

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 кафедры)

23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Разработка передней и задней подвески

автомобиля класса «Формула Студент»

Студент

В.М. Сметанин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.В. Бобровский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

С.А. Гудкова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Н. Москалюк

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

к.т.н., доцент А.В. Бобровский

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

(личная подпись)

« _____ »

20 _____ г.

Тольятти 2019

АННОТАЦИЯ

Разработка передней и задней подвески автомобиля класса «Формула Студент». Выпускная квалификационная работа. Тольяттинский Государственный Университет, 2019.

Описана технология изготовления и методы расчета подвески гоночного болида класса "Формула Студент". Выведены общие требования необходимые для проектирования подвески.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки в размере 43 страниц, содержащей 5 таблиц, 18 рисунков и графической части, содержащей 6 листов.

ABSTRACT

The title of the work is «Designing of front and rear suspension of the vehicle class “Formula Student”».

The aim of the work is to eliminate drawbacks of the previous design of the car suspension, to upgrade handling of the car.

The second chapter presents the existing analogues of suspensions in "Formula Student", considered the pros and cons of the structures. All constructions including previous Togliatti Racing Team vehicle have been analyzed.

In the third chapter, the suspension and steering calculations have been made, suspension arms and steering links have been designed, new suspension attachment points have been calculated. Technological equipment for manufacturing wishbones with proper accuracy has been designed.

In the fourth chapter, initial data has been analyzed, the route of the technological process has been designed, the synchronization of the assembly clock of front knuckle has been calculated.

The fifth chapter deals with environmental and safety at workplaces involved in the production of this site. All harmful and dangerous factors have been found and analyzed. The information to make the process safer has been given.

As a result of the project work was a car suspension of the vehicle class “Formula Student” has been designed and manufactured.

The final qualifying work contains: explanatory note 43 pages, 5 tables, 18 figures and 6 drawings.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Состояние вопроса.....	6
1.1 Описание участия в FSAE	6
1.2 Назначение подвески.....	7
2 Анализ существующих конструкций подвесок и аналогов болидов «Формула Студент».....	10
2.1 Анализ передних подвесок команд «Формулы Студент»	10
2.2 Анализ задних подвесок команд «Формулы Студент».....	14
3 Проектирование и расчет подвески	18
3.1 Анализ исходных данных	18
3.2 Проектирование и расчет передней подвески болида.....	20
3.3 Проектирование и расчет задней подвески.....	22
4 Технологическая часть. Технологический процесс сборки кулака переднего.....	25
4.1 Анализ исходных данных	25_Точ11751462_Точ11751463
4.2 Размерный анализ сборочных размерных цепей.....	27
4.3 Технология сборки изделия.....	31_Точ11751467
5 Безопасность и экологичность технического объекта.....	35
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	41

ВВЕДЕНИЕ

Актуальным проектом среди высших учебных заведений со всего мира является проект формула студент. Результатом этого проекта должен стать гоночный автомобиль, спроектированный и собранный по всем правилам действующего регламента, силами студентов, с которым они будут участвовать в международных соревнованиях.

Одной из задач соревнований является техническая защита конструкции, в которой необходимо обосновать то или иное техническое решение. В зависимости от эффективности решения судьями начисляются баллы, которые в свою очередь влияют на рейтинг команды.

Цель работы: спроектировать и рассчитать соответствующую регламенту соревнований подвеску для болида класса "Формула Студент", учитывая достоинства и недостатки конструкций прежних болидов.

Задачи работы:

1. Рассмотреть аналоги подвесок болидов "Формула Студент"
2. Проектирование и расчет точек крепления подвески.
3. Построение маршрута технологического процесса, расчет синхронизации такта сборки.

1 Состояние вопроса

1.1 Описание участия в FSAE

Международные соревнования FormulaSAE были созданы в 1978 году Сообществом Автомобильных инженеров (SAE). Целью соревнований является постройка прототипа автомобиля студентами университетов, как группой автомобильных инженеров. В соревнованиях участвуют около четырех тысяч команд по всему миру. Во время создания прототипа формульного типа команда должна следовать списку правил – регламенту. Цель регламента – обеспечить максимальную безопасность автомобиля при движении по трассе, так как болидами управляют сами студенты. Кроме того, регламент преследует и другую цель – посмотреть, как команды справятся с теми или иными проблемами, появляющимися в процессе создания болида из-за наложенных регламентом ограничений. Результатом работы команды студентов-инженеров должен быть полностью готовый к соревнованиям болид. Наиболее сложной задачей является даже не прохождение командой динамических дисциплин, а прохождение технической инспекции.

Соревнования условно делятся на три части:

- Техническая инспекция;
- Статические дисциплины;
- Динамические дисциплины.

Техническая инспекция по сути является допуском к динамическим дисциплинам. Вовремя нее судьи проверяют каждый узел автомобиля на соответствие регламенту, проверяются даже толщины труб главных дуг автомобиля.

Во время статических дисциплин команда аргументирует каждый сделанный ими выбор относительно стоимости компонента и его конструкции. Так же команда должна представить бизнес план по запуску их прототипа в небольшую серию.

Динамические дисциплины являются непосредственно гонками. Вовремя них команды соревнуются по скорости прохождения трассы. Последняя дисциплина в “динамике” – гонка на выносливость и топливная эффективность.

Официальный язык соревнований – английский. Все документы и общение с судьями проходят именно на английском языке.

FormulaSAE является отличной школой для инженеров в сфере автомобилестроения. Большинство участников европейской “Формулы” потом становятся участниками более старших “Формул”.

1.2 Назначение подвески

Подвеска автомобиля - это совокупность деталей, которые соединяют автомобиль с дорогой. Ее функциями являются передача на кузов сил и моментов, возникающих при взаимодействии колес с дорогой; соединяет колеса с рамой или кузовом; обеспечение необходимых перемещений колес относительно рамы.

Элементами подвески считаются:

- Упругие элементы, воспринимающие и передающие вертикальные силы реакции дороги, возникающие при движении по неровной дороге (пружины);
- Направляющие элементы, задающие характер перемещения колес относительно несущей системы, а так же передающие горизонтальные силы и моменты (рычаги или неразрезной мост);
- Амортизаторы, служащие для гашения колебаний несущей системы, появившиеся во время движения.

В настоящее время различают различные типы подвесок. Из них можно различать зависимые и независимые; гидравлические, пневматические или механические. Зависимая подвеска - подвеска с балкой или неразрезным мостом, оба колеса двигаются связано друг с другом, колеса всегда расположены одинаково относительно друг друга. Независимая подвеска -

подвеска, где оба колеса двигаются несвязанно, относительно друг друга колеса расположены неодинаково в разные моменты времени.

Рассматривая различия между механическими, гидравлическими и пневматическими подвесками можно выделить плюсы двух последних. Возможна автоматическая регулировка положения кузова и дорожного просвета непосредственно из автомобиля. Настройка подвески так же может производиться непосредственно из салона, что открывает возможности для использования таких подвесок в автоспорте. Их минус в том, что система сложнее, а соответственно не всегда надежнее. К тому же наличие компрессоров и дополнительной жидкости в случае гидравлических подвесок утяжеляет конструкцию в целом.

Среди механических независимых подвесок можно выделить самые распространенные варианты. Среди них ставшая "обычной" передняя подвеска переднеприводного автомобиля типа Макферсон, где амортизационная стойка играет роль как направляющего, так и упругого элемента.

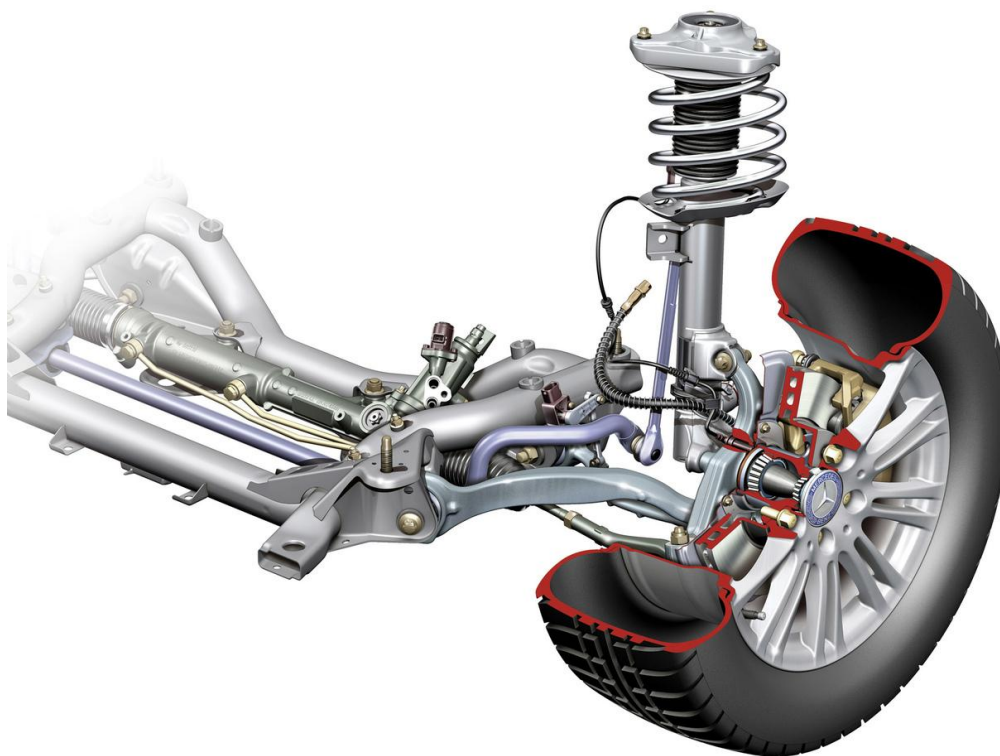


Рисунок 1.1– Подвеска типа Макферсон.

Так же как на гражданских так и на спортивных автомобилях зачастую применяют многорычажные подвески. Их плюсы в более тонкой настройке и при проектировании можно заложить необходимые параметры более тонко. Так же имея больше элементов есть большая свобода в укреплении каждого из них для повышения долговечности общей конструкции.

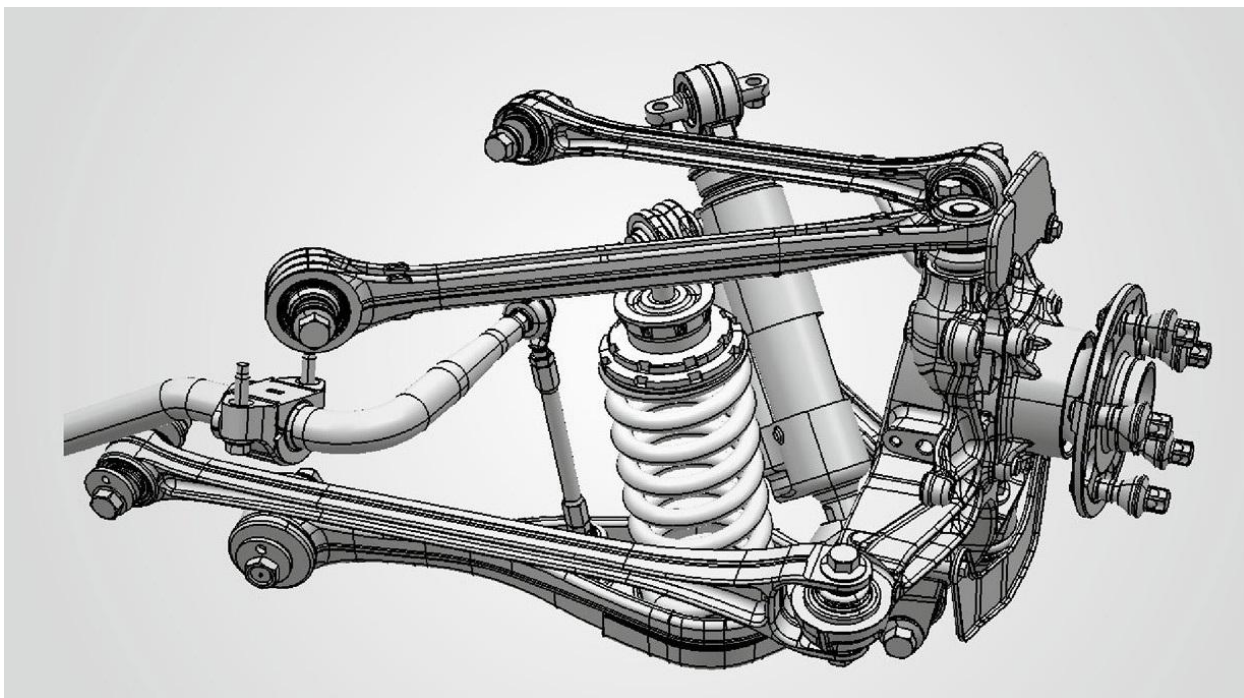


Рисунок 1.2 – Многорычажная подвеска с разделенной пружиной и амортизатором.

2 Анализ существующих конструкций подвесок и аналогов болидов «Формула Студент»

2.1 Анализ передних подвесок команд «Формулы Студент»



Рисунок 2.1 – Передняя подвеска команды TUGratz

Команда использует push-rod (толкатель – тяга, действующая), передающий перемещение подвески на расположенные продольно, относительно автомобиля, амортизаторы через коромысло. Так же на коромыслах видны отверстия, которые позволяют команде более тонко настраивать подвеску под разные трассы и дисциплины. Дополнительно такая компоновка позволяет команде спрятать амортизаторы под обвесы. Это позволяет команде достичь не только более красивого внешнего вида, но и улучшить аэродинамические качества автомобиля, за счет уменьшения сопротивления воздушному потоку.

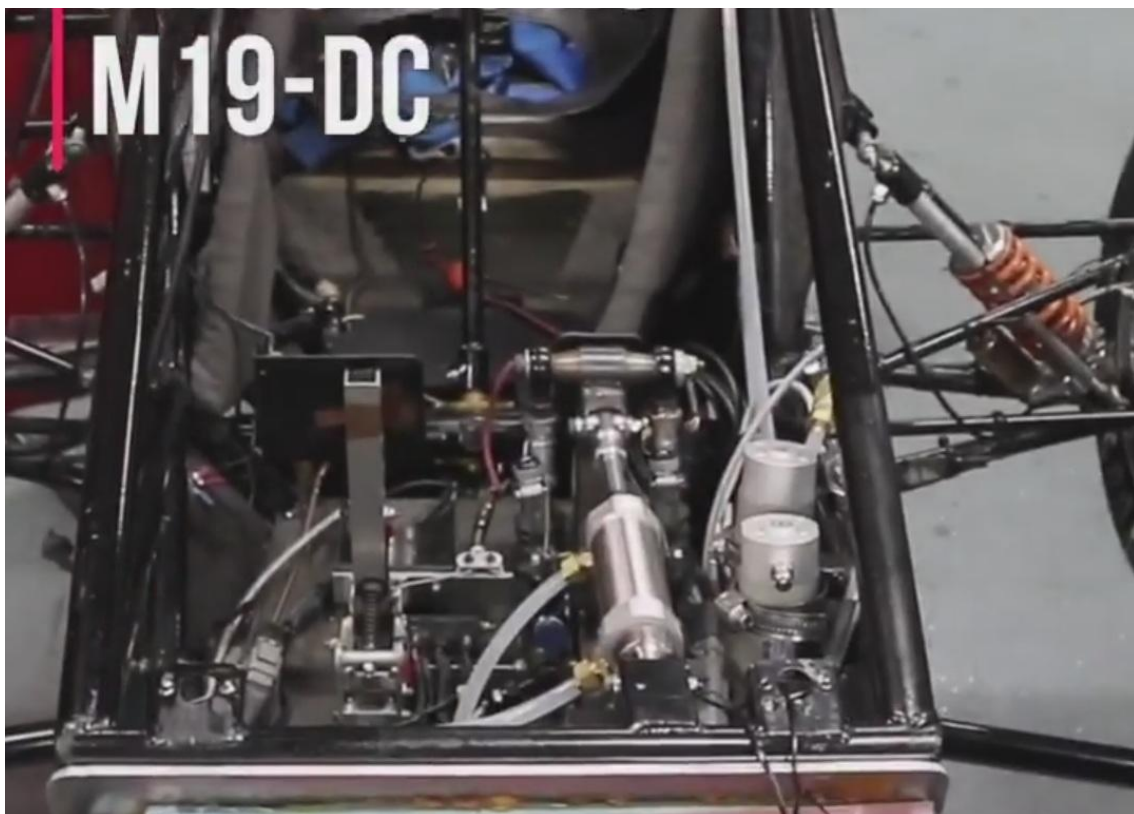


Рисунок 2.2 – Передняя подвеска команды MonashMotorsport

На рисунке 2.2 видно, что команда использует вместо толкателя сам амортизатор. С одной стороны, это позволяет команде экономить вес на тягах, коромыслах и их креплениях. Но с другой стороны, сам амортизатор намного больше, а соответственно и тяжелее, чем аналоги у команд, использующих push- и pull-rods. Такие компоновки довольно редки в «Формуле Студент».

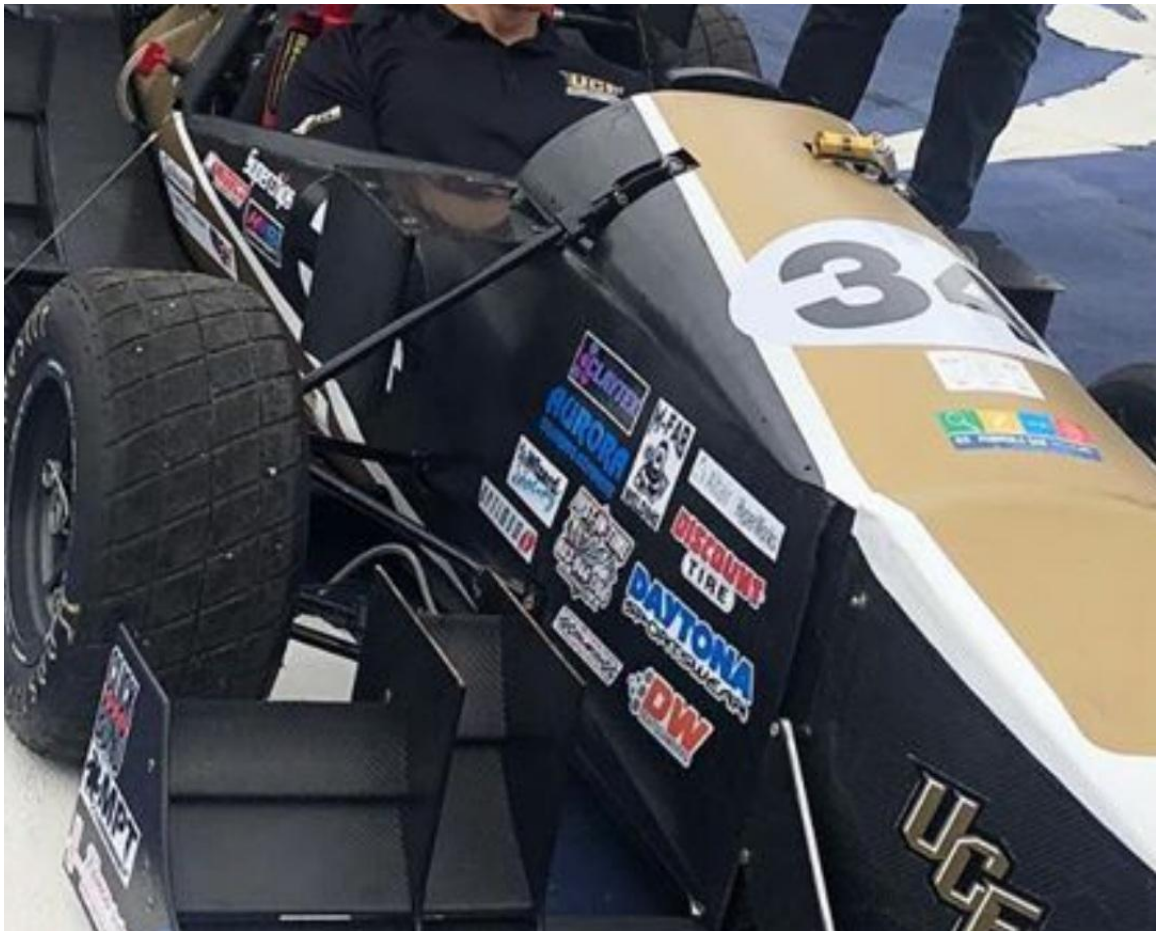


Рисунок 2.3 –Передняя подвеска команды UCF.

На рисунке 2.3 видна компоновка передней подвески с моноамортизатором. Команда использует один амортизатор на обе стороны. Push-rod'ы воздействуют на один амортизатор через коромысла. Важно в такой компоновке подобрать передаточные числа коромысел и ход амортизатора, чтобы соответствовать пункту Т 2.3.1 регламента FSRules 2019: “Автомобиль должен быть оборудован полностью рабочей передней и задней подвесками, включающими амортизаторы; полезный ход колеса должен составлять как минимум 50 мм)”[1]. Так же такая компоновка может не обеспечить жесткость подвески в достаточной степени.



Рисунок 2.4 – Передняя подвеска TUDelft

Конструкция представленная на рисунке 4 является подвеской с pull-rod'ом. Так же в данной подвеске присутствует система тяг и коромысел, которая управляет наклоном крыла. Это позволяет команде достичь лучших аэродинамических качеств, так как крыло находится максимально низко к земле и при ходах подвески не меняет своего положения относительно земли, при этом обеспечивая соответствие пункту D2.3.1 регламента FS Rules: “Боковые юбки или иные аэродинамические обвесы, которые по конструкции, созданию или как следствие перемещения, контактирует с поверхностью трассы запрещены. Любое нарушение будет наказано механическим черным флагом”[1]. Пункт D2.1.4 регламента FSRules 2019 определяет механический черный флаг как флаг, который означает

остановку гонки для команды и тщательное обследования автомобиля в специально отведенной зоне. После обследования может произойти дисквалификация команды на дисциплину, во время которой произошло нарушение.

2.2 Анализ задних подвесок команд «Формулы Студент»



Рисунок 2.5 – Задняя подвеска команды Distrierracing

На рисунке 2.5 видно компоновку подвески с push-rod'ами от нижних рычагов. При том, что точка крепления толкателя приходит почти в трубу

рычага, усилительная пластина нижних рычагов имеет необоснованно огромные размеры. Верхний рычаг или рычаги представлены в виде двух труб и имеют не общую точку крепления к кулаку. Амортизаторы у команды находятся достаточно высоко, что негативно влияет на расположение центра тяжести автомобиля.



Рисунок 2.6 – Задняя подвеска команды Wesmo

На рисунке 2.6 представлена подвеска с push-rod'ами от верхних рычагов, с коромыслами и двумя амортизаторами расположенными поперечно. Команда использует карбоновые трубы для рычагов и тяг. Их преимущества неоспоримы: даже увеличенные в размерах для достижения

тех же прочностных характеристик по сравнению со стальными они имеют меньший вес.

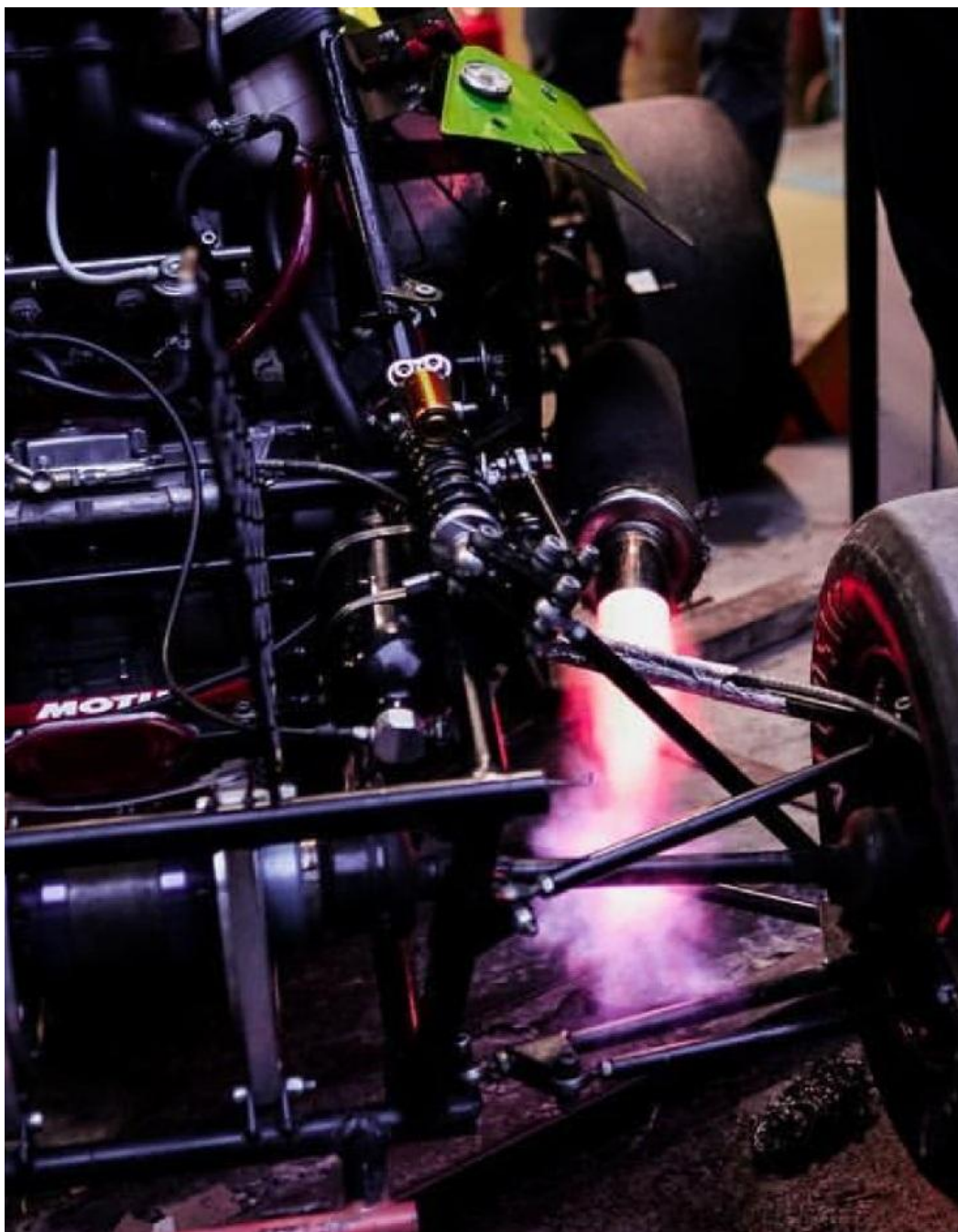


Рисунок 2.7 – задняя подвеска команды PolytechNCM

На рисунке 2.7 можно увидеть подвеску команды из Санкт-Петербурга. Они используют толкатели от нижних рычагов и амортизаторы продольного расположения. Такое расположение частей подвески на мой взгляд имеет больше недостатков. К главному недостатку можно отнести то, что согласно пункта Т3.10.6 регламента FSRules 2019 команда вынуждена сделать еще одну

поддержку распорки главной дуги в месте крепления амортизатора к раме, что является увеличением веса рамы.

3 Проектирование и расчет подвески

3.1 Анализ исходных данных

В качестве исходных данных рассмотрим компоновочные решения и регламент FSRules 2019. Для проведения начальных расчетов нам потребовалось узнать следующие условия: используемые амортизаторы, используемая рулевая рейка и рулевой механизм (вал с карданами или редуктор), а так же учесть конструкцию рамы и требования регламента. Раздел Т 2.3 "Подвеска" регламента FSRules 2019 имеет всего 3 пункта, но их важность от этого не менее мала.

"Т 2.3.1 - Автомобиль должен быть оборудован полностью рабочей подвеской спереди и сзади, включая амортизаторы, а так же иметь ход колеса по вертикали 50 мм (25 мм сжатия и 25 мм отбоя) вместе с пилотом сидящим внутри." [1]

"Т 2.3.2 - Минимальный дорожный просвет любой части автомобиля (кроме покрышек) с пилотом внутри должен быть минимум 30 мм." [1]

"Т 2.3.3 - Все крепления подвески должны быть видимы во время технической инспекции невооруженным взглядом или при условии снятия некоторых обвесов/специальных крышек." [1]

Для использования были выбраны амортизаторы CaneCreekDoubleBarrel, имеющие ход 70мм и межосевое расстояние в нейтральном положении - 222 мм. Они имеют 4 настройки жесткости: по быстрому и медленному сжатию и отбою. Амортизаторы имеют достаточно небольшие размеры и вес, что идеально соответствует задачам поставленным перед участниками проекта "Formula Student". К ним были подобраны пружины 350 N/mm x 2.75".



Рисунок 3.1– амортизаторCaneCreek DB.

По рулевой системе было решено использование самодельного редуктора с передаточным отношением 1:1 и углом передачи 90 градусов. Также была выбрана рейка от KazTechnologies. Ход рейки 82.55мм при вращении 248 градусов. Таким образом передаточное отношение рейки 4.71"на оборот. Вес рейки примерно 1.4 кг. Валы и шестерни изготовлены из стали, всё остальное - алюминий. При этом есть возможность изготавливать собственные стопора для рейки, регулируя этим максимальный ход рейки. Крепление рейки на раму видно на рисунке 3.1. С таким креплением очень удобно прикрепить рейку снизу, под автомобиль. Во-первых, это снизит положение центра тяжести. Во-вторых, нет надобности делать усиления в раме или отверстия в обвесе.



Рисунок 3.2– Рулевая рейка болида BlackScorpionG.2.

3.2 Проектирование и расчет передней подвески болида

При проектировании передней подвески необходимо учитывать не только характеристики составляющих рулевой системы, но и конфигурацию трассы. Так в регламенте Formula StudentRules 2019 в пункте D 6.1.1 сказано, что "минимальный внешний радиус крутого поворота должен быть 9м, минимальная ширина трека - 3м." Соответственно, ничто не мешает сделать трек шире в этом месте, а значит внутренний радиус поворота может варьироваться от 6 до 0 метров. Следовательно, при проектировании - чем меньше радиус поворота, тем более вариативна траектория на трассе. Так же при этом пилоту будет удобнее в менее крутых поворотах.

На болиде "VioletDemon" использовался рулевой редуктор. Из-за этого мною было принято решение взять эту подвеску за шаблон. Расположить рейку было решено под машиной. Так же было принято решение использовать коромысла и тягу типа push-rod. Конструкцию стабилизатора решено было использовать от болида "VioletDemon".

Расчет подвески велся в программе LotusSuspension. Программа позволяет симулировать поведение автомобиля на дороге, как если бы автомобиль испытывал вертикальные перемещения или крены или симулировать вращение рулевого колеса, получая при этом необходимые данные, такие как: изменение схождения, развала, кастора и.т.д. Дополнительным ограничивающим фактором явилось требование расположить точки крепления около точек триангуляции труб рамы. Это не разупрочнит раму, а так же позволит команде получить дополнительные баллы в статических дисциплинах.

X (mm)	Y (mm)	Z (mm)		
-127.00	-200.00	-134.50	POINT:1	Lower wishbone front pivot
150.00	-225.00	-97.50	POINT:2	Lower wishbone rear pivot
-3.70	-560.00	-90.50	POINT:3	Lower wishbone outer ball joint
-127.00	-229.00	74.50	POINT:4	Upper wishbone front pivot
151.00	-273.00	52.50	POINT:5	Upper wishbone rear pivot
7.85	-520.00	116.50	POINT:6	Upper wishbone outer ball joint
15.44	-489.22	67.35	POINT:7	-265
-33.17	-310.88	-72.76	POINT:8	Push rod rocker end
63.00	-539.00	-110.50	POINT:9	Outer track rod ball joint
55.00	-220.00	-134.50	POINT:10	Inner track rod ball joint
-55.11	-227.56	159.39	POINT:11	Damper to body point
-39.17	-288.24	-24.51	POINT:12	Damper to rocker point
0.00	-537.80	-2.71	POINT:13	Wheel spindle point
0.00	-600.00	0.00	POINT:14	Wheel centre point
-57.06	-209.07	-67.08	POINT:15	Rocker axis 1st point
-63.82	-210.90	-67.07	POINT:16	Rocker axis 2nd point

Рисунок 3.3– Расположение точек передней подвески относительно начала координат в 3D модели автомобиля.

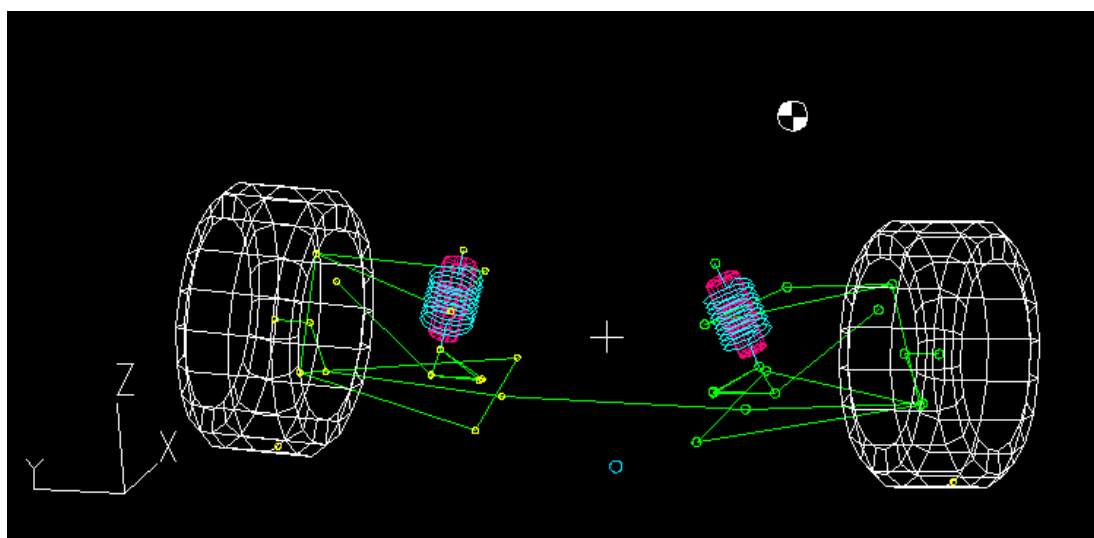


Рисунок 3.4–Модель передней подвески в программе LotusSuspension.

По результатам расчетов получили следующие характеристики. Угол кастора - 3.2 градуса. Плечо стабилизации 12.9 мм. Угол наклона шкворня 10.9 градуса. Плечо обката ~ 2 см.

Во время работы подвески:

- изменение схождения ± 0.02 градуса (меньше 1 мм);
- изменение кастора ± 0.9 градуса;
- изменение кастора ± 1.3 градуса;
- изменение угла наклона шкворня ± 1 градуса.

Радиус поворота 2.5 метра при перемещении рейки на 35 мм. Аккерманн - 60% при радиусе поворота 2.5 метра, 45% при радиусе поворота 20 метров.

3.3 Проектирование и расчет задней подвески.

При проектировании задней подвески следует учесть изменения развала и схождения при ходах подвески. Компонировочно было решено использовать тяги амортизатора типа push-rod, разместить амортизаторы на трубе, которая соединяет две точки опоры распорок главной дуги. Во-первых, это позволит правильно построить геометрию работы амортизаторов и коромысел; во-вторых, такая компоновка в отличие от компоновки задней подвески на болиде "VioletDemon" позволяет устанавливать и снимать двигатель без снятия амортизаторов, что делает автомобиль легче в обслуживании.

Так же необходимо учитывать, что задняя подвеска соединяет с рамой ведущие колеса, а следовательно имеет привода и дифференциал. Поэтому за исходные данные были взяты расположение и габаритные размеры дифференциала со звездой и цепью, а так же защиты цепи. Так же необходимо учесть, что из-за расположения двигателя сзади на задней оси находится большой вес, сзади потребуется более жесткая подвеска, иначе

крены и ход подвески будут больше расчетных. Настройка амортизаторов происходит непосредственно во время тестовых заездов команды.

За прототип подвески была взята подвеска с болида "BlackScorpionG.1". А именно кулаки подвески, поэтому передо мной стояла задача полностью изменить точки крепления рычагов к раме, достичь лучших результатов по сравнению с машиной прошлого года, но при этом почти не затронуть точки крепления кулаков к рычагам, чтобы не изменять общую компоновку заднего кулака.

STATIC VALUES					
X	Y	Z			
(mm)	(mm)	(mm)			
945.00	-295.00	-164.69	POINT:1	Lower wishbone front pivot	
1430.00	-206.00	-157.69	POINT:2	Lower wishbone rear pivot	
1500.00	-490.00	-127.69	POINT:3	Lower wishbone outer ball joint	
980.00	-356.00	49.59	POINT:4	Upper wishbone front pivot	
1430.00	-260.00	59.31	POINT:5	Upper wishbone rear pivot	
1530.00	-480.00	102.31	POINT:6	Upper wishbone outer ball joint	
1480.00	-450.00	-109.91	POINT:7	Push rod wishbone end	
1480.00	-265.00	70.09	POINT:8	Push rod rocker end	
1420.00	-490.00	-4.41	POINT:9	Outer track rod ball joint	
1430.00	-235.00	-40.41	POINT:10	Inner track rod ball joint	
1480.00	-25.69	127.09	POINT:11	Damper to body point	
1480.00	-220.00	128.09	POINT:12	Damper to rocker point	
1530.00	-500.00	-1.61	POINT:13	Wheel spindle point	
1530.00	-575.00	0.17	POINT:14	Wheel centre point	
1470.00	-222.00	39.09	POINT:15	Rocker axis 1st point	
1490.00	-222.00	39.09	POINT:16	Rocker axis 2nd point	

Рисунок 3.5–Расположение точек задней подвески относительно начала координат в 3D модели автомобиля.

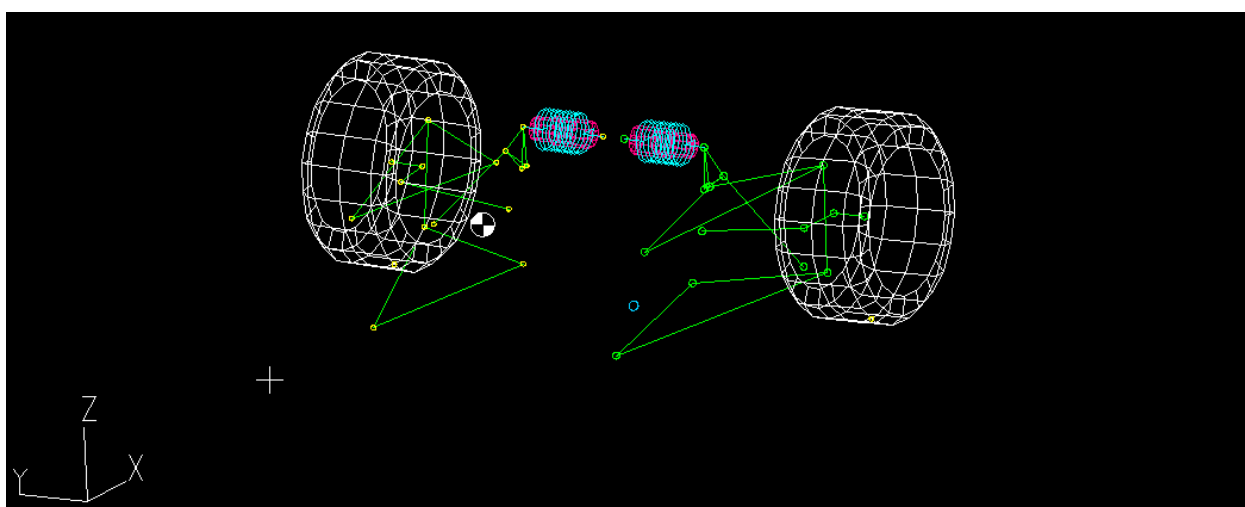


Рисунок 3.6– Модель задней подвески в программе LotusSuspension.

По результатам расчетов были получены следующие характеристики.
Угол кастора - 7,4 градуса. Угол наклона шкворня 2,5 градуса.

Во время работы подвески:

- изменение схождения $\pm 0,1$ градуса (меньше 1 мм);
- изменение кастора $\pm 0,1$ градуса;
- изменение развала $\pm 0,5$ градуса;
- изменение угла наклона шкворня ± 1 градуса;
- изменение колеи меньше 1мм.

4 Технологическая часть. Технологический процесс сборки кулака переднего.

4.1 Анализ исходных данных

4.1.1 Описание принципа работы сборочной механизма

Кулак автомобиля относится к элементам подвески. Подвеска служит для связи колес с кузовом или рамой автомобиля, и является основным элементом, отвечающим за управляемость, плавность хода и комфортность и комфортабельность а/м. Кулак автомобиля устанавливается как на передней так и на задней подвеске. Спереди к кулаку крепятся рычаги и рулевая тяга, сзади – рычаги и реактивная тяга. Соответственно спереди кулак отвечает за поворот колеса вокруг оси шкворня для обеспечения поворачиваемости а/м. Соответственно задний кулак отвечает за изменение развала-схождения при поворотах и изменения продольного наклона. Кулак так же служит как крепление для тормозного суппорта и ступицы, к которой в свою очередь крепится тормозной диск и колесо. С помощью крепежных точек кулака настраиваются развал и схождение колес. Как правило кулак является более долговечным элементом, чем все остальные элементы, к нему крепящиеся.

Для крепления ступицы кулак имеет гильзу с посадочным диаметром под подшипники, во внутреннюю обойму которых запрессовывается ступица. На стапеле к гильзе привариваются перья, которые обеспечивают точность размещения заданных точек крепления кулака к рычагам и тягам, крепления тормозного суппорта. Все точки сначала рассчитываются в программах для расчета подвесок, затем компоновочно размещаются в 3D модели, переносятся на стапель и свариваются.

4.1.2 Анализ технологической конструкции изделия

Технологичность конструкции является одним из основных требований, предъявляемых к деталям машин. Под технологичностью

конструкции понимают степень ее соответствия производственным условиям, позволяющим применять технологические процессы, обеспечивающие изготовление детали с наибольшей производительностью и наименьшей себестоимостью для данного масштаба производства. Технологичной конструкцией считается та, которая в большей степени отвечает требованиям прогрессивной технологии. Это в равной степени относится к выбранному материалу детали и ее термической обработке, геометрической форме, точности механической обработки и шероховатости поверхности.

В качестве заготовки используют сталь 3, она имеет не большую цену и удовлетворяет всем требованиям.

Большинство деталей изготавливается с помощью резания лазером, что позволяет получить высокую точность, повторяемость и симметричность деталей на левую и правую стороны.

Гильза кулака имеет посадочный диаметр 55H8, что легко получить при помощи точения на токарном станке. Шероховатость поверхности под запрессовку подшипников так же получается без шлифовки на токарном станке. Проточка под стопорное кольцо, посадочный диаметр подшипника и упорный борт гильзы изготавливаются за один установ, что так же говорит о высокой технологичности изделия.

Сварка кулака происходит в стапеле, который обеспечивает высокую точность.

Конструкция кулака не вызывает затруднений при финальной сборке всех деталей воедино.

Исходя из этого анализа, можно сделать заключение, что сборочная единица обладает высокой технологичностью.

4.2 Размерный анализ сборочных размерных цепей.

Сборочная размерная цепь - совокупность размеров узла, образующих деталей, замкнутый контур и не посредственно участвующий для решения задач.

Размерные цепи используются для решения задач двух типов:

1. Прямая задача – известен допуск исходного звена и требуется рассчитать допуски составных звеньев цепи;
2. Обратная задача – известны допуски составных звеньев цепи и необходимо рассчитать допуски исходного звена.

В данной курсовой работе решается прямая задача. Уравнение нормальных размеров цепи имеет вид:

$$A_{\Delta} = \prod_{i=1}^{m-1} A_i K_i, \quad (1)$$

где m – число звеньев размерной цепи,

K_i – передаточное отношение (коэффициент влияния).

Уравнение допусков размерной цепи (уравнение погрешностей) при арифметическом суммировании:

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i, \quad (2)$$

Единая система допусков и посадок основана на расчете допусков размеров по формуле 4.

$$TA_i = i * a, \quad (3)$$

где i – единица допуска, зависящая только от величины размера A .

$$i = 0,45^3 \sqrt{A} + 0,001A, \quad (4)$$

Величина i выбирается из стандартных таблиц зависящих от интервала размеров A . В нашем случае величина i равна 1,5, так как интервал A входит в диапазон интервалов от 19 до 80 мм.

В формуле 3 a – число единиц допуска – безразмерная величина, зависящая только от качества точности размера A . Выбирается также по стандартной таблице.

Для определения числа a в данной курсовой работе используют метод равной точности (равного качества).

Уравнение допусков размерной цепи (2) можно записать в следующем виде:

$$TA_{\Delta} = a_i(i_1 + i_2 + \dots + i_{m-1}) = a_1 \sum_{i=1}^{m-1} i, \quad (5)$$

Теперь из данного уравнения (5) можно выразить a_1 :

$$a_1 = \frac{TA_{\Delta}}{\sum_{i=1}^{m-1} i}, \quad (6)$$

Подставляем известные данные в формулу (6):

$$a_1 = \frac{TA_{\Delta}}{\sum_{i=1}^{m-1} i} = \frac{55}{5,5} = 10, \quad (7)$$

Данное значение округляем до ближайшего подходящего по таблице значению и выбираем качество. Таким образом, $a_T = 16$ – и этому значению соответствует 7 качество.

Далее необходимо определить допуски составляющих звеньев цепи при квадратичном суммировании.

Формула квадратичного суммирования:

$$a_2 = \frac{TA_{\Delta}}{\sum_{i=1}^{m-1} i^2} = \frac{55}{5,45} = 23,5, \quad (8)$$

Также подбираем ближайшее значение по стандартному ряду $a_T = 25$, что соответствует 8 качеству.

Далее составляем таблицу 1 расчета сборочной расчетной цепи, в которой будут указаны звенья и их обозначения, единицы допуска, допуски квадратичного суммирования и суммы допуска на обработку исходного звена и составляющих звеньев цепи.

На рисунке 1 показана сборка гильзы кулака. В гильзе (1) установлены кольцо стопорное (2), подшипники (3) и кольца проставочные (4,5). Ширина проставочного кольца с размером $\Delta = 2 \text{ мм} + 0,055 \text{ мм}$ (55 мкм).

Таким образом, величина Δ будет исходным звеном сборочной расчетной цепи.

Составляющие звенья данной цепи:

A_1 – ширина подшипника (3.1),

A_2 – ширина кольца проставочного (4),

A_3 – ширина кольца проставочного (5),

A_4 – ширина подшипника (3.2),

A_5 – ширина борта,

A_6 – длина гильзы (1) со стопорным кольцом (2).

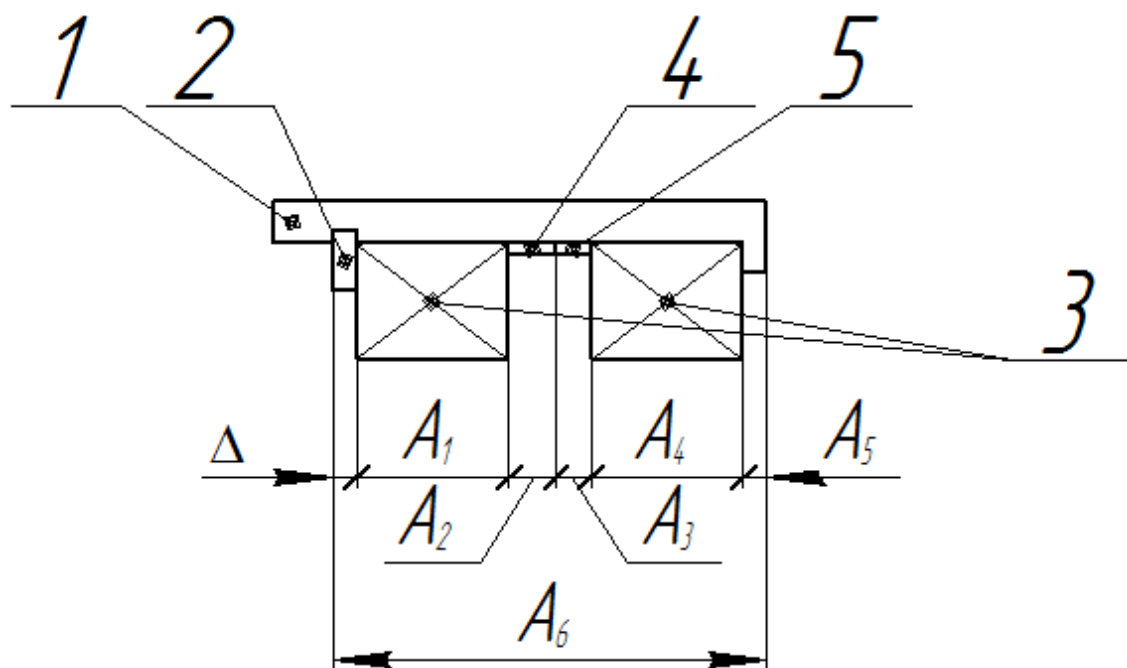


Рисунок 4.1 – Гильза кулака переднего. Схема к расчету сборочной размерной цепи.

Таблица 4.1 – Расчет сборочной размерной цепи

№ звена	Обозначение	Величина мм	Ед. допуска мкм	Допуск, мкм $TA = a_1 * i$	i^2	Допуск, мкм $TA = a_2 * i$
1	2	3	4	5	6	7
-	-	-	-	$a_1 * 4$	4^2	$a_2 * 4$
1	A ₁	13	0,8	8	0,64	18,8
2	A ₂	4	0,8	8	0,64	18,8
3	A ₃	3	0,8	8	0,64	18,8
4	A ₄	13	0,8	8	0,64	18,8
5	A ₅	2	0,8	8	0,64	18,8
6	A ₆	35	1,5	15	2,25	35,25
7	Δ	2-2,055	-	-	-	-
		Σ	5,5	55	5,45	129,25

4.3 Технология сборки изделия

4.3.1 Разработка технологической схемы сборки

После расчета сборочной размерной цепи составляют технологическую схему сборки. В данном курсовой работе – это технологическая схема сборки переднего кулака для гоночного болида класса «FormulaStudent» (Приложение А). По данной схеме затем составляют маршрутный технологический процесс сборки кулака, в котором указываются все производимые операции с кулаком с учетом затраченного времени на производимые операции. Технологическая схема сборки представлена на чертеже.

4.3.2 Технологический процесс сборки

4.3.2.1 Составление перечня сборочных работ.

Таблица 4.2 – Маршрутный технологический процесс.

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции	Норма времени, мин
1	Сборка ступицы	1. Установить ступицу в приспособление.	0,04
		2. Установить тормозной диск на ступицу.	0,04
		3. Установка шпилек в отверстия.	0,04*4
		4. Запрессовка шпилек.	
		5. Снять ступицу из приспособления	0,09*4
			0,03
2	Сборка кулака	1. Установить кулак в приспособление.	0,04
		2. Запрессовать подшипник в кулак.	0,13

Продолжение таблицы 4.2

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции	Норма времени, мин
		3. Установить кольца в гильзу. 4. Запрессовать второй подшипник. 5. Установить стопорное кольцо. 6. Перевернуть и установить кулак. 7. Запрессовать ступицу в подшипники. 8. Закрепить ступицу болтом с гайкой	0,09*4 0,10 0,08 0,05+0,03= =0,08 0,05 0,07+0,03+0,04= =0,14
3	Установка суппорта.	1. Установить суппорт на кулак. 2. Ввернуть болты. 3. Зафиксировать болты проволокой.	0,04 0,08*2+0,15*2=0,46 0,15
4	Контрольная проверка	1. Проверить легкость вращения ступицы 2. Затяжка болтов 3. Снять кулак из приспособления	0,08 0,17*1 0,04

4.3.2.2 Синхронизация операций сборки по такту выпуска

Для крупносерийного и массового производства требуется поточная форма его организации. Такт выпуска определяется по формуле:

$$\tau_p = \frac{\phi}{N}, \quad (9)$$

где ϕ - годовой фонд времени рабочего,
 N -годовая программа производства.

В таблице 4.3 представлена синхронизация операций сборки кулака. В первой строке приведена трудоемкость операций сборки. Из таблицы видно, что трудоемкости операций отличаются на порядок. Для уменьшения разброса трудоемкости используются два метода:

- объединение операций малой трудоемкости. Так операции 5 и 10 можно объединить, выполняя их поочередно.
- разделение длительных операций несколькими рабочими. Из таблицы видно, что в нашем примере нет в этом необходимости.

Скорректированное время записывается во вторую строчку. При этом необходимо проверить кратность трудоемкости по операциям по формуле:

$$D = \frac{t_{\max}}{t_{\min}} = \frac{0,94}{0,63} = 1,5 \approx 2. \quad (10)$$

Если $D > 3$, то необходимо пересматривать техпроцесс для выравнивания трудоемкости операций.

Исходные данные для синхронизации такта сборки кулака:

$$\phi = 2070 \text{ час/год}$$

$$N = 100\,000 \text{ шт./год}$$

$$\text{Расчетный такт } \tau_p = 1,24 \text{ мин / шт.}$$

В третьей строке записывается расчетное количество рабочих по операциям:

$$n_p = \frac{t_i}{\tau_p}. \quad (11)$$

В четвертой строке указывается фактическое число человек, необходимое для выполнения операции. В пятую строку записывается коэффициент загрузки.

$$\eta_z = \frac{n_p}{n_\phi}. \quad (12)$$

В шестой строке таблицы приведены значения фактического такта:

$$\tau_{\phi} = \frac{t_i}{n_{\phi}} = \frac{\text{мин}}{\text{чел.}} \quad (13)$$

Неравномерность фактического такта определяется по следующей формуле и записывается в седьмую строку таблицы 4.3:

$$\Delta\tau_{\phi} = \tau_{\max} - \tau_{\min} = \text{мин/шт.} \quad (14)$$

Следом определяется относительная погрешность такта:

$$\alpha = \frac{\Delta\tau_{\phi}}{\tau_{\text{ср}}}, \quad (15)$$

где α – оценка степени синхронизации такта по операциям, %.

Таблица 4.3 – Расчет погрешности синхронизации такта сборки кулака переднего поворотного.

Показатель	Номер операции				Примечание
	5	10	15	20	
Трудоемкость операции, t_i мин	0,63	0,81	0,65	0,29	$t = 2,38$ $t_{\text{сред}} = 0,595$
Скорректировать трудоемкость	0,63	0,81	0,94		
Расчетное число рабочих $n_p = t_i / \tau_p$	0,51	0,65	0,76		
Фактическое число рабочих n_{ϕ}	1	1	1		$\Sigma = 3$
Коэффициент загрузки η_z	0,51	0,65	0,76		$\eta_z^{\text{сред}} = 0,64$
Фактический такт на операцию	0,63	0,81	0,94		$\tau_{\phi}^{\text{сред}} = 0,79$
Колебания такта	$\Delta\tau_{\phi} = \tau_{\max} - \tau_{\min} = 0,94 - 0,63 = 0,31$			Погрешность синхронизации такта: $\alpha = \frac{\Delta\tau_{\phi}}{\tau_{\text{ср}}} = \frac{0,31}{0,79} = 0,39 = \pm 19,5\%$	

5 Безопасность и экологичность технического объекта

Производство компонентов подвески автомобиля сопряжено с опасностью для изготовителя, поэтому весь процесс регламентируется положением по охране труда, который обеспечивает безопасность на рабочем месте. Разработка документации ведется с упором на зарубежный опыт в машиностроении, а также на законы действующие в России. На предприятии систематизированы все необходимые данные для поддержания культуры безопасности, каждый работник проходит инструктаж, систематически проходит семинары по повышению квалификации, что является главными факторами для создания безопасных условий труда на производстве.

Для производства подвески автомобиля необходимы сварочные, сборочные и слесарные работы.

Таблица 5.1 – ОВПФ сварочных работ

Направлен ие работы	Сущность работы	Список необходимых инструментов	ОВПФ
1	2	3	4
Сварочные работы	Сварка деталей	Сварочная оснастка, источник сварочного тока, пинцы, ручной инструмент.	<u>Физические</u> :- механизмы, изделия. Острые кромки;- повышенная запыленность и загазованность;- высокая температура. Ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, излишняя яркость сварочной дуги.

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4
			- опасность ожогов, возможность взрыва баллонов и систем, электромагнитные поля.
			<u>Химические</u> : -аргон, вольфрам, хлориды железа, натрия и калия.

Для данного рабочего действуют требования по технике безопасности:

- необходимо подготовиться и произвести сборку перед сварочными операциям;
- проверка работоспособности и настройка рабочего оборудования происходит перед работы началом;
- ознакомление с инструктажем пожарной безопасности;
- систематическая проверка знаний по технике безопасности и охране труда;
- регулярная проверка здоровья и медицинские осмотры;
- соблюдения правил внутреннего распорядка предприятия;
- соблюдать пожарную безопасность и правила охраны труда на рабочем месте

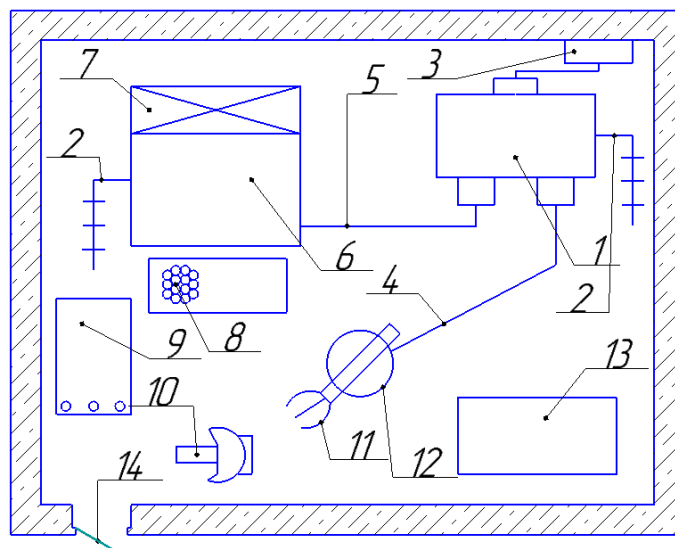


Рисунок 5.1 –Рабочие место для проведения сварочных работ

1 –сварочный аппарат; 2- заземление; 3 – силовой провод питания; 4 – шланг для подачи проволоки и газа; 5 – обратный токоподводящий провод; 6 - верстак; 7 - вентиляция; 8 – резиновая изоляция рабочего; 9 - проволока; 10 - щиток; 11 –пистолет для подачи проволоки и газа; 12 - стул; 13 - ящик для отходов; 14 - дверной проем

К основным задачам сварщика относятся:

- производить сварку конструкций из любых материалов, которые обладают необходимыми свойствами;
- выполнять прихватки деталей;
- ликвидировать дефекты по средствам зачистки;
- резать простые детали с помощью дуговой сварки;
- Осуществлять контроль качества сварочного шва и его проникание в материал после сварки, специальными инструментами;

Таблица 5.2 – ОВПФ сборочных работ

Направление работы	Сущность работы	Список необходимых инструментов	ОВПФ
Сборочные работы	Сборка узла с упором на чертежи и модели	- стол для работы, тиски, инструмент (зубило, молоток, напильник), инструменты для измерения (линейка, штангенциркуль), электроинструмент.	<u>Физические:</u> -части разрушившегося изделия, острые края ; -повышенный уровень шума;- абразивная пыль, воздействие электрического тока

Для данного рабочего действуют требования по технике безопасности:

- ознакомление с инструктажами по технике безопасности
- промышленная санитария (чистота рабочего места)
- дисциплина на рабочем месте;
- использование оборудования по назначению;
- при обнаружении поломки - сообщать спецгруппе по ремонту оборудования

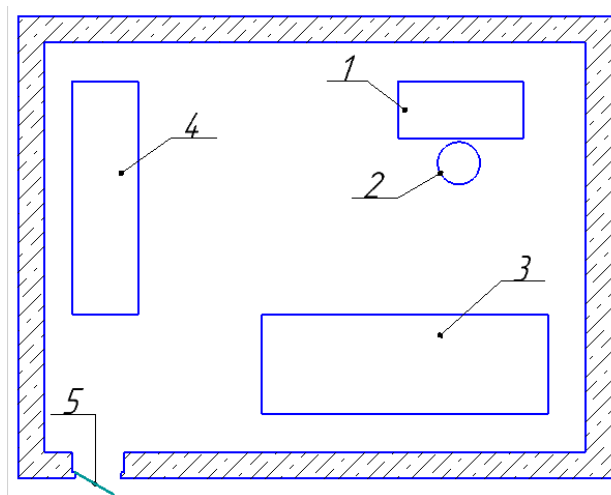


Рисунок 5.2 – Рабочее место для сборочных работ

1 –рабочее место; 2- стул; 3 - верстак; 4 –инструментальный шкаф; 5 -
дверной проем.

К основным задачам сборщика относятся:

- сборка деталей или узлов конструкции в кондукторе по чертежу либо модели;
- проверка точности установки деталей с опорой на чертежи при помощи измерительных инструментов;
- указание примечаний для дальнейшей работы с данным узлом (деталью)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первом разделе было рассмотрено участие в соревнованиях «Формула Студент», выделены важные и основные аспекты. Представлена краткая информация о системах подвески автомобилей.

Во втором разделе рассматриваются аналоги конструкций подвесок «Формулы студент», проанализированы преимущества и недостатки конструкций.

В третьем разделе описывается конструкция проектируемого узла. Описан процесс проектировки подвески, показаны основные характеристики подвески.

В четвертом разделе построен маршрут технологического процесса, произведен расчет синхронизации такта сборки.

Пятый раздел затрагивает экологичность и безопасность на рабочих местах участвующих в производстве данного узла.

Итогом работы явилась полностью готовая подвеска для болида класса «Формула Студент». Подвеска полностью соответствует регламенту соревнований и условиям работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. URL: <https://www.formulastudent.de/> (дата обращения: 04.05.2019)
2. URL: <http://students.sae.org/cds/formulaseries/> (дата обращения: 09.05.2019)
3. URL: Pat Clarke, "Technical Introduction for New Teams", 2014 (дата обращения: 11.05.2019)
4. URL: <http://www.fsaeonline.com/> (дата обращения: 22.05.2019)
5. URL: <https://www.formulastudent.de/> (дата обращения: 03.06.2019)
6. Волкова, Е.И., Шерстобитова О.О. «Разработка пространственной рамы для гоночного болида BlackBullet» / VII выпуск журнала "Точная наука" / Е.И. Волкова, О.О. Шерстобитова: -2017.-18-20 с.
7. Лебедев, В. А. Технология машиностроения : Проектирование технологий изготовления изделий : учеб.пособие для вузов / В. А. Лебедев, М. А. Тамаркин, Д. П. Гепта. - Гриф УМО. – Р.-на-Д. : Феникс, 2008. – 361с.
8. Иванов, А.С. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие / А.С. Иванов, П.А. Давыденко, Н.П. Шамов. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 276 с.
9. Горбачевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие для вузов/ А.Ф. Горбачевич, В.А. Шкред. М: – ООО ИД «Альянс», 2007 – 256 с.
10. Расторгуев, Д. А. Разработка плана изготовления деталей машин : учеб.-метод. пособие / Д. А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". - ТГУ. – Т. : ТГУ, 2013. - 51 с.
11. Клепиков, В.В. Основы технологии машиностроения: учебник / В. В. Клепиков [и др.]. – М. : ИНФРА-М, 2017. - 295 с.

12. Суслов, А. Г. Технология машиностроения : учеб. для вузов / А. Г. Суслов. - 2-е изд., перераб. и доп. ; Гриф МО. – М. : Машиностроение, 2007. - 429 с.
13. Шерстобитова, О.О., Мошко, Д.А. «Разработка модульной каркасно-сборочной технологической оснастки для производства элементов спортивно-гоночных автомобилей» / Ежегодный сборник трудов "Студенческие инженерные проекты" / О.О. Шерстобитова, Д.А. Мошко.-2017. – 205-207 с.
14. Косов, Н.П. Технологическая оснастка: вопросы и ответы: Учебное пособие для вузов. / Н.П. Косов, А.Н. Исаев, А.Г. Схиртладзе. — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2007. — 304 с
15. Зубченко, А.С. Марочник сталей и сплавов / сост. А. С. Зубченко [и др.] ; под ред. А. С. Зубченко. - 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2003. - 782с.
16. Маталин, А. А. Технология машиностроения : учеб. для студ. вузов, обуч. по спец. 151001 напр. "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроит. производств" / А. А. Маталин. - Изд. 3-е, стер. ; Гриф УМО. – С.-П. [и др.] : Лань, 2010. - 512 с.
17. Пашкевич, М.Ф. Технология машиностроения : учеб. пособие для вузов / под ред. М. Ф. Пашкевича. – Мин. : Новое знание, 2008. - 477 с.
18. Харламов, Г.А. Припуски на механическую обработку: справочник. / Г.А. Харламов, А.С. Тарапанов. — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2013. — 256 с.
19. Петрова, М.С. Охрана труда на производстве и в учебном процессе: учеб. пособие. / М.С. Петрова – М.: ЭНАС, 2006.-232с.
20. Косилова, А.Г. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х томах Т2 (Под ред. А.Г. Косиловой 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985, 496 с., ил.).

- 21.Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя в 3-х т. Т.3. - 8-е изд. Перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестоковой. / В.И. Анурьев. - М.: Машиностроение, 2001 . - 864 с.
- 22.Сергель, Н.Н. Технологическое оборудование машиностроительных предприятий:учеб.пособие / Н. Н. Сергель. - Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2013. - 732 с.
- 23.Капрова, В.Г. Учебно-методическое пособие к выполнению курсовой работы по дисциплине «Организация производства» для студентов специальности 190201 –«Автомобиле и тракторостроение» всех форм обучения / В.Г. Капрова. –Т. : ТГУ, 2007. –63 с.
- 24.Михайлов, А.В. Оформление документов на технологические процессы обработки резанием: Метод.указания/Сост.Михайлов А.В.-Т. : ТолПИ, 1993.
- 25.Клепиков, В.В. Основы технологии машиностроения: учебник / В. В. Клепиков [и др.]. – М. : ИНФРА-М, 2017. - 295 с.