

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ ПО ЗОНАМ ПОДКОНСТРУКЦИЙ РАМЫ ГОНОЧНОГО АВТОМОБИЛЯ БАГГИ КЛАССА Д2

д.т.н. **Баженов Е.Е.**¹, к.т.н. **Буйначев С.К.**², **Кустовский А.Н.**¹

¹Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия,

²Уральский федеральный университет им. Первого президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия,
Kustovsky88@mail.ru

В данной работе рассматривается вопрос нагруженности несущей системы автомобиля багги при наиболее типичных режимах нагружения. В качестве таковых выступают режим наезда переднего колеса на препятствие, режим наезда заднего колеса на препятствие, режим диагонального нагружения, а также режим закручивания рамы вокруг продольной оси. Для удобства анализа рама автомобиля багги поделена на подконструкции, которые, в свою очередь, разделены на зоны. Для каждой из зон каждой подконструкции посредством столбчатых диаграмм показана доля воспринимаемой нагрузки при каждом виде нагружения. Представленные графики позволяют легко анализировать перегруженные и недогруженные области. К примеру, стержни верхней зоны заднего подрамника принимают очень небольшую нагрузку, учитывая долю их объема. Обратная ситуация наблюдается в области боковин: в этой зоне существенно более высокая нагрузка приходится на значительно меньший объем материала. В то же время, области пола и середины воспринимают долю нагрузки, пропорциональную своей доле объема, что можно считать оптимальным показателем распределения нагрузки по объему. В этой связи важно отметить, что представленные диаграммы распределения средних напряжений по зонам подконструкций могут быть использованы в качестве отправной точки для оптимизации существующих или для разработки подобных конструкций «с чистого листа». Подсчет приходящейся на подконструкцию нагрузки осуществлялся суммированием средних напряжений по элементам, составляющим рассматриваемую подконструкцию. Кроме того, при помощи соответствующего коэффициента была дана оценка соответствию доли объема зоны той или иной подконструкции доле приходящейся на нее нагрузки. Данная информация может впоследствии использоваться для проведения работ по оптимизации конструкции или использоваться в качестве отправной точки для проектирования аналогичных конструкций. Все представленные расчеты проводились в среде компьютерного моделирования *SolidWorks* с использованием метода конечных элементов.

Ключевые слова: багги, несущая структура, подконструкции, средние напряжения, нагрузка, рама, режим нагружения, распределение нагрузки.

Введение

Несущая структура автомобилей класса «багги» во время гонки подвергается воздействию разнообразных нагрузок и их сочетаний. Это обусловлено тем обстоятельством, что гоночные трассы, принимающие соревнования данного класса автомобилей, имеют сложный рельеф, характеризующийся чередованием выступов и впадин разного размера, трамплинов, профилированных виражей. Все это становится причиной возникновения сложного напряженно-деформированного состояния рамы автомобиля во время движения. В этой связи на стадии проектирования очень важно знать вероятный спектр нагрузок, чтобы соответствующим образом адаптировать конструкцию под них. Для выполнения этой задачи следует взять в рассмотрение наиболее типичные

режимы нагружения несущей структуры, которые возникают во время гонки. Опытным путем установлено, что чаще всего рама автомобилей багги подвергается закручиванию вокруг продольной оси, деформации, вызванной наездом переднего и заднего колеса на неровность, а также одновременным наездом на препятствие разноименными колесами передней и задней оси.

В результате компьютерного моделирования были получены столбчатые диаграммы, показывающие долю воспринимаемой подконструкциями нагрузки для каждого из режимов нагружения. Все представленные результаты справедливы исключительно для рассматриваемой конструкции. С учетом многообразия вариантов исполнения несущих систем автомобилей багги не представляется возможным

обобщить результаты данной работы применительно ко всем конструкциям. По этой причине оказывается полезным опыт проведения испытаний аналогичных конструкций.

Цель исследования

Целью исследования является внесение вклада в расширение опытной базы испытаний рам гоночных автомобилей багги. В качестве объекта исследования выступает представленная на рис. 1 несущая структура автомобиля багги класса Д2 с заднемоторной компоновкой [1].

Данная конструкция имеет ярко выраженное деление на подконструкции (рис. 2).

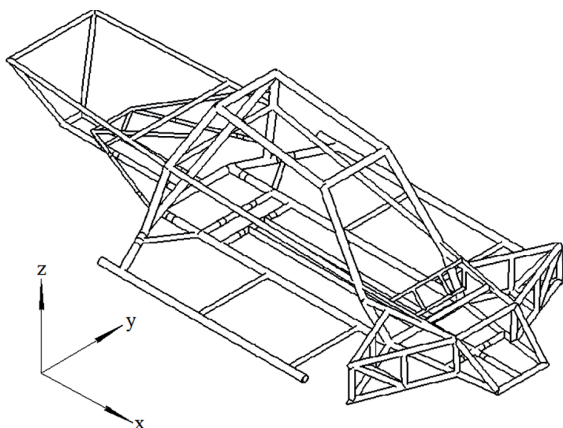


Рис. 1. Пространственная несущая система автомобиля багги класса Д2

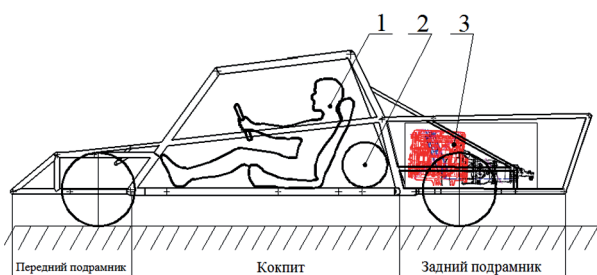


Рис. 2. Компоновка автомобиля багги класса Д2:

1 – водитель, 2 – топливный бак, 3 – двигатель в сборе с коробкой передач

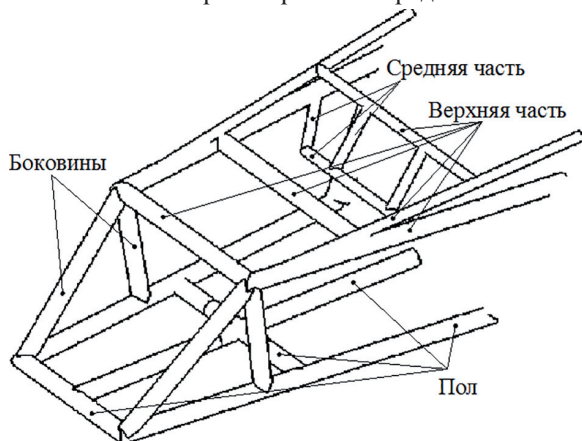


Рис. 3. Разделение переднего подрамника на зоны

Разделение на зоны отдельных подконструкций представлено на рис. 3, 4 и 5.

Ниже рассмотрим условия нагружения и закрепления для выбранных режимов.

Режим наезда переднего колеса на единичное препятствие

Максимальная высота препятствия для данного типа дорог [2] (при условии нормального распределения ординат микропрофиля) составляет $h_{max} = 18,6$ см. Условия закрепления и нагружения показаны на рис. 6.

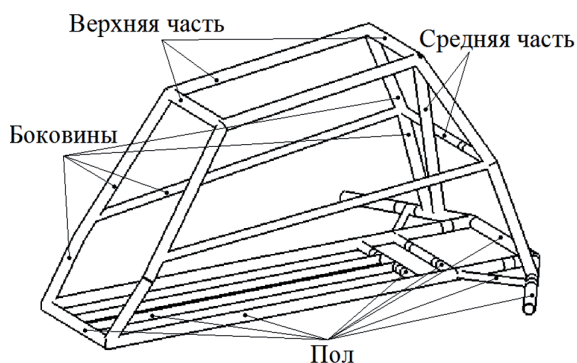


Рис. 4. Разделение кокпита на зоны

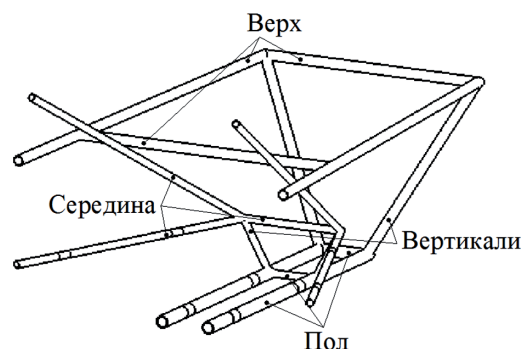


Рис. 5. Разделение заднего подрамника на зоны

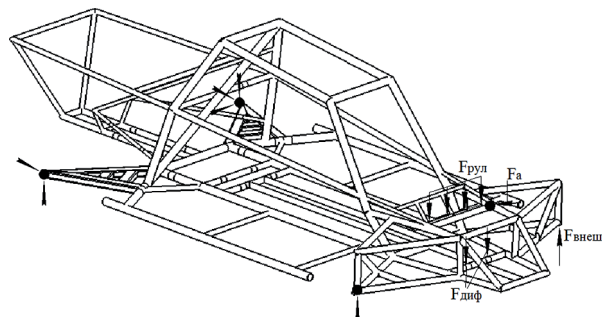


Рис. 6. Условия нагружения и закрепления для режима наезда переднего колеса на единичное препятствие: $F_{внеш}$ – внешняя нагрузка на колесо; $F_{рул}$ – инерционная сила от веса рулевой рейки; $F_{диф}$ – инерционная сила от веса переднего дифференциала; F_a – усилие со стороны амортизатора

Величина внешнего усилия, приходящегося на левый передний рычаг подвески автомобиля, равна весу неподрессоренной массы переднего левого подвесочного узла, домноженной на коэффициент динамичности 1,3. Этот коэффициент есть средняя величина вертикальных ускорений во время гоночного заезда. Принимается, что это же ускорение действует на саму раму и на закрепленные в ее передней части агрегаты. Помимо этого, учитывается также и сила со стороны амортизатора.

Напряжения в элементах той или иной зоны определялись методом сечений. Количество сечений для каждого элемента соответствовало частоте сетки разбиения конечно-элементной модели, которая, в свою очередь, выбиралась из расчета обеспечения адекватного представления напряженного состояния конструкции [3].

Для построения столбчатых диаграмм распределения напряжений по зонам подконструкций использовались суммы средних напряжений составляющих зону элементов:

$$\bar{\sigma}_{зон} = \sum_{i=1}^n \bar{\sigma}_i, \tag{1}$$

где $\bar{\sigma}_{зон}$ – среднее напряжение в зоне; $\bar{\sigma}_i$ – среднее напряжение в элементе зоны; n – количество стержней в зоне.

Среднее напряжение в элементе вычисляется следующим образом:

$$\bar{\sigma}_i = \frac{\sum_{j=1}^m \sigma_j}{m},$$

где σ_j – напряжение в сечении элемента; m – количество сечений в элементе.

В восприятии нагрузки от наезда переднего колеса на единичную неровность участвуют передний подрамник и кокпит, в то время как задний подрамник в этом процессе не задействован.

Ниже на рис. 7 и 8 показано, как распределяются средние напряжения по зонам подконструкций.

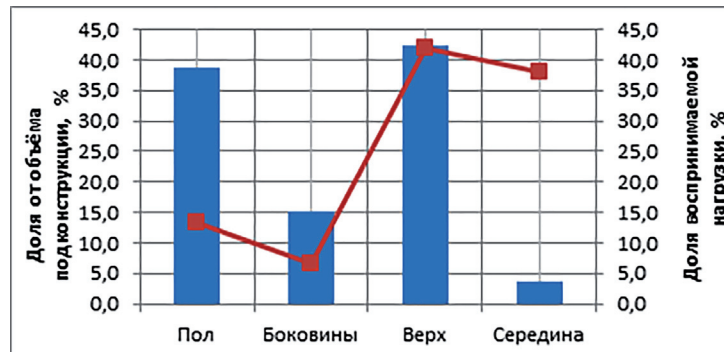


Рис. 7. Распределение средних напряжений по зонам переднего подрамника при наезде переднего колеса на единичное препятствие

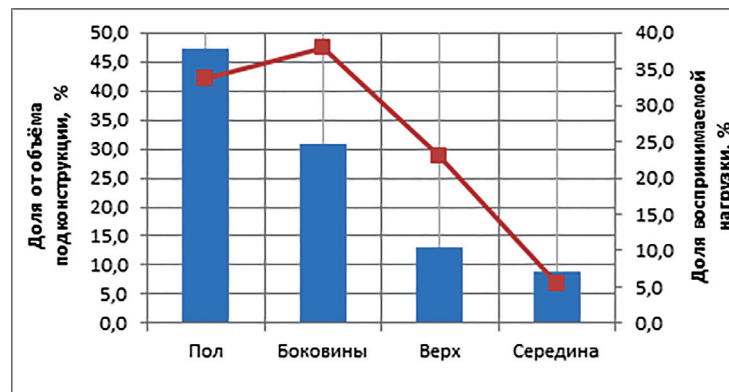


Рис. 8. Распределение средних напряжений по зонам кокпита при наезде переднего колеса на единичное препятствие

Режим наезда заднего колеса на единичное препятствие высотой h_{max}

Условия закрепления и нагружения представлены на рис. 9.

Как и для предыдущего случая, в восприятии нагрузки при данном типе нагружения участвуют две подконструкции: кокпит и задний

подрамник. В связи с этим производился учет инерционной нагрузки от веса закрепленных в задней части автомобиля агрегатов. Кроме того, в расчет принималась сила со стороны амортизатора.

Распределение средних напряжений по зонам этих подконструкций представлено на рис. 10 и 11.

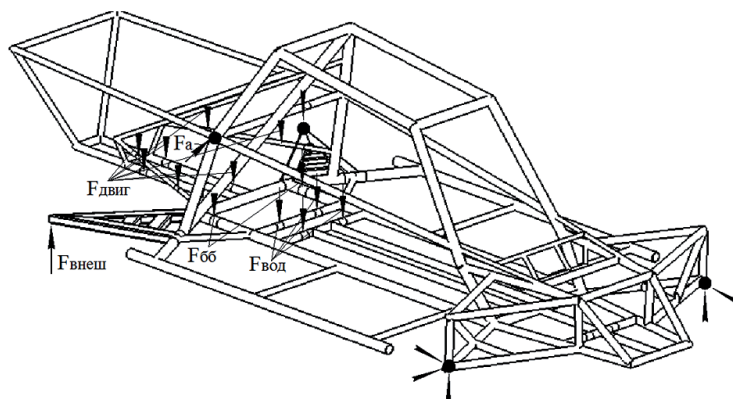


Рис. 9. Условия нагружения и закрепления для режима наезда заднего колеса на единичное препятствие: $F_{внеш}$ – внешняя нагрузка на колесо; $F_{вод}$ – инерционная нагрузка от веса водителя; $F_{бб}$ – инерционная нагрузка от веса бензобака; $F_{двиг}$ – инерционная нагрузка от веса двигателя и коробки передач в сборе; F_a – усилие со стороны амортизатора

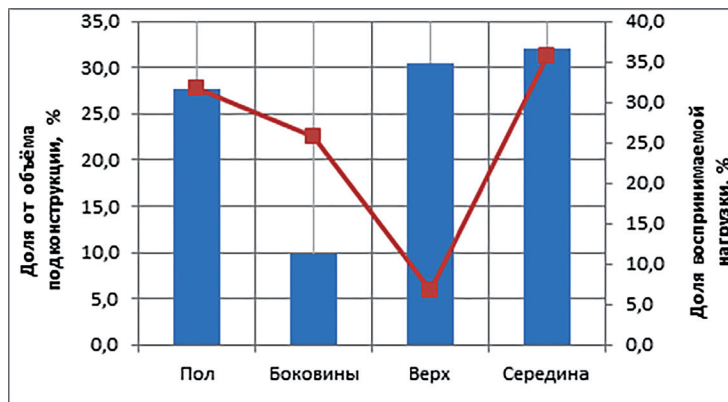


Рис. 10. Распределение средних напряжений в заднем подрамнике при наезде заднего колеса на единичное препятствие

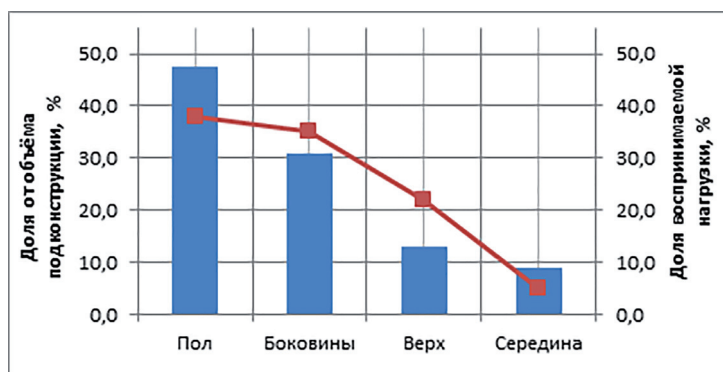


Рис. 11. Распределение средних напряжений в кокпите при наезде заднего колеса на единичное препятствие

Диагональное нагружение

Данный тип нагружения представляет собой наезд одновременно передним и задним

колесом разноименных бортов на единичную неровность высотой h_{max} . Условия закрепления и нагружения представлены на рис. 12.

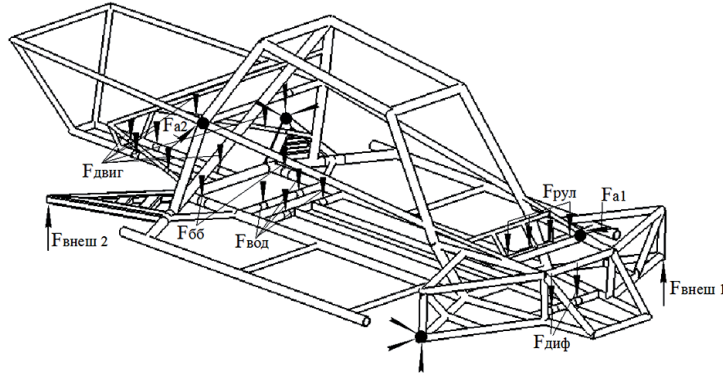


Рис.12. Условия нагружения и закрепления для режима диагонального нагружения
В данном случае в восприятии нагрузки участвуют все подконструкции (см. рис. 13–15):

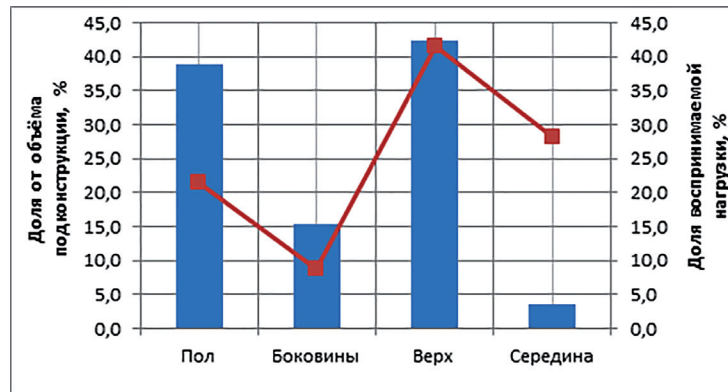


Рис. 13. Распределение средних напряжений в переднем подрамнике при диагональном нагружении

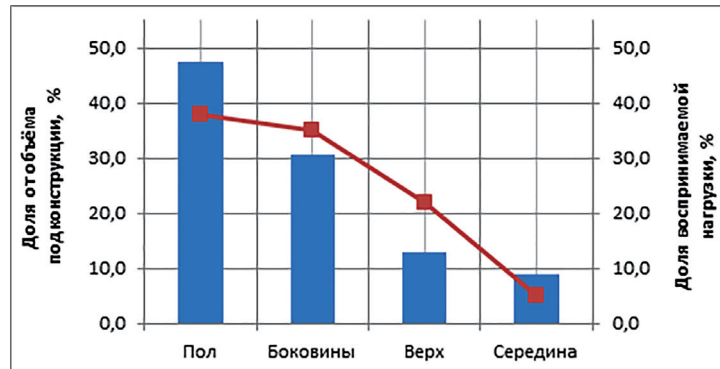


Рис. 14. Распределение средних напряжений в кокпите при диагональном нагружении

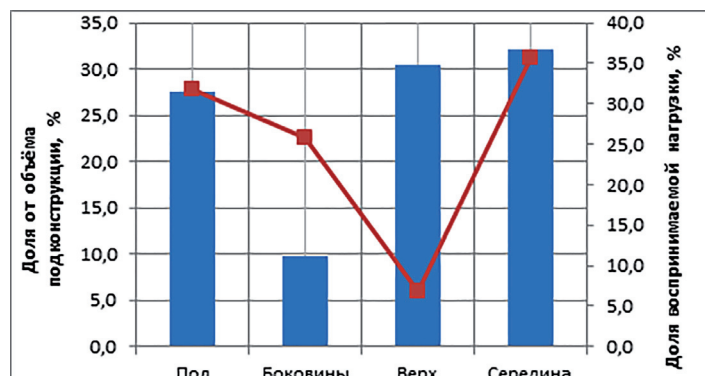


Рис. 15. Распределение средних напряжений в заднем подрамнике при диагональном нагружении

Режим кручения вокруг продольной оси

Данный вид нагружения служит для оценки способности несущей конструкции противостоять внешним нагрузкам, вызывающим ее закручивание вокруг продольной оси. К условиям возникновения закручивания можно отнести, к примеру, вывешивание одного из колес или наезд колесом одного из бортов на неровность. Условия нагружения и закрепления для этого вида нагружения показаны на рис. 16 [4, 5].

Как видно из рис. 16, условия закрепления для данного вида нагружения отличаются от таковых для предыдущих расчетов: закрепле-

ние рамы происходит в точках крепления элементов задней подвески к ней. Такая схема закрепления является общепринятой практикой при исследовании крутильной жесткости несущих систем транспортных средств, в предыдущих же расчетах ставилась задача приблизить условия закрепления к реальным, для чего использовались имитирующие рычаги подвески элементы.

Указанный способ закрепления определяет то обстоятельство, что в восприятии нагрузки участвуют только передний подрамник и кокпит. Распределение средних напряжений по этим подконструкциям показано на рис. 17 и 18.

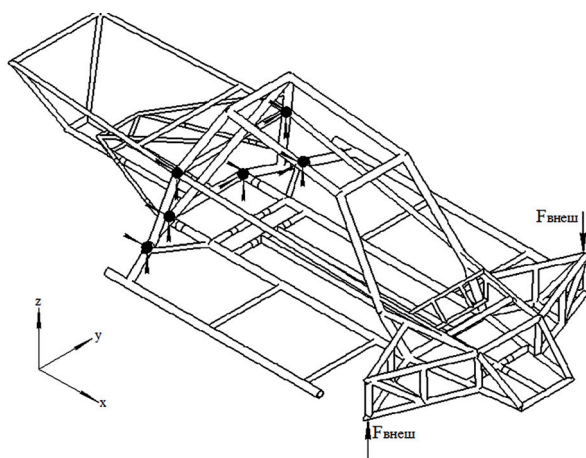


Рис. 16. Условия закрепления и нагружения для режима кручения

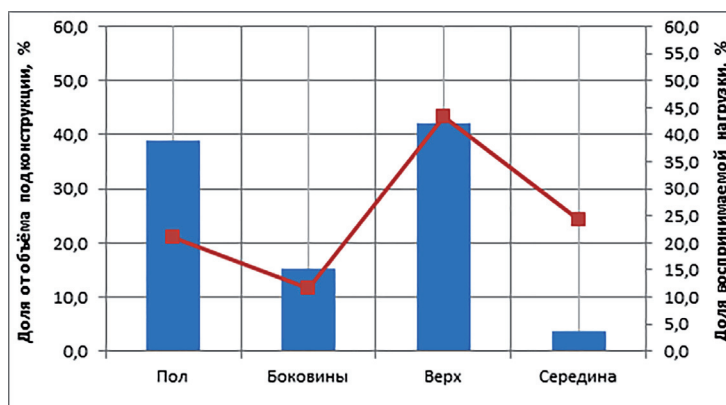


Рис. 17. Распределение средних напряжений в переднем подрамнике для режима кручения

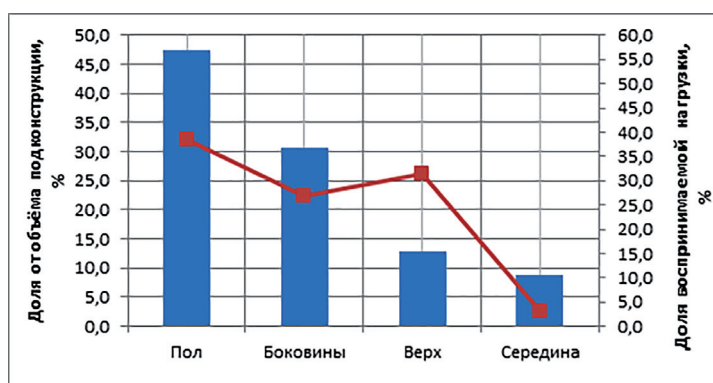


Рис. 18. Распределение средних напряжений в кокпите для режима кручения

Как видно из представленных графиков, напряжения распределяются по зонам крайне неравномерно. Для оценки соответствия объема той или иной зоны доле воспринимаемой ею нагрузки удобно пользоваться отношением этих двух величин:

$$\gamma_{vb} = \frac{\gamma_v}{\gamma_b},$$

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

γ_v – доля объема зоны от общего объема подконструкции; γ_b – доля нагрузки, приходящая на рассматриваемую зону подконструкции.

Существенное отклонение данного отношения от единицы будет означать либо перегруженность зоны относительно ее объема, либо ее недогруженность. Ниже на рис. 19–21 показаны диаграммы для рассматриваемого отношения.

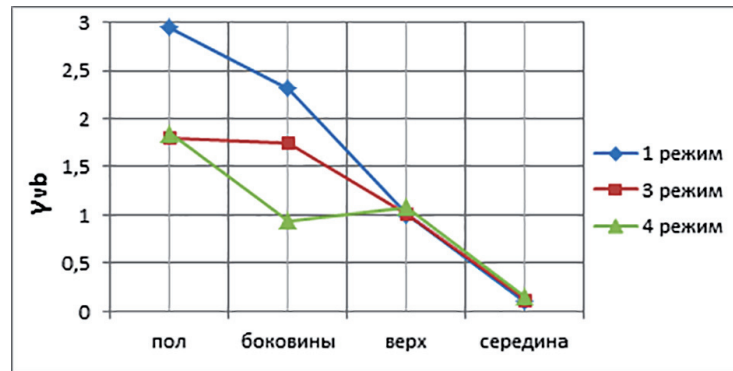


Рис. 19. Диаграмма величины γ_{vb} для переднего подрамника

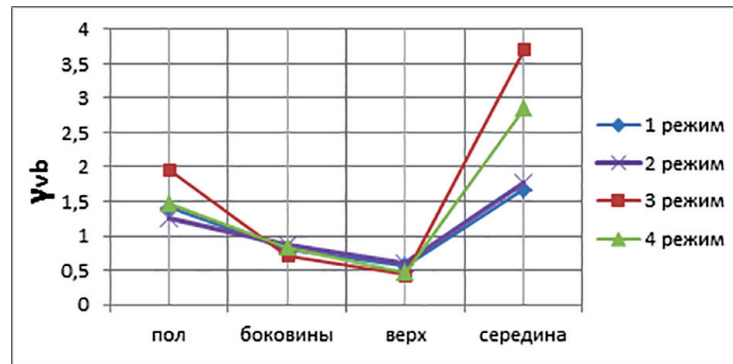


Рис. 20. Диаграмма величины γ_{vb} для кокпита



Рис. 21. Диаграмма величины γ_{vb} для заднего подрамника

Заключение

Представленные графики позволяют легко анализировать перегруженные и недогруженные области. К примеру, на рис. 21 видно, что стержни верхней зоны заднего подрамника принимают очень небольшую нагрузку, учитывая долю их объема. Обратная ситуация наблюдается в области боковин: в этой зоне существенно более высокая нагрузка приходится на значительно меньший объем материала. В то же время, области пола и середины воспринимают долю нагрузки, сообразную своей доле объема, что можно считать оптимальным показателем распределения нагрузки по объему. В этой связи важно отметить, что представленные диаграммы распределения средних напряжений по зонам подконструкций могут быть использованы в качестве отправной точки для оптимизации существующих или для разработки подобных конструкций «чистого листа».

Разумеется, разработка или оптимизация несущих систем автомобилей багги не предполагает необдуманного использования представленных диаграмм, поскольку они являются лишь одним из многих инструментов анализа, доступных разработчику таких конструкций.

В данной работе представлена информация о характере распределения нагрузки по зонам подконструкций для одной рамы. Между тем, расширение подобной базы данных для разнообразных конструкций такого рода могло бы сыграть существенную роль в деле облегчения и ускорения проектирования рам для автомобилей багги.

Литература

1. Carroll Smith. Tune To Win. Aero Publishers, inc; 1st edition (June 1, 1978). 173 p.
2. Барахтанов Л.В., Дмитриев П.Е. Статистические характеристики микропрофиля автомобильных дорог. Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет, 2011. 11 с.
3. Nitin S Gokhale, Sanjeev V Bedekar, Anand N Thite Sanjay S Desphande. Practical Finite Element Analysis, Finite To Infinite; 1st edition (2008).
4. European Aluminium Association. Stiffness relevance and strength relevance in crash of car body components, 2010.
5. Helsen J., Cremers L., Mas P., Sas P. Global static and dynamic car body stiffness based on a single experimental modal analysis test, Department of Mechanical Engineering, Celestijnenlaan 300 B, B-3001, Heverlee, Belgium. P. 2505–2541.

References

1. Carroll Smith. Tune To Win. Aero Publishers, inc; 1st edition (June 1, 1978). 173 p.
2. Barakhtanov L.V., Dmitriev P.E. *Statisticheskie kharakteristiki mikroprofilya avtomobil'nykh dorog* [Statistical characteristics of the micro-profile of motorroads]. Nizhniy Novgorod: Nizhegorodskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskiiy Universitet Publ., 2011. 11 p.
3. Nitin S Gokhale, Sanjeev V Bedekar, Anand N Thite Sanjay S Desphande. Practical Finite Element Analysis, Finite To Infinite; 1st edition (2008).
4. European Aluminium Association. Stiffness relevance and strength relevance in crash of car body components, 2010.
5. Helsen J., Cremers L., Mas P., Sas P. Global static and dynamic car body stiffness based on a single experimental modal analysis test, Department of Mechanical Engineering, Celestijnenlaan 300 B, B-3001, Heverlee, Belgium. P. 2505–2541.

LOAD DISTRIBUTION BY ZONES OF FRAME SUB-CONSTRUCTIONS OF D2 CLASS BUGGY RACING CAR

Dr.Eng. **E.E. Bazhenov**¹, Ph.D. **S.K. Buynachev**², **A.N. Kustovskiy**¹

¹Ural State Forestry Technical University, Ekaterinburg, Russia,

²Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia,
Kustovsky88@mail.ru

In this paper, the authors consider the loading of the buggy car system under the most typical loading modes: the mode of approach of the front wheel to the obstacle, the mode of the rear wheel approach to the obstacle, the mode of diagonal loading, as well as the mode of twisting the frame around the longitudinal axis. For the convenience of analysis, the frame of the buggy car is divided into substructures, which, in turn, are divided into zones. For each of the zones of each sub-structure, the bar graph shows the proportion of the perceived load for each type of loading. The presented graphs make it easy to analyze overloaded and underloaded areas. For example, the rods of the upper zone of the rear subframe take a very small load, given the proportion of their volume. The reverse situation is observed in the sidewall region: in this zone much lower load is accounted for by a much smaller volume of material. At the same time, the areas of the floor and the middle perceive a load share, consistent with its volume fraction, which can be considered the optimal indicator of load distribution by volume. In this connection, it is important to note that the presented diagrams of the distribution of medium stresses over zones of substructures can be used as a starting point for optimizing of existing or for developing of such structures "from scratch". Calculation of the load applied to the substructure was carried out by summing the average stresses on the elements constituting the considered subconstruction. In addition, with the help of the appropriate coefficient, an estimate was made to the correspondence of the proportion of the volume of the zone of a particular subconstruction to the proportion of the load applied to it. This information can then be used to optimize the design or used as a starting point for the design of similar structures. All the presented calculations were performed in the SolidWorks software using the finite element method.

Keywords: buggy, bearing structure, substructures, medium stresses, load, frame, loading mode, load distribution.