

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДОПУСКАЕМЫХ ТЕХНИЧЕСКИМ РЕГЛАМЕНТОМ СОРЕВНОВАНИЙ ВАРИАНТОВ УСИЛЕНИЯ КОКПИТА БАГГИ КЛАССА Д2

Д.Т.Н. Баженов Е.Е.¹, К.Т.Н. Буйначев С.К.², Кустовский А.Н.¹

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищинский филиал

²Уральский федеральный университет им. Первого президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ)
Kustovsky88@mail.ru

В статье приведен сравнительный анализ различных вариантов усиления кокпита типовой рамы багги класса Д2 для режима закручивания вокруг продольной оси. Критериями оценки вариантов выступают жесткостно-весовые показатели. Пространственная рама багги подвержена действию разнообразных нагрузок и их сочетаний. Воздействие внешних сил вызывает в несущей системе багги сложнапряженное состояние, характеризующееся как одновременным, так и поочередным действием изгибающих и закручивающих усилий. Все это может приводить к таким деформациям и перемещениям элементов рамы, что закрепленные на ней узлы и агрегаты могут испытывать различные сбои в работе, а то и полностью выходить из строя (закрепленная на раме рулевая рейка очень чувствительна к деформациям, дифференциалы в местах своего крепления к раме за счет ее деформаций могут повреждаться, как и крепления бензобака, и места водителя и т.д.). Таким образом, становится очевидна важность придания раме багги необходимой жесткости для сопротивления эксплуатационным нагрузкам. Кроме того, недостаток жесткости приводит к возникновению повышенных напряжений в раме при различных режимах нагружения. Не стоит забывать и о характеристиках управляемости, на которые прямое влияние оказывает геометрическая стабильность несущей системы. Все это доказывает важность обеспечения жесткости несущей системы багги. Помимо сравнительного анализа вариантов усиления кокпита также дан ряд практических рекомендаций для рассматриваемых вариантов. По результатам сравнительного анализа вариантов можно установить главенствующую роль усиления крыши кокпита как варианта, обеспечивающего не только наивысшую жесткость на кручение, но и наименьший вес. Все варианты согласуются с требованиями технического регламента соревнований (Приложение J, статья 253).

Ключевые слова: багги, рама, несущая система, жесткость на кручение, удельная жесткость.

Введение

Пространственные рамы багги являются сложной, многократно статически неопределимой конструкцией. Основными ее элементами являются металлические стержни круглого сечения различного диаметра и различной толщиной стенки, соединенные между собой при помощи сварки. Зачастую конструкция рамы багги является результатом творчества тех, кто на них выступает в соревнованиях или использует по какому-либо иному назначению. Однако, несмотря на это обстоятельство, подавляющее большинство рам багги, участвующих в официальных спортивных состязаниях, имеют схожие конструкции, отличающиеся лишь в нюансах. Конструкция абсолютного большинства рам багги имеет четкое разделение на три блока.

Цель исследования

Сравнительный анализ различных вариантов усиления кокпита типовой рамы багги класса Д2 для режима закручивания вокруг продольной оси.

Средства проведения исследований

Передний подрамник служит местом крепления элементов передней подвески, а также рулевой рейки и переднего дифференциала (если багги полноприводный). Довольно редко в переднем подрамнике размещают двигатель (практически никогда в гоночных багги). Геометрической стабильности переднего подрамника придается большое значение, поскольку от этого зависит кинематическая стабильность подвески [1]. Средний блок называется кокпи-

том и служит местом расположения водителя, а также в некоторых случаях и бензобака (при этом с обязательной перегородкой). Параметры элементов кокпита регулируются техническим регламентом соревнований [2]. Задний подрамник практически всегда служит местом расположения двигателя и коробки передач, а также местом крепления элементов задней подвески (иногда частично или полностью подвеска крепится к кокпиту). Конструкция обоих подрамников не подчиняется требованиям технического регламента соревнований, поэтому там возможны практически любые варианты исполнения (в реальности большинство вариантов схожи по конструкции). Конструкция же кокпита строго оговаривается регламентом: допускается применение исключительно холодногнущей бесшовной трубы круглого сечения с характеристиками сечения 45Ч2,5 или 50Ч2 для элементов, выделенных темным цветом (см. рис. 2) и 38Ч2,5 или 40Ч2 для остальных (минимальный предел прочности – 350 МПа) [3].

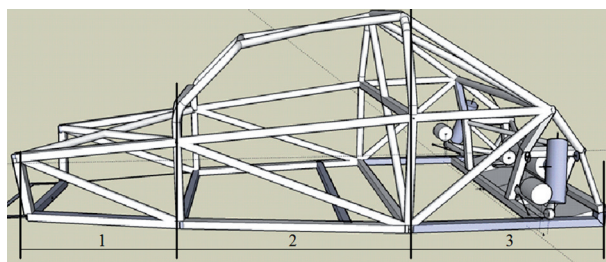


Рис. 1. Условное разделение рамы багги на блоки:
1 – передний подрамник; 2 – кокпит;
3 – задний подрамник

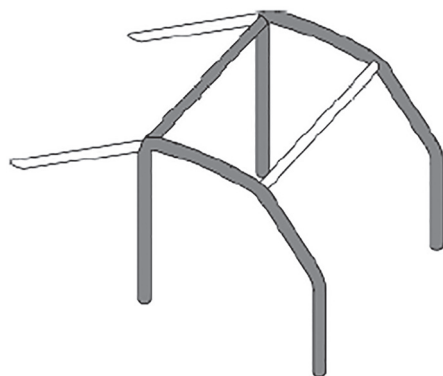


Рис. 2. Кокпит:
темным цветом выделены элементы
из наиболее толстого профиля

Ниже представлен объект исследований – типовая рама багги класса Д2, изготовленная из стали Ст20.

Для представленной конструкции был проведен ряд компьютерных расчетов методом конечных элементов (МКЭ) в среде компьютерного моделирования SolidWorks для наиболее типичных режимов нагружения: режим наезда передним колесом на препятствие, наезд задним колесом на препятствие, наезд одновременно передним и задним колесами разных бортов на препятствие, а также режим закручивания вокруг продольной оси. По результатам сравнительного анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) рамы для представленных режимов нагружения был выделен наиболее жесткий из них – режим закручивания вокруг продольной оси: в нем возникают наибольшие напряжения в передних верхних углах кокпита (самая нагруженная область для всех режимов).

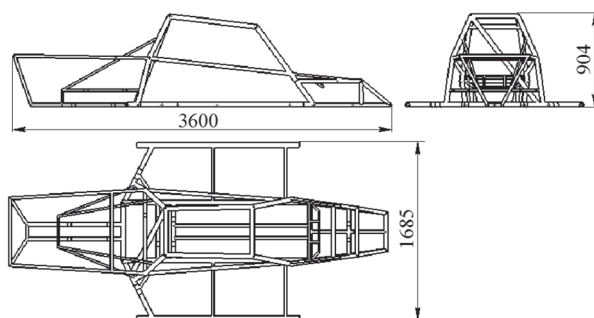


Рис. 3. Типовая рама багги класса Д2

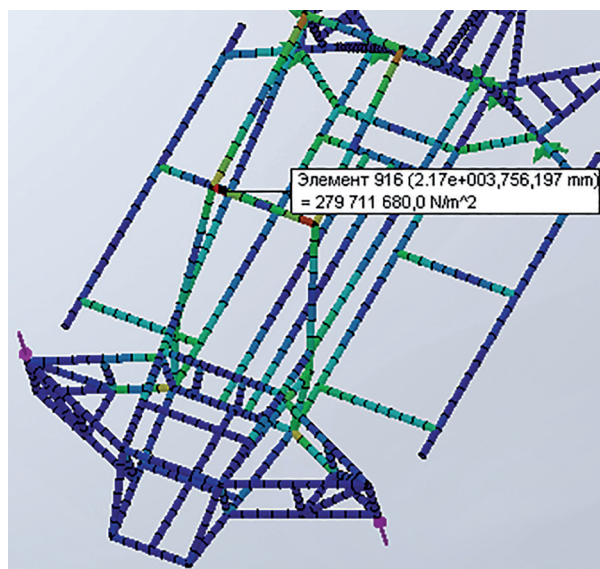


Рис. 4. Наиболее нагруженная область кокпита при кручении (также можно видеть условия нагружения и закрепления для режима кручения)

Возникновение повышенных напряжений в углах кокпита обусловлено повышенными деформациями его продольных стержней, что также было установлено в ходе анализа НДС рамы для вышеуказанных режимов нагружения. Таким образом, область кокпита нуждается в усилении.

Результаты исследований и их обсуждение

Ниже представлены варианты усиления, допускаемые техническим регламентом соревнований.

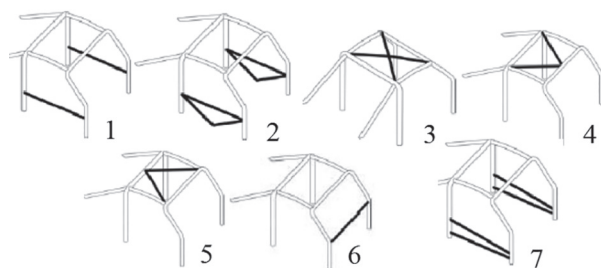


Рис. 5. Допускаемые варианты модификации кокпита

Для режима закручивания вокруг продольной оси [4] был проведен расчет всех представленных вариантов усиления введенных в исходную конструкцию (рис. 3), после чего проведен их сравнительный анализ по показателям крутильной жесткости и удельной жесткости [5]:

$$C_{уд} = \frac{C_{крuch}}{M_{нк}}, \quad (1)$$

где $C_{крuch}$ – жесткость на кручение, $C_{крuch} = M_3 / \varphi$; M_3 – закручивающий момент; $M_{нк}$ – масса несущей конструкции, φ – угол закручивания рамы.

Замеры перемещений для расчета угла закручивания проводились в одном из передних верхних углов кокпита.

В результате получены графики для рассматриваемых вариантов, приведенные на рис. 6.

Следующим шагом в сравнительной оценке предлагаемых вариантов стал анализ гистограмм (рис. 7), показывающих долю нагрузки, приходящуюся на ту или иную зону блока:

$$\gamma_{vb} = \frac{\gamma_v}{\gamma_b}, \quad (2)$$

где γ_{vb} – отношение доли объема зоны к доле воспринимаемой ею нагрузки; γ_v – доля

объема зоны от общего объема блока; γ_b – доля нагрузки, приходящаяся на рассматриваемую зону блока.

Существенное отклонение данного отношения от единицы будет означать либо перегруженность зоны относительно ее объема, либо ее недогруженность.

Как видно из графиков, варианты с усилением крыши 3, 4 и 5 оказались наиболее рациональными: они обеспечивают не только наибольшие показатели крутильной жесткости, удельная жесткость у них также выше, чем у остальных вариантов. Их преимущество относительно базового варианта (Вариант 1) составляет соответственно 36, 32 и 32 процента для удельной жесткости (рис. 6). Указанные варианты также обеспечивают наиболее равномерное распределение нагрузки по зонам кокпита (рис. 7).

Варианты 3, 4 и 5 позволили добиться существенного повышения жесткости исходной конструкции, что также привело к падению напряжений в наиболее нагруженной области кокпита – передних верхних углах. Значения напряжений с первоначальных 280 МПа уменьшились соответственно на 34,2, 30,1 и 30 процентов.

Несмотря на то, что варианты с усилением крыши оказались наиболее рациональным вариантом повышения крутильной жесткости

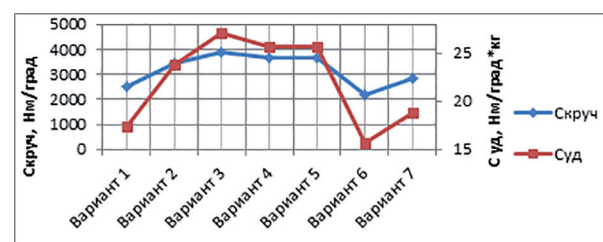


Рис. 6. Удельная жесткость и жесткость на кручение для различных вариантов усиления кокпита

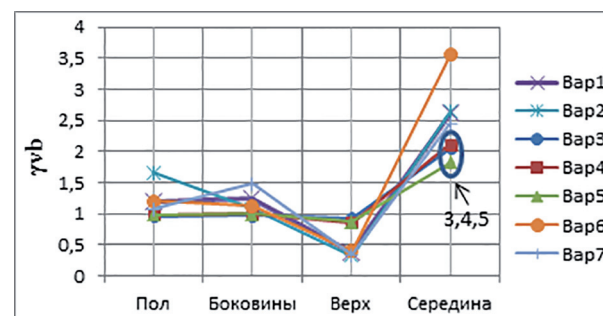


Рис. 7. Величина для рассматриваемых вариантов усиления

кокпита, другие решения также могут найти применение в тех или иных конструкциях. К примеру, вариант 1 с дополнительным продольным горизонтальным усилителем способствует более равномерному участию пола и боковин в восприятии нагрузки, не влияя при этом на нагрузку в области верха и середины. Вариант 2 существенно разгружает область пола, в то же время повышая нагрузку на боковины и верх и несколько разгружая область соединения переднего подрамника и кокпита. Вариант 7 с двумя дополнительными продольными стержнями середины, заметно увеличивая долю объема боковин, не привел к какому-либо перераспределению нагрузки по сравнению с базовым вариантом. Вариант 6 также не показал никаких изменений по сравнению с исходной конструкцией.

Заключение

Проведен сравнительный анализ различных вариантов усиления кокпита для наиболее жесткого режима нагружения – режима закручивания вокруг продольной оси. Все варианты усилителей находятся в соответствии с техническим регламентом соревнований. По результатам сравнительного анализа выявлены наиболее рациональные варианты усиления кокпита: варианты 3, 4 и 5 (рис. 5), т.е. варианты с усилением крыши. В них достигаются наилучшие показатели крутильной жесткости и удельной жесткости на кручение, что говорит о более высоких показателях жесткости при равной или меньшей массе, чем у других вариантов. Также варианты 3, 4 и 5 обеспечивают наиболее равномерную загрузку областей кокпита (рис. 7), что позволяет нагрузке существенно более равномерно распределяться по зонам этого блока, чем в случае с другими решениями.

Литература

1. Сергеев А.В. Влияние жесткости каркаса кузова на управляемость легкового автомобиля: дисс. канд. техн. наук. Тольятти, 2000. 154 с.

2. Приложение 3. Технические требования к автомобилям для кросса и ралли-кросса. Регламент соревнований по ралли-кроссу. М.: РАФ, 2013. 60 с.
3. Приложение 14 к Ки ТТ «О правилах применения каркасов безопасности» технических требований к автомобилям для кросса и ралли-кросса. Регламент соревнований по ралли-кроссу. М.: РАФ, 2013. 3 с.
4. Tebby S., Esmailzadeh E., Barari A. Methods to Determine Torsion Stiffness in an Automotive Chassis. Computer – Aided Design and Applications, PACE (1), 2011, pp. 67–75.
5. Gauchia A. Torsion Stiffness and Weight Optimization of a Real Bus Structure, International Journal of Automotive Technology, 2010, 11 (1), pp. 41–47.

References

1. Sergeev A.V. *Vliyaniye zhyostkosti karkasa kuzova na upravlyaemost' legkovogo avtomobilya*: Diss. kand. tekhn. nauk [Influence of the rigidity of the body frame on the automobiles's handling: Dissertation for Degree of Ph.D. (Engineering)]. Tol'yatti, 2000. 154 p.
2. *Prilozhenie 3. Tekhnicheskie trebovaniya k avtomobilyam dlya krossa i ralli-krossa. Reglament sorevnovanij po ralli-krossu* [Appendix 3. Technical requirements for automobiles for cross-country and rally-cross. Rally cross competition regulations]. Moscow: RAF Publ., 2013. 60 p.
3. *Prilozhenie 14 k Ki TT «O pravilah primeneniya karkasov bezopasnosti» tekhnicheskikh trebovanij k avtomobilyam dlya krossa i ralli-krossa. Reglament sorevnovanij po ralli-krossu* [Appendix 14 «The rules for the use of safety bodies» of technical requirements for automobiles for cross-country and rally-cross. Rules of the competition in rally-cross]. Moscow: RAF Publ., 2013. 3 p.
4. Tebby S., Esmailzadeh E., Barari A. Methods to Determine Torsion Stiffness in an Automotive Chassis. Computer – Aided Design and Applications, PACE (1), 2011, p. 67–75.
5. Gauchia A. Torsion Stiffness and Weight Optimization of a Real Bus Structure, International Journal of Automotive Technology, 2010, 11 (1), 41–47.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE OPTIONS FOR STRENGTHENING THE COCKPIT OF THE D2 CLASS BUGGY ACCORDING TO THE TECHNICAL REGULATIONS OF THE COMPETITION

DSc in Engineering **E.E. Bazhenov**¹, PhD in Engineering **S.K. Bujnachev**², **A.N. Kustovskij**¹

¹Bauman Moscow State Technical University, Branch in Mytishchi

²Ural Federal University

Kustovsky88@mail.ru

The article presents a comparative analysis of various options for strengthening the cockpit of a typical frame of the D2 class buggy for the twisting mode around the longitudinal axis. Criteria for assessing options are hard – weighted indicators. The spatial frame of the buggy is exposed to a variety of loads and their combinations. The impact of external forces causes a complex-stressed state in the carrier system, characterized by both simultaneous and alternate effects of bending and twisting forces. All this can lead to such deformations and displacements of the frame elements, that the assemblies and units fixed on it can experience various malfunctions in work, and even completely fail (the steering rack mounted on the frame is very sensitive to deformations, the differentials in their attachment points to frame due to its deformations can be damaged, as well as gas tank fasteners, and the driver's seat, etc.). Thus, it becomes obvious the importance of giving the frame of the buggy the necessary rigidity to resist operational loads. In addition, the lack of rigidity leads to increased stresses in the frame under different loading conditions. It is needed not to forget about the characteristics of controllability, which is directly influenced by the geometric stability of the carrier system. All this proves the importance of ensuring the rigidity of the buggy carrier system. In addition to a comparative analysis of cockpit enhancement options, a number of practical recommendations for the considered options will also be given. According to the results of a comparative analysis of options, it is possible to establish the dominant role of strengthening the cockpit roof as an option that provides not only the highest torsional rigidity, but also the lowest weight. All options are consistent with the requirements of the technical regulations of the competition (Appendix J, Article 253).

Keywords: buggy, frame, carrier system, torsional stiffness, specific stiffness.