

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 Общая компоновка спортивного болида «Формула-студент» с электрической силовой установкой

Студент	<u>А.С. Спиридонов</u> (И.О. Фамилия)	<u>_____</u> (личная подпись)
Руководитель	<u>канд. техн. наук, доцент А.В. Бобровский</u> (ученая степень, звание, И.О. Фамилия)	<u>_____</u>
Консультант	<u>канд. техн. наук, доцент А.Н. Москалюк</u> (ученая степень, звание, И.О. Фамилия)	<u>_____</u>

Тольятти 2021

Аннотация

Проведен анализ существующих вариантов компоновок электроболитов класса «Формула студент», в том числе и зарубежных. Описана технология разработки системы распределения крутящего момента и принцип ее работы на примере болида класса «Формула студент». Описаны компоненты, входящие в эту систему, их сигналы и принцип работы. Проведена идентификация профессиональных рисков, указаны средства методы и технические мероприятия по их устранению. Проведен анализ экономической эффективности в эксплуатации электроболита по сравнению с эксплуатацией болида с двигателем внутреннего сгорания.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки в размере 43 страниц, содержащей 21 рисунок, 8 таблиц и 6 листов графической части.

Содержание

Введение.....	3
1 Состояние вопроса	4
1.1 Актуальность работы над проектом создания электроботида	4
1.2 Процедура участия в соревнованиях FSAE.....	4
1.3 Система распределения крутящего момента.....	5
2 Сравнительный анализ конструкций трансмиссий болидов «Формула студент» с электрическим двигателем.....	7
2.1 Сравнительный анализ конструкций болидов на электротяге	7
3 Разработка системы распределения крутящего момента.....	11
3.1 Датчики	11
3.2 Анализ вводных данных.....	18
3.3 Расчет системы распределения крутящего момента	20
4 Безопасность и экологичность технического объекта	28
4.1 Технологический паспорт технического объекта.....	28
4.2 Идентификация профессиональных рисков.....	29
5 Экономическая эффективность	34
Заключение	37
Список используемой литературы и используемых источников.....	38
Приложение А Спецификация к сборочному чертежу «Кулак поворотный передний».....	41
Приложение Б Спецификация к сборочному чертежу «Кулак задний в сборе»	43

Введение

«Формула студент» – это один из самых популярных студенческих инженерных проектов. Данный проект направлен на подготовку гоночных инженеров и инженеров в области автомобилестроения. За время участия в проекте студенты должны, опираясь на регламент, спроектировать и построить гоночный автомобиль, с которым они будут выступать на соревнованиях.

Прежде всего на соревнованиях проходит всесторонняя оценка технической реализации конструкции автомобиля, различные статические и динамические тесты, а также техническая и бизнес презентации, в ходе которых студенты должны доказать судейской коллегии, что именно их конструкция лучше всего соответствует всем предъявляемым к машине техническим и экономическим требованиям. Одной из важнейших составляющих соревнований «Формула студент» является защита конструкции, в ходе которой участники защищают свои инженерные решения, отстаивая их перед главными инженерами крупных автомобильных брендов. Исходя из итогов этой защиты, команда получает очки. Побеждает та команда, которая по итогам всех дисциплин соревнований, набрала большее количество очков.

Цель работы: разработка системы, с креплением всех датчиков, расчёт и математическое описание алгоритма работы системы управления вектором тяги для электроболида класса «Формула студент», опираясь на знания других команд, которые уже имели опыт в разработке данной системы.

Задачи работы:

- Изучить уже имеющиеся наработки по этой теме;
- Спроектировать систему крепления датчиков для сбора данных с автомобиля.
- Провести расчеты зависимостей угловых скоростей ведущих колес от различных параметров автомобиля.

1 Состояние вопроса

1.1 Актуальность работы над проектом создания электроболида

В последнее время человечество озадачено поиском более экономичного и экологичного транспорта. Электромобили – вид транспорта, который наиболее эффективнее и экологичнее чем транспорт с двигателем внутреннего сгорания (ДВС), хотя они еще не могут составить ему конкуренцию по таким параметрам как дальность хода и удобство эксплуатации.

Однако, несмотря на имеющиеся недостатки электромобилей по сравнению с автомобилями на ДВС, автопроизводители уже начали выпускать автомобили на электродвигателях [1].

Так как в ближайшем будущем появиться ощутимый спрос на инженеров в области электротранспорта, а «Formula SAE» – это проект для подготовки инженеров в области автомобилестроения и участники этого проекта, после окончания университета идут работать в крупные автомобильные компании, организаторы соревнований объявили, что в ближайшем будущем перестанут проводить соревнования для болидов класса CV (болиды с двигателем внутреннего сгорания), чтобы будущие выпускники проекта имели больше компетенций в области создания электротранспорта [24].

1.2 Процедура участия в соревнованиях FSAE

Formula SAE – это международные соревнования, которые были созданы Сообществом Автомобильных инженеров (SAE) еще в 1978 году. По всему миру в этих соревнованиях участвуют более трех с половиной тысяч команд и каждый год список этих команд пополняется. Суть проекта заключается в том, что студенты, объединившись в проектную группу,

должны спроектировать и изготовить гоночный болид, опираясь на жесткие требования регламента. Регламент – документ, в котором указаны различные ограничения в конструкции болида. Все эти ограничения направлены на то, чтобы сделать автомобиль безопасным, т.к. за его рулем будет находиться студент. Итогом работы команды должен стать полностью рабочий автомобиль, который готов к участию в соревнованиях.

Соревнования включают в себя несколько этапов:

- Техническая инспекция – направлена на то, чтобы судьи могли убедиться в том, что команда действительно выполнила все пункты регламента, их автомобиль безопасен и может принимать участие в динамических дисциплинах;
- Статические дисциплины – команда должна доказать правильность того или иного инженерного решения. Рассказать судьям о том, как построен процесс производства их болида. Предоставить отчет о стоимости автомобиля, в котором указана цена каждой детали болида, которую они использовали, а также сколько трудочасов на это было затрачено;
- Динамические дисциплины. Участие автомобиля в гоночных заездах для определения его динамических характеристик. Управляемости, разгон, торможение, надежность, топливная эффективность;

По результатам прохождения каждого этапа соревнований команда получает баллы, которые суммируются. Исходя из общего количества баллов определяются победители соревнований.

1.3 Система распределения крутящего момента

Система управления вектором тяги (Torque vectoring) – это технология, которая позволяет изменять крутящий момент каждой полуоси с помощью

электронной системы. Данная система уже применяется на ряде спортивных автомобилей серийного производства. Эта система позволяет колесам иметь лучшее сцепление с дорогой для лучшего прохождения поворотов. По сути эта система имитирует работу обычного механического дифференциала.

Электронные дифференциалы или системы управления вектором тяги для заднеприводного автомобиля изменяют крутящий момент только между двумя колесами, что делает ее менее сложной по сравнению с той же системой для полноприводного автомобиля. Данная система должна учитывать несколько факторов, такие как угол поворота передних колес и их угловую скорость. Поскольку эти факторы меняются во время движения автомобиля, система «Torque vectoring» должна отслеживать эти параметры в режиме реального времени и передавать на ведущие колеса разные силы.

В виду вышеизложенного в данном разделе, можно сделать вывод о том, что привод болида, на базе которого проводится данное исследование, реализован двумя независимыми электродвигателями, по одному на каждое колесо ведущей оси. Это может использоваться для регулирования недостаточной или избыточной поворачиваемости болида. С появлением данной регулировки получится улучшить время круга на гоночной трассе до 20%.

2 Сравнительный анализ конструкций трансмиссий болидов «Формула студент» с электрическим двигателем

2.1 Сравнительный анализ конструкций болидов на электротяге

В мире уже существует множество команд, которые работают над проектами болидов с электроприводом.

Как видно на рисунках 1 и 2, команда использует четыре электродвигателя, установленных в поворотные кулаки каждого колеса. Такая конструкция позволяет увеличить эффективность передачи крутящего момента с колес на дорожное полотно, что позволяет быстрее набирать скорость и быстрее проходить повороты.



Рисунок 1 – Электропривод передней оси, болида TUfast



Рисунок 2 – Конструкция поворотного кулака болида TUfast

Так как электродвигатель вмонтирован в поворотный кулак, конструкция кулака значительно усложняется, что неизбежно приводит к увеличению затрат на его изготовление. Также увеличивается неподрессоренная масса автомобиля, что также негативно сказывается на устойчивости автомобиля и на его динамические характеристики. Так же данная компоновочная схема, позволяет использовать систему управления вектором тяги.

Компоновка трансмиссии, которая показана на рисунке 3, не повышает неподрессоренной массы и при этом не усложняет конструкции поворотного кулака. Она является менее эффективной по сравнению с трансмиссией, показанной на рисунке 1, но при это все равно оставляет возможность использования системы «Torque vectoring» [23].



Рисунок 3 – Двухмоторная компоновка трансмиссии Formula Electric MADI

На рисунке 4 показан болид команды Formula Electric MADI, которая использует двухмоторную компоновку трансмиссии на нескольких своих болидах.



Рисунок 4 – болид 2018 года университета MADI

Принимая во внимание все вышесказанное, можно сделать вывод, что на данный момент использует двухмоторную компоновку трансмиссии - это самое сбалансированное решение между сложностью и стоимостью конструкции, а также ее эффективностью.

3 Разработка системы распределения крутящего момента

3.1 Датчики

Для работы системы «Torque vectoring» необходимо в режиме реального времени считывать такие параметры как угол поворота управляемых колес и частоту вращения каждого из колес болида.

В ступице переднего колеса устанавливается алюминиевый «грибок», с зубчатым венцом. Размеры зубьев этого венца очень сильно влияют на качество сигнала с датчика Холла. Венец имеет 48 зубьев, расстояние, высота, толщина которых, рекомендована производителем датчика Холла. Параметры зубчатого венца, рекомендованные производителем датчика Холла показаны на рисунке 5.

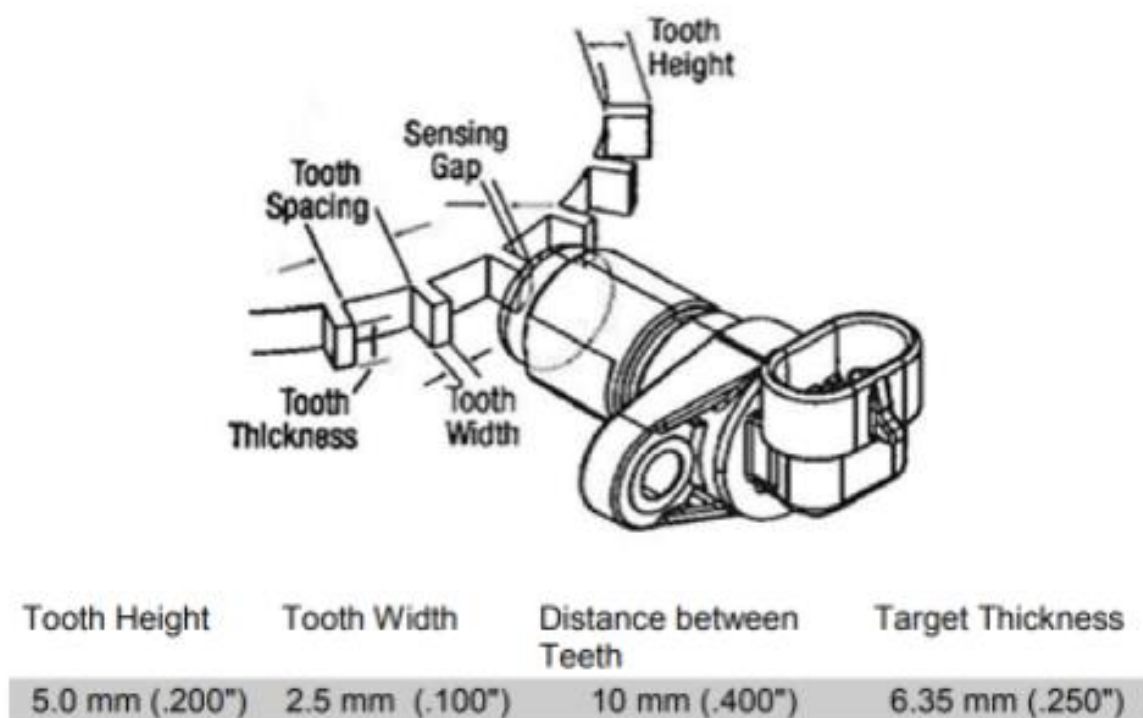


Рисунок 5 – Параметры зубчатого венца, рекомендованные производителем датчика Холла.

Датчик Холла, установленный на кулаке как показано на рисунке 6, реагирует на приближающиеся к нему зубья венца, которые изменяют величину магнитного поля, пронизывающего элемент Холла [21]. За счет этого возникает сигнал напряжения, который находится в мало вольтном диапазоне. Датчик имеет три вывода: питание (12В), «земля», сигнальный выход. Датчик выдает цифровой сигнал, поэтому осциллограмма сигнала состоит из прямоугольных импульсов [2].

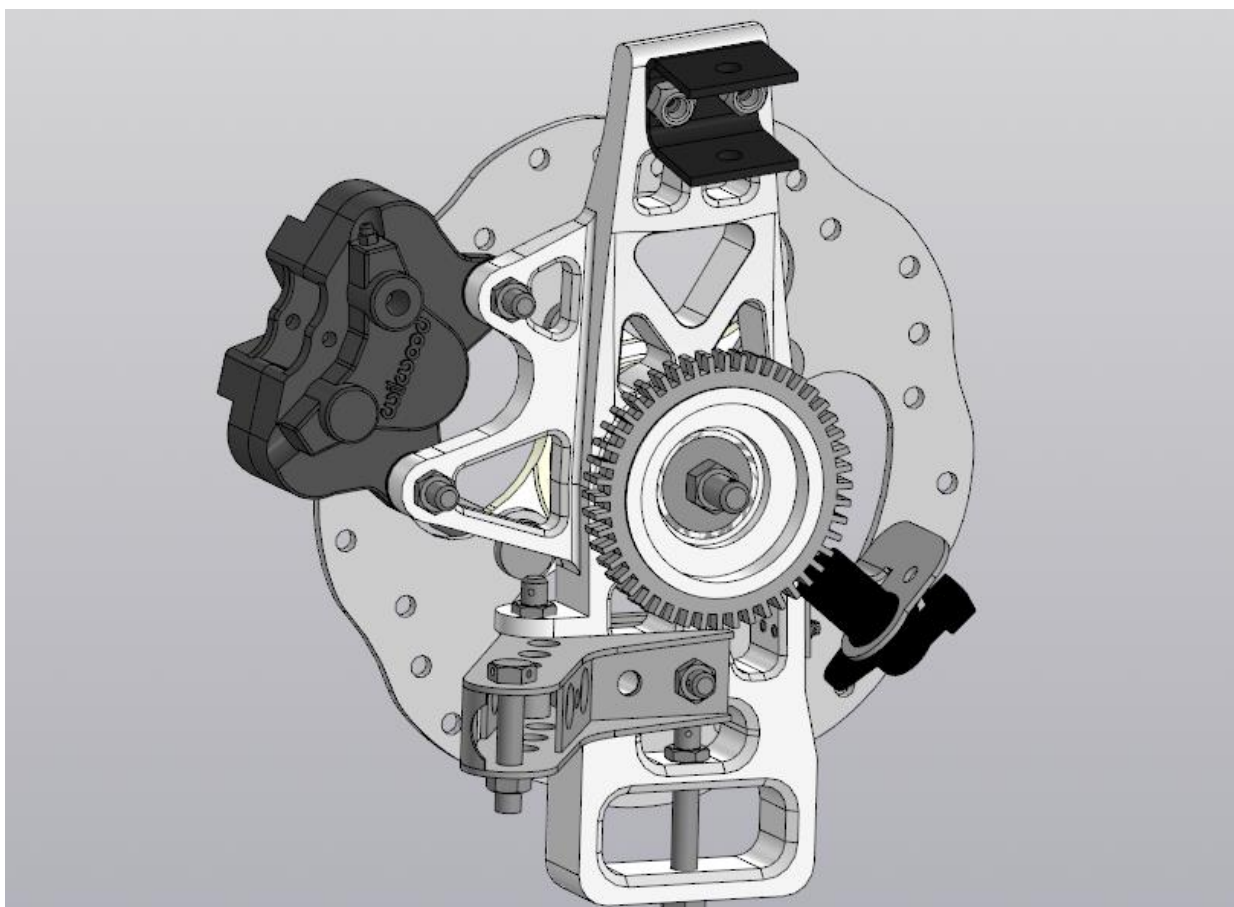


Рисунок 5– Передний поворотный кулак с датчиком угловой скорости.

Для проверки работоспособности зубчатого венца и датчика Холла была придумана установка, изображенная на рисунках 7-8, на основе токарного станка 16К20 в резцедержатель которого установлен кронштейн, который крепит датчик Холла. В патрон установлена втулка, имитирующая ступицу переднего кулака, на которую установлен венец [22].

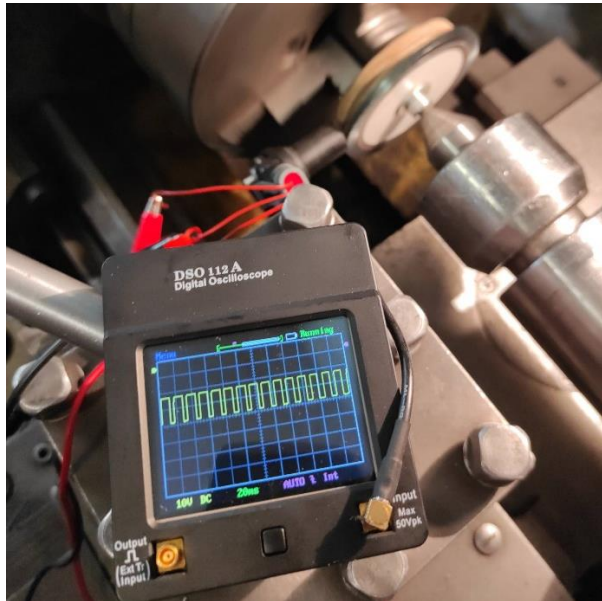


Рисунок 7 – Проверка работоспособности датчика Холла переднего кулака

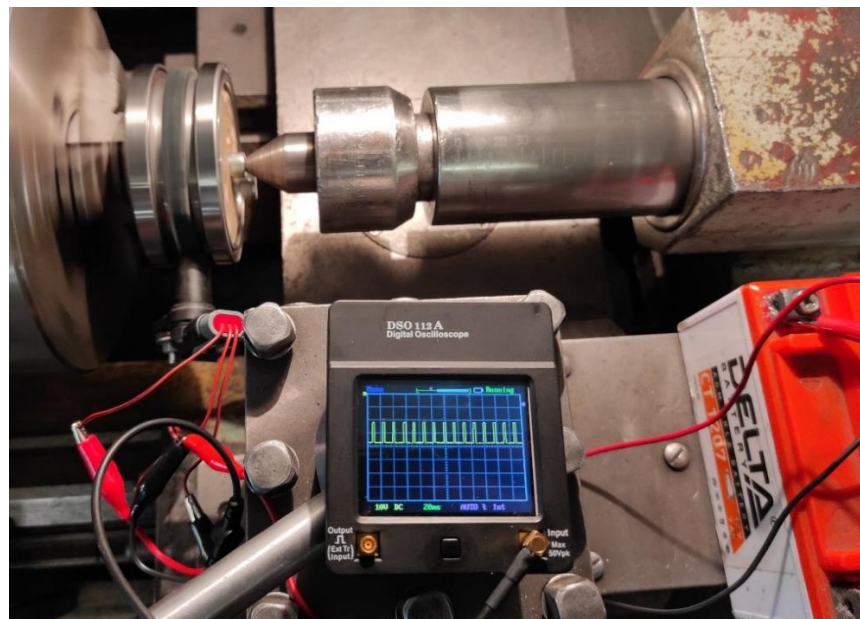


Рисунок 8 – Проверка работоспособности датчика Холла заднего кулака

Для считывания угловых скоростей задних колес используются такие же датчики Холла, как и для передних. Конструкция заднего кулака с датчиком угловой скорости изображена на рисунке 9.

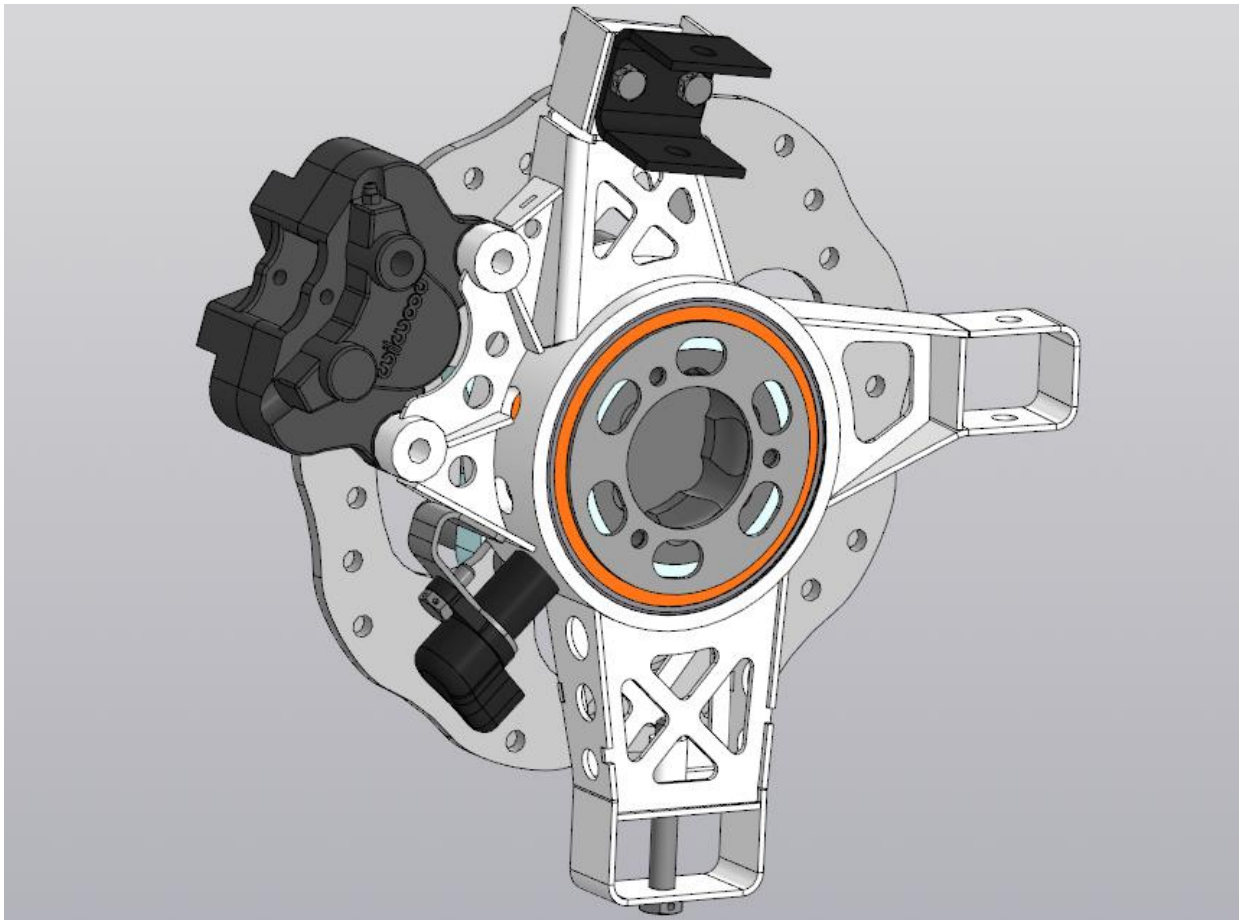


Рисунок 9 – Конструкция заднего кулака с датчиком угловой скорости

Работоспособность датчиков для задних кулаков была испытана на том же стенде. В патрон станка был установлен макет ступицы, на которую напрессованы подшипники [19]. Это сделано для того, чтобы исключить возможность создания ими помех, так как они находятся в непосредственной близости к зубчатому венцу. Как видно из рисунков 7 и 8 датчики выдают равномерный сигнал, что дает уверенность в том, что система будет устойчиво считывать угловые скорости всех колес [4].

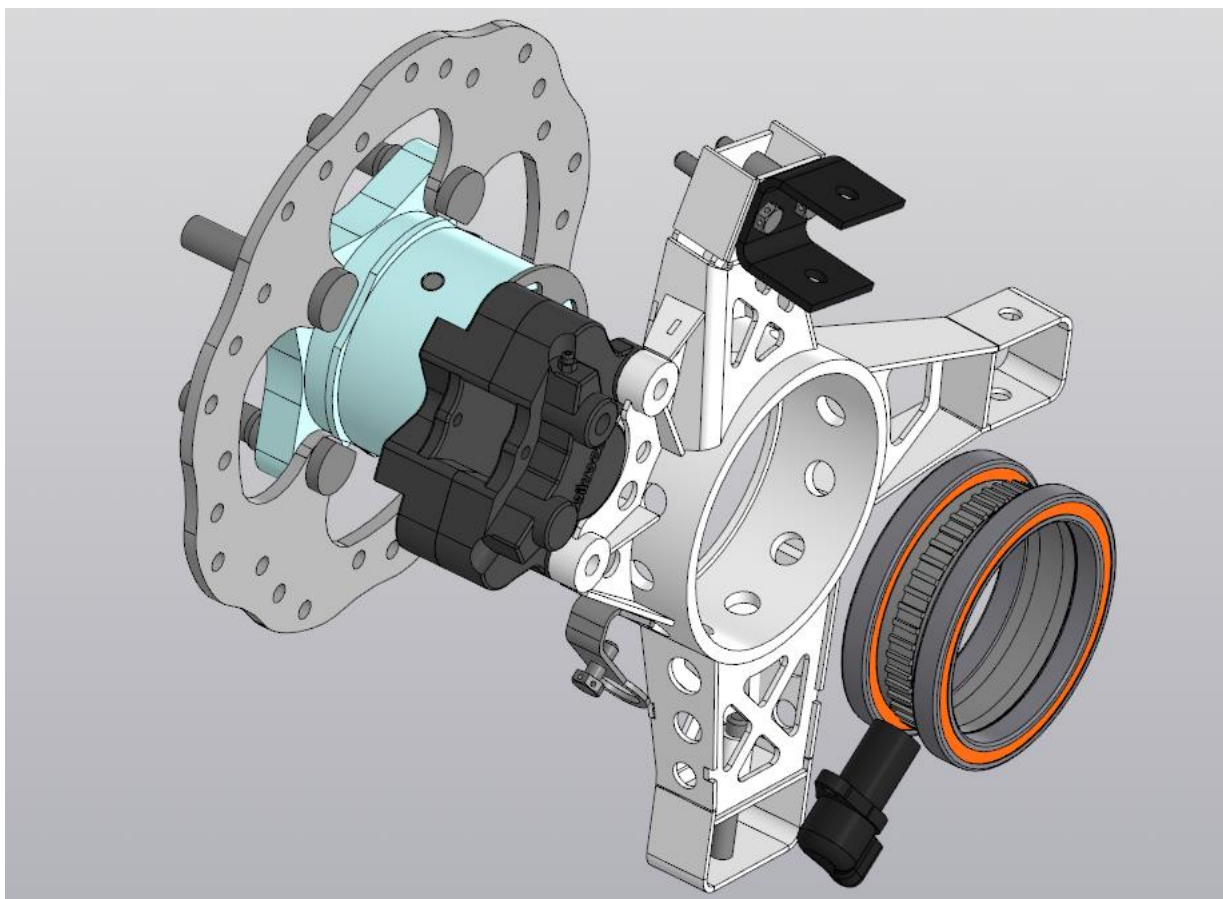


Рисунок 10– Конструкция заднего кулака в разборе

Так как болид имеет задний привод, конструкция заднего кулака не позволяет разместить зубчатый венец по той же схеме, что и на переднем кулаке. Было принято решение установить зубчатый венец внутрь гильзы кулака и использовать его также в качестве проставочного кольца между подшипниками [10]. Конструкция заднего кулака в разборе изображена на рисунке 10. Этот венец имеет такое же количество зубьев, что позволяет сократить объем вычислений и уменьшить нагрузку на микроконтроллер [18].

Для работы системы «Torque vectoring» необходимо в реальном времени считывать угол поворота рулевого вала. На болиде используется покупная рейка от KAZTechnologies изображенная на рисунке 11. Данная рейка имеет возможность установки на нее датчика поворота рулевого вала. Был использован датчик SP 2800 от компании «Novotechnik», показанный на

рисунке 12. Датчик имеет пыле- и влагозащиту по стандарту IP65 или IP64, что является большим плюсом, так как он будет располагаться под днищем автомобиля и будет иметь контакт с водой и грязью, летящей из-под колес болида. Рабочий ход датчика составляет 345° , чего более чем достаточно, так как оборот рулевого вала от крайнего до крайнего положения составляет 248° [20].

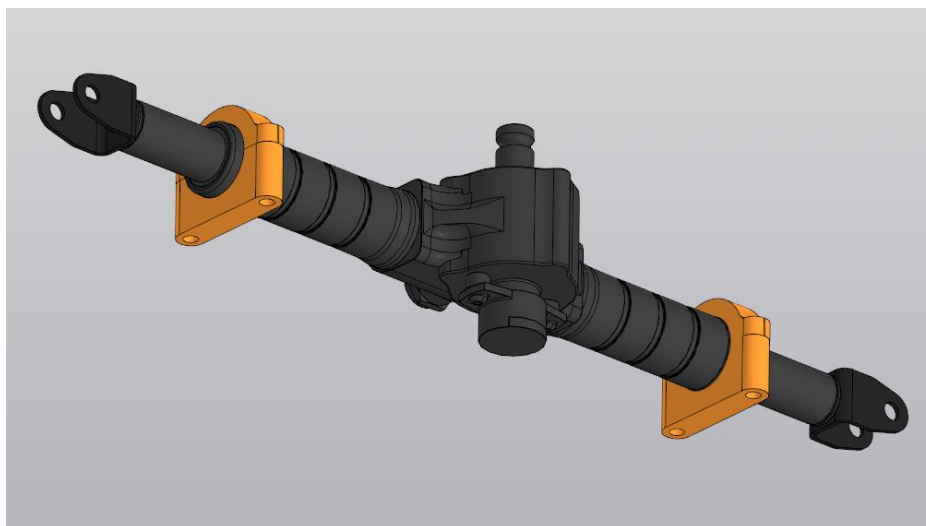


Рисунок 11 – Рулевая рейка KAZTechnologies с датчиком поворота

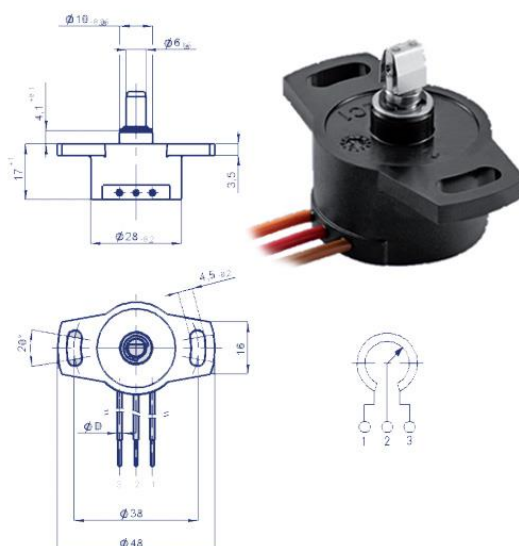


Рисунок 12 – Датчик положения рулевого вала Novotechnik SP 2800

Данный датчик работает по принципу потенциометра. Осциллограмма сигнала датчика положения рулевого вала показана на рисунке 13. В зависимости от положения рулевого вала, изменяется его сопротивление, соответственно меняется напряжение аналогового сигнала, который в дальнейшем при помощи АЦП (аналоговый цифровой преобразователь) преобразуется в значение, подходящее для дальнейшей работы микроконтроллера [3].

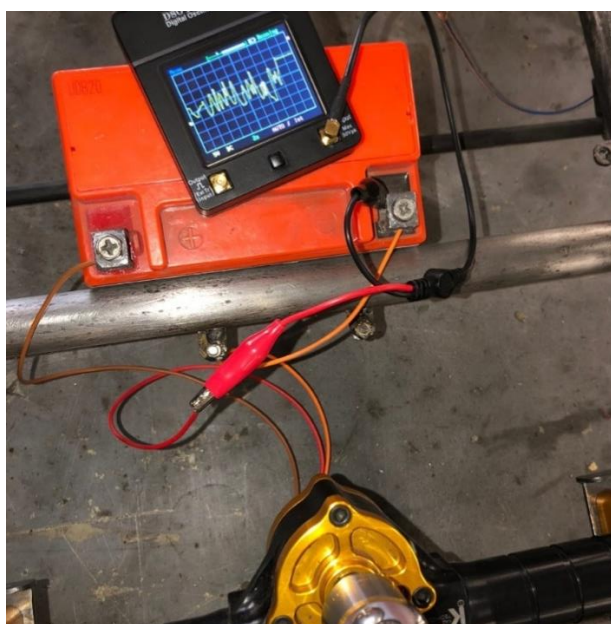


Рисунок 13 – Осциллограмма сигнала датчика положения рулевого вала

Собирать и обрабатывать сигналы с этих датчиков будет микроконтроллер Teensy 4.0, изображенный на рисунке 14.

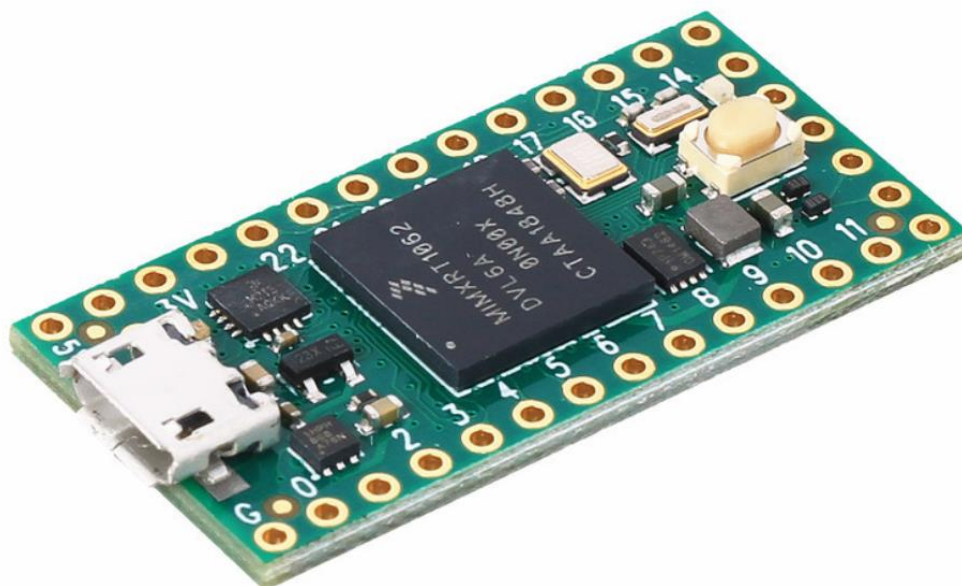


Рисунок 14 – Микроконтроллер Teensy 4.0

Данный контроллер оснащен высокопроизводительным ARM-процессором Cortex-M7 с тактовой частотой 600 МГц, большим количеством памяти (1 МБ оперативной и 2 МБ энергозависимой Flash-памяти) и большим количеством интерфейсов ввода и вывода. Данный контроллер хорошо подходит для решения ресурсоемких задач. Может быстро считать тригонометрические и логарифмические функции, с чем другие микроконтроллеры справляются не так хорошо [17].

3.2 Анализ вводных данных

Существует два варианта исполнения системы распределения тяги – статический и динамический. При разработке динамической системы, учитываются такие параметры автомобиля как угол увода колес, податливость подвески и рамы, распределение веса на колесах при повороте и тд. Такой способ довольно трудный и объем данной работы не позволит в полной мере описать данный способ работы системы Torque vectoring. В статическом же варианте учитываются только геометрические параметры

автомобиля, такие как угол поворота колес, база автомобиля, передняя и задняя колея [5].

Поворачиваемость автомобиля во много зависит от характеристик подвески. Подвеска болида рассчитывается в программе Lotus Suspension. Данная программа позволяет получить характеристики загруженной в нее модели подвески автомобиля как показано на рисунке 15 [1].

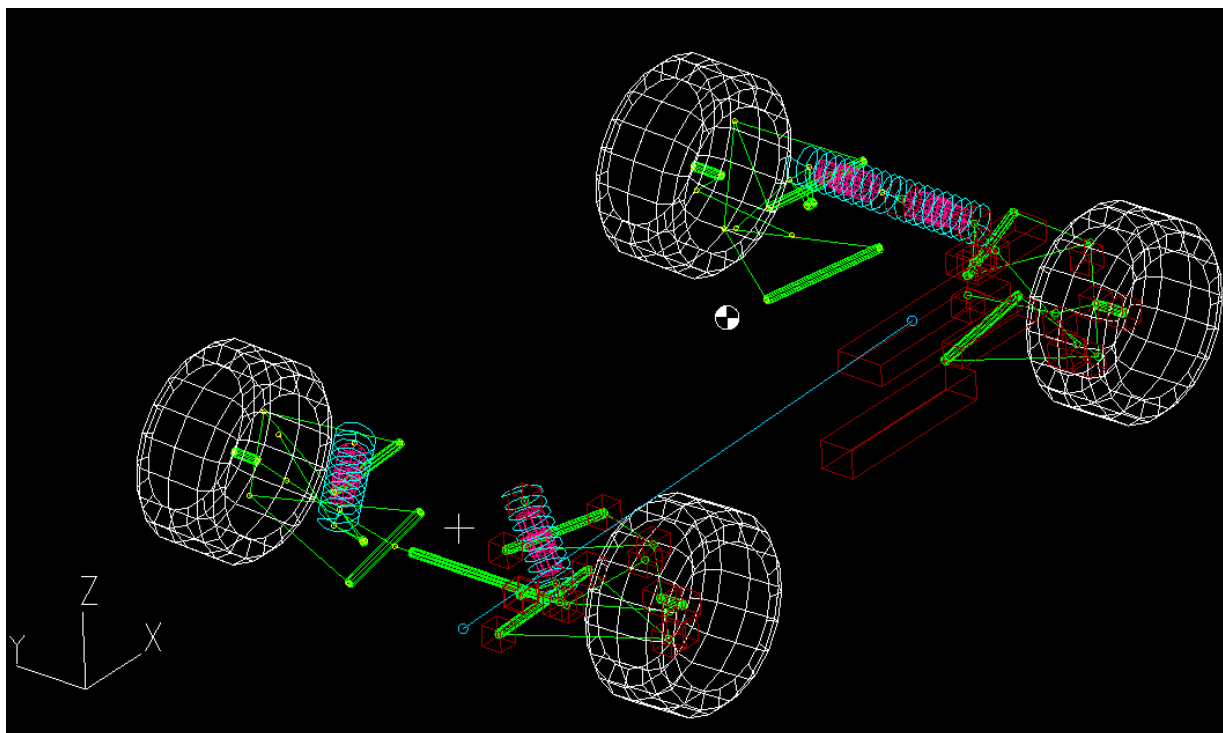


Рисунок 15 – Модель подвески в программе Lotus Suspension

Характеристики подвески болида:

- колесная база – 1550 мм;
- передняя колея – 1200 мм;
- задняя колея – 1150 мм;
- угол Аккермана – 98,7%;
- ход рейки – 35 мм;
- радиус качения колеса – 225 мм;
- ход подвески – 50 мм (25 мм вниз и 25 мм вверх);

- развал – -2.45° спереди, -1.75° сзади;
- схождение – 1° спереди, 0° сзади;
- кастер – 3.2° .

Также программа Lotus Suspension позволяет получить значения углов поворота правого и левого колеса в зависимости от хода рейки, что в дальнейшем пригодится при проектировании системы распределения тяги [16].

На рисунке 16 показаны зависимости при ходе рейки с шагом 5 мм.

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

Steer Travel (mm)	Toe Angle {SAE} (deg)	Toe Angle {SAE} (deg)	Camber Angle (deg)	Camber Angle (deg)	Ackermann (%)	Turning Circle Radius (mm)
35.0000000	45.9900017	-26.0599995	4.55000019	-2.73000002	139.789993	2303.20996
30.0000000	44.8800011	-22.5699997	3.23000002	-2.82999992	186.339996	2608.38989
25.0000000	27.9300003	-19.0400009	0.319999993	-2.88000011	127.989998	3659.37988
20.0000000	20.2299995	-15.4499998	-.699999988	-2.89000010	113.669998	4843.83984
15.0000000	14.2100000	-11.7799997	-1.37000000	-2.86999989	106.129997	6688.50000
10.0000000	9.02000046	-8.01000023	-1.85000002	-2.78999996	101.779999	10255.7100
5.00000000	4.34000015	-4.09000015	-2.20000005	-2.66000009	99.4700012	20764.7695
0.00000000	0.00000000	0.00000000	-2.47000003	-2.47000003	98.7399979	0.00000000
-5.00000000	-4.09000015	4.34000015	-2.66000009	-2.20000005	99.4700012	20764.7695
-10.0000000	-8.01000023	9.02000046	-2.78999996	-1.85000002	101.779999	10255.7100
-15.0000000	-11.7799997	14.2100000	-2.86999989	-1.37000000	106.129997	6688.50000
-20.0000000	-15.4499998	20.2299995	-2.89000010	-.699999988	113.669998	4843.83984
-25.0000000	-19.0400009	27.9300003	-2.88000011	0.319999993	127.989998	3659.37988
-30.0000000	-22.5699997	44.8800011	-2.82999992	3.23000002	186.339996	2608.38989
-35.0000000	-26.0599995	46.1399994	-2.73000002	4.63999987	140.539993	2299.40991

Рисунок 16 – Зависимость углов поворота управляющих колес, развала и радиуса поворота от хода рейки.

Программа Lotus Suspension также позволяет сделать данные расчеты с шагом хода рейки до 0.1 мм.

3.3 Расчет системы распределения крутящего момента

Так как система Torque vectoring будет работать только при прохождении поворотов, для расчета возьмем случай, когда болид движется по шпильке (поворот на 180°) с определенным радиусом [6].

При повороте болида, геометрический центр поворота должен располагаться на продолжении линии задней оси, как и показано на рисунке 17. Если это не так, то задние шины будут проскальзывать, так как передние будут иметь другой радиус поворота [7].

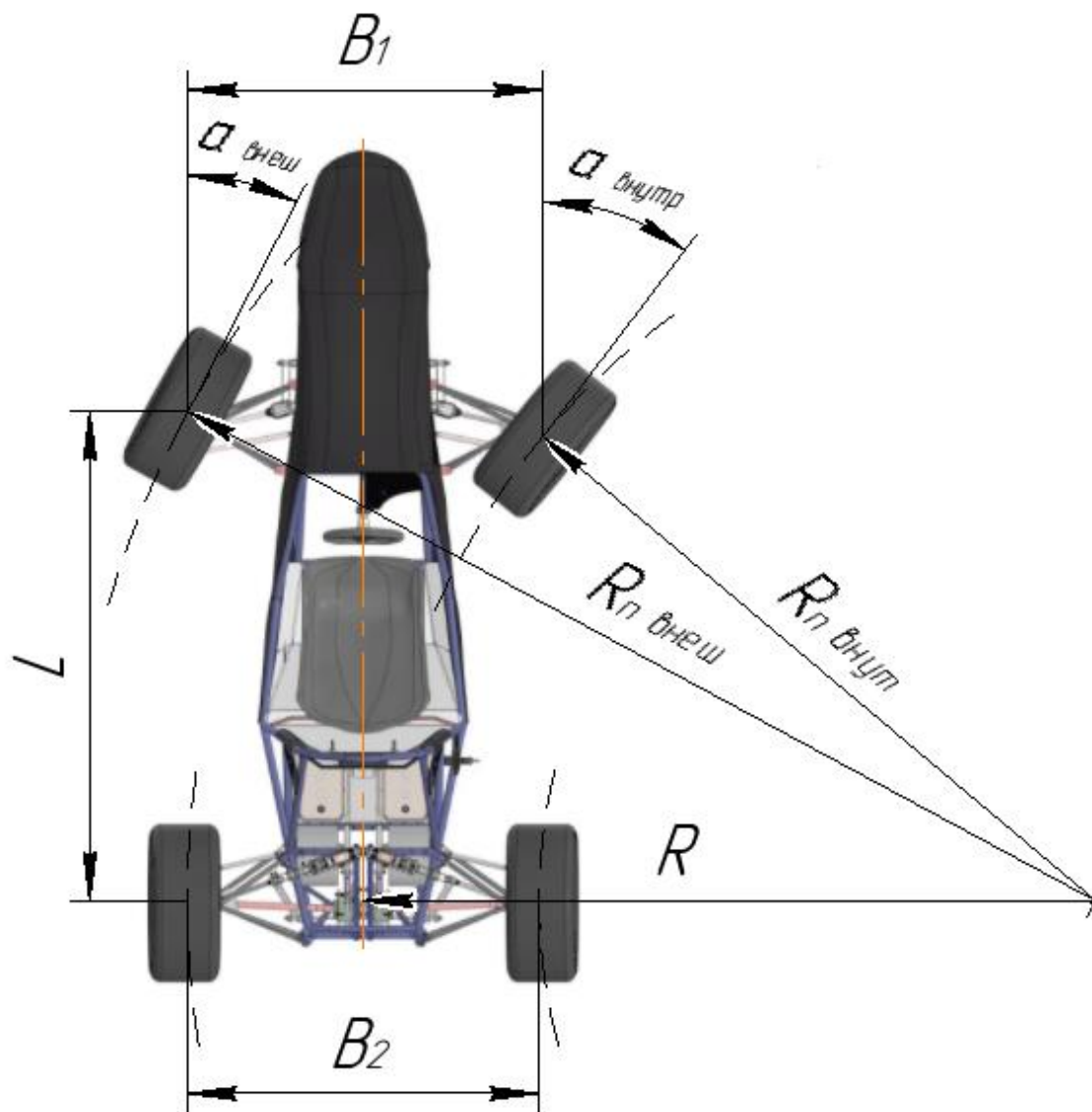


Рисунок 17 – Схема прохождения поворота:

L – колесная база болида; B_1 – передняя колея; B_2 – задняя колея; R – радиус поворота; $R_{п\text{ внеш}}$ – радиус качения переднего внешнего колеса; $R_{п\text{ внутр}}$ – радиус качения переднего внутреннего колеса; $\alpha_{\text{внеш}}$ – угол поворота переднего внешнего колеса; $\alpha_{\text{внутр}}$ – угол поворота переднего внутреннего колеса.

Болид имеет угол Аккермана, равный 98,7% что значит, что внутреннее колесо повернуто немного больше, чем нужно для того, чтобы оно катилось точно по заданной траектории. Влияние угла Аккермана наглядно представлено на рисунке 18. Так как угол Аккермана близок к точному, в расчетах примем его за 100%. Это значительно упростит расчеты в дальнейшем [8].

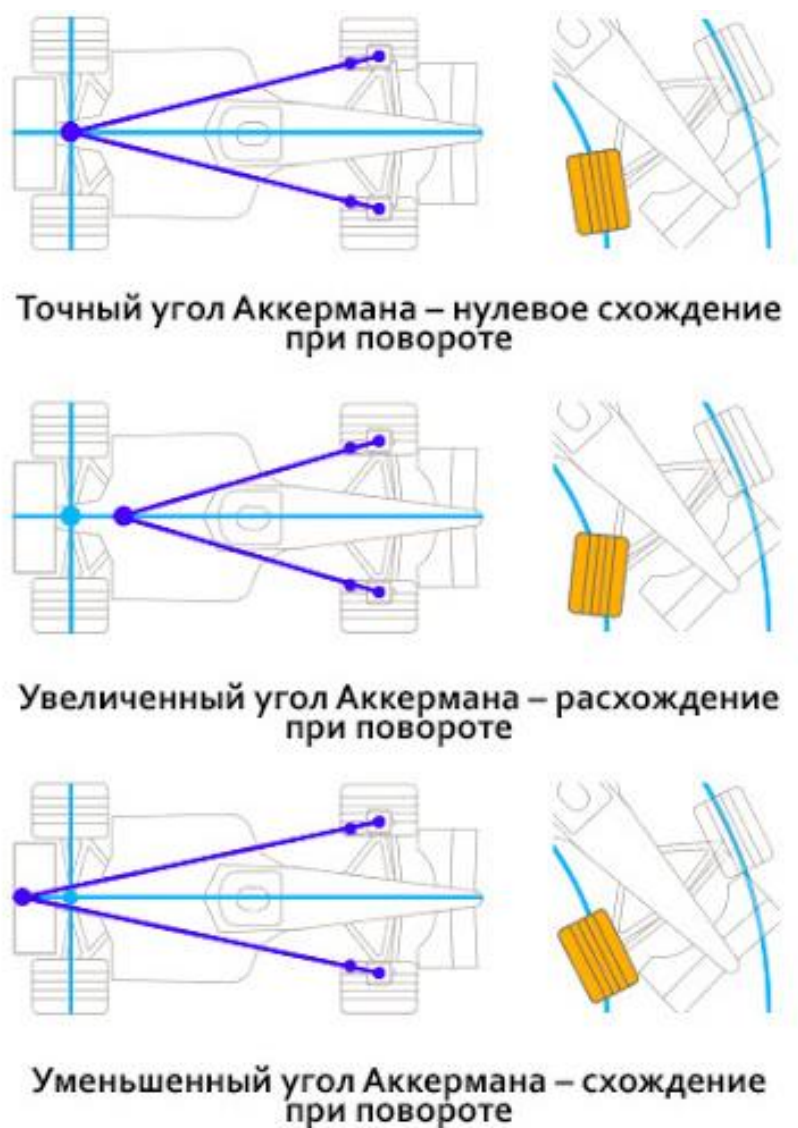


Рисунок 18 –Влияние угла Аккермана.

Пронумеруем каждое колесо:

- колесо №1 – переднее левое колесо;

- колесо №2 – переднее правое колесо;
- колесо №3 – заднее левое колесо;
- колесо №4 – заднее правое колесо.

Рассчитаем путь каждого отдельного центра колеса:

$$S = v \cdot t \quad (1)$$

При прохождении шпильки (половина окружности) все части болида проходят ее за одно и тоже время:

$$\frac{s_1}{v_1} = \frac{s_2}{v_2} = \frac{s_3}{v_3} = \frac{s_4}{v_4} \quad (2)$$

Так как автомобиль движется по половине окружности, то путь:

$$S = \pi R, \quad (3)$$

где R – радиус окружности по которой катится колесо

Скорость центра колеса:

$$V = 2\pi v \cdot R_k, \quad (4)$$

где V - линейная скорость колеса;

v - частота вращения колеса;

R_k - радиус качения колеса.

Подставим 2 и 3 в первое и получим:

$$\frac{\pi \cdot R_1}{2 \pi \cdot v_1 \cdot R_k} = \frac{\pi \cdot R_2}{2 \pi \cdot v_2 \cdot R_k} = \frac{\pi \cdot R_3}{2 \pi \cdot v_3 \cdot R_k} = \frac{\pi \cdot R_4}{2 \pi \cdot v_4 \cdot R_k} \quad (5)$$

После сокращения получаем:

$$\frac{R_1}{v_1} = \frac{R_2}{v_2} = \frac{R_3}{v_3} = \frac{R_4}{v_4} \quad (6)$$

Выражаем радиус, по которому катится каждое из передних колес через угол их поворота:

$$R = \frac{L}{\sin \alpha} \quad (7)$$

Подставляем эту формулу вместо радиусов качения передних колес и получаем:

$$\frac{\frac{L}{\sin \alpha_1}}{v_1} = \frac{\frac{L}{\sin \alpha_2}}{v_2} = \frac{R_3}{v_3} = \frac{R_4}{v_4} \quad (8)$$

Выразив радиусы качения задних колес через заднюю колею и радиус поворота, получаем:

$$\frac{\frac{L}{\sin \alpha_1}}{v_1} = \frac{\frac{L}{\sin \alpha_2}}{v_2} = \frac{R + (\frac{B_2}{2})}{v_3} = \frac{R - (\frac{B_2}{2})}{v_4} \quad (9)$$

Так как частота вращения передних колес задается датчиками, а частота вращения задних колес регулируется, выражаем частоты вращения задних колес. Причем частоты задних колес рассчитываются относительно внешнего колеса при повороте. Это связано с тем, что из-за поперечных кренов в поворотах, на заднее колесо приходит большая нагрузка по отношению к внутреннему. В данном случае вероятность проскальзывания, а значит и достоверности показаний датчика угловой скорости минимальны [9].

Так при правом повороте угловая скорость задних колес равна:

$$v_3 = \frac{v_1 * (R + (\frac{B_2}{2})) * \sin \alpha_1}{L} \quad (10)$$

$$v_4 = \frac{v_1 * (R - (\frac{B_2}{2})) * \sin \alpha_1}{L} \quad (11)$$

При левом повороте:

$$v_3 = \frac{v_2 * (R + \left(\frac{B_2}{2}\right) * \sin \alpha_2)}{L} \quad (12)$$

$$v_4 = \frac{v_2 * (R + \left(\frac{B_2}{2}\right) * \sin \alpha_2)}{L} \quad (13)$$

Формируем график зависимости показаний датчика от угла поворота колес (рисунок 19), график зависимости показаний датчика от угла поворота рейки (рисунок 20), а также таблицу зависимостей угловых скоростей задних колес от скорости и угла поворота руля, которая изображена на рисунке 21.

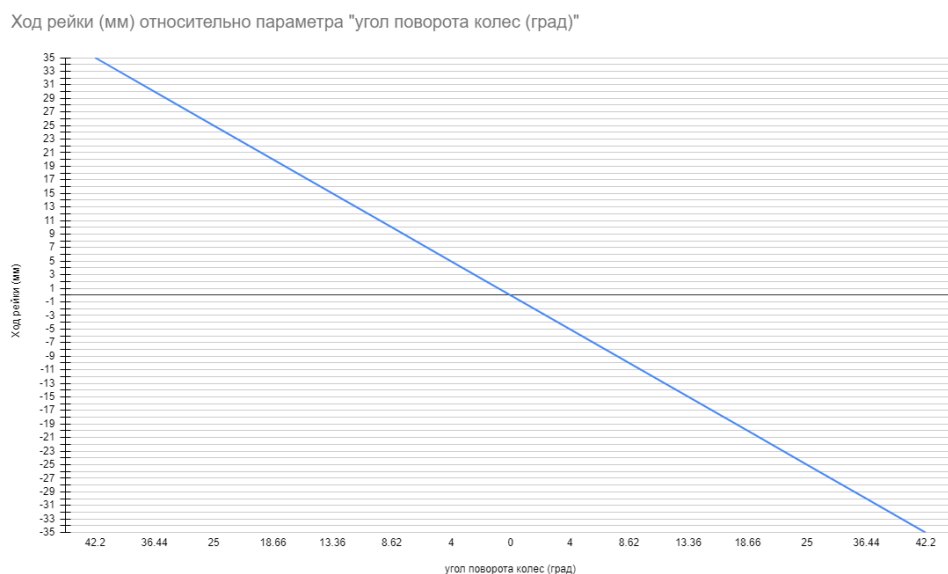


Рисунок 19 – График зависимости показаний датчика от угла поворота колес.

Ход рейки (мм) относительно параметра "Показания датчика (V)"

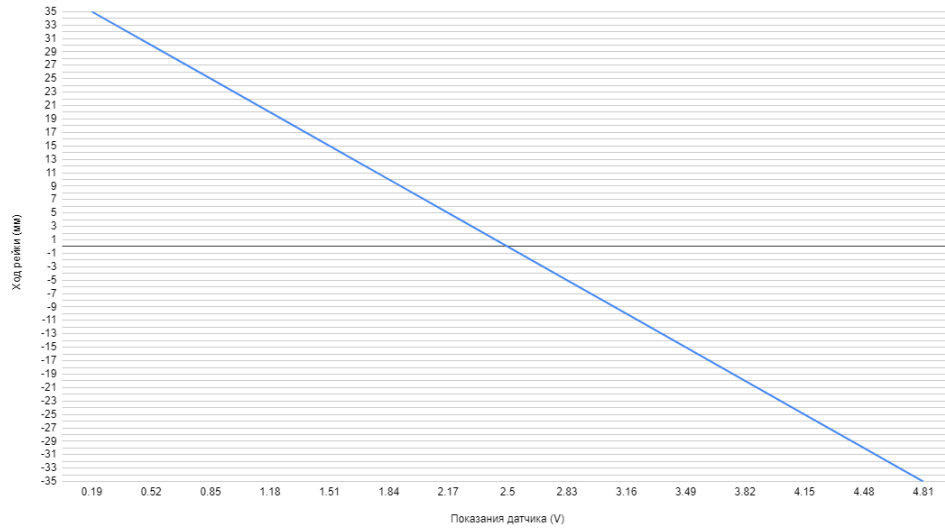


Рисунок 20 – График зависимости показаний датчика от угла поворота рейки

1	5	2,717391304	2,716977432	2,68156
1	6	3,260869565	3,260372919	3,21788
1	7	3,804347826	3,803768405	3,75419
1	8	4,347826087	4,347163892	4,2905
1	9	4,891304348	4,890559378	4,82681
1	10	5,434782609	5,433954865	5,36313
1	11	5,97826087	5,977350351	5,89944
1	12	6,52173913	6,520745838	6,43575
1	13	7,065217391	7,064141324	6,97206
1	14	7,608695652	7,607536811	7,50838
1	15	8,152173913	8,150932297	8,04469
1	16	8,695652174	8,694327784	8,581
1	17	9,239130435	9,23772327	9,11731
1	18	9,782608696	9,781118757	9,65363
1	19	10,32608696	10,32451424	10,1899
1	20	10,86956522	10,86790973	10,7263
1	21	11,41304348	11,41130522	11,2626
1	22	11,95652174	11,9547007	11,7989
1	23	12,5	12,49809619	12,3352
1	24	13,04347826	13,04149168	12,8715
1	25	13,58695652	13,58488716	13,4078
1	26	14,13043478	14,12828265	13,9441
1	27	14,67391304	14,67167814	14,4804
1	28	15,2173913	15,21507362	15,0168
1	29	15,76086957	15,75846911	15,5531
1	30	16,30434783	16,30186459	16,0894
1	31	16,84782609	16,84526008	16,6257
1	32	17,39130435	17,38865557	17,162
0	1	0	0	0
30	2	1,086956522	0,941331961	0,53549
30	3	1,630434783	1,411997941	0,80323
30	4	2,173913043	1,882663921	1,07098
30	5	2,717391304	2,353329902	1,33872
30	6	3,260869565	2,823995882	1,60646
30	7	3,804347826	3,294661862	1,87421
30	8	4,347826087	3,765327843	2,14195
30	9	4,891304348	4,235993823	2,4097
30	10	5,434782609	4,706659803	2,67744
30	11	5,97826087	5,177325783	2,94518
30	12	6,52173913	5,647991764	3,21293
30	13	7,065217391	6,118657744	3,48067
30	14	7,608695652	6,589323724	3,74841
30	15	8,152173913	7,059989705	4,01616

Рисунок 21 – Таблица зависимостей угловых скоростей задних колес от скорости и угла поворота руля.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что при помощи формул и расчетов, приведенных выше, графика зависимости угла поворота колес от хода рейки, показателей датчиков положения руля, данных с датчиков угловой скорости передних колес, создается система, которая будет регулировать угловые скорости ведущих колес, в зависимости от угловых скоростей передних колес, а также в зависимости от положения руля[15].

4 Безопасность и экологичность технического объекта

Все чаще инженеры стали использовать для проектирования деталей или узлов программы для 3D моделирования. На сегодняшний день, весь процесс проектирования какой-либо детали проходит за компьютером. Проектирование болида «Формула студент» также ведется с применением CAD программ. Долговременная работа на ПК может приводить к определенным негативным последствиям, которые отразятся на здоровье работника. В этом разделе рассмотрены опасные и вредные производственные факторы при работе за компьютером [11].

Тема ВКР: «Общая компоновка спортивного болида «Формула-студент» с электрической силовой установкой».

4.1 Технологический паспорт технического объекта

Технологический паспорт технического объекта указан в таблице 1.

Таблица 1 – Технологический паспорт технического объекта

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего тех. процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
1	2	3	4	5
Проектирование	Разработка CAD модели, чертежей на компьютере	Инженер-проектировщик	Рабочий ПК	3D модель, конструкторская документация

4.2 Идентификация профессиональных рисков

В таблице 2 приведены результаты идентификации профессиональных рисков, связанных с работой за компьютером.

Таблица 2 – Идентификация профессиональных рисков

Производственно-технологическая операция	Вредный/опасный производственный фактор	Источник опасного/вредного производственного фактора
Разработка САД модели	Высокий уровень напряжения в электросети	Электрический ток
	Повышенный уровень инфракрасного излучения, рентгеновского излучения и ультрафиолетового излучения	Экран монитора
	Неравномерное распределение яркости в поле зрения рабочего	Экран монитора, освещение
	Нагрузка на зрение	Экран монитора
	Длительное сидячее положение	Рабочее место, кресло
	Скопление пыли и аллергенов на компьютерной технике	Рабочее место, системный блок компьютера

4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

В таблице 3 представлены результаты идентификации профессиональных рисков, для людей, работающих за ПК.

Таблица 3 – Идентификация профессиональных рисков

Производственный фактор, негативно влияющий на здоровье работника.	Возможные последствия влияния негативных факторов	Организационно-технические методы частичного или полного устранения опасного/вредного производственного фактора.	Мероприятия для профилактики и снижения воздействия вредных факторов
1	2	3	4
Высокий уровень напряжения в электросети	Удар током	Инструктаж по технике безопасности с интервалом не менее чем раз в 6 месяцев.	Периодическое проведение инструктажа по технике безопасности. Тех.осмотр ПК на наличие заломов проводов, исправности всех разъемов, повреждение изоляции. Компьютер должен быть заземлен.
Повышенный уровень инфракрасного излучения, рентгеновского излучения и ультрафиолетового излучения	Головные боли, неприятные ощущения в глазах (сухость, слезоточивость).	Инструктаж по технике безопасности с интервалом не менее чем раз в 6 месяцев.	Использовать ЖК дисплей. Монитор должен находиться на расстоянии не ближе 500мм. Монитор должен быть оснащен защитным фильтром. И иметь возможность регулировки положения.
Неравномерное распределение яркости в поле зрения рабочего	Ухудшение зрения.	Инструктаж по технике безопасности с интервалом не менее чем раз в 6 месяцев.	Монитор должен иметь функцию регулировки контраста и яркости.
Нагрузка на зрение	Потеря остроты зрения	Инструктаж по технике безопасности с интервалом не менее чем раз в 6 месяцев.	Правильный подбор цветности и контрастности монитора, которая не напрягает и не утомляет глаза. Периодический отдых и разминка для глаз.

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
Длительное сидячее положение	Напряжение мышц шеи, головы, рук и плеч. Может привести к застою крови в тазовых органах, ожирению, остеохондрозу	Инструктаж по технике безопасности с интервалом не менее чем раз в 6 месяцев.	Выполнение упражнений для снятия напряжения в течении 1-2 мин, при появлении признаков усталости
Скопление пыли и аллергенов на компьютерной технике	Заболевания органов дыхания, аллергия.	Инструктаж по технике безопасности с интервалом не менее чем раз в 6 месяцев.	Периодическая уборка помещения, продувка системного блока от пыли. Проветривание помещения.

4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

На любом предприятии существуют риски возникновения пожара. В таблице 4.4 оформлены результаты определения опасных факторов пожара.

Таблица 4 – Классы и опасные факторы пожара

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара.
1	2	3	4	5
Проектирование	Компьютер	A1	Высокая температура, задымленность, выделение ядовитых и канцерогенных паров при сгорании легкоплавких веществ	Части объектов, разрушившихся при возгорании, распространение тока при повреждении проводки, вредные выбросы в атмосферу из очага пожара из-за повреждения защитных сооружений, отравление окружающей среды средствами ликвидации пожара.

Для обеспечения пожарной безопасности заданного технического объекта разработаны требования пожарной безопасности:

- Помещение должно быть оборудовано эвакуационными выходами. Их количество зависит от числа работников. Для помещения площадью до 300 м² в котором одновременно находятся до 15 человек, достаточно одного выхода. Эвакуационный выход должен быть отмечен табличкой «Выход» [12];
- План эвакуации. План эвакуации должен висеть на видном месте в тех помещениях, в которых одновременно может находиться более 10 человек [12];
- Наличие в офисе специальных средств для ликвидации возгорания: огнетушители (не более чем 1.5 м от пола), пожарные шкафы с пожарными кранами [12].
- Также для обеспечения пожарной безопасности проводятся организационно-технические мероприятия:
 - Организация пожарной охраны;
 - Проведение инструктажа по пожарной безопасности;
 - Проведение мероприятий по обучению сотрудников действиям во время пожара.

4.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта

К офисному помещению, в котором ведется работа по проектированию болида предъявляется ряд требований по экологической безопасности:

- Должен быть сотрудник, прошедший соответствующее обучение, который ответственен за охрану окружающей среды и обеспечение экологической безопасности технического объекта [13].

- Отходы, образующиеся в офисе (ТБО, макулатура, отходы оргтехники, списанная бытовая техника и т.д.) должны быть вывезены и утилизированы специальными службами.

Принимая во внимание затронутые аспекты о безопасности и экологичности рабочего места, на котором работают инженеры-проектировщики, выявленные факторы, негативно влияющие на здоровье работника следует вывод о том, что разработанных в данном разделе методов предотвращения влияния негативных факторов на здоровье работника необходимо придерживаться.

5 Экономическая эффективность

Как описывалось ранее, в соревнованиях Формула студент очки начисляются как за динамические испытания, так и за статические. Одно из таких статических испытаний – это отчет о стоимости (Cost report). Cost report должен включать в себя отчет о стоимости каждой детали, установленной на гоночном болиде, стоимость ее изготовления и установки. Баллы за отчет о стоимости начисляются судьями по нескольким критериям [14]:

- Подробность описания стоимости всех процессов, связанных с проектированием и производством болида;
- Понимание участниками проекта материала, который они предоставляют;
- Отношение затраченных на изготовление средств к конечным характеристикам и свойствам болида.

В таблицах ниже, указаны затраты на производство болида с двигателем внутреннего сгорания и затраты на производство электроболида соответственно.

Таблица 5 – Затраты на производство болида с ДВС.

Система/узел	Стоимость работы, руб.	Стоимость материала, руб.	Стоимость узла, руб.
1	2	3	4
Рама	36 538,00	13 171,00	49 709,00
Амортизаторы	327,00	182 589,00	182 589,00
Поворотные кулаки	50 000,00	38 480,00	50 341,00
Ступичные узлы	327,00	4 400,00	4 727,00
Рычаги	3 878,00	4 727,00	25 913,00
Двигатель	6 352,00	200 000,00	206 352,00
Система впуска	8 000,00	35 000,00	43 000,00
Система выпуска	327,00	7 500,00	7 827,00
Электроника, электрика, проводка, BSPD	5 000,00	39 000,00	44 000,00

Продолжение таблицы 5

Рулевая система	5 000,00	77 475,00	82 475,00
Тормозная система	10 000,00	67 689,00	77 689,00
Топливная система	5 000,00	40 000,00	45 000,00
Система безопасности	5 000,00	45 000,00	50 000,00
Система охлаждения	4 000,00	45 000,00	49 000,00
Обвес	22 054,00	120 000,00	142 054,00
Колеса	–	120 000,00	140 699,00
Интерьер	7 000,00	30 000,00	37 000,00
Трансмиссия	982,00	53 000,00	53 982,00
ИТОГО:	169 785,00	1 160 412,00	1 292 357,00

Таблица 6 – Затраты на производство болида на электротяге

Система/узел	Стоимость работы, руб.	Стоимость материала, руб.	Стоимость узла, руб.
1	2	3	4
Рама	36 538,00	13 171,00	49 709,00
Амортизаторы	327,00	182 589,00	182 589,00
Поворотные кулаки	50 000,00	38 480,00	50 341,00
Ступичные узлы	327,00	4 400,00	4 727,00
Рычаги	3 878,00	4 727,00	25 913,00
Система безопасности	5 000,00	45 000,00	50 000,00
Система охлаждения	4 000,00	45 000,00	49 000,00
Обвес	22 054,00	120 000,00	142 054,00
Колеса	–	120 000,00	140 699,00
Интерьер	7 000,00	30 000,00	37 000,00
Электродвигатели (2 шт.)	8 470,00	69 300,00	77 770,00
Контроллеры (2 шт.)	15 400,00	143 200,00	161 400,00
Блок управления контроллерами		2 800,00	
Аккумуляторные ячейки типа 21700 (396 шт)	Доставка: 8 603,00	147 312,00	155 915,00
Система мониторинга аккумулятора	Доставка: 5 390,00	100 639,00	217 217,00
Блок термодатчиков		29 491,00	
Высоковольтное реле		45 738,00	
Преобразователь напряжения		35 959,00	

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4
Устройство контроля изоляции	1 078,00	46 128,00	56 215,00
Высоковольтный разъем	-	3 080,00	-
Микроконтроллер	-	2 310,00	-
Датчик тока		3 619,00	
ИТОГО:	179 926,00	1 240 908,00	1 420 834,00

Таблица 7 – Затраты на обслуживание болида с ДВС

Наименование затрат	Стоимость, руб.	Периодичность	Затраты на один сезон, руб.
Замена масла	450,00	1 раз в сезон	450,00
Заправка	600,00	12л/100км	3 000,00
Замена фильтров	600,00	1 раз в сезон	600,00
Замена охлаждающей жидкости	70,00	1 раз в сезон	70,00
Зарядка пускового аккумулятора	1,00	3 раза в сезон	3,00
Замена подшипников	7 000,00	1 раз в сезон	7 000,00
ИТОГО:	-	-	11 123,00

Таблица 8 – Затраты на обслуживание болида с электродвигателем

Наименование затрат	Стоимость, руб.	Периодичность	Затраты на один сезон, руб.
Зарядка основного аккумулятора	5,00	9 раз в сезон	45,00
Замена охлаждающей жидкости	70,00	1 раз в сезон	70,00
Зарядка пускового аккумулятора	1,00	3 раза в сезон	3,00
Замена подшипников	7 000,00	1 раз в сезон	7 000,00
ИТОГО:			7 118,00

Исходя из таблиц выше, можно сделать вывод о том, что суммарная стоимость всех узлов и материалов, для изготовления машины с электрическим двигателем превышает стоимость болида с ДВС, однако расходы на обслуживание электроболида меньше.

Заключение

В первом разделе дается информация об актуальности электромобилей, а также о том, как проводятся студенческие соревнования Formula Student, какие дисциплины включают в себя соревнования. Описаны системы, которые должны быть установлены на электромобиле.

Во втором разделе представлены существующие аналоги автомобилей Formula Student. Оценены описаны плюсы и минусы существующих компоновок электромобилей Formula Student. Сделан вывод о достоинствах и недостатках каждой из описанных вариантов компоновок.

В третьем разделе описаны все датчики, которые используются на автомобиле. Проанализированы качество и стабильность выбранных датчиков. Анализируются исходные данные и рассчитываются параметры работы системы распределения крутящего момента. Приведены расчеты и таблицы, описывающие работу системы распределения крутящего момента.

В четвертом разделе этого документа обсуждается безопасность и экологичность рабочего места, на котором работают инженеры-проектировщики. Выявлены факторы, негативно влияющие на здоровье работника. Разработаны методы предотвращения влияния негативных факторов на здоровье работника.

В пятом разделе описываются экономические преимущества использования двух электродвигателей в сочетании с системой векторизации крутящего момента по сравнению с двигателем внутреннего сгорания и механическим дифференциалом. Описаны затраты на эксплуатацию и обслуживание электроболида и болида с двигателем внутреннего сгорания.

Результатом выпускной квалификационной работы стала разработанная и изготовленная система векторизации крутящего момента для электромобиля класса «Formula Student». Ее применение позволит улучшить время круга на гоночной трассе до 20%.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Анопченко, В. Г. Практикум по теории движения автомобиля [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В. Г. Анопченко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. - 116 с. - ISBN 978-5-7638-2494-0
2. 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.
3. Волкова, Е.И., Шерстобитова О.О. «Разработка пространственной рамы для гоночного болида Black Bullet»/ VII выпуск журнала "Точная наука"/ Е.И.Волкова, О.О.Шерстобитова:-2017.-18-20 с.
4. Гринцевич, В. И. Техническая эксплуатация автомобилей. Технологические расчеты [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. И. Гринцевич. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. - 194 с. - ISBN 978-5-7638-2378-3.
5. Зубченко, А.С. Марочник сталей и сплавов/ сост.А.С. Зубченко [и др.]; подред. А.С.Зубченко. -2-еизд., перераб. и доп.–М.: Машиностроение, 2003. -782с.
6. 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.
7. Клепиков, В.В. Основы технологии машиностроения: учебник / В. В.Клепиков[и др.]. – М.: ИНФРА-М,2017. -295с.
8. Косилова, А.Г. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х томах Т2 (Подред. А.Г.Косиловой 4-еизд., перераб. и доп.–М.: Машиностроение, 1985, 496с., ил.).
9. 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.—304с.

10. Лебедев, В.А. Технология машиностроения: Проектирование технологий изготовления изделий: учеб. пособие для вузов/ В.А.Лебедев, М.А.Тамаркин, Д.П.Гепта. -ГрифУМО. –Р.-на-Д.: Феникс,2008. –361с.

11. 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.; ГрифУМО. –С.-П. [и др.]: Лань,2010. -512с.

12. Михайлов, А.В. Оформление документов на технологические процессы обработки резанием: Метод. указания/Сост. Михайлов А.В.-Т.: ТолПИ,1993.

13. Пашкевич, М.Ф. Технология машиностроения: учеб. пособие для вузов/ под ред. М.Ф. Пашкевича. – Мин.: Новое знание,2008. -477 с.

: ИНФРА-М, 2013. -732с.

14. Петрова, М.С. Охрана труда на производстве и в учебном процессе: учеб. пособие. / М.С. Петрова– М.: ЭНАС,2006.-232с.

15. 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. -51с.

16. Сергель, Н.Н. Технологическое оборудование машиностроительных предприятий: учеб. пособие/ Н.Н.Сергель. - Минск: Новое знание; М.

17. Суслов, А.Г.Технология машиностроения: учеб. для вузов/ А.Г.Суслов. - 2-е изд., перераб. и доп.; Гриф МО. – М.: Машиностроение,2007. -429с.

18. Харламов, Г.А. Припуски на механическую обработку: справочник. /Г.А.Харламов, А.С.Тарапанов. —Электрон. Дан. —М.:

Машиностроение, 2013. — 256с.

19. 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. – 205-207с.

20. Chandler, A. Strategy and Strategik role for Purchasing rashekar [Text] / A. Chandler // The International Journal of Logistics Management 10, no. 2

21. Erik Oberg, Holbrook L. Horton Machinery's Handbook: A Reference Book for the Mechanical Engineer, Designer, Manufacturing Engineer, Draftsman, Toolmaker, and Machinist. [Text] / Erik Oberg, Holbrook L. Horton. - Industrial Press, 2008

22. Guglielmino, Emanuele. Semi-active Suspension Control URL: Improved Vehicle Ride and Road Friendliness // Emanuele Guglielmino, Tudor Sireteanu, Charles W. Stammers, Ghita Gheorghe, Marius Giuclea. - London: Springer-Verlag, 2008

23. High-Speed Suspension System Health Monitoring Using Multi Location Vibration Data //Hong, N.; Li, L.; Yao, W.; Zhao, Y.; Yi, C.; Lin, J.; Tsui, K.L. In: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems IEEE Trans. Intell. Transport. Syst. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on. 21(7):2943-2955 Jul, 2020; USA: IEEE Language: English

24. Ruger S. Transport technologie stadtisch eroffentlicher Personenverkehr [Текст] / S. Ruger. - 2., bearbeitete Auflage. - Berlin: Transpress VEB Verlag fur Verkehrswesen, 1978. - 152 p.: il

Приложение А

Спецификация к сборочному чертежу «Кулак поворотный передний»

Формат Зона Паз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		<u>Документация</u>		
	21.РБ.ПЭА.381.02.00.000	<u>Сборочный чертеж</u>	1	
		<u>Детали</u>		
Справ. №	1	21.РБ.ПЭА.381.02.00.001	Венец зубчатый	1
	2	21.РБ.ПЭА.381.02.00.002	Втулка центробочная ступичного болта	1
	3	21.РБ.ПЭА.381.02.00.003	Диск тормозной	1
	4	21.РБ.ПЭА.381.02.00.004	Датчик угловой скорости	1
	5	21.РБ.ПЭА.381.02.00.005	Кольцо проставочное внешнее подшипника	2
	6	21.РБ.ПЭА.381.02.00.006	Кольцо проставочное внутреннее подшипника	2
	7	21.РБ.ПЭА.381.02.00.007	Кронштейн крепления датчика угловой скорости	1
	8	21.РБ.ПЭА.381.02.00.008	Кронштейн крепления рычага верхнего	1
	9	21.РБ.ПЭА.381.02.00.009	Кулак	1
	10	21.РБ.ПЭА.381.02.00.010	Сошка рулевая	1
	11	21.РБ.ПЭА.381.02.00.011	Ступица	1
	12	21.РБ.ПЭА.381.02.00.012	Суппорт тормозной	
Взам. инв. №		<u>Стандартные изделия</u>		
	13		Болт М5 х 15 ГОСТ 7798-70	1
14		Болт М6 х 30 ГОСТ 7798-70	2	
21.РБ.ПЭА.381.02.00.000				
Инв. № подл.	Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата
	Разраб.	Спирidonov A.C.		
	Проб.	Байровский A.B.		
	Н.контр.	Байровский A.B.		
Утв.	Байровский A.B.			
Кулак поворотный передний			Лит.	Лист
				Листов
				1
			ТГУ, каф. ПЭА гр. ЭТКбэ-1601а	
Копировал			Формат А4	

Рисунок А.1 – Спецификация

Приложение Б

Спецификация к сборочному чертежу «Кулак задний в сборе»

Формат Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме- чание
			<u>Документация</u>		
A1		21.РБ.ПЭА.38102.00.000.СБ	<u>Сборочный чертеж</u>	1	
			<u>Детали</u>		
	1	РБ.ПЭА.38103.00.001	Венец зубчатый	1	
	2	РБ.ПЭА.38103.00.002	Датчик угловой скорости	1	
	3	РБ.ПЭА.38103.00.003	Диск тормозной	1	
	4	РБ.ПЭА.38103.00.004	Кольцо проставочное	2	
	5	РБ.ПЭА.38103.00.005	Корпус шруса	1	
	6	РБ.ПЭА.38103.00.006	Кранштейн датчика угловой скорости	1	
	7	РБ.ПЭА.38103.00.007	кранштейн крепления рычага верхнего	1	
	8	РБ.ПЭА.38103.00.008	Ступица	1	
	9	РБ.ПЭА.38103.00.009	Суппорт тормозной	1	
	10	РБ.ПЭА.38103.00.010	Шайба упорная подшипников	1	
			<u>Стандартные изделия</u>		
	11		Болт М6 х 15 ГОСТ 7805-70	1	
	12		Болт М8 х 40 ГОСТ 7805-70	2	
	13		Болт М8 х 50 ГОСТ 7805-70	1	
	14		Гайка М8 ГОСТ 5915-70	4	
	15		Подшипник ГОСТ520-55	2	
	16		Шпилька задвижная М12*15 ГОСТ Р 53819	4	
			21.РБ.ПЭА.38103.00.000		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.	Спиридонов АС				
Проб.	Бабровский АВ				
Н.контр.	Бабровский АВ				
Утв.	Бабровский АВ				
			Кулак задний в сборе		
			Лит.	Лист	Листов
					1
			ТГУ, каф ПЭА гр. ЭТКдэ-1601а		

КОМПАС-3D v20 Home © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4

Рисунок Б.1 - Спецификация