

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра Проектирование и эксплуатация автомобилей

(наименование)

23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили и автомобильное хозяйство

((направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Повышение эксплуатационных характеристик рамы транспортного средства класса «карт»

Обучающийся

Р.Р. Халилуллов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

кандидат технических наук, доцент М.В. Прокопьев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2022

Аннотация

В представленной работе бакалавра проведена углубленная проработка повышения эксплуатационных характеристик рамы карта.

Работа состоит из введения, 4 частей, заключения, списка использованной литературы и источников, таблиц, рисунков и расчетов.

Целью работы является разработка мероприятия для повышения эксплуатационных характеристик рамы транспортного средства класса «карт».

Проведен анализ конструктивных особенностей карта.

Рассмотрены имеющиеся технические решения. Подобрана наиболее подходящая компоновка карта.

На основе аналогов выбрана и подготовлена расчетная модель.

Разработан сравнительный анализ конструкционной прочности рамы и жесткости базовой конструкции.

Определены основные характеристики оптимизированной конструкции рамы карта.

Модернизированная рама имеет высокие эксплуатационные характеристики. Разработанная рама может быть применена при создании профессионального гоночного карта. Она отвечает всем требованиям безопасности, и обеспечит безопасность пилоту карта.

Содержание

Введение.....	4
1 Рассмотрение теоретического аспекта и анализ технических решений по повышению прочности рамы.....	6
1.1 Гонимый автомобиль карт – особенности и конструкция.....	6
1.2 Анализ технических решений по проектированию рамы карты.....	10
2 Конечно-элементная модель построения в программе.....	21
2.1 Расположение основных элементов рамы карты.....	21
2.2 Подготовительные работы в программе для создания модели.....	24
3 Расчет нагрузок на конструкцию рамы карты.....	30
3.1 Анализ нагрузок и деформации рамы карты.....	30
3.2 Исследования на жесткость и прочность конструкции рамы.....	36
4 Повышение эксплуатационных характеристик рамы карты.....	40
4.1 Анализ жесткости конструкции рам с учетом изменений.....	40
4.2 Анализ прочности и деформации полученной конструкции рамы.....	43
Заключение.....	49
Список используемой литературы и используемых источников.....	50

Введение

Картинг – это автоспорт, шоссейные гонки на автомобилях карт на уменьшенных трассах. Карт - это гоночный автомобиль, малолитражного типа, с открытыми колесами. Картинг – это первая ступень в развитии гонок Формула 1. Многие гонщики мира Формулы 1 начинали свою карьеру в картинге, в связи с этим картинг это скорее детский автоспорт. В связи с несложностью управления, картинг часто воспринимается как развлечение. Во многих городах строятся небольшие трассы, организуются пункты проката.

В работе мы будем рассматривать картинг не как развлечение, а как автоспорт. Карты для автоспорта существенно отличаются от картов в пунктах проката. Профессиональные гоночные карты снабжаются двухтактными моторами, в отличие от прокатных картов, которые снабжены четырехтактным мотором.

Целью работы является разработка мероприятия для повышения эксплуатационных характеристик рамы транспортного средства класса «карт».

Для выполнения цели работы необходимо решить ряд задач:

1. Провести анализ конструктивных особенностей карта.
2. Рассмотреть имеющиеся технические решения. Подобрать наиболее подходящую компоновку карта. Рассмотреть аналоги
3. Разработать сравнительный анализ конструкционной прочности рамы и жесткости базовой конструкции.
4. Разработать мероприятия по повышению эксплуатационных характеристик рамы карта

Объектом исследования является – центр инжиниринга Тольяттинского государственного университета «Формула студент»

Предмет исследования – гоночный карт. В данной работе мы будем рассматривать с помощью конструкторской программы жесткость и

пластичные деформации. Эти параметры представлены в различной литературе, на которую мы и будем ссылаться. Рассмотрим коэффициент жесткости, которым должен соответствовать гоночный карт. Рассмотрим различные материалы труб, различные сечения труб. Сопоставим из сравнительных таблиц табличные показатели различных марок стали. Увидим, как толщина стенки влияет на тот или другой параметр. Проведем анализ пространственного каркаса рамы карта. Изменим в каркасе одну и ту же дугу на различные расстояния. Прорисуем в программе сам пространственный каркас. Проведем импорт и экспорт файлов для дальнейшего программного анализа. Получим требуемый коэффициент жесткости, который позволит нам создать раму гоночного карта. Поучаствуем в разработке конструкции рамы карта. Наглядно увидим результат, на который мы рассчитывали в данной работе. Разберем и проанализируем работы авторов, которые публиковались ранее. Найдем их положительные и отрицательные стороны в работах. Определим чем авторы руководствовались в своих работах. Почему выбрали тот или иной показатель для достижения своих задач. Насколько правильные задачи они ставили в своих работах. Будем определять выигрышную конструкцию рамы карты, основываясь на предыдущий опыт авторов.

1 Рассмотрение теоретического аспекта и анализ технических решений по повышению прочности рамы.

1.1 Гоночный автомобиль карт – особенности и конструкция.

«Малолитражный гоночный автомобиль открытого типа представляет собой карт. Карт развивает скорость от 60 до 260 км/ч. Важной особенностью карта является отсутствие традиционной подвески – здесь ось прочно прикреплена к раме. Отсутствует дифференциал и оба задних колеса вращаются с одинаковой скоростью. Развал и поворот можно регулировать, отсутствуют амортизаторы или пружины, также углы развала и кастера включены в конструкцию шасси.» [1]

«Есть несколько видов картинга, такие как: спортивный (профессиональный) и прокатный (любительский). Основное различие в области применения. Прокатный картинг доступен каждому, даже человеку без опыта вождения. Требуется только арендовать карт на специально оборудованной площадке - трассе. Прокатный картинг легко управляется двумя педалями по принципу газ и тормоз.»[15] Рулевое управление стандартное. Коробка передач отсутствует на таких моделях картов. Спортивный профессиональный картинг более сложный в конструкции. Сложность конструкции определяется повышенными параметрами, предъявляемыми к гоночному картингу. Так как карт испытывает повышенные нагрузки на гоночной трассе. Для этого проектируют раму с различной компоновкой узлов и агрегатов. Правильная развесовка рамы дает преимущество в динамике. Правильное расположение косынок и усиливающих элементов повышает жесткость конструкции. Следовательно повышается коэффициент упругой деформации. Рассмотрим теоретические аспекты повышения полученной жесткости рамы. Проанализируем технические решения, которые примем в работе.

«Устройство стандартного автомобиля класса «карт» включает в себя семь составляющих:

- 1) рама;
- 2) элементы защиты (так называемый носовой короб и боковая защита);
- 3) ходовая часть;
- 4) рулевая часть;
- 5) двигатель (обычно двухтактные бензиновые, мощностью от 5 до 7 лошадиных сил);
- 6) радиатор охлаждения;
- 7) место водителя, сделанное из жесткого пластика (рисунок 1).

Сегодня карт – это спортивный гоночный автомобиль. За его рулем начинают свою карьеру большинство будущих пилотов Формулы 1.» [16]



Рисунок 1 – Общий вид стандартного карта

«Стоит сказать, что в последнее время активно развивается направление электрокартинга. Это направление обладает несомненными плюсами, такими как:

- 1) отсутствие выхлопов,
- 2) низкий уровень шума,
- 3) всесезонность,
- 4) отсутствие необходимости дополнительной вентиляции в помещении картодрома.» [21]

«Основой всех болидов вне зависимости от класса является рама, к ней обычно крепятся основные узлы: двигатель, рулевое управление, тормозная система и ходовая часть. Рама карта всегда должна быть стальная, а материал, из которого она сделана, должен быть магнитным. Применение материалов, таких как углепластик и титан запрещено. Это сделано для увеличения жесткости конструкции и улучшения безопасности.» [6]

«Следующий вопрос это развесовка карта, которая является одной из самых главных настроек болида. Неправильное распределение веса это неправильные настройки шасси и ухудшению управляемости болидом. Главные проблемы: недостаточная поворачиваемость; плохой зацеп с покрытием; чрезмерная или недостаточная нагрузка колес карта; неправильное перераспределение веса во время прохождения поворота.» [3]

«В основном вес карта распределяют по следующему принципу: вес на переднюю ось – 43 %; вес на заднюю ось – 57 %; левый и правый вес – 50 /50 . Одним из важных этапов перераспределения веса является правильная установка сиденья болида. Сиденье влияет на размещение центра тяжести карта.

Как правило, используется три основных размера (рисунок 2):

- высота сиденья относительно нижнего края труб шасси;
- расстояние от верхнего края сиденья до задней оси карта;
- расстояние от передней части сиденья до передней части шасси.» [18]

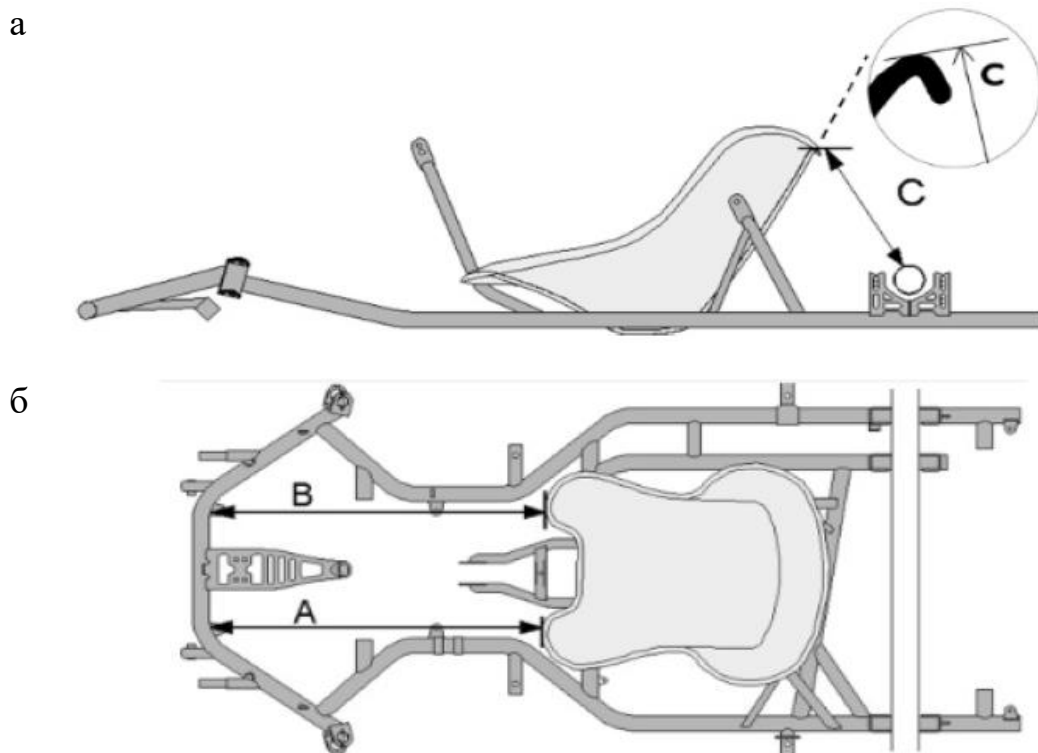


Рисунок 2 – Установка сиденья на раме: а – расстояние от верхнего края сиденья до задней оси карта; б – расстояние от передней части сиденья до передней части шасси

«Разработка конструкции как правило начинается с анализа уже известных конструктивных решений. Выявляются преимущества и недостатки. Также делается выбор материала и способы фиксации элементов между собой. На основании полученных данных создается САД-модель несущей конструкции, которая должна учитывать требования безопасности, надежности и возможности установки всех необходимых узлов болида на несущую раму.» [15]

«Для выявления деформируемого тела в конструкции проводится конечно-элементный анализ. Для анализа создается расчетная модель рамы карта, по результатам которой сравнивают смоделированные значения со значениями, полученными опытным путем. Далее делают вывод о надежности несущей конструкции рамы. В случае, если неудовлетворительный результат, то проводится повторный анализ конструкции несущей системы, в котором выявляются участки подверженные максимальной деформации и участки слабдеформированные.

Также следует проводить анализ напряженного состояния узлов обвязки рамы, с целью выявления зон упругой и пластической деформации. Для наглядности рассматривают запас прочности в выявленных местах рамы карта. Требуется изменить конструкцию рамы таким образом, чтобы перераспределить напряженные участки с увеличением конструкционной прочности в проблемных зонах.» [17]

Таким образом, повышение прочности несущей системы рамы карта - является одной из основных задач. Эту задачу мы ставим в данной работе.

1.2 Анализ технических решений по проектированию рамы карта

Основой любого автомобиля, а особенно гоночного – является рама. От прочности рамы зависит безопасность водителя на шоссейных гонках. Проектирование рамы это один из важнейший этапов при создании карта.

Проектированию рамы карта посвящено много трудов, рассмотрим некоторые из них.

Работы посвящены расположению труб в несущей конструкции, материалам из которых изготовлена рама, способам крепления узлов и толщине материала в раме.

В одной из работ был рассмотрен материал рамы. «Материал рамы был выбран трубы из малоуглеродистой стали толщиной 2 мм. Анализ рамы проводили посредством комплекса конечно-элементного анализа. При этом нагрузку при фронтальном ударе задавали величиной 600 Н, а при боковом и ударе сзади – 400 Н. По результатам моделирования напряжения составили соответственно 124 МПа – фронтальный удар , 137 МПа – боковой удар и 123 МПа – удар сзади, и максимальные деформации при этом в диапазоне от 2,2 до 2,4 мм.» [14]

В другой работе авторы «провели анализ созданной ими САД-конструкции с помощью программы SolidWorks (рисунок 3). Анализ был

проведен посредством метода конечных элементов в программном комплексе ANSYS.» [8]

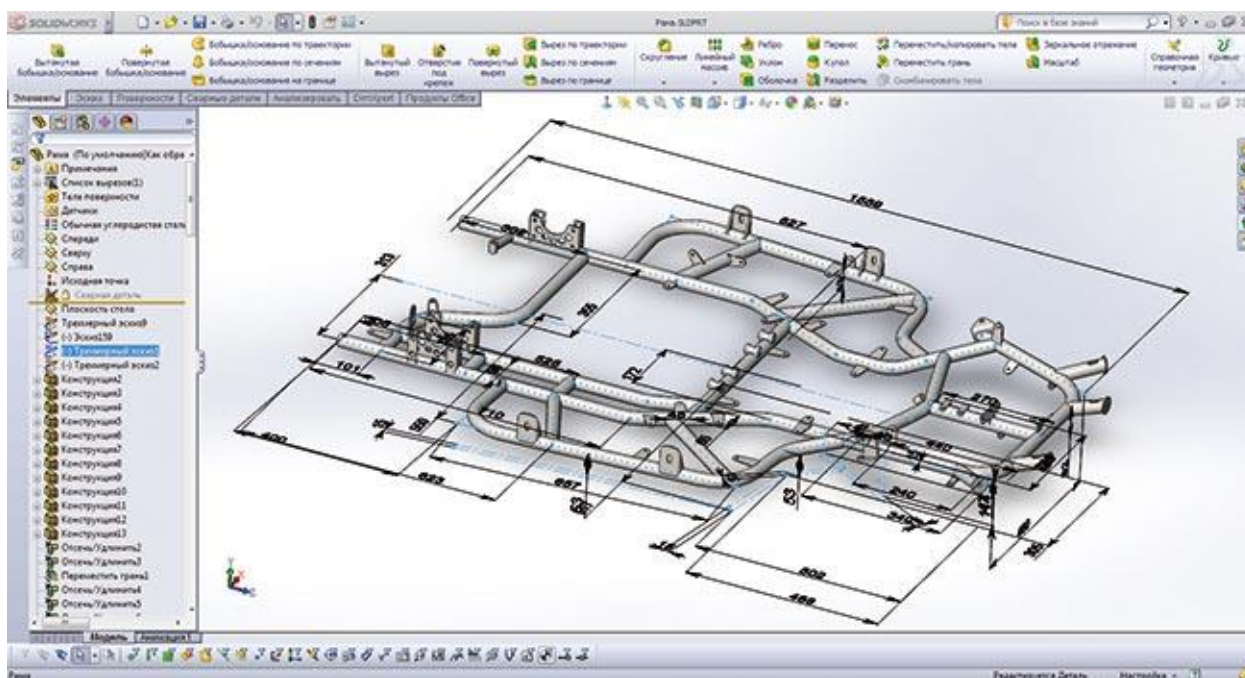


Рисунок 3 – CAD-модель рамы карта

«Материалом каркаса были выбраны и использованы трубы из стали AISI 1020 диаметром 25 мм с толщиной стенки 1,4 мм. Моделировали удары фронтальный, боковой и сзади.

Для моделирования фронтального удара сила была рассчитана, исходя из перегрузки в момент удара 4g, и составила 4708,8 Н; для бокового удара и удара сзади, исходя из перегрузки 2,5g, сила составила 2943 Н.

При этом максимальные напряжения составили 258 МПа, 23 МПа и 268 МПа соответственно при фронтальном, боковом ударах и ударе сзади. Исходя из вышеизложенного, авторы [13], основополагались на пределе текучести стали (350 МПа), и сделали вывод о безопасности спроектированной ими конструкции.

Выявлен недостаток данной конструкции: рама находится в одной плоскости и через несколько циклов нагружения при работе в реальных

условиях все результаты моделирования перечеркиваются, так как появятся пространственные деформации. В таком случае напряжения при ударах будут концентрироваться в других частях рамы.» [9]

В следующей работе был рассмотрен материал рамы конструкции - среднеуглеродистая сталь AISI 1018. «Этот материал отличается хорошим сочетания всех типичных свойств стали, таких как высокая прочность на разрыв, пластичность, легкий вес, хорошая свариваемость. И немаловажный фактор это сравнительная простота обработки деталей.

Конечно-элементный анализ проводили в HyperWorks 11.0. Автор проводил 2D-анализ оболочки, потому что этот анализ показывает хорошую точность результата моделирования в программе (рисунок 4).» [16]

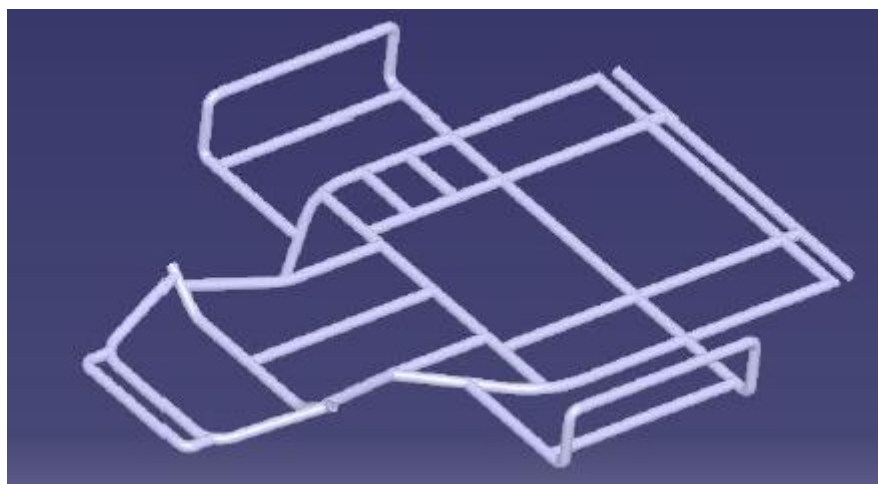


Рисунок 4 – Модель рамы карта в Catia V-5

«Моделирование происходило при испытании на лобовое столкновение карта с неподвижной жесткой стеной до полной остановки. Автор предположил, что масса транспортного средства с водителем в 170 кг.» [19] Сила удара взята за основу перегрузки 4g, что соответственно составило 6670 Н. Данную силу нагрузки приложили к передней части – бамперу. «Создали неподвижность рамы карта по центру конструкции под сиденьем пилота. Деформация рамы карта составила 1,97 мм. Максимальные напряжения

составили 187 Мпа. При этом коэффициент запаса прочности 1,98. Это дает сделать вывод о надежности конструкции.» [2]

Автор не указывал материал и параметры используемых труб в раме конструкции. Это не позволило в полной мере оценить результаты.

В следующей работе проведен наиболее полный анализ конструкции рамы. Авторы рассматривали модель в определенной программе. Использование легированной стали ставит под вопрос различные параметры, рассматриваемые автором.

На рисунке 12 представлено конструктивное исполнение рамы карта. Этот тип рамы использован для соревнований в категории с двигателями до 100 см³. Конструкция рама состоит из металлических труб. Сталь – конструкционная легированная 25CrMo4. Внешний диаметр труб 32мм, толщина 2 мм для основного каркаса рамы. Второстепенные элементы каркаса диаметром 28, 20 и 14 мм (рисунок 5).

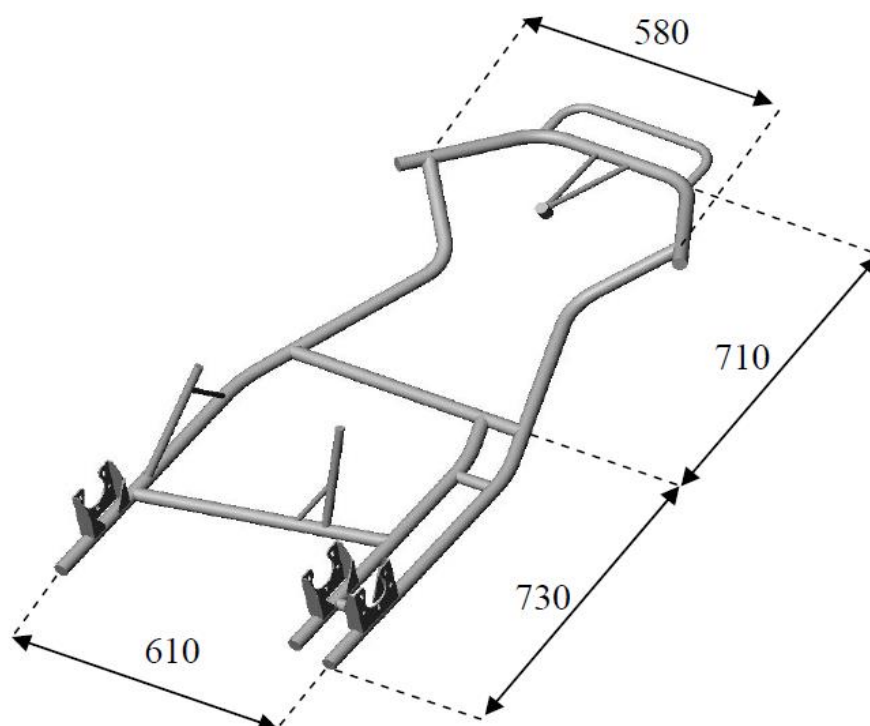


Рисунок 5 – Габариты рамы карта

«Определяли жесткость рамы на кручение. Получили результат путем проведения экспериментальных испытаний. Раму закрепили в задней части конструкции. Передняя центральная часть рамы была установлена на шаровую опору. Таким образом, добились имитации шарнира (рисунок 13).» [7] Установили специальный стержень, который являлся усилителем и нагрузки прикладывали к кронштейнам крепления осей передних колес.

Принимаем толщину специального стержня. Учитывая, что толщину стенки мы приняли в пределах коэффициентов запаса прочности, но в то же время конструкция будет эксплуатироваться в более «благоприятных» для допускаемого напряжения материала условий. Проведем поверочный расчет выполнения условий достаточной прочности при полуторократном увеличении. Для проверки этого условия выбираем толщину стенки (без учета коэффициента запаса прочности), при этом допускаемое напряжение в конструкции будет одинаковым. Из сложившейся практики изготовления рамных конструкций, для увеличения запаса прочности применяют различные методы. В частности, для разгрузки напряжения швов и стенок рамы (рисунок 6).

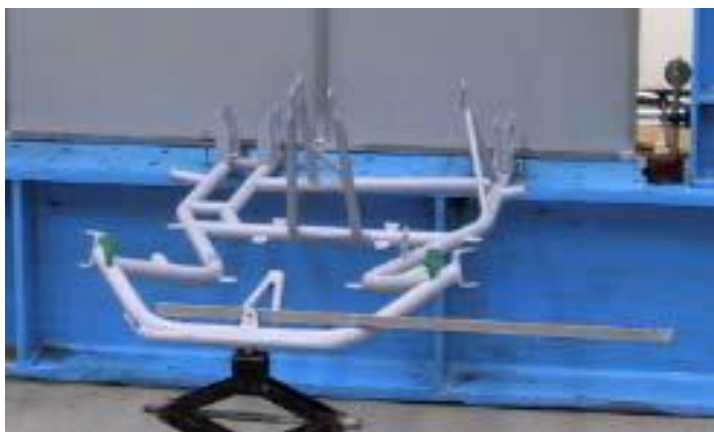


Рисунок 6 – Общий вид экспериментальной установки

Конструкция выполнена согласно предъявленным требованиям с усилением, по аналогии с предыдущим автором. Жесткость конструкции

определенной формы обеспечивается за счет дополнительных элементов. В данном случае выполненного в виде поясов жесткости из профильных труб. Под воздействием давления сиденья пилота в любом случае происходит прогиб элемента жесткости в зависимости от воздействия силы давления. В соответствии с требованиями картинга величина прогиба исчисляется очень просто. Прогиб второго и третьего элемента конструкции рамы несколько выше, но прочностные расчеты показывают, что это не должно повлиять на прочность конструкции. Подтверждение этих данных приводят авторы.

«В этих испытаниях прикладывали различные нагрузки 100, 200 и 300 Н к одному из кронштейнов рамы конструкции. Данные испытания выявили, что жесткость рамы составляет порядка 175 Н·м/град. Полученное значение сопоставимо со значениями, указанными в литературе 160-190 Н·м/град [10]. Испытания также подтвердили, что в пределах диапазонов нагрузок 100, 200 и 300 Н конструкция рамы показывает линейное поведение жесткости при кручении. Так это как отношение между приложенным крутящим моментом и скручиванием рамы. Конструкция рамы показывает симметричную деформацию конструкции при кручении по отношению к продольной оси рамы.» [20]

«Полностью анализ проведен в зоне упругой деформации с использованием линейных элементов конструкции. Использованы авторами для анализа программы: Strauss (элементы балочного типа) и Algor (элементы пластинчатого типа). Были проведены два этапа исследований. Первый этап был уделен созданию надежной конечно-элементной сетки. Такая сетка способна максимально точно воспроизводить результаты экспериментальных испытаний, которые проводились ранее. Так, модель, которая была выполнена в программе Strauss, состоит из примерно 400 конечных элементов. Что позволяет получить точность по отношению к экспериментальному значению, приблизительно 5 %. Модель для программы Algor состоит из примерно 26000 пластинчатых элементов. Так результаты моделирования отличаются от экспериментальных результатов на 2 %.» [14]

«Второй этап был для изучения различных вариантов конструкции рамы. Произведено сравнение с базовой моделью рамы, изготовленной из стали 25CrMo4. При этом анализировались различные параметры, такие как масса конструкции и ее жесткость на кручение конструкции исходной рамы.

Рисунок 7 показывает конфигурацию базовой рамы и различные варианты модификации ее конструкции. Изменение заключается во вставке других элементов в определенные места конструкции, а также изменении кривизны некоторых элементов конструкции рамы.

Таким образом, были проанализированы варианты увеличения жесткости рамы на кручение путем внедрения дополнительных распорных элементов в конструкцию.» [21]

«В таблице 1 приведены значения массы рамы и жесткости на кручение. Представлены результаты различных модификаций конструкции базовой рамы карта. Сравнивая значения этих величин со значениями базовой конструкции карта, мы видим, что изменение геометрии в центральной части рамы, сильно влияет на значение жесткости рамы. В таблице видно, что наибольшие изменения произошли в пунктах № 10, 7 и 6.» [14]

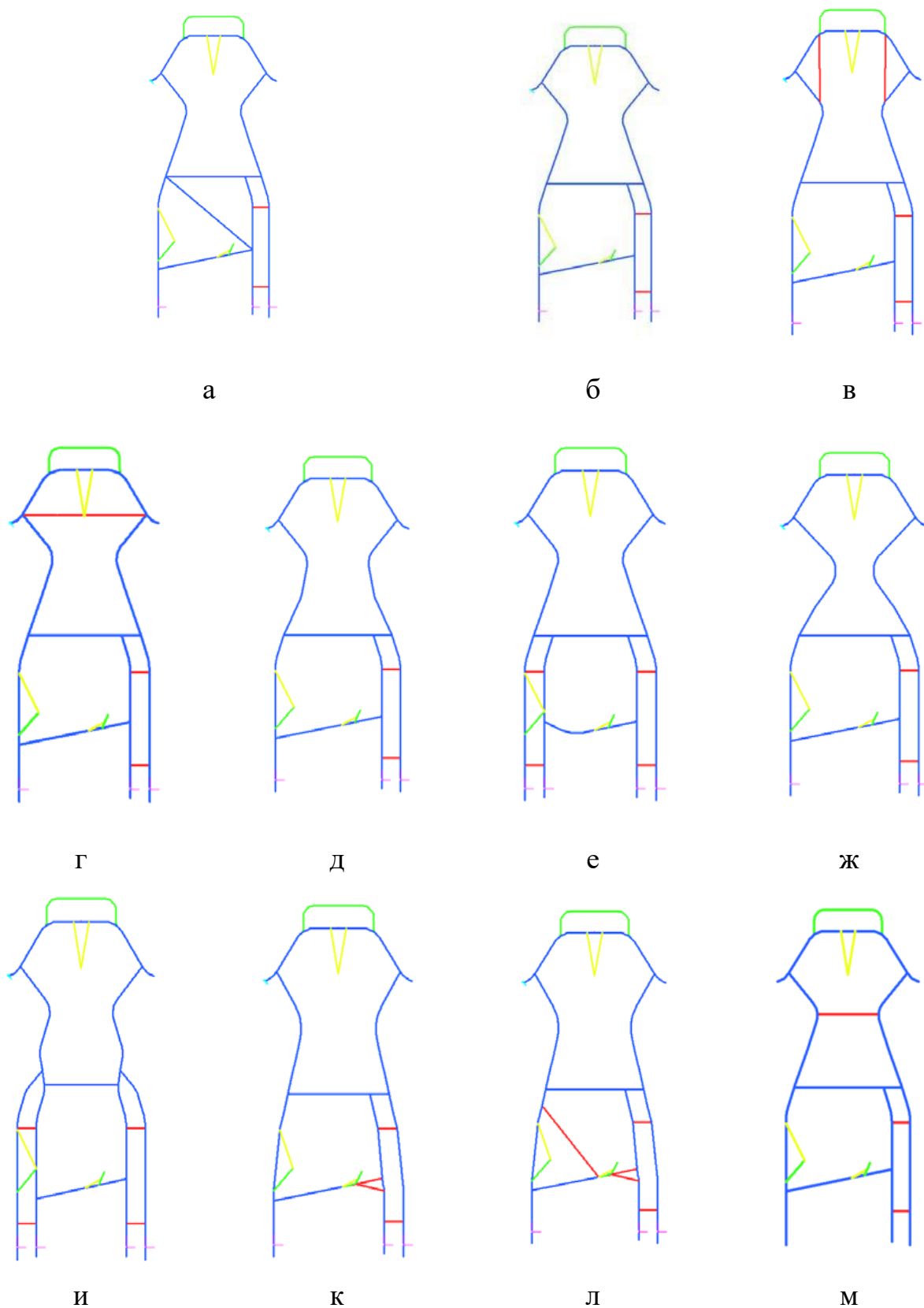


Рисунок 7 – Базовая модель рамы и варианты ее модификации: а – базовый вариант конструкции рамы, б-л – варианты модификации от 1 до 10 соответственно

Таблица 1 – Сравнение различных компоновок

№ модификации конструкции	Масса, кг	Жесткость рамы, Н·мм/град	Изменение веса, %	Изменение жесткости рамы, %
Базовая конструкция	9,49	1,763Exp+05	–	–
1	10,39	1,936Exp+05	+9,5	+9,8
	10,30	2,031Exp+05	+8,5	+15,2
3	10,25	1,834Exp+05	+8,0	+4,0
4	9,50	1,740Exp+05	+0,1	-1,3
5	10,64	1,970Exp+05	+12,1	+11,7
6	9,84	1,480Exp+05	+3,7	-16,0
7	11,00	2,089Exp+05	+15,9	+18,5
8	9,41	1,795Exp+05	+0,8	+1,8
9	9,96	1,951Exp+05	+4,9	+10,7
10	9,87	2,107Exp+05	+4,0	+19,5

«Авторы параллельно провели исследования, в которых определяли, как жесткость отдельных элементов влияет на общую жесткость конструкции рамы карта. На рисунке 15 представлена компоновка базовой конструкции рамы карта. В ней выделены элементы, принадлежащие к разным группам, у которых одинаковая толщина. В таблице 2 авторы показали основные результаты. Базовая конструкция принимается за точку отсчёта с толщиной стенок 2 мм по всей раме карта.» [10]

Таблица 2 – Основные результаты, полученные при изменении толщины

№ модификации конструкции	Группа	Толщина, мм	Масса, кг	Жесткость рамы, Н·мм/град	Изменение веса, %	Изменение жесткости рамы, %
Базовая конструкция	–	–	9,49	1,76Ехр+05	–	–
1	1	3	11,55	2,07Ехр+5	+19,6	+13,5
2	2	3	11,06	1,83Ехр+5	+5,8	+8,6
3	5	3	11,34	1,83Ехр+5	+5,8	+11,4
4	4	3	11,18	1,85Ехр+5	+6,9	+9,8
5	1 и 5	3 и 3	12,05	2,12Ехр+5	+22,5	+18,4
6	4 и 5	3 и 3	11,69	1,88Ехр+5	+8,7	+14,8
7	1 и 4	3 и 3	11,90	2,14Ехр+5	+23,7	+16,9
8	1 и 2	3 и 1	11,33	2,03Ехр+5	+17,3	+11,3

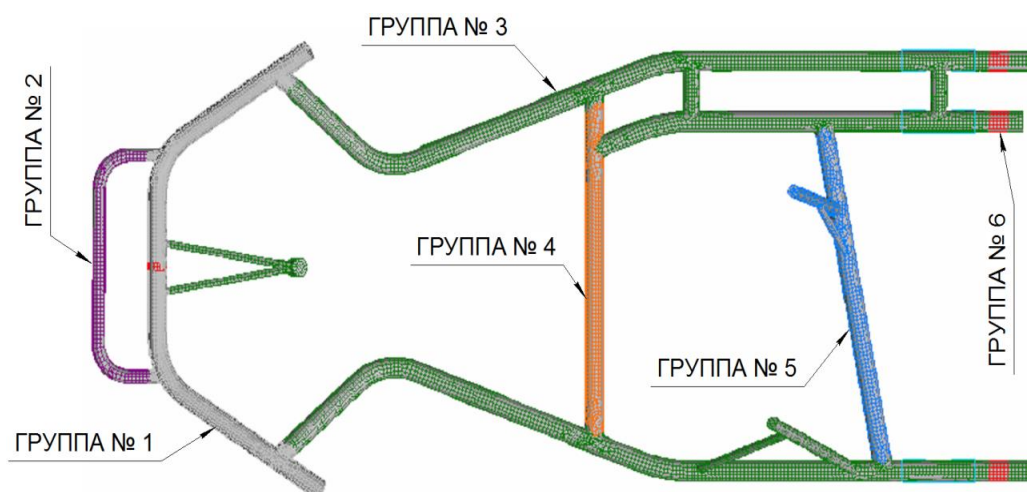


Рисунок 8 – Идентификация различных групп структурных элементов одинаковой толщины

Результатом исследования стало, то что именно компоновка конструкции рамы карта вносит большие изменения на жесткость при кручении рамы (рисунок 8). Также важным является то, что влияние оказывает даже изменение веса.

В то же время вызывает сомнение, что для материала конструкции можно использовать в данном конкретном случае такой показатель как средняя механическая прочность, который не учитывает условий

эксплуатации.

Согласны, что при определении коэффициента запаса прочности могут быть использованы более расширенные показатели. В то же время следует учесть, что поправки на условия работы, влияние температуры, время эксплуатации уже учитывались при определении допускаемого напряжения другими авторами. Поэтому в расчетах использованы общепринятые при сварке, учитывающие запас прочности и фактор сварки.

Методика способа определения дополнительных напряжений, вызванных неравномерной деформацией, действительно является упрощенной и не претендует на абсолютно точные количественные показатели. Но в конструкторских разработках часто используется метод полного и упрощенного расчета, причем последний как правило дает не только качественные, но и в допустимых пределах количественные показатели. Полный расчет дополнительных напряжений в конструкции рамы потребует достаточно сложного математического моделирования.

Вывод: упрощенные расчеты по нагрузкам качественно показали, что дополнительные напряжения, возникшие в следствие деформаций, сопоставимы и не могли не повлиять на прочностные характеристики конструкции, сократив тем самым время эксплуатации.

Анализ конструкции рамы и эксплуатационных характеристик транспортного средства класса «карт» выявил недостатки и положительные аспекты, которые помогут нам при дальнейшем проектировании.

2 Конечно-элементная модель построения в программе

2.1 Расположение основных элементов рамы карта

Создание карта начинается с его компоновки, так как рама является несущей конструкцией. На рисунках 9-12 представлена разработанная в программе Компас 3D - модель автомобиля класса «кارت».

Представленная конструкция и компоновка соответствует всем требованиям для установки на раму карта всех конструкций и необходимых комплектующих. В конструкции отсутствуют амортизаторы, функцию амортизаторов выполняют разные колеса, передние колеса меньше задних.

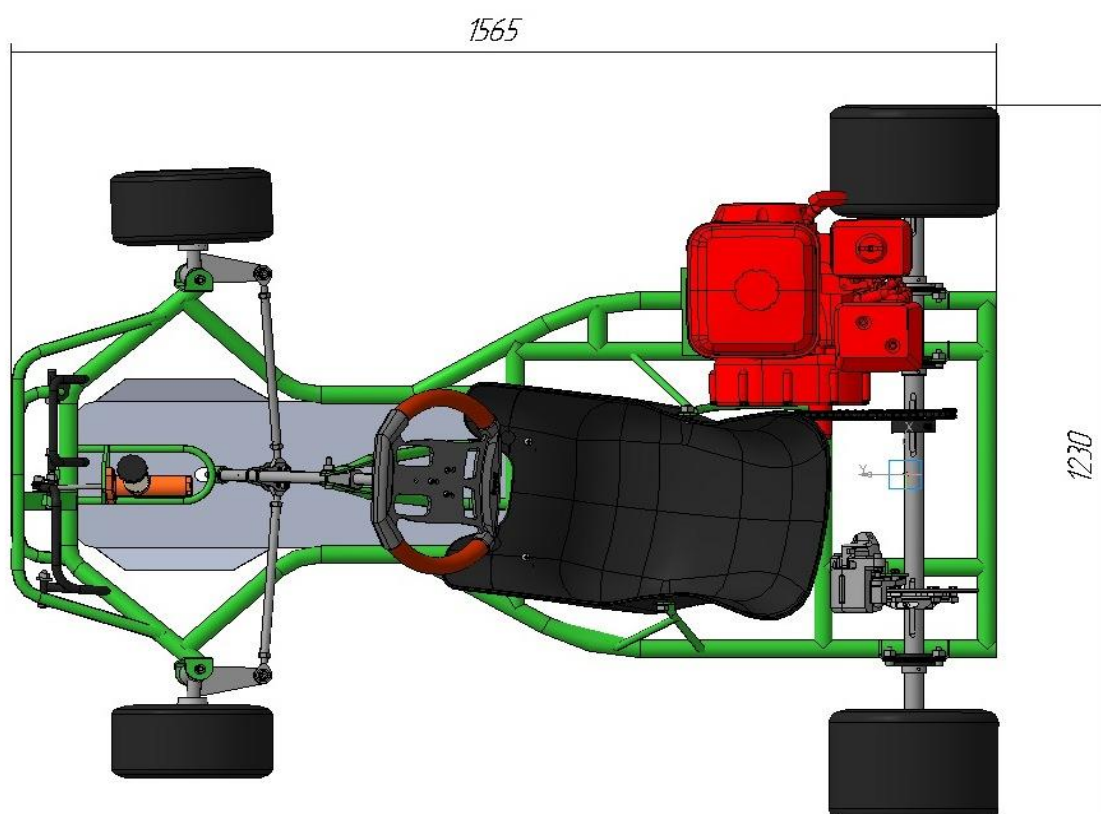


Рисунок 9 – Карт сверху

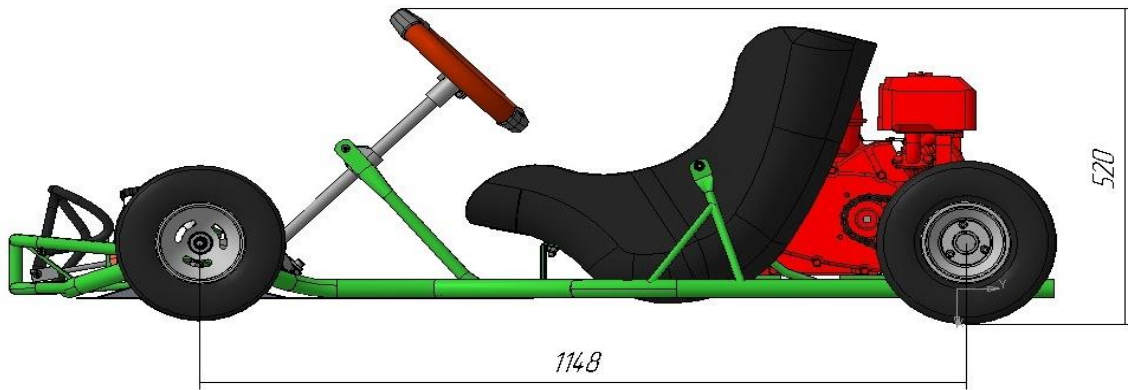


Рисунок 10 – Карт сбоку

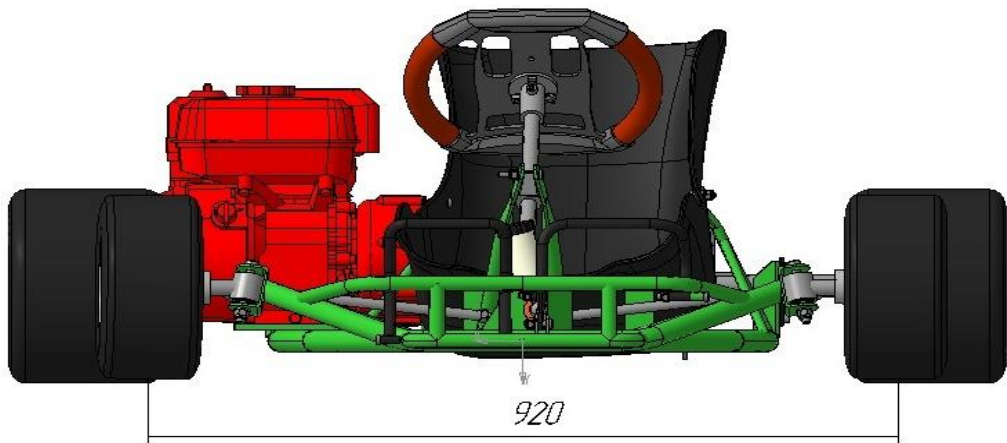


Рисунок 11 – Карт спереди

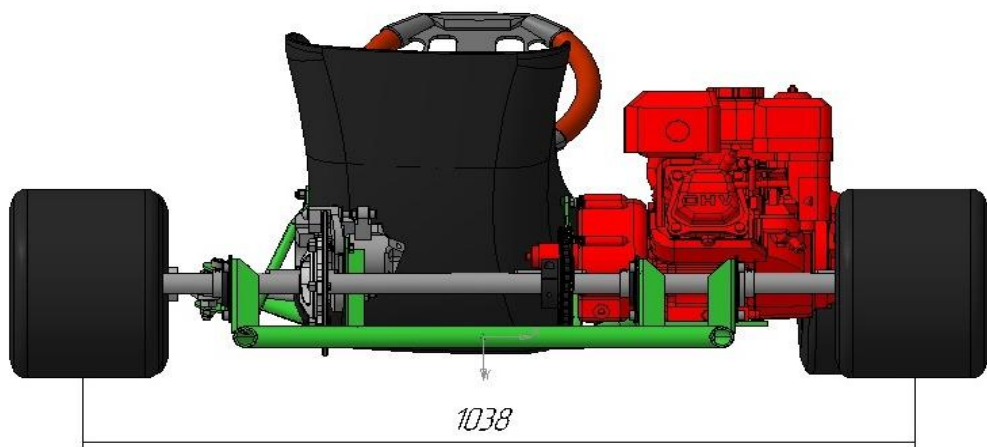


Рисунок 12 – Карт сзади

Стальная рама из труб карта (спроектировано в программе Компас 3D), влияет на маневренность автомобиля на трассе. Проектирование в программе Компас 3D обусловлено рядом факторов. Это общепринятая программа с определенным набором функций и дополнительных модулей. Дополнительные модули позволяют делать надстройки и получать желаемый результат (рисунок 13).

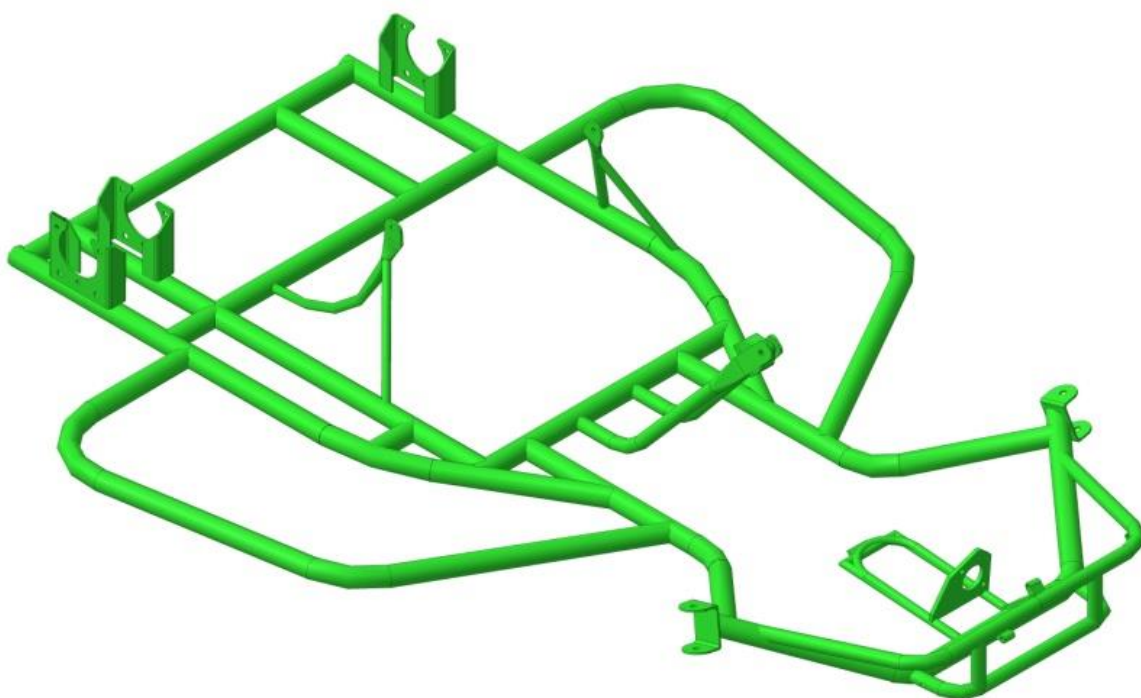


Рисунок 13 – Каркас рамы карта из стальных труб, 3D-модель

Материалом рамы выбрана сталь 20, которая является аналогом конструкционной стали AISI 1020. Для основной рамы это размер 30×3 мм, для боковых защитных конструкций размер 30×1,5 мм, для остальных элементов это 20×2 мм.

2.2 Подготовительные работы в программе для создания модели

Пространственные рамные конструкции, как правило, рассчитывают через стержневые одномерные конечные элементы.

В дальнейшем требуется произвести экспорт файлов из программы Компас 3D. Делается это в основном в формате IGES или STEP. Также экспортируются и направляющие, которые будут требоваться для конечно-элементного построения.

На данном этапе требуется подготовить расчетную модель. Для этого выбираем Ansys Mechanical. На наш взгляд она соответствует всем передовым требованиям. Программа решает вопросы и задачи механики деформации твердого тела с учетом свойств материала, также жесткости и взаимодействия компонентов.

Для расчета выбираем модуль Static Structural (SS) (рисунок 14).

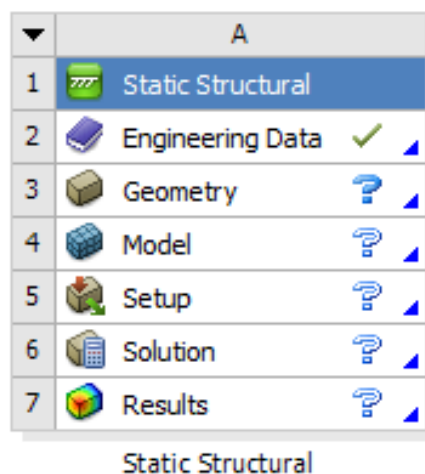


Рисунок 14 – Модуль SS

Модуль SS состоит из:

1. Элемент «Engineering Data», позволяющий определить свойства материалов модели В представленной таблице отредактировали свойства материала –SS и получили результат (рисунок 15):

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Structural Steel			General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material				

Properties of Outline Row 3: Structural Steel					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Mod...			
8	Young's Modulus	2E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0,3			
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa		
12	Strain-Life Parameters				
20	S-N Curve	Tabular			
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

Рисунок 15 – Engineering Data

- Импортируем модель SS, которую можно изменять. При этих действиях необходимо изменить элемент «Geometry». Получаем результат - «Properties of Schematic» (рисунок 16).

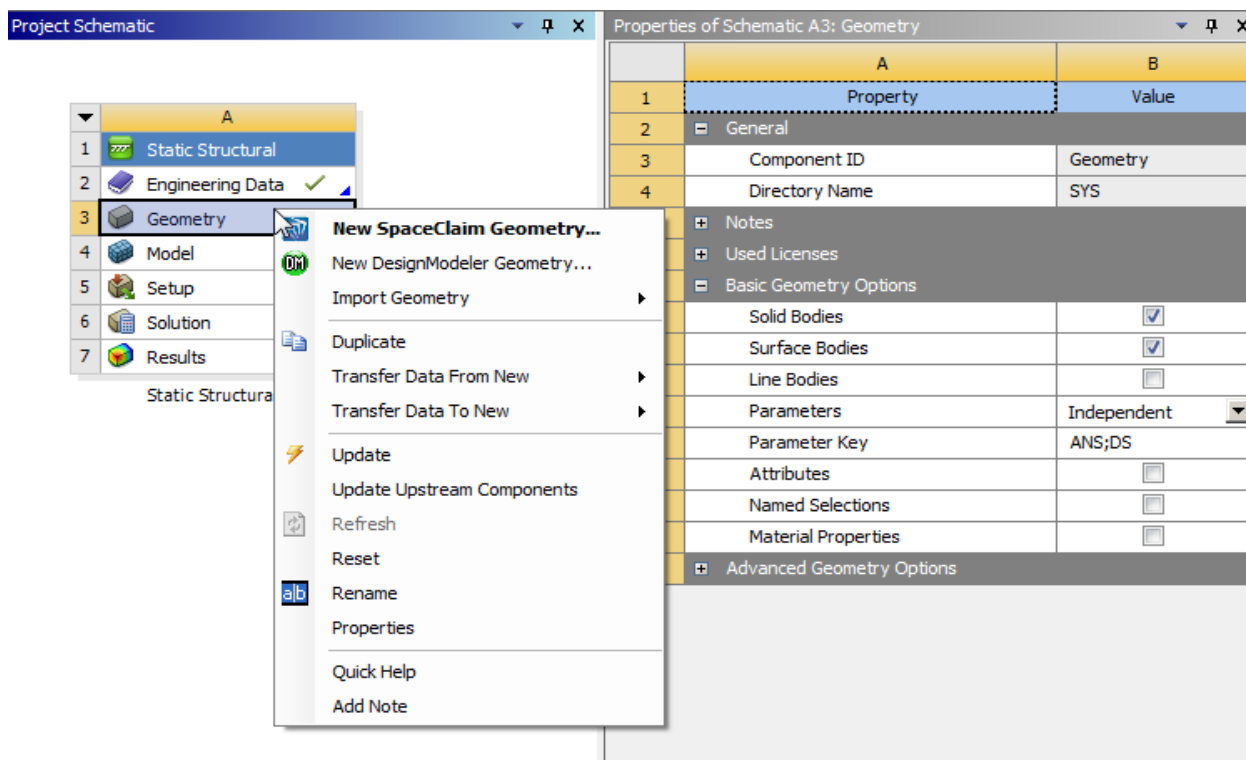


Рисунок 16 – Properties of Schematic

3. В окне «Basic Geometry Options» требуется активировать опцию «Line Bodies», так как импортируемая модель стержневая. Получаем Design Modeler (рисунок 17).

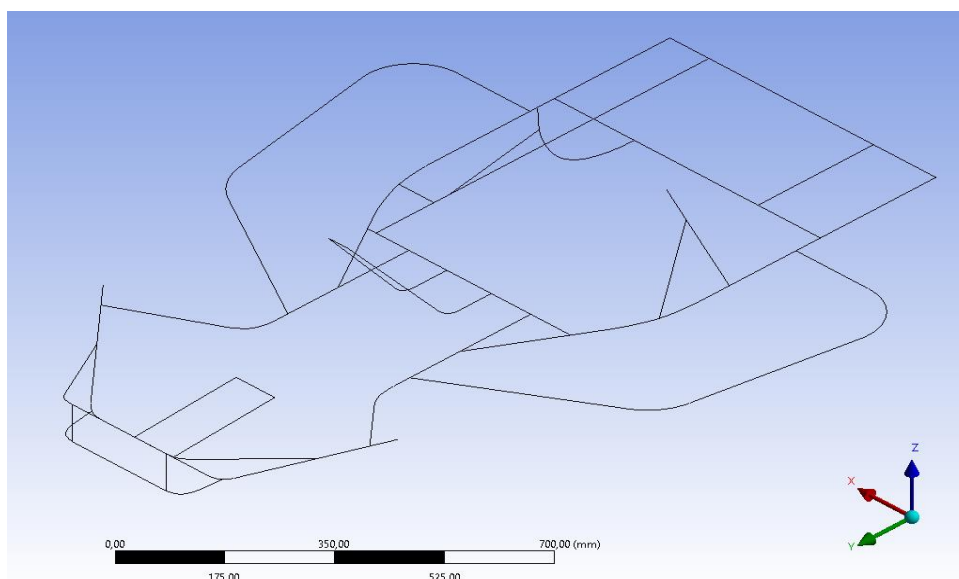


Рисунок 17 – Стержневая модель карта

4. Объединяем линейные тела по сечениям реальной твердотельной модели (рисунок 18).

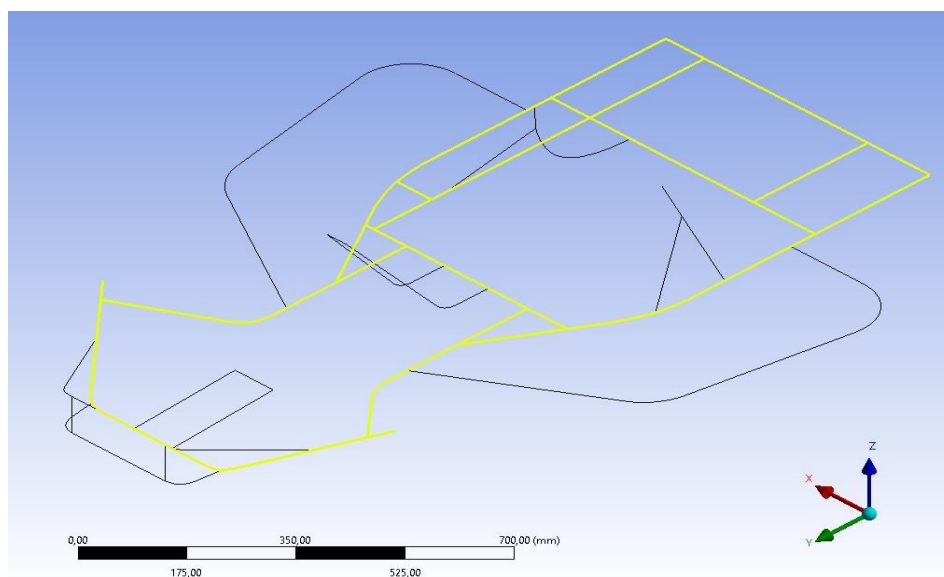
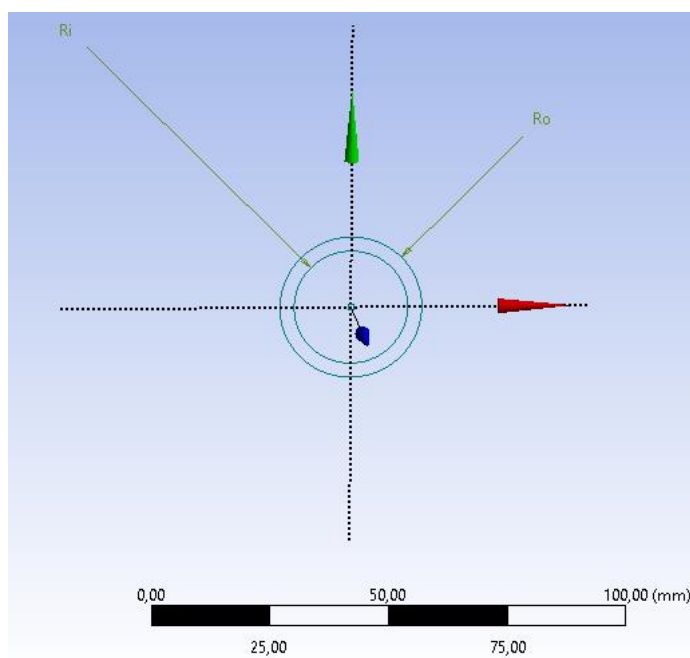


Рисунок 18 – Объединенное тело

5. Создаем сечения для направляющих. Для этого используем команду «Cross Section». В ней выбираем трубное сечение 30мм и толщину стенки 3мм (рисунок 19).



Details View	
Details of CircularTube30x3	
Sketch	CircularTube30x3
Show Constraints?	No
Dimensions: 2	
<input type="checkbox"/> Ri	12 mm
<input type="checkbox"/> Ro	15 mm
Edges: 2	
Full Circle	Cr9
Full Circle	Cr10

Рисунок 19 – Параметры сечения

6. Завершающий этап в модуле Design Modeler это объединение разрозненных тел посредством команды «Form New Part». На рисунке 20 представлена стержневая модель карта с присвоенными сечениями.

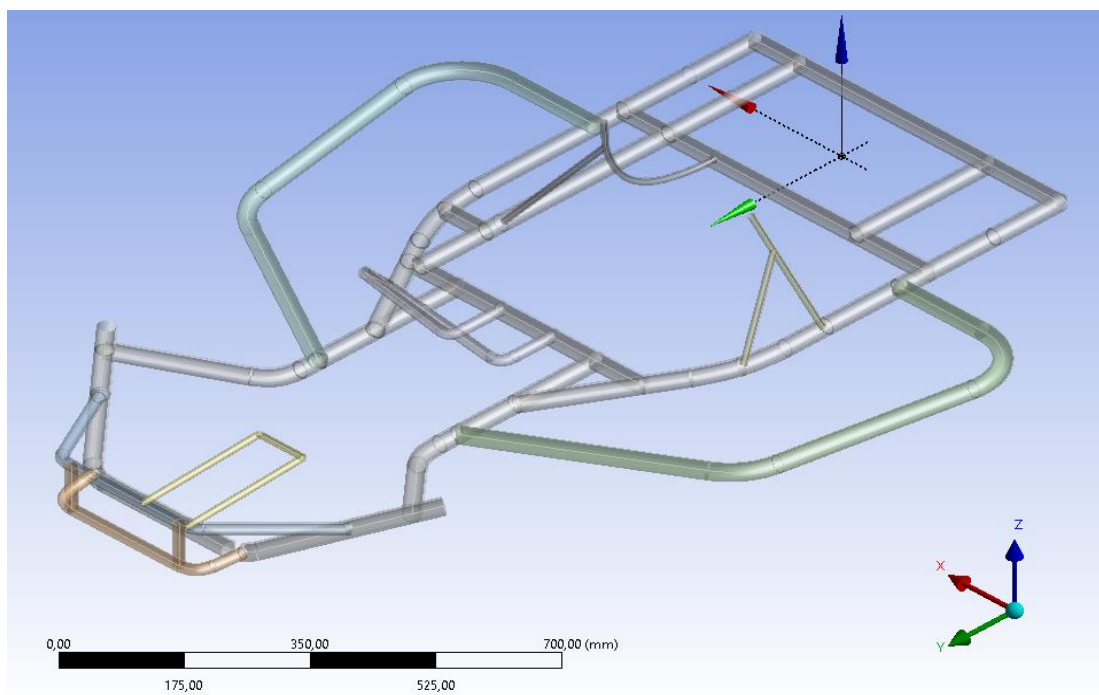


Рисунок 20 – Сечения карта

Вес рамы составил 17,75 кг.

Выберем размер последнего элемента - 5 мм и зададим условия и запрограммируем конечно-элементную сетку. Результат виден рисунке 21.

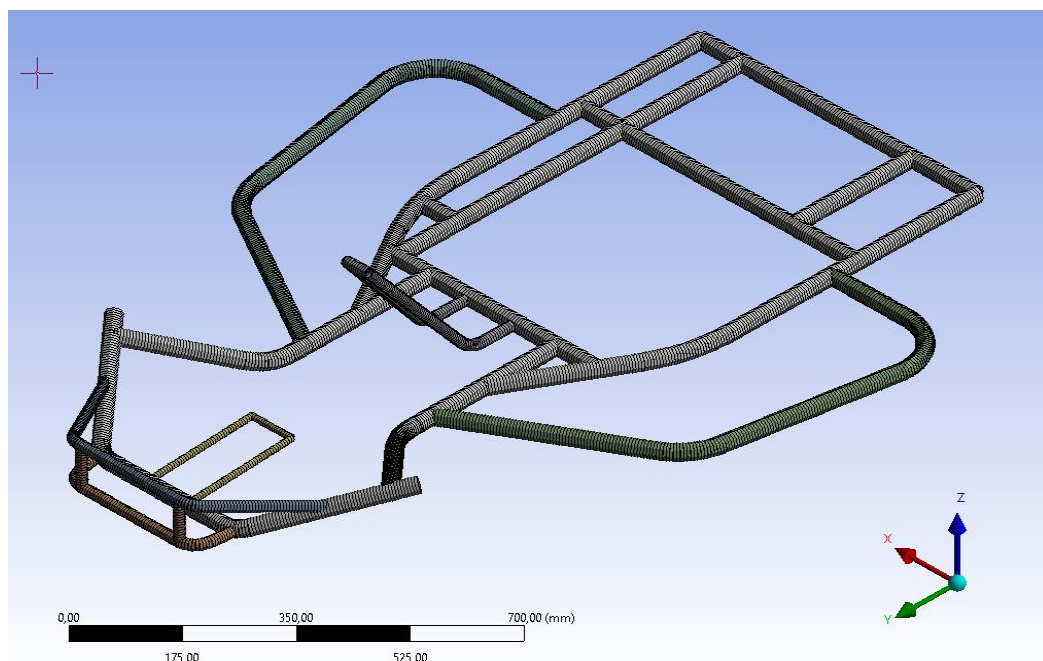


Рисунок 21 – Конечно-элементная модель

Конечно-элементная модель спроектирована, результат получен
Вывод: разработана 3D-модель рамы карта из стальной трубы размером 20, аналогичной AISI 1020. с заданными сечениями трубной конструкции и ее конечно-элементная модель.

3 Расчет нагрузок на конструкцию рамы карта

3.1 Анализ нагрузок и деформации рамы карта

Виды нагрузок для рамы мы выбираем из представленного обзора ранее. Величина прикладывания усилий определяется из расчета предельных перегрузок при столкновении в пределах от 2 до 5g.

Вес карта примерно 140 кг. В связи с этим перегрузка составляет от 2g до 4g.

Фиксируем границу смещения на осях X, Y и Z и выставяем предел вращения узлов в месте крепления труб под водителем.

Сила составляет 5292 Н, при массе 140 кг и перегрузке в 4g (рисунок 22).

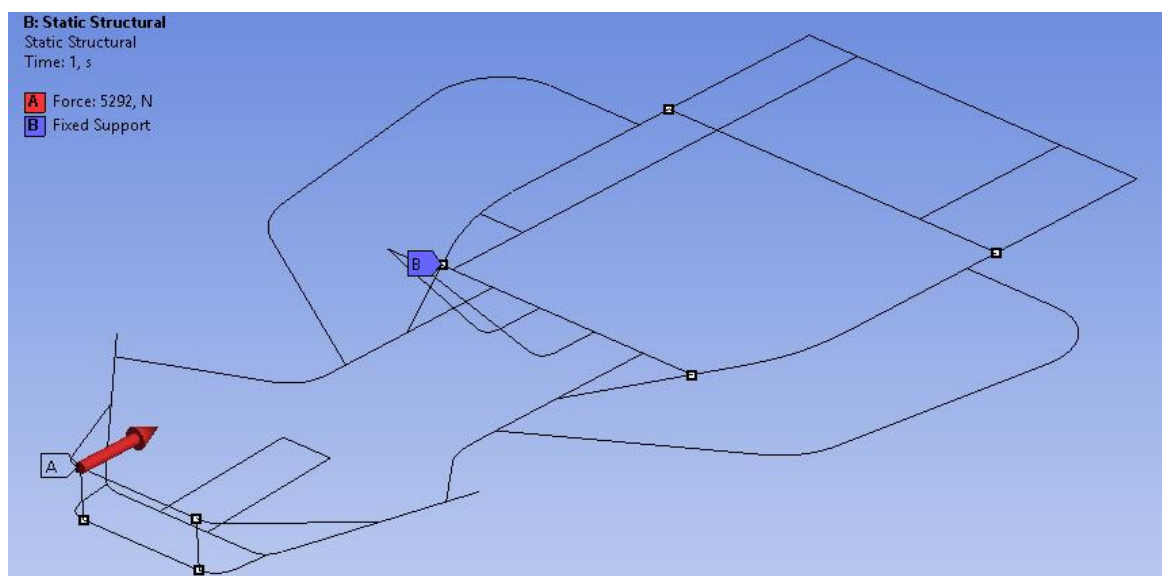


Рисунок 22 – Точки фиксации и вектор усилия

С учетом общей деформации суммарных напряжений и суммы напряжения осей и сгибов, проведем анализ прочности конструкции рамы. (рисунок 23)

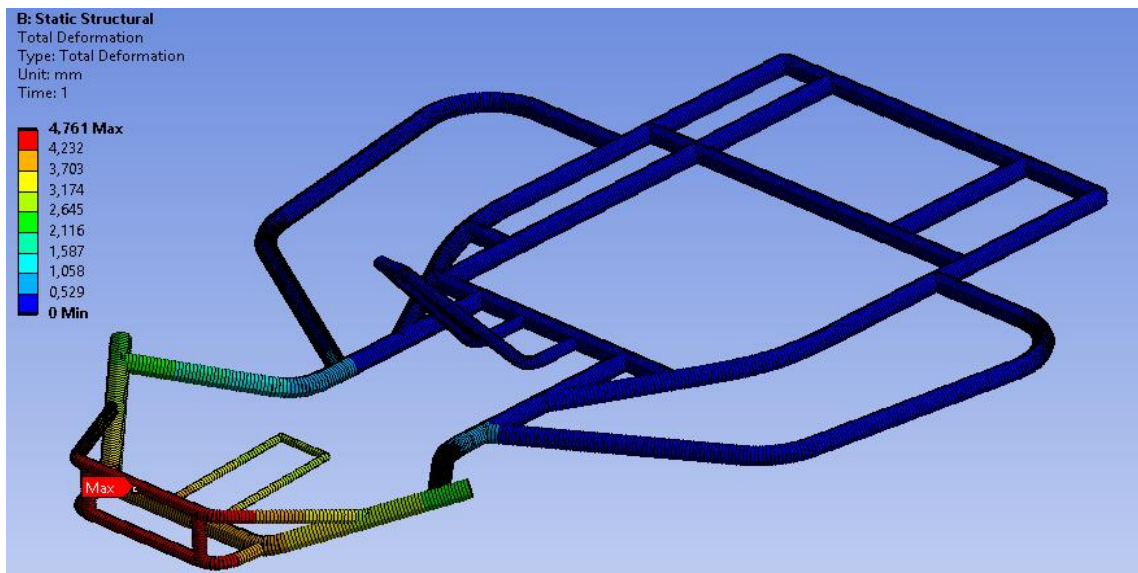


Рисунок 23 – Деформация рамы при нагрузке

Деформация рамы составила 4,76 мм – это в пределах нормы.

На рисунке 24 представлены распределение нагрузок. Напряжение составило 164,72 МПа.

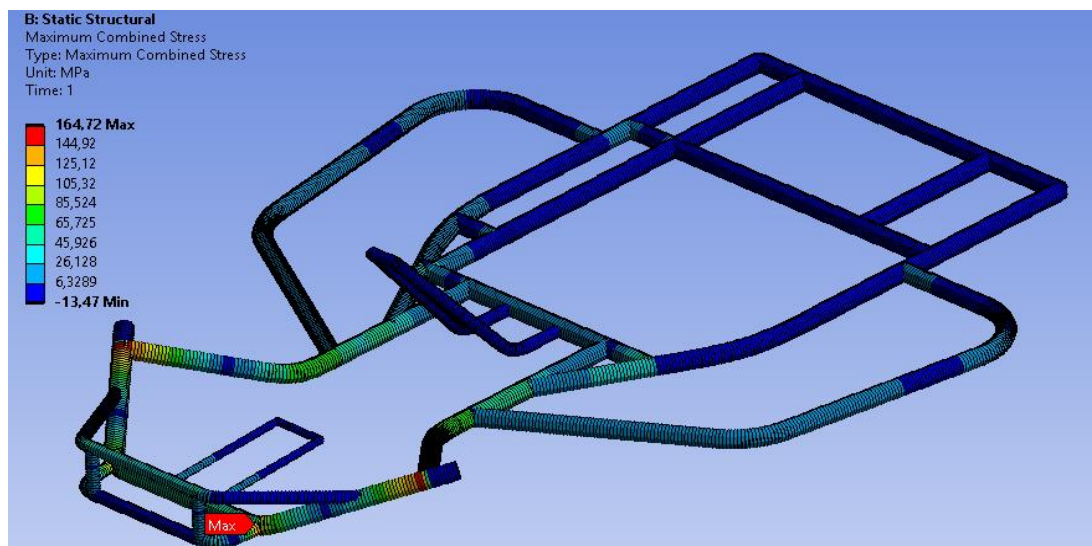


Рисунок 24 – Распределение напряжений при нагрузке на балку

«Рассчитаем коэффициент запаса прочности как отношение предела текучести материала к величине максимальных напряжений в конструкции

для оценки данных напряжений. Чем это значение выше, тем большие нагрузки способно выдержать.» [19]

Предел текучести стальной трубы 20 составляет 250 МПа. Коэффициент запас прочности составит - 1,5. Это допустимое значение.

Рассмотрим деформацию конструкции при боковом ударе. Возьмем силу удара равную 2446 Н (рисунки 25-27).

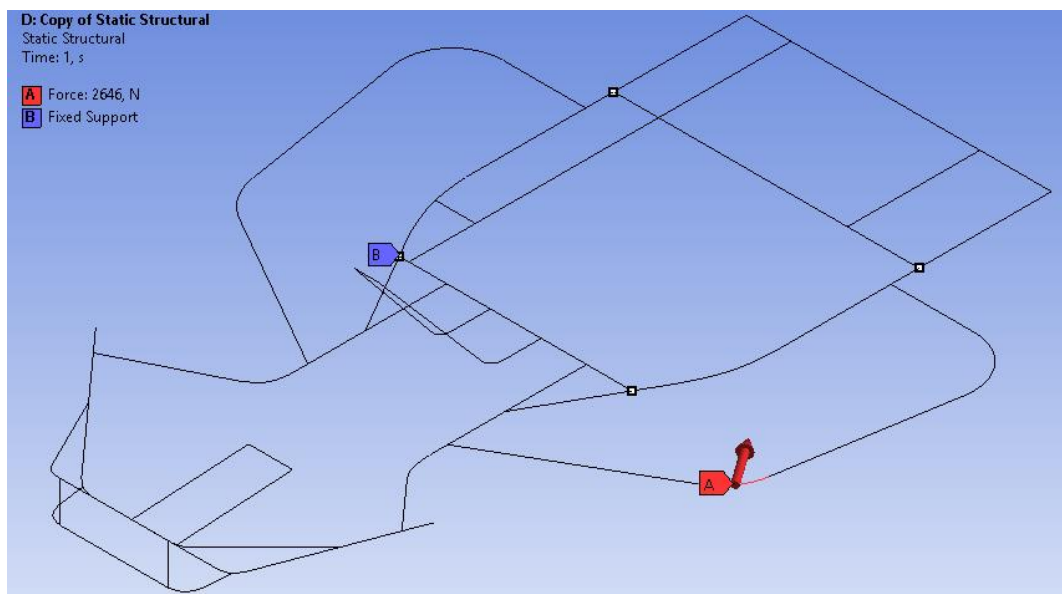


Рисунок 25 – Напряжение при боковом ударе и точки фиксации рамы

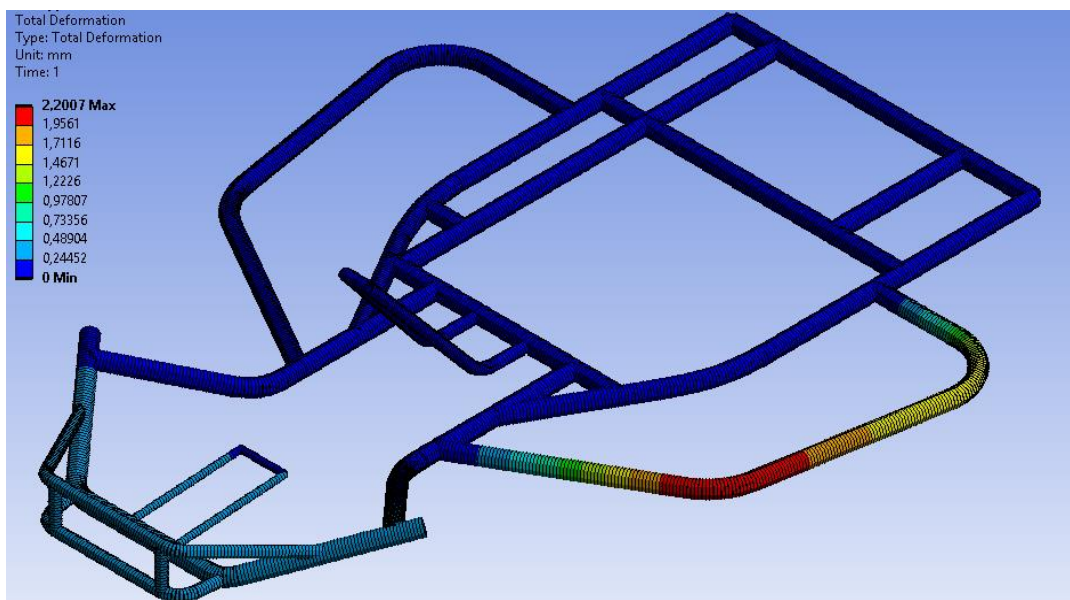


Рисунок 26 – Деформация рамы при боковом ударе

Деформация составила 2,20 мм. – это в пределах нормы.

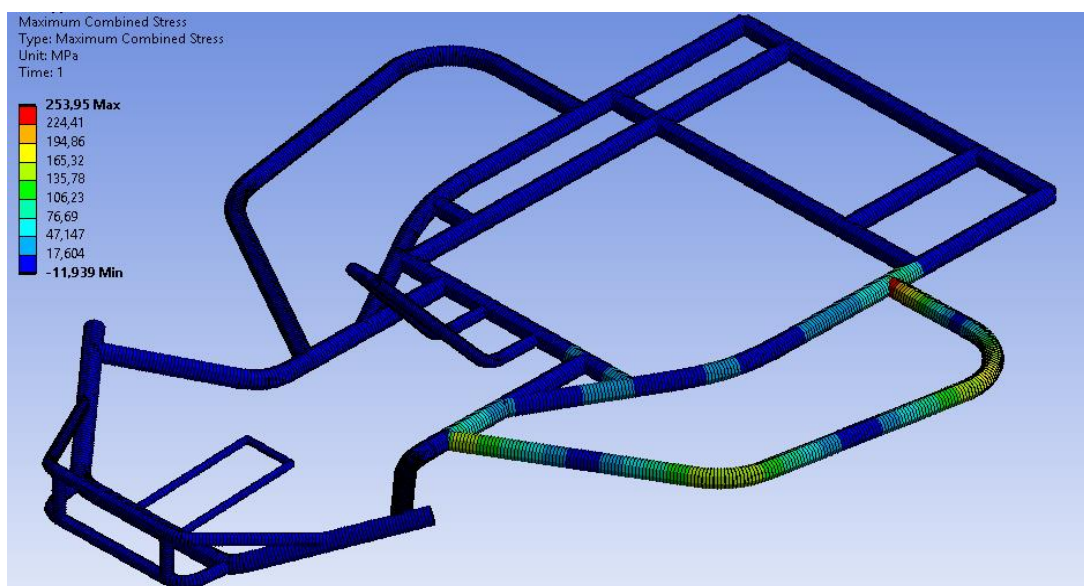


Рисунок 27 – Распределение напряжения при боковом ударе

Предел текучести стали превышен, напряжение в месте крепления стыков рамы составило 253,95 МПа (рисунок 28).

Рассмотрим коэффициент деформации при удар сзади с нагрузкой 4g или 5292 Н (рисунок 29).

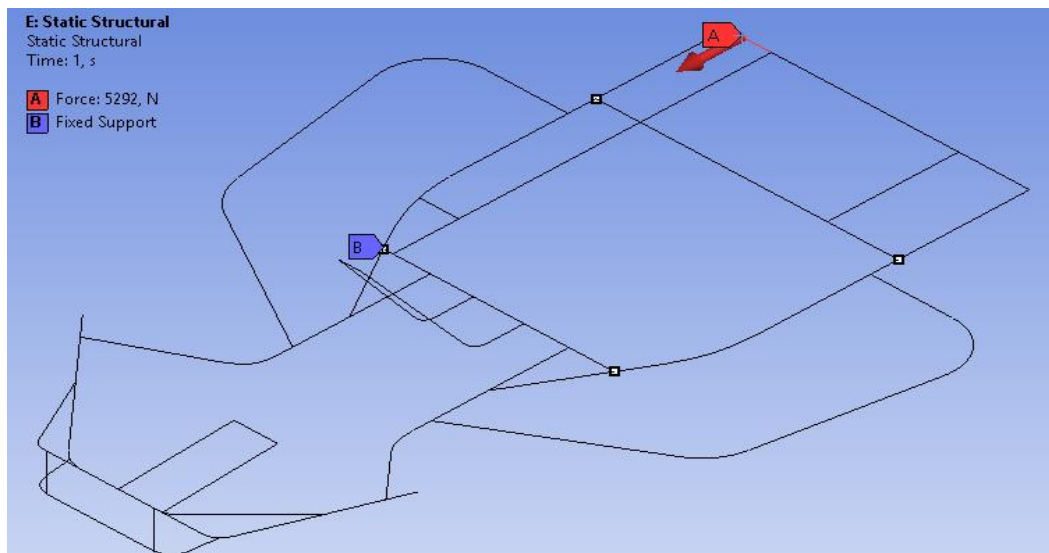


Рисунок 28 – Напряжение при ударе ссади и точки фиксации рамы

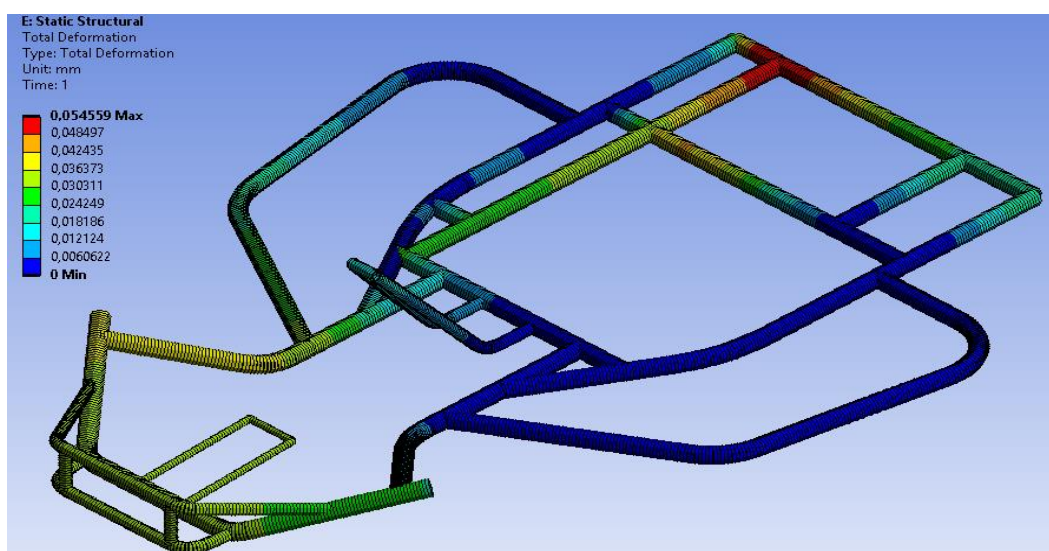


Рисунок 29 – Деформация рамы при ударе ссади

Деформация составила 0,054 мм. Это хороший результат, но это не говорит о прочности конструкции рамы.

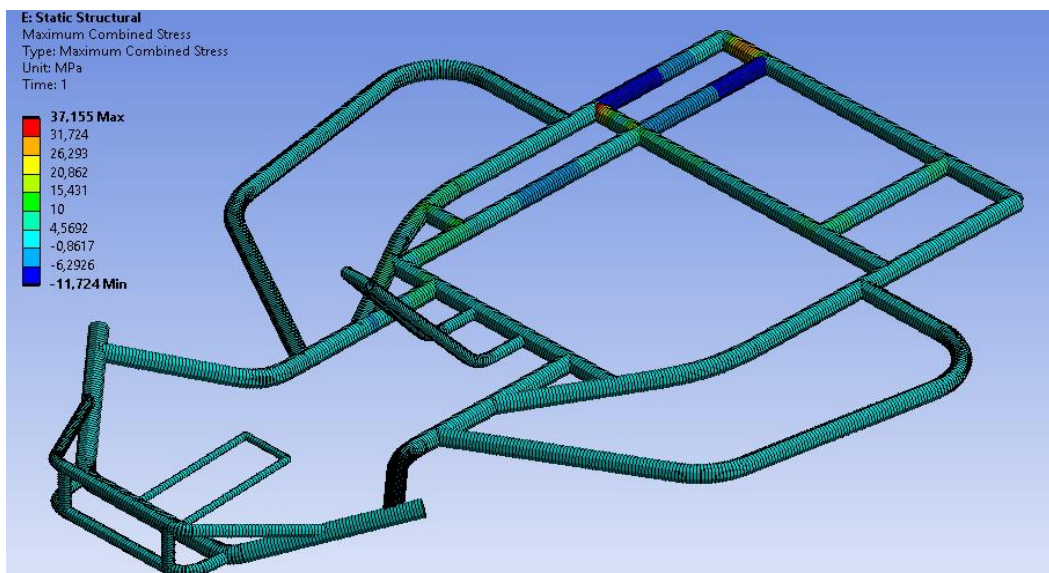


Рисунок 30 – Напряжение на раму при ударе ссади

Напряжение в основном сосредоточено в местах крепления рамы конструкции, напряжение составило 37,155 МПа, это в пределах запаса прочности (рисунок 30).

Известно начальное положение развернутого профиля рамы карта. Величину дополнительных напряжений в сопряжении стенок рамы от неравномерной деформации можно определить. Зная длину дуги в начальном положении, спрямленную в виде хорды, и длину дуги после деформации нижней грани под воздействием нагрузки, можно определить напряжение по величине отношения с использованием стандартной методики.

Для определения напряжения следует по профилю вычислить величины и найти их отношение. Имея разность между дугой и хордой, являющейся абсолютным удлинением, можно определить кольцевое напряжение нижней грани сопряжения. Что сопоставимо с допускаемым напряжением материала при рабочей температуре. Допускаемое напряжение учитывалось при расчете конструкции при заданной нагрузке.

В данном расчете использован локальный фрагмент, но уже представленные расчеты показывают, что дополнительное напряжение является значительным. Полный расчет деформаций и возникающих опасных

напряжений в стенке конструкции в целом является сложным и требует математического моделирования.

3.2 Исследования на жесткость и прочность конструкции рамы

Проведем исследования жесткости рамы. Первое что надо сделать – это закрепить раму на креплении заднего вала. Применим нагрузку на ось передних колес силой 100-500 Н, смоделируем скручивание рамы (рисунки 31-34).

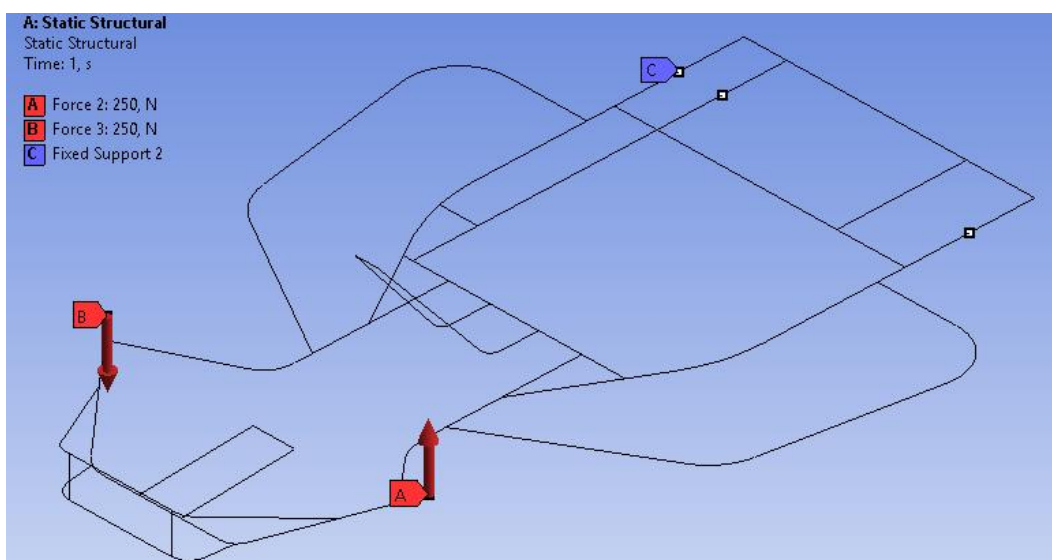


Рисунок 31 – Точки крепления и направление силы в местах крепления

«Расчет жесткости будем проводить по общеизвестной формуле 1:

$$c_p = \frac{M}{\alpha}, \quad (1)$$

где c_p – жесткость, Н·м/град;

M – крутящий момент, Н·м;

α – угол поворота при кручении, град.» [14]

«Крутящий момент рассчитаем по формуле 2:

$$M = P \cdot 0,5 \cdot t, \quad (2)$$

где P – общая величина нагрузки, Н;

t – расстояние между кронштейнами для крепления осей передних колес, м.» [14]

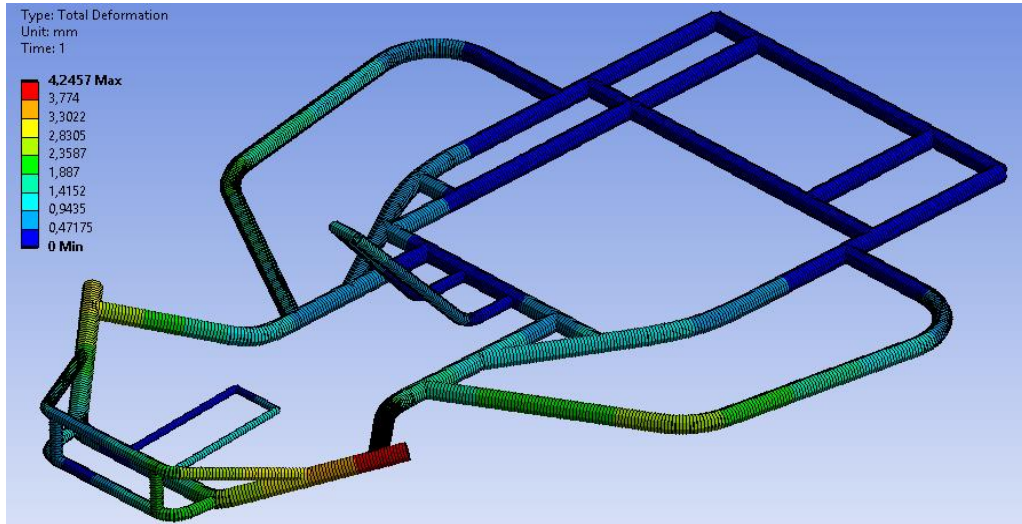


Рисунок 32 – Перемещения для проведения расчетов

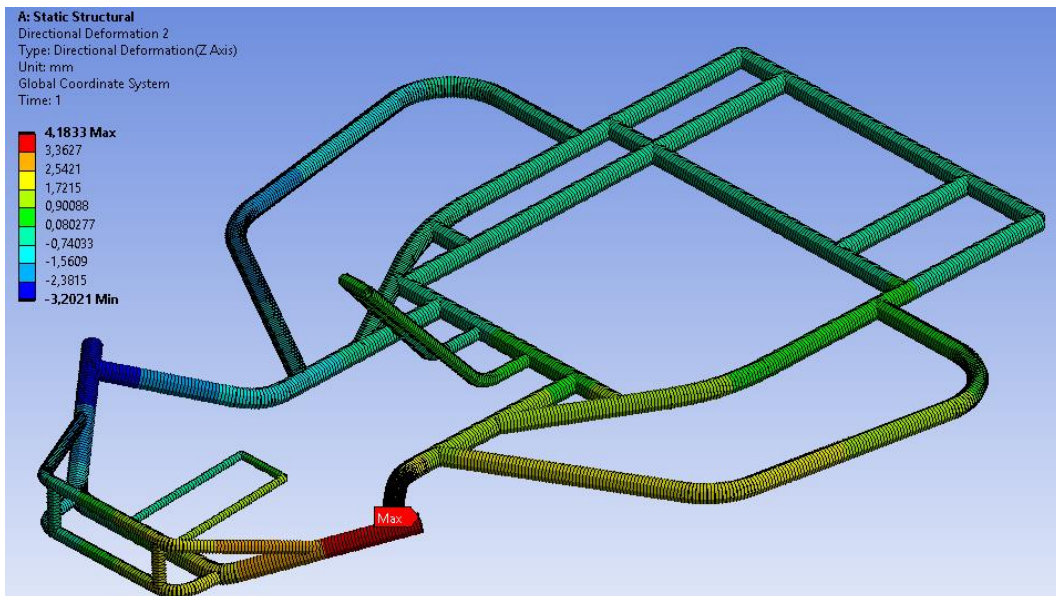


Рисунок 33 – Перемещения по оси Z

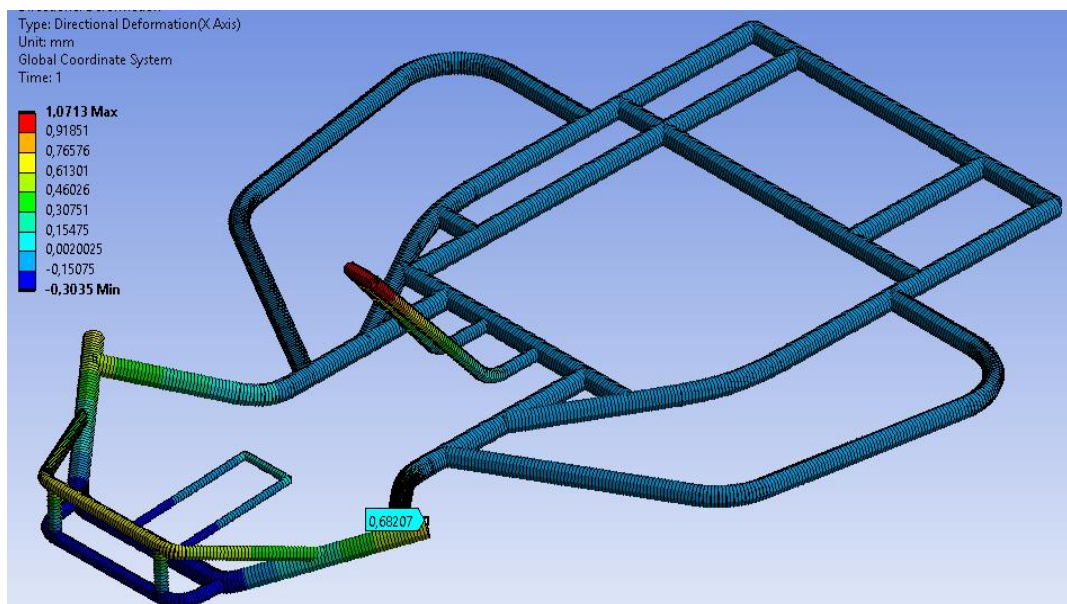


Рисунок 34 – Перемещения по оси X

Определим значение угла α . Максимальная точка смещения по оси Z – 4,18 мм, по оси X – 0,68 мм. Значение угла α будет равно 0,75 град.

Рассчитаем жесткость рамы при кручении

$$c_p = \frac{500 \cdot 0,66 \cdot 0,5}{0,75} = 220 \text{ Н}\cdot\text{м/град}$$

Величина 220 Н·м/град является слишком высокой, жесткость должна быть в диапазоне «от 160 до 190 Н·м/град» [3].

В целях дальнейшего понимания правильности подхода к прочностным расчетам конструкции рамы считаем возможным дополнительно пояснить соображения по данному вопросу. Действительно стенки труб имеют деформацию, но в переходном сечении возникают краевые силы, которые могут вызвать дополнительные напряжения не учитываемое безмоментной теории. Это актуально при расчете конструкции, однако при действии внутреннего нормального давления к стенкам, обладающего осевой симметрией, изгибные напряжения очень малы. Это позволяет пользоваться упрощенной безмоментной теорией расчета.

С практической точки зрения эти дополнительные незначительные напряжения компенсируются увеличением толщины стенки труб и усилителями в виде косынок. Данный элемент конструкции не подвергся деформации в результате испытаний.

При прочностном расчете конструкции в первую очередь учитывается такое свойство как текучесть материала. Степень деформации стенки труб прежде всего зависит от приложенной силы, температуры и времени эксплуатации. Для установленных параметров (температура, время) определяется допускаемое напряжение в материале для выбранных параметров.

Согласны с замечанием, что параметры материала зависят от производителей и иных факторов. Однако на все материалы мы имеем технические условия, что позволяет вносить корректировку в показатель допускаемого напряжения в случае значительного отклонения параметров от базовых.

Таким образом, мы получили неоднозначные результаты в ходе расчетов. Основным минусом рамы является ее масса, которая составляет 17,75 кг, в связи с этим появляется избыточная жесткость на кручение, и при боковом ударе происходит деформация.

Вывод: разработанная конструкция рамы не подойдет для гоночного карта, участвующего в шоссейных гонках, однако для сферы развлечений и прокатных контор данная конструкция вполне подходит. Так как скорости не очень большие. Но наша задача конструирование рамы для автоспорта, поэтому необходимо решить ряд задач.

Во-первых, использовать другой материал и снижение массы карта с помощью сортамента труб.

Во-вторых, оптимизация компоновки рамы карта. Это позволит получить необходимой жесткости и прочности.

4 Повышение эксплуатационных характеристик рамы карта

4.1 Анализ жесткости конструкции рам с учетом изменений

Как показал проведенный конструкционный анализ прочности рамы, были приняты ряд решений. В первую очередь выбрали другую марку стали 30ХГСА, которая хорошо себя зарекомендовала для профессиональных картов. Это позволило изменить толщину труб с 3мм до 2мм. Во вторую изменение компоновки (рисунок 35).

1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	30ХГСА			G	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
4	Structural Steel			G	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
*	Click here to add a new material				

Properties of Outline Row 3: 30ХГСА				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modu...		
8	Young's Modulus	2,15E+11	Pa	
9	Poisson's Ratio	0,3		
10	Bulk Modulus	1,7917E+11	Pa	
11	Shear Modulus	8,2692E+10	Pa	
12	Strain-Life Parameters			
20	S-N Curve	Tabular		
24	Tensile Yield Strength	4,9E+08	Pa	
25	Compressive Yield Strength	4,9E+08	Pa	
26	Tensile Ultimate Strength	6,86E+08	Pa	

Рисунок 35 – Исследование стальных труб 30ХГСА

В третьих проанализировать жесткость рамы с расстоянием в средней части рамы 325 мм (рисунок 36).

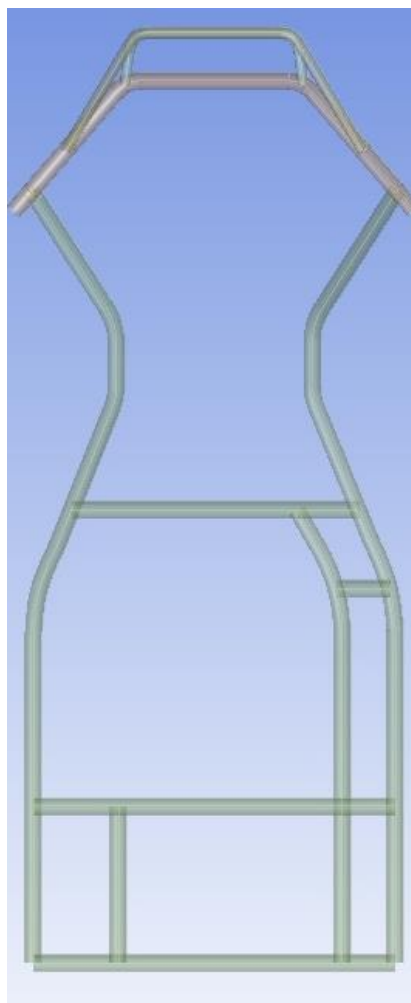


Рисунок 36 – Модифицированная конструкция рамы размером – 325 мм

Проанализируем деформацию рамы по осям Z и X (рисунки 37-39).

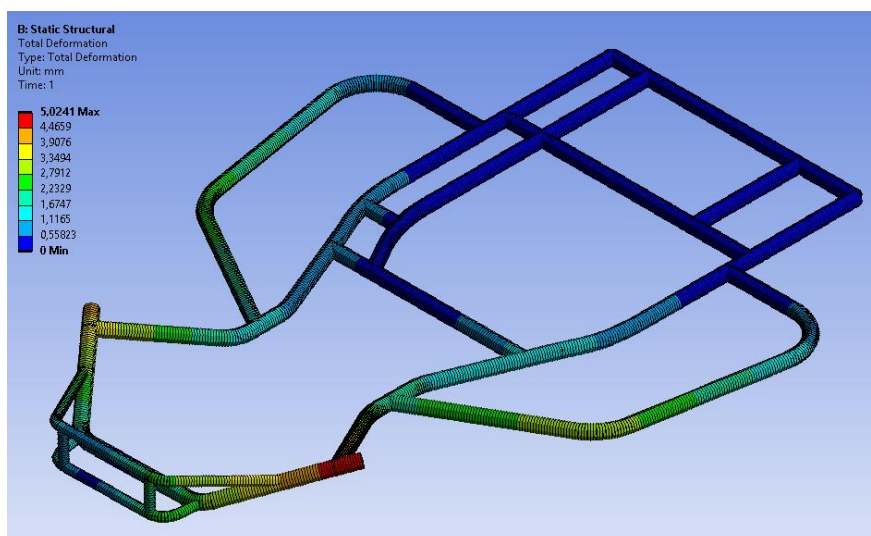


Рисунок 37 – Расчет на жесткость рамы, перемещения по осям

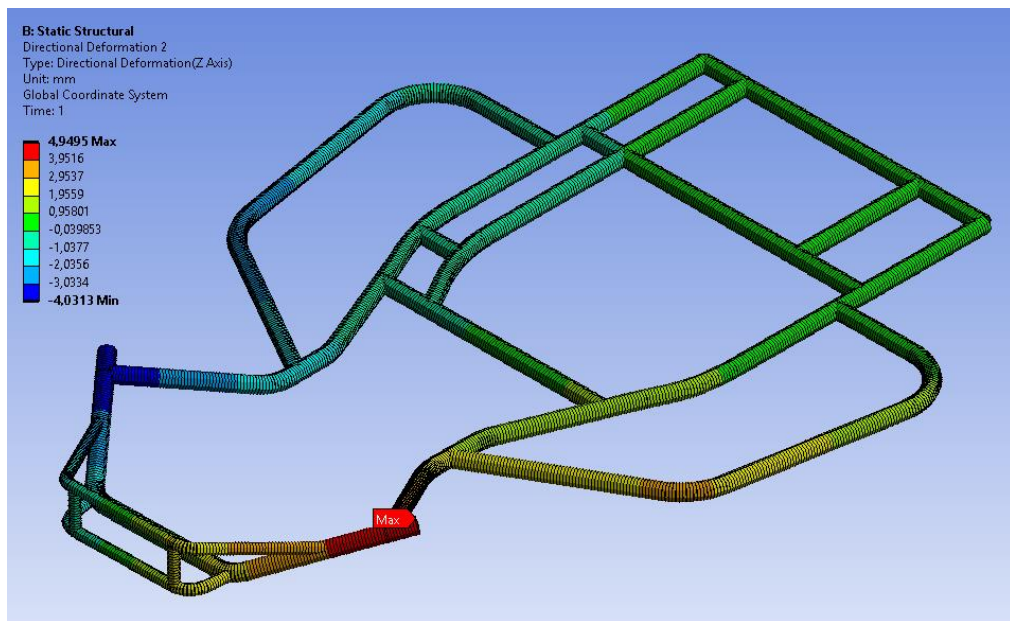


Рисунок 38 – Перемещения по оси Z

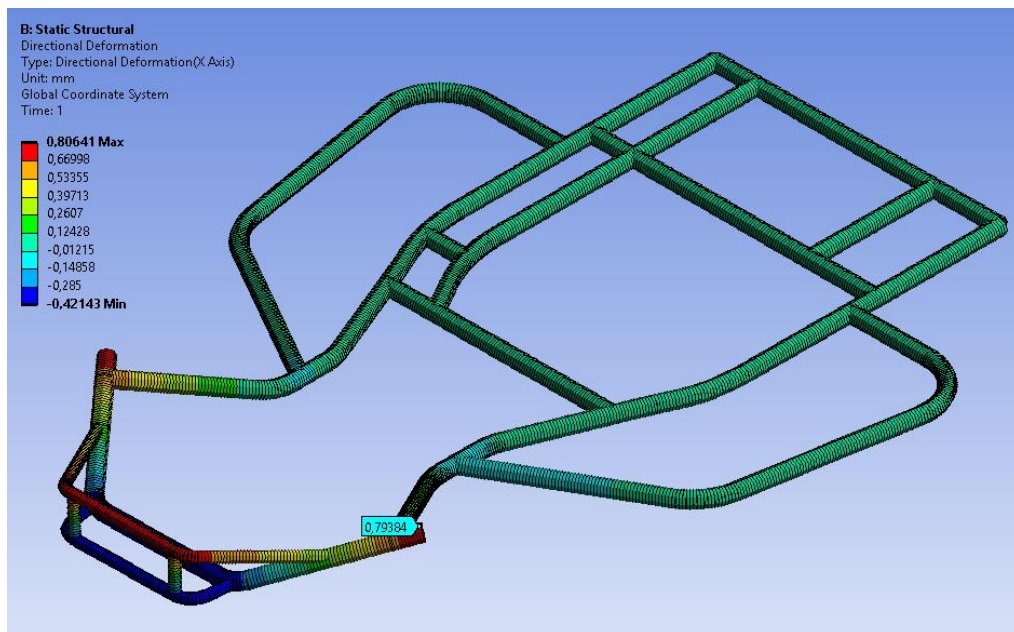


Рисунок 39 – Перемещения по оси X

Смещения точки по оси Z – 4,91 мм

Смещение по оси X – 0,793 мм.

Значение угла α получается равный 0,85 градусов

Рассчитаем жесткость рамы при кручении:

$$c_p = \frac{500 \cdot 0,66 \cdot 0,5}{0,87} = 189,7 \text{ Н}\cdot\text{м/град.}$$

Мы получили допустимое значение в пределах диапазона 160-190 Н·м/град. Вес рамы составит 12,1 кг. Для дальнейшего проектирования берем эту раму как основу. Далее проведем анализ прочности полученной рамы карта с повышенными эксплуатационными характеристиками.

4.2 Анализ прочности и деформации полученной конструкции рамы

Анализ в этой главе частично повторяет исследования в главе 3 и дополняет их. Моделируем и определяем усилия исходя из величины перегрузок до 4g. Масса карта уменьшилась на 5кг, что равно 130кг.

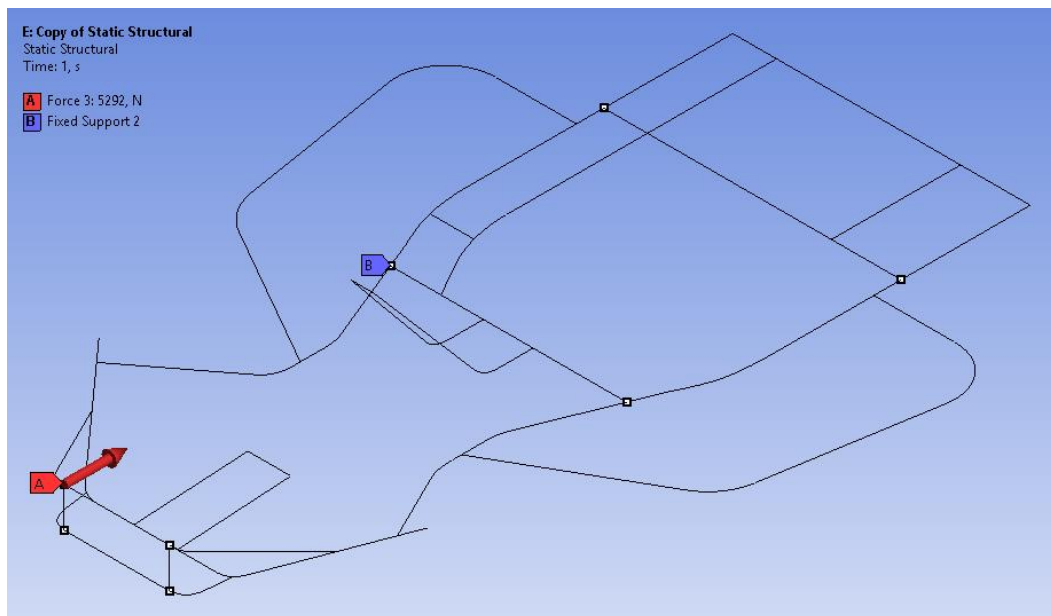


Рисунок 40 – Точки фиксации рамы модернизированной рамы

Проведем анализ прочности модернизированной рамы, путем анализа на деформацию, и распределение напряжения при ударах в разные области

рамы (рисунок 40).

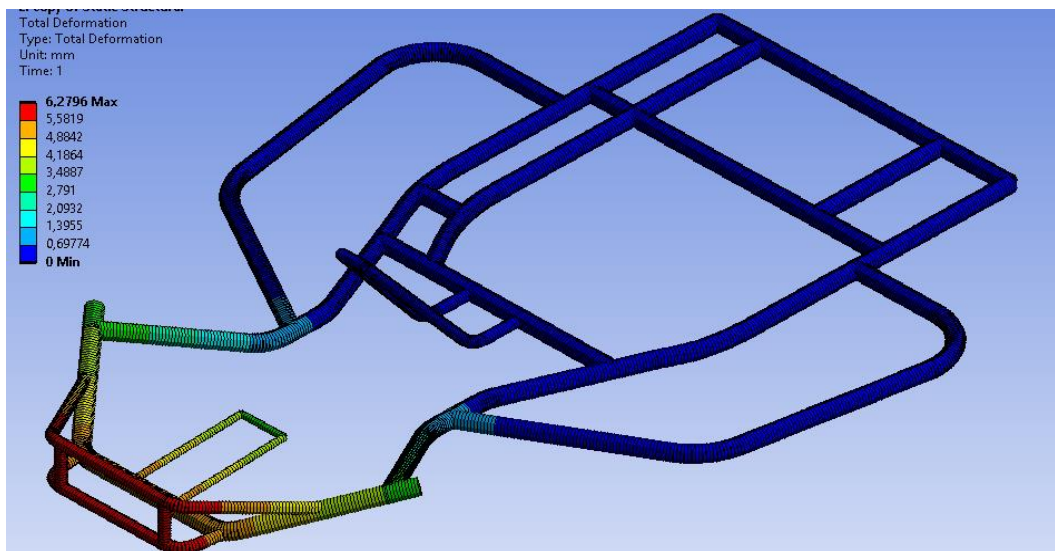


Рисунок 41 – Деформация модернизированной рамы при нагрузке на переднюю ось

Деформация модернизированной конструкции рамы - 6,279 мм. Это выше деформации исходной модели на 1,5 мм, но данная величина в пределах нормы (рисунок 41).

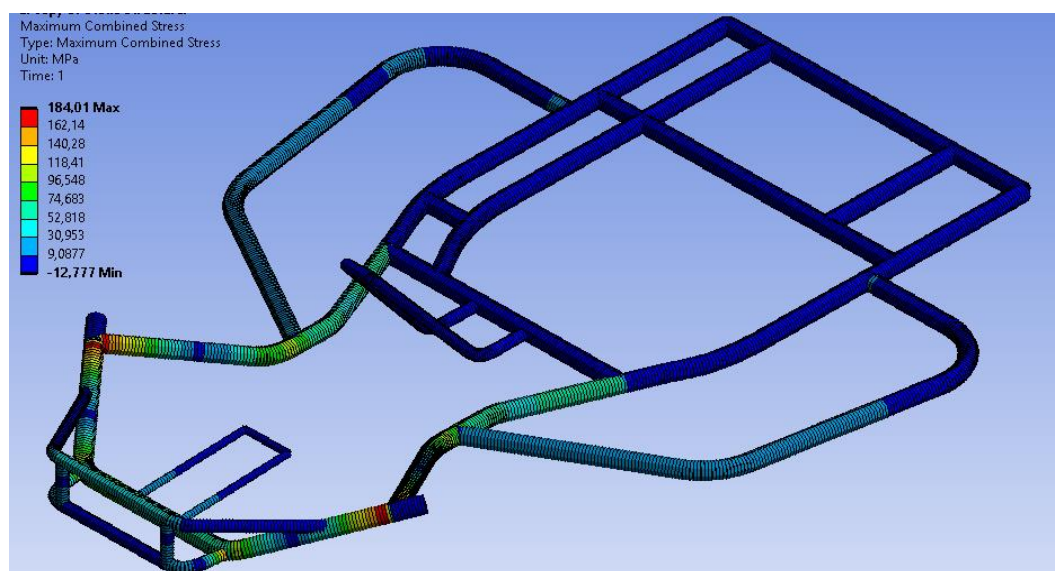


Рисунок 42 – Напряжение модернизированной конструкции рамы при нагрузке на переднюю ось

Напряжение составило 184 МПа, что выше, чем на исходной раме на 20 МПа (рисунок 42). Коэффициент прочности в модернизированной раме выше на 2-6 единицы, и это выше на 60%.

Проведем анализ прочности рамы при имитации ударов на боковую ось рамы, силой 2446 Н (рисунок 43).

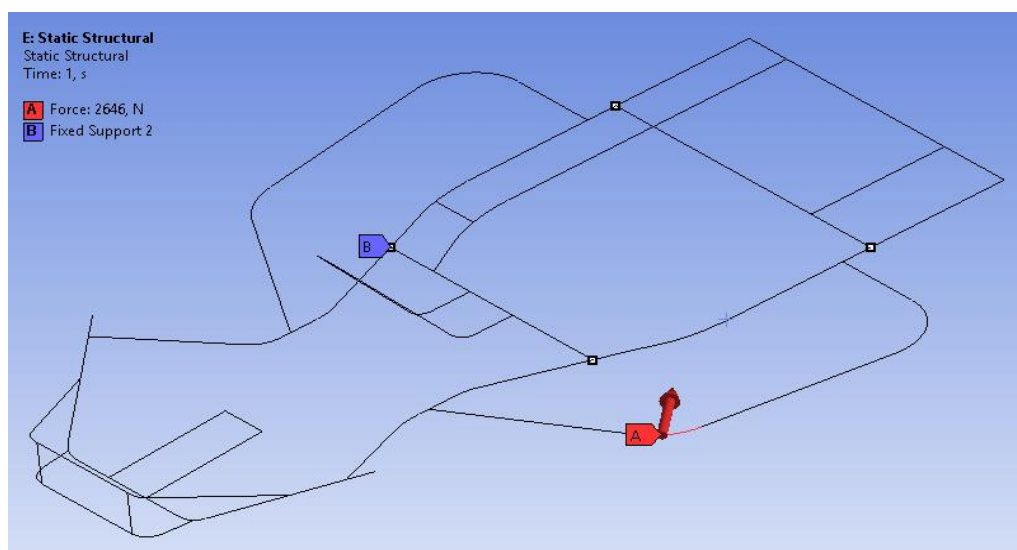


Рисунок 43 – Имитация удара на боковую ось, точки фиксации рамы.

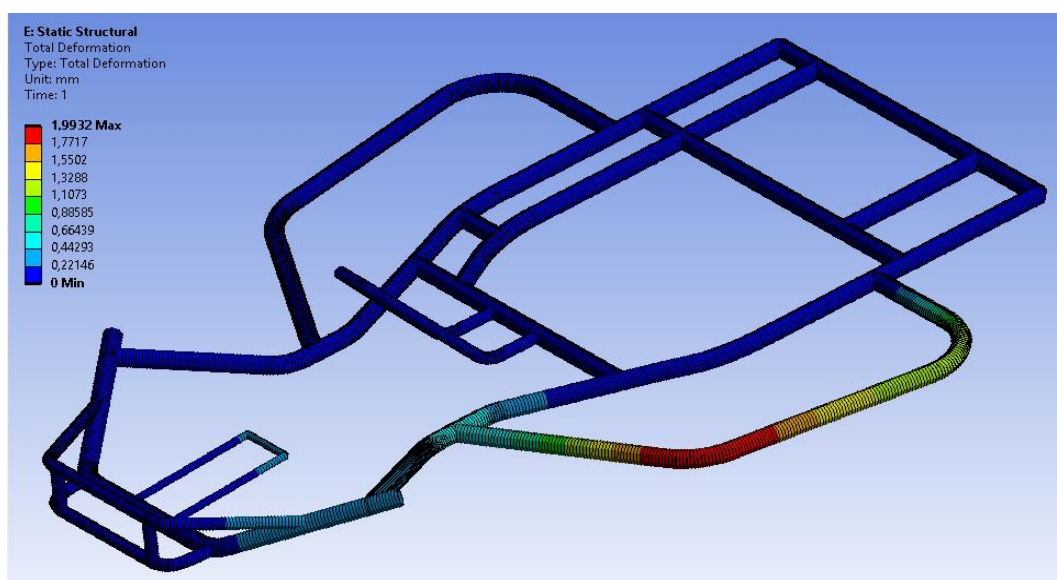


Рисунок 44 – Деформация модернизированной рамы при боковом ударе

Деформация рамы составила 2 мм, что меньше, чем в исходной раме

(рисунок 44).

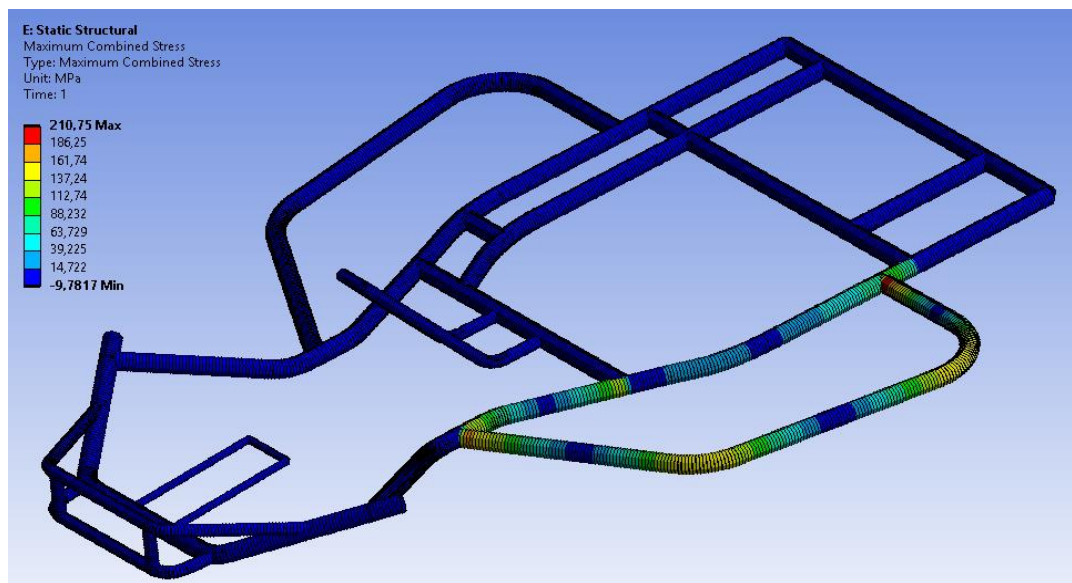


Рисунок 45 – Напряжение на модернизированную конструкцию рамы при боковом ударе

Напряжение составило 210,75 МПа, основное напряжение в местах в крепления рамы (рисунок 45). Полученное напряжение модернизированной конструкции рамы ниже на 40 МПа, чем в исходной раме. Коэффициент прочности – 2,3 единицы, что в пределах нормы.

Проведем анализ напряжения и деформации модернизированной рамы при ударе сзади силой 5292 Н

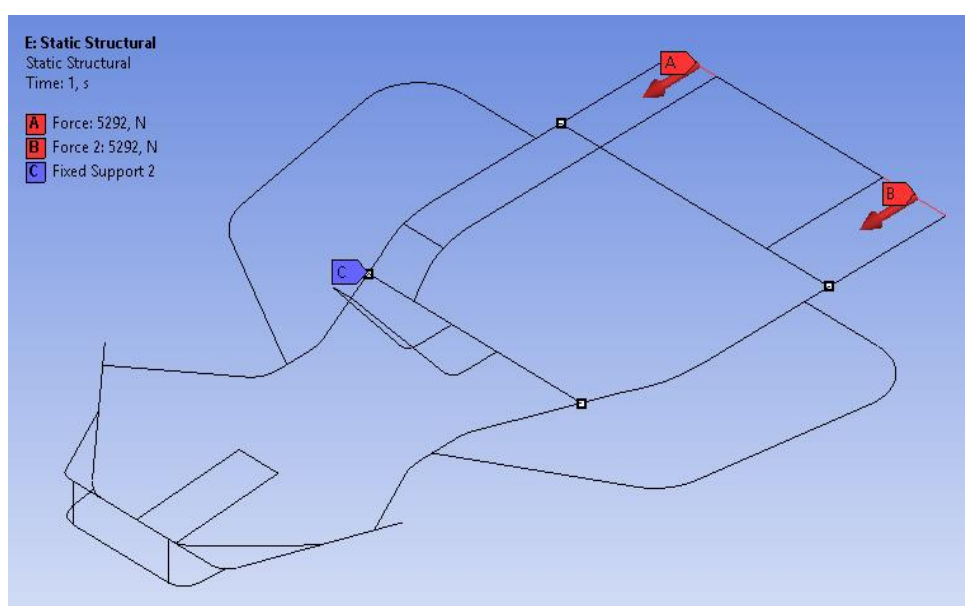


Рисунок 46 – Имитация удара сзади, точки фиксации и направление удара

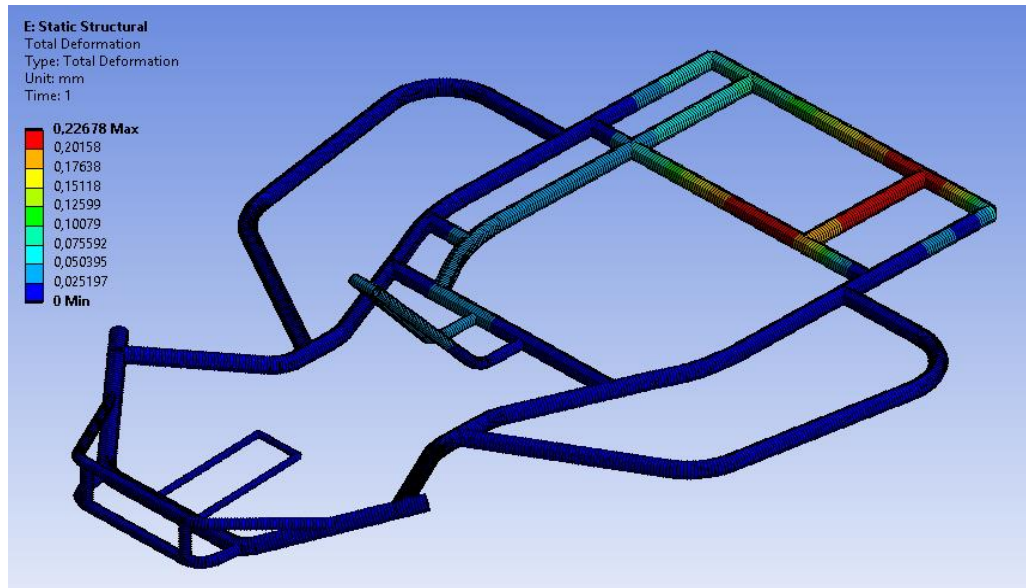


Рисунок 47 – Деформация модернизированной рамы при ударе сзади

Деформация произошла в токе крепления двигателя составила 0,23 мм, что в пределах нормы (рисунок 46-47).

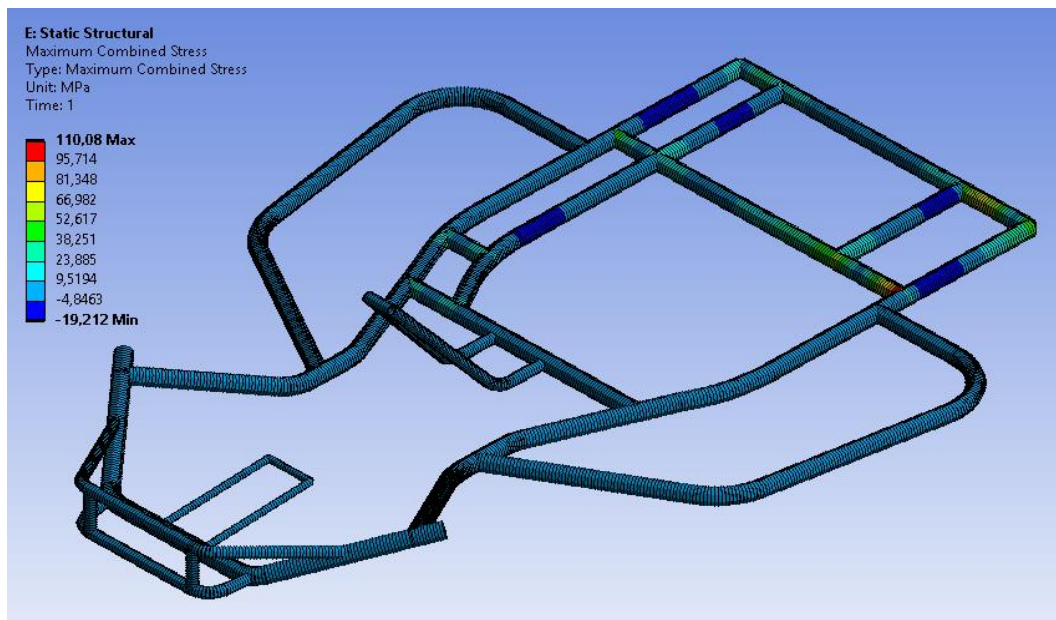


Рисунок 48 – Напряжение модернизированной конструкции рамы при ударе сзади

Напряжение составило 110 МПа, в основном в местах крепления рамы

(рисунок 48). Запас прочности составил 4,45. Это хороший показатель прочности сконструированной рамы.

Вывод: в целом модернизированная рама из стали 30ХГСА с размерами в средней части 325 мм – это хорошее решение для гоночного карта. Это конструкция при меньшем весе позволяет достичь самой большой жесткости, запас прочности составил 2,6 единицы, что больше, чем в исходной конструкции на 60% . Рама показала себя с хорошей стороны и при имитациях удара сбоку и сзади.

Модернизированная рама отвечает всем требованиям к гоночным картам, участвующих в шоссейных гонках.

Заключение

В ходе работы для достижения цели были решены ряд задач:

1. Проведен анализ особенностей конструкции рамы карта, представлены различные работы по техническим решениям, применяемым для разработки конструкции рамы.

2. Представлена конечно-элементная модель, разработана 3D-модель в программе Компас исходной рамы карта стандартной модификации, и карт с трубой по заданным сечениям. Проведен расчет и выявлены недоставки исходной модели карта.

3. Проведен анализ исходной рамы конструкции карта. Проведены исследования по деформации и напряжению рамы при ударах сбоку и сзади, проведены расчеты запаса прочности и жесткости рамы.

4. Выбрана рама из стали и большим расположением труб в средней части. Проведен сравнительный анализ жесткости рамы. Рассчитан запас прочности. запас прочности составил 2,6 единицы, что больше, чем в исходной конструкции на 60%. Рама показала себя с хорошей стороны и при имитациях удара сбоку и сзади. Рама также хорошо себя показала при имитации ударов сзади и с боку.

Цель работы достигнута. Модернизированная рама имеет высокие эксплуатационные характеристики. Разработанная рама может быть применена при создании профессионального гоночного карта. Она отвечает всем требованиям безопасности, и обеспечит безопасность пилоту карта. В целом модернизированная рама из стали 30ХГСА с размерами в средней части 325 мм – это хорошее решение для гоночного карта. Это конструкция при меньшем весе позволяет достичь самой большой жесткости, запас прочности составил 2,6 единицы, что больше, чем в исходной конструкции на 60% . Рама показала себя с хорошей стороны и при имитациях удара сбоку и сзади. Модернизированная рама отвечает всем требованиям к гоночным картам, участвующих в шоссейных гонках.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Аналоги российских и зарубежных статей [Электронный ресурс] // URL: <https://metalltehservis.ru/spravochniki/analogi-rossiiskih-i-zarubezhnih-stalei/> (дата обращения: 01.05.2022).
2. Волков О. А., Дуганова Е. В., Пушкарева А. Г. Анализ существующих конструкций болидов для картинга // Материалы XII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум», 2020. URL: <https://files.scienceforum.ru/pdf/2020/5dfc9e057ce22.pdf> (дата обращения: 30.04.2022).
3. Как устроен карт? [Электронный ресурс] // URL: <https://primokarting.ru/articles/kak-ustroen-kart/> (дата обращения: 01.05.2022).
4. Картинг красная ракета ver. Cagiva 350 [Электронный ресурс] // URL: <https://www.drive2.ru/l/6849803/> (дата обращения: 01.05.2022).
5. Конструкция карта [Электронный ресурс] // URL: <http://www.cttmotor.edusite.ru/p31aa1.html> (дата обращения: 01.05.2022).
6. Развесовка карта [Электронный ресурс] // URL: <http://kartingzone.com/articles/kartweight> (дата обращения: 30.04.2022).
7. Самодельный картинг Юниор [Электронный ресурс] // URL: <http://kart.masteraero.ru/kart-3.php> (дата обращения: 01.05.2022).
8. Турбин И. В., Угарова Л. А. Технический проект «Картинг» в студенческой деятельности / Перспективное направление развития автотранспортного комплекса: сборник научных трудов. Старый Оскол : ТНТ, 2018. С. 52-58.
9. Установка сиденья [Электронный ресурс] // URL: https://openkart.ru/seat_accessories (дата обращения: 30.04.2022).
10. Устройство гоночного автомобиля карт [Электронный ресурс] // URL: <https://kartodrom.com.ua/news/articles/ustroistvo-gonochnogo-avtomobilya-kart> (дата обращения: 01.05.2022).
11. Ansys [Электронный ресурс] // URL: <https://www.ansys.com/> (дата обращения: 14.05.2022).

12. Baudille R., Biancolini M.E., Brutti C., Reccia L., Analisi integrata multy-body FEM del comportamento dinamico di un kart / XXX Convegno Nazionale AIAS. Alghero, 2001. PP 1795-1803.
13. Bryan J. Mac Donald. Practical Stress Analysis with Finite Elements (3rd Edition). Machdohnil Limited, 2020. 454 p.
14. Go Kart Plans [Электронный ресурс] // URL: <https://kartfab.com/go-kart-plans> (дата обращения: 01.05.2021).
15. Hemank D. Design and Fabrication of Superkart HD-250 // International Journal of Recent Trends in Engineering. 2009. № 5. PP 125-128.
16. Johnson J., Kumar K. D., Praneeth S., Yathiraj, Shankar R. Design, Modeling and Development of a Go-Kart Vehicle // International Journal of Engineering Development and Research. 2017. № 7. PP 104-109.
17. Muzzupappa M.; Matrangolo G.; Vena G. Structural Numerical Analysis of Go-Kart Frames: Comparison Between H and P Formulation and Between Stand Alone and Cad-Embedded FEM Systems / AIAS. Calabria, 2006. PP 1-15.
18. Sannake A. S., Shaikh S. R., Khandare S. A., Nehatrao S. A. Design and Analysis of Go-kart Chassis // International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education. 2017. № 2. PP 2763-2769.
19. Singh A., Deol A., Singh G., Grewal A., Singh Sembhi A. Design and Simulation of Go Kart Chassis // International Journal for Innovative Research in Science & Technology. 2017. № 10. PP 74-78.
20. Virendra Mr., Pattanshetti S. Design and Analysis of Go-Kart Chassis // International Journal of Mechanical and Industrial Technology. 2016. № 1. PP 150-164.
21. Vitale E., Frendo F., Ghelardi E., Leoncini A. A lumped parameters model for the analysis of kart dynamics / 7th International Conference of the ATA. Florence, 2001.