С., Бакайкин Д.Д. Результаты экспериментальных исследований пропускной способности электромагнитных форсунок бензиновых двигателей внутреннего сгорания // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ имени В.П. Горячкина, Москва, 2012. – №5 (56) с. 40–42.

10. Гриценко А.В., Цыганов К.А. Диагностирование электрических бензонасосов автомобилей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2013, №4, с. 22–23.

11. Гриценко А.В. Метод диагностирования систем ДВС по тестовому контролю правильности функционирования систем. Экономика и производство: сборник научных трудов / под ред. В.В. Ерофеева. Челябинск: ЧРО РАЕН, 2012. С. 113–121.