

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 автомобильный сервис

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему «Разработка электрического прогулочного шаттла»

Обучающийся

О. С. Богомол

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент, зав. каф. А. В. Бобровский

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Разработка электрического прогулочного шаттла. Выпускная квалификационная работа. Тольяттинский Государственный Университет, 2024.

Произведены технические расчёты и разработан электрический прогулочный шаттл по типу гольф-кара. В основной части пояснительной записки проводится анализ известных аналогов по их основным характеристикам, рассмотрены и проанализированы их преимущества и недостатки.

Выполнены тягово-динамические расчёты проектируемого электрокара, составлено техническое задание на разработку. Рассмотрены вопросы безопасности, экологичности и технической эксплуатации электрического прогулочного шаттла. В процессе выполнения ВКР были проведены расчёты на прочность рамы с использованием программного обеспечения ANSYS.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки в размере 50 страниц, содержащей 12 таблиц, 20 рисунков и графической части, содержащей 6 листов.

Abstract

Development of an Electric Shuttle. Graduation Thesis. Togliatti State University, 2024.

Technical calculations were made, and an electric shuttle of the golf cart type was developed. The main part of the explanatory note analyzes known analogs by their main characteristics, considers and analyzes their advantages and disadvantages.

Traction-dynamic calculations of the designed electric car were performed, and technical specifications for the development were drawn up. The issues of safety, environmental friendliness and technical operation of the electric shuttle were considered. In the process of completing the final qualification work, frame strength calculations were performed using ANSYS software.

The final qualification work consists of an explanatory note of 50 pages, containing 12 tables, 20 figures and a graphic part containing 6 sheets.

Содержание

Введение.....	5
1 Обзор аналогов	7
1.1 Электрический гольфкар HM2	8
1.2 Электрокар «Garia Golf» производство Дания.....	9
1.3 Электрокар EAGLE EG2028K.....	11
1.4 Электрический прогулочный шаттл.....	12
1.5 Сравнительный анализ аналогов	14
2 Разработка электрического прогулочного шаттла.....	17
2.1 ТЗ на разработку электрического шаттла.....	17
2.2 Обоснование компоновочного решения	19
2.3 Эргономические требования к электрическому прогулочному шаттлу ...	21
3 Расчетная часть.....	25
3.1 Разработка и расчет пространственной рамы электрического прогулочного шаттла.....	25
3.2 Расчет тягово-динамический для электрического прогулочного шаттла .	34
4 Безопасность и экологичность технического объекта	41
Заключение	46
Список используемых источников.....	47

Введение

За последние годы количество автомобилей и другой техники, оснащенных двигателями внутреннего сгорания, очень сильно возросло, в связи с чем экология стран мира сильно ухудшилась. Именно поэтому мир начал постепенно переходить на альтернативные силовые установки, по типу электродвигателей. Приоритетным направлением в последнее время является электрификация всего. Это означает, что постепенно люди начинают отказываться от двигателей внутреннего сгорания и переходят на электрические силовые установки. Связано это с большим количеством выбросов, со стоимостью топлива, с уровнем шума от транспорта, оснащенного ДВС, а также с тем, что нефть является иссекаемым ресурсом, что будет приводить к большому росту цен на топливо, а соответственно на все услуги, связанные с транспортом. Помимо всего прочего, электрический транспорт показал уровень своего комфорта, надежности и практичности. В ближайшем будущем люди постепенно перейдут к электрическому транспорту и полностью откажутся от обычных машин, оснащенных ДВС, поэтому направление электрификации является очень распространенным и перспективным направлением.

Именно поэтому на данный момент действительно приоритетным и популярным направлением является разработка экологически чистого транспорта, причем абсолютно под любые задачи, будь то сельское хозяйство, городской электромобиль или же прогулочный прокатный транспорт. Малый транспорт это одна из ниш, которую еще не так сильно затронула электрификация, поэтому целью данной работы является разработка экологически чистого, комфортабельного, эстетически привлекательного прогулочного шаттла по типу гольф кара, который может быть использован в роли прокатного, или же экскурсионного транспорта в местах отдыха, парках и заповедниках.

Для достижения поставленной цели был определен ряд необходимых к выполнению задач:

- провести сравнительный анализ конструкций аналогов для определения недостатков и преимуществ разработанных конструкций;
- провести тягово-динамический расчет;
- определить технические требования к конструкции шаттла, составить книгу целевых показателей;
- провести анализ шасси на прочность при помощи симуляций
- провести экономический расчет производства

1 Обзор аналогов

Очень важно при проектировании электротранспорта провести анализ конкурентов и используемых ими технологий, для того чтобы создать конкурентоспособный продукт. Для такого анализа берется ряд основных конкурентов, имеющих подобные технические характеристики, что и будущий продукт. По результатам анализа будет составлена сводная таблица, а также изображена циклограмма, которая покажет, насколько лучше или хуже будет будущий электрический мотоцикл. Такого рода исследование позволяет почерпнуть технологии, хорошие инженерные решения у других производителей, что также позволит добиться максимального качества и функциональности продукта.

При проведении анализа российского и зарубежного рынка были определены основные конкуренты нашему электрическому прогулочному шаттлу:

- электрический гольф-кар NM2;
- электрический гольф-кар Garia;
- электрический гольф-кар EAGLE EG2028K;
- электрический прогулочный шаттл

Для проведения объективного и самое главное качественного анализа рынка, был определен ряд критериев и технических характеристик электрокаров, по которым будет проведена оценка качества и конкурентоспособности каждого из вышеперечисленных конкурентов:

- Допустимая масса, кг;
- Сила тока аккумулятора, А;
- Мощность электродвигателя, кВт;
- Максимальная скорость, км/ч;
- Запас хода, час;
- Цена, руб

Рассмотрим представленные модели электрокаров и проведём сравнительный анализ с помощью методики сравнительной оценки качества технологического оборудования

1.1 Электрический гольфкар НМ2

«Модель НМ2 — это экологически чистое транспортное средство нового поколения с мировым именем и безупречным дизайном, воплотившее в себе современные дизайнерские мысли и палитру лучших технологических достижений индустрии автомобилестроения, существующих на сегодняшний день в мире. то настоящий классический двухместный гольф кар на правильных травяных шинах, оберегающих газон фривеев, специальной площадкой для кедди и креплением для двух гольф-бегов. Идеально подходит для использования в гольф клубах для передвижения по гольф полю.» [1]. В таблице 1 и на рисунке 1 подробнее рассмотрим представленную модель.



Рисунок 1 – Электрический гольф-кар НМ2

Таблица 1 – Характеристики электрического гольф-кара НМ2

Характеристика	Допустимая масса, кг	Сила тока аккумулятора, А	Мощность электродвигателя, кВт	Максимальная скорость, км/ч	Запас хода, час	– Цена, тыс.руб
	350	270	3	20	8	540

Конкретно этот электрический автомобиль является довольно простой и недорогой версией, однако по сравнению с конкурентами, за такую цену имеет достаточно не плохие показатели.

1.2 Электрокар «Garia Golf» производство Дания

«Garia Golf эксклюзивный гольф-кар сконструирован как настоящая машина, поэтому ощущения от вождения тоже, как от настоящей машины. Благодаря серьезной работе Garia очень устойчив, а легкая алюминиевая рама не подвержена коррозии и позволяет быстро набирать скорость. Гольф кар вмещает в себя настоящий холодильник для хранения бутылок с водой, а особая конструкция крепления сумок для гольфа дает легкий доступ к клюшкам» [3]. Важно заметить, что данный гольф-кар действительно даже внешне напоминает полноценный автомобиль, и даже включает в себе хорошо настроенную подвеску для того, чтобы обеспечивать комфортное передвижение по полю для гольфа. На рисунке 2 можно увидеть гольф-кар Garia, а ниже в таблице можно изучить технические характеристики данного экземпляра.



Рисунок 2 – Электрический гольф-кар Garia

Таблица 2 – Технические характеристики Garia

Характеристика	Допустимая масса, кг	Сила тока аккумулятора, А	Мощность электродвигателя, кВт	Максимальная скорость, км/ч	Запас хода, час	– Цена, тыс.руб
	250	270	3	30	7	1600

Данный электрический автомобиль малого типа действительно может привлечь к себе внимание своим дизайнерским внешним видом. Более того, данный шаттл обладает огромным количеством функций, начиная автоматическими поворотниками и заканчивая холодильным отсеком для напитков. Да, данный автомобиль оснащен полноценной комфортной подвеской и имеет достаточно быстрый разгон до 30 км/ч, однако за такую стоимость данный гольф-кар автоматически становится доступным только малому количеству населения, чей доход является высоким.

1.3 Электрокар EAGLE EG2028K

Данная модель представляет собой простую конструкцию типичного гольф-кара с электрической силовой установкой. В комплект даже входят ремни безопасности, рулевая колонка с поворотниками и полноценный ближний свет.



Рисунок 3 – Модель электрокара EAGLE EG2028K

По данной модели представлены технические характеристики, которые отражены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические параметры EAGLE EG2028K

Характеристика	Допустимая масса, кг	Сила тока аккумулятора, А	Мощность электродвигателя, кВт	Максимальная скорость, км/ч	Запас хода, час	– Цена, тыс.руб
	400	270	5	40	6	920

Данная модель не обладает выдающимися внешними факторами, однако обладает достаточно большой грузоподъемностью и мощным мотором, за счет чего имеет большую максимальную скорость по сравнению со своими конкурентами. Безопасность здесь тоже была предусмотрена, а именно ремни и подушка безопасности, а также достаточно прочная пространственная рама.

В итоге EAGLE EG2028K является достаточно интересным вариантом за счет своих выдающихся технических характеристик, однако стоимость данного гольф-кара с электрической силовой установкой очень велика, и вряд ли это понравится потенциальному покупателю.

1.4 Электрический прогулочный шаттл

В рамках данной выпускной работы был разработан электрический прогулочный шаттл. Основные преимущества данной модели, это низкая стоимость, привлекательный дизайн, а также солнечные панели на крыше для непрерывной зарядки аккумулятора в солнечные дни. На рисунке 4 представлена 3Д модель электрического прогулочного шаттла.

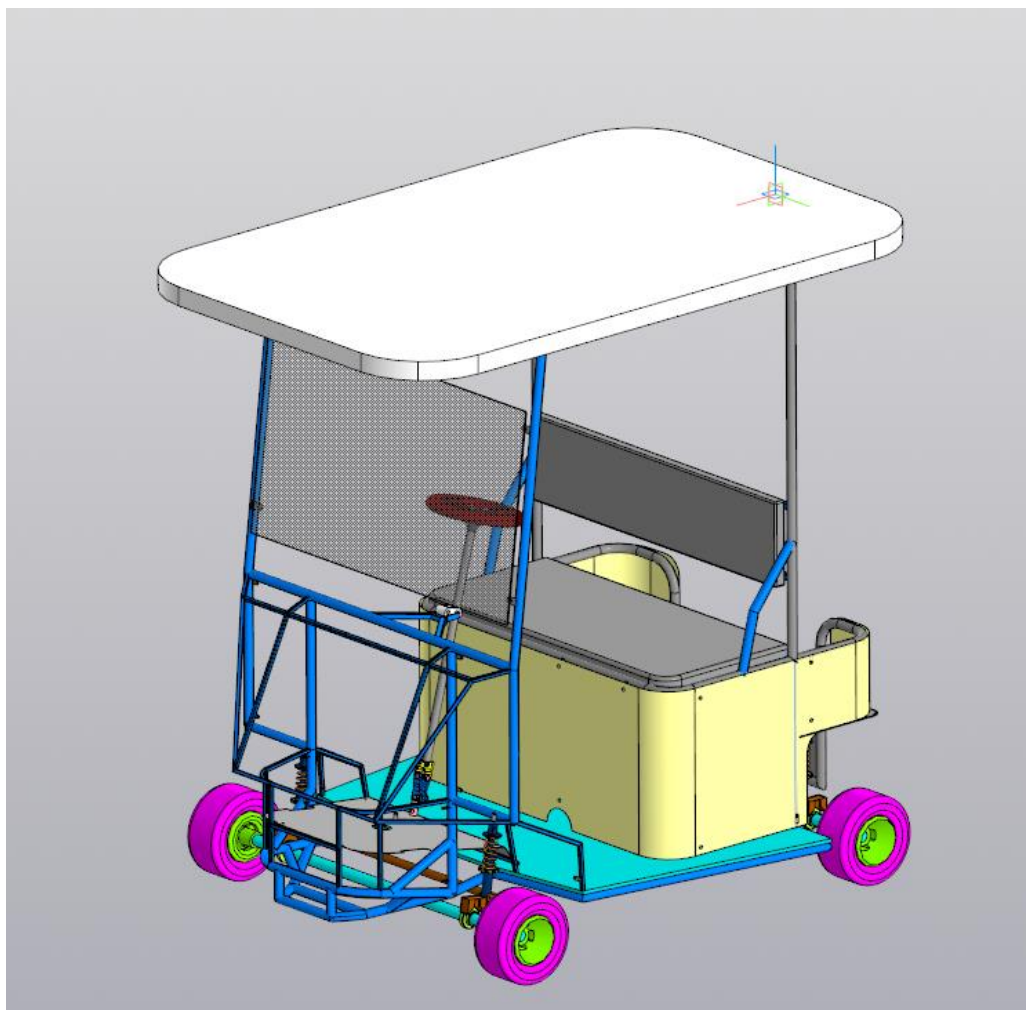


Рисунок 4 – КАД модель электрического прогулочного шаттла

Технические характеристики разработанного электрического прогулочного шаттла можно увидеть в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики разработанного электрического прогулочного шаттла.

Характеристика	Допустимая масса, кг	Сила тока аккумулятора, А	Мощность электродвигателя, кВт	Максимальная скорость, км/ч	Запас хода, час	– Цена, тыс.руб
	400	270	3	20	8 + солнечные панели	350

Преимуществами этого электрического прогулочного шаттла являются:

- Стоимость электрического шаттла достаточно низкая, за счет частичного использования платформы от картинга во время его производства, а именно за счет использования сварочного стапеля, который используется для производства гоночных картов;
- Солнечные панели на крыше электромобиля, позволяющие производить автоматизированную подзарядку аккумуляторной батареи;
- Большая грузоподъемность за счет низкого центра тяжести, достаточно жесткой спортивной подвески, а также за счет правильно подобранного передаточного отношения, рассчитанного во время тягово-динамического расчета;
- Прочная пространственная рамная конструкция, выполненная из стальных труб диаметром 20 мм.

1.5 Сравнительный анализ аналогов

«Для достоверной оценки качества технологического оборудования необходимо учитывать все показатели качества и формализовать оценки процесса. В случае если единичные показатели качества P_i могут быть выражены количественно, то их уровень может быть соотнесен со значением показателя, принятого за базу P_{i0} . Когда увеличение абсолютного значения единичного показателя качества приводит к улучшению качества, уровень показателя выражают отношением $U_i = P_i / P_{i0}$ » [7].

Если из-за увеличения абсолютного значения качество было ухудшено, то в таком случае качество следует выражать таким образом $U_i = P_{i0} / P_i$. И в таком случае несмотря на то было ли положительное или же отрицательное влияние увеличение показателя качества, в любом случае уровень будет возрастать при улучшении по данному показателю.

Для того чтобы провести сравнительный анализ нескольких конструкций гольф-каров, и сравнить их по нескольким показателям, необходимо создать общую таблицу, чтобы проводить сравнение было максимально наглядно. Ниже представлена таблица 5, которая включает в себя всех вышеперечисленных конкурентов, а также разрабатываемый шаттл. Можно увидеть, насколько превосходит тот или иной показатель у разрабатываемой модели при относительно низкой стоимости.

Таблица 5 – Технические характеристики сравниваемых гольф-каров

Характеристика/шаттл	Допустимая масса, кг	Сила тока аккумулятора, А	Мощность электродвигателя, кВт	Максимальная скорость, км/ч	Запас хода, час	– Цена, тыс.руб
Электрический прогулочный шаттл	400	270	3	20	8 + солнечные панели	350
Yi	1	1	0.6	0.5	1	1
гольфкар HM2	350	270	3	20	8	540
Yi	0.75	1	0.6	0.5	1	0.64
гольфкар Garia	250	270	3	30	7	1600
Yi	0.56	1	0.6	0.625	0.875	0.2
гольфкар EAGLE EG2028K	400	270	5	40	6	920
Yi	0.85	1	1	1	0.9	0.38

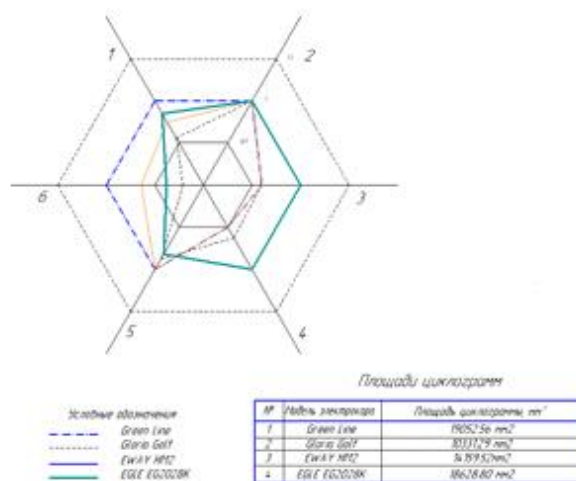


Рисунок 5 – Сравнительная циклограмма характеристик электрических гольф-каров

По данным таблицы 5 и рисунка 5 можно увидеть, что оценки по показателям качества распределились таким образом:

- электрический гольф-кар HM2 – 4.5;
- электрический гольф-кар Garia – 3.87;
- электрический гольф-кар EAGLE EG2028K – 5.05;
- электрический прогулочный шаттл – 5.1.

Видно, что самые наибольшие суммарные показатели у электрического прогулочного шаттла, у которого, лучшие показатели по грузоподъёмности, зарядке аккумулятора и время прохождения на одной зарядке. А также у модели электрокара китайского производства EAGLE EG2028K, можно отметить хорошие показатели по заряду аккумулятора, мощности и скорость данной модели достаточно высокая.

Выводы по разделу

Был проведен анализ рынка электрических гольф-каров, что позволило выявить конкурентные преимущества прототипа шаттла по сравнению с аналогичными моделями других производителей.

2 Разработка электрического прогулочного шаттла

2.1 ТЗ на разработку электрического шаттла

«Этот электрический шаттл представляет собой электрокар, работающий на аккумуляторе постоянного тока с возможностью его непрерывной подзарядки от солнечных элементов. Электрокар предназначен для использования на дорожных покрытиях с ровной поверхностью, с учётом погоды в летний период времени. Необходимо создать несущую конструкцию, раму каркасного типа, которая будет состоять из стальных труб. Рама должна выдерживать нагрузки до 480 кг общей массы электрокара. Беспилотный электрокар на солнечных элементах предполагается использовать на мероприятиях, связанных с проектной деятельностью, для перемещения людей по территории кампуса ТГУ, также предполагается использовать данную модель для перемещения людей по паркам и набережным города Тольятти» [5].

Стоит учитывать, что гольф-кар – не универсальное транспортное средство, поэтому стоит придерживаться некоторых рекомендаций, основанных на базе технических особенностей электрического шаттла.

- Для перемещения необходимо ровное асфальтированное покрытие из-за относительно невысокого клиренса шаттла;

- Использовать данный шаттл можно во время температуры от 0 до 35 градусов, что связано с особенностями работы аккумуляторной батареи. Во время сильных осадков (ливень, снег) использовать электрических шаттл не рекомендуется;

- Для подзарядки электрического прогулочного шаттла, необходима электрическая энергия: переменный ток с напряжением от сети 220В;

- Для того чтобы аккумулятор подзаряжался автономно при помощи солнечных батарей на крыше электромобиля, необходимо убедиться, что солнечный свет напрямую попадает на солнечные панели;

– Данный электрический прогулочный шаттл может быть использован не только для поездок в парковых зонах и в зонах заповедников, но также при необходимости может быть использован на предприятиях для доставки рабочих до их рабочих мест.

«Целью разработки конструкции электрического прогулочного шаттла на солнечных элементах является изменение конструкции аналога, обеспечивающей возможность производства электрокара в условиях единичного и мелкосерийного производства. Это достигается за счёт другой компоновки рамы из стандартных труб, соединяемых сваркой. Таким же выполняется каркас для крепления солнечных элементов. В электрокаре используются упрощенные конструкции отдельных узлов и агрегатов. Повышение технологичности при сборке и изготовлении позволяет изготавливать электрокар в условиях не большого сборочного цеха, оснащенного типовым оборудованием. В таблице 5 описаны основные характеристики электрического прогулочного шаттла» [14].

Таблица 5 – Характеристики электрического прогулочного шаттла с электрическими солнечными панелями

Характеристика	Значение
Колесная формула	4x2
Кол-во мест	1
Снаряженная масса m_0 , кг	120
Максимальная скорость $V_{\max}$, км/ч	25
Угловая скорость $\omega_{\max}$, рад/с	400
Максимальная мощность двигателя N_e , кВт	3
Максимальный крутящий момент двигателя M_e , Нм	5

Продолжение таблицы 5

Тип и размер колеса	160/60 R8
Аэродинамическое сопротивление Cx	0,54
Ширина ТС, мм	1350
Высота ТС, мм	1650
Сопротивление качению	0,05

Также для данного электрического шаттла были определены методы технического обслуживания:

- Для поддержания хорошего технического состояния транспортного средства рекомендуется проводить регулярное техническое обслуживание;
- Проводить осмотр, ремонтные работы, в особенности осмотр и ремонтные работы электрических компонентов электрического прогулочного шаттла допустимо только квалифицированным специалистам;
- Запасные части и элементы конструкции электрического прогулочного шаттла можно использовать только в соответствии с мануалом пользователя;
- Хранение электрического прогулочного шаттла допускается только в вентилируемом помещении, при полном соблюдении техники пожарной безопасности.

2.2 Обоснование компоновочного решения

Вентиляция необходима для устранения легковоспламеняющихся паров в местах стоянки беспилотного электрокара на солнечных элементах. Кроме того, вентиляция удаляет водород, образующийся при зарядке аккумулятора.

Что касается особенностей конструкции и компоновки электрического прогулочного шаттла, то, шаттл «предназначенный для эксплуатации в зонах

отдыха, рекреационных зонах, для прогулочных и туристических маршрутов. В данном проекте разрабатывается механическая часть электрокара с перспективой его оснащения системой автоматического управления, обеспечивающей высокое удобство использования электрокара» [19].

На рисунках 5 и 6 можно увидеть упрощенную сборочную схему электрического прогулочного шаттла с основными элементами, такими как: пространственная рама 1, передние колеса 2 и задние колеса 3, задний обвес 4, передний обвес 5, седло 6, передняя стойка 7, задняя стойка 8, навес 9. Шаттл имеет основные конструктивные элементы: верхнюю панель переднего обвеса 10, нижнюю панель обвеса 11, рулевой механизм 12, задний бампер 13, передний бампер 14, пол шаттла 15, переднее крыло 16, заднее крыло 17.

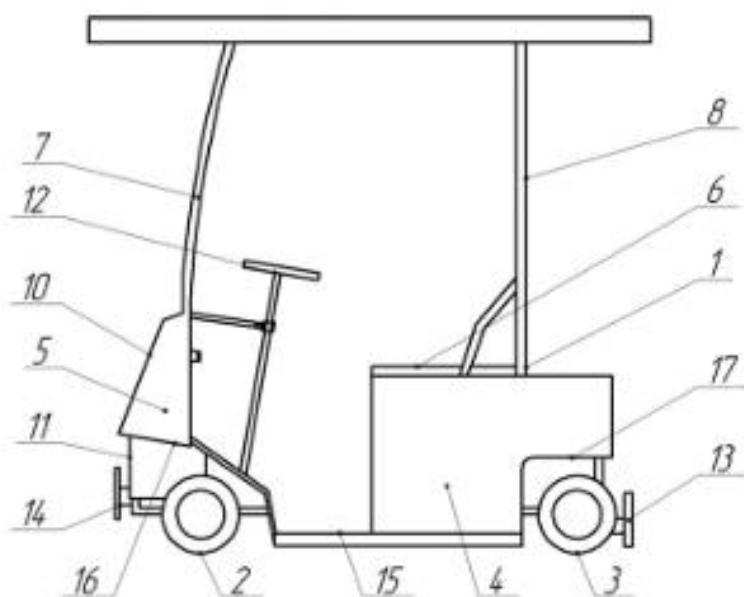


Рисунок 5 – Компоновка электрического шаттла (вид сбоку)

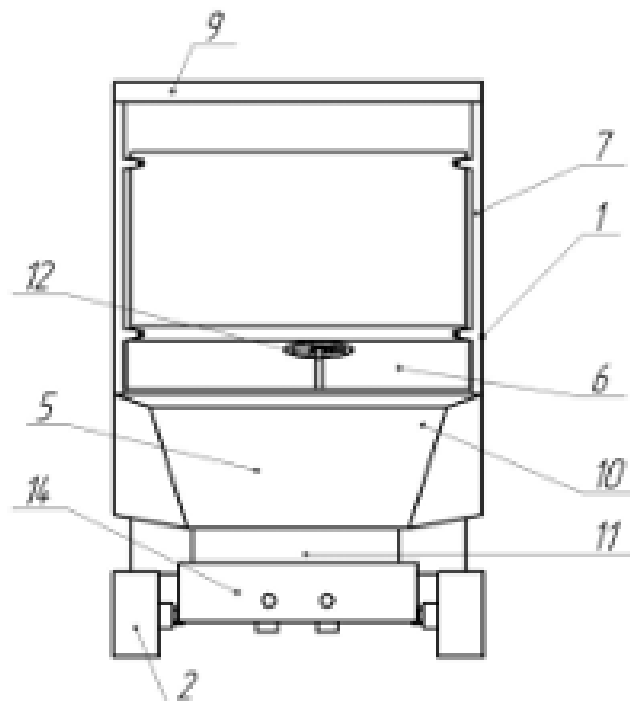


Рисунок 6 – Компонировка электрического шаттла (вид спереди)

2.3 Эргономические требования к электрическому прогулочному шаттлу

Основной задумкой данного транспортного средства является сочетание эргономических, эстетических и технических характеристик за относительно недорогую стоимость по сравнению с электрическими гольф-карами конкурентов.

Конструкторское решение беспилотного электрокара на солнечных элементах обладает функциональной выразительностью, компактностью, технологичностью и единством стилового решения.

«Функциональная выразительность достигается компактно-упрощенной компоновкой. Общий контур верхней и нижней панелей капота, формирующих грибообразную форму, придают устойчивый вид. Компактная компоновка электрокара обеспечивается делением на две части: капот и кузов

с сиденьем. Передние колеса по размеру чуть меньше. Это сказывается на устойчивости и управляемости электрокара, обеспечивая динамичный профиль в боковой проекции, а также на безопасность эксплуатации, удобство доступа водителя, аэродинамичность и удобство эксплуатации.

Выполнение крепления крыши на стойках, передних изогнутых с не большим наклоном от уровня руля, задних прямых придает всей конструкции прозрачность, визуальную легкость, при технологической простоте и эксплуатационных удобствах, связанных с посадкой-высадкой и перемещением внутри электрокара на солнечных элементах [10].

Крыша в виде плоской рамы с одним продольным и двумя поперечными с покрытием верхней плоскости крыши солнечными панелями с широкой окантовкой по периметру обеспечивает энергетическую независимость, высокую мощность привода. Такая компоновка дает тень от солнечного света при достаточной жесткости конструкции, а также надежную защиту от дождя за счет большой площади и перекрытия всей проекции автомобиля сверху.

Выполнение заднего вида электрокара прямоугольной формы с разделением задней проекции спинкой сиденья пополам, придавая массивный, устойчивый вид данной конфигурации. Закругленные боковины багажника кузова, выполненные по высоте на уровне сиденья, по ширине на уровне боковой стенки кузова над задними колесами, с проемом между ними, и нижней панелью по ширине равной ширине проема багажника, обеспечивают свободный доступ к багажнику, создают открытый вид» [4].

Стоп-сигнал круглой формы был расположен в задней части электрического прогулочного шаттла на уровне багажного отделения для того, чтобы информировать участников дорожного движения о начале и завершении торможения.

В задней части электрического прогулочного шаттла был установлен прочный бамперный элемент прямоугольной формы с закругленными кромками. Бампер был расположен точно на уровне задних колес для

обеспечения безопасности, а также защиты рамной конструкции и подвески электрического прогулочного шаттла.

В задней части электрического прогулочного шаттла был размещен багажный отсек открытого типа с общим объемом 100 литров, что позволяет пользователям перевозить в нем различные грузы, в том числе, если речь идет об использовании электрического прогулочного шаттла в роли гольф-кара, то можно расположить в багажном отделении набор клюшек и сумку для гольфа.

В салонном отсеке электрического прогулочного шаттла можно увидеть удобное двухместное сиденье, способное выдерживать нагрузку до 180 кг. Седло выполнено из мягкого поролонового материала, снаружи обшитого материалом по типу кожи. Задняя спинка сиденья, закрепленная отдельно на элементах рамной конструкции исполнена по такому же принципу, что и основное седло. Кроме того, под седлом расположен электромотор с силовой батареей, а раскрывающееся седло позволяет пользователю или мастеру технического обслуживания с легкостью добраться до технической составляющей электрического прогулочного шаттла.

Для защиты водителя и пассажира от ветра, грязи и других опасностей во время поездки был установлен лобовой элемент, однако выполненный не из стекла, а из листового пластикового элемента. Сделано это с точки зрения облегчения электрического прогулочного шаттла, а также с точки зрения безопасности. Более того листовый пластик был установлен на рамную конструкцию с соблюдением зазоров между пластиком и рамой для того, чтобы избежать неприятных вибраций и шума при движении по неровной дороге.

Пол данного электрического прогулочного шаттла выполнен из листового алюминия с рифленой текстурой для исключения скольжения обуви по поверхности пола. Кроме того, для исключения вибрации по кромке листового металла при установке был нанесен виброизолирующий материал для исключения шумов и вибраций при движении по неровной дороге. Более того, клиренс электрического прогулочного шаттла относительно низкий, а

также боковая структура рамной конструкции не имеет возвышений в зоне посадки водителя и пассажиров, за счет чего посадка в электрический прогулочный шаттл может быть максимально комфортной.

Рулевое управление было расположено по центру автомобиля, что может позволить разместить водителя по центру и еще двух человек справа и слева от него. Также рулевая колонка была размещена практически вертикально, а именно, шаттл получил автобусное расположение рулевого колеса. За счет данного решения в салонном пространстве достаточно много места для сквозного перемещения внутри электрического прогулочного шаттла.

«Верхняя панель переднего обвеса исполнена из прямоугольного профиля с крупной передней панелью из четырех плоскостей, передней трапецевидной формы, боковыми – треугольной, верхней в виде наклонной полосы по верхней кромке, нижней панели колоннообразной закругленной формы придают электрокару устойчивый вид при высокой технологичности, жесткости конструкции, обеспечивая безопасность пассажиров и водителя» [24].

Подвеска данного электрического шаттла достаточно жесткая, однако это позволяет быть электрическому шаттлу быть маневренным и безопасным, так как это широкая передняя и задняя колея и низкая и жесткая подвеска исключает переворот автомобиля. Более того за счет использования данной платформы, взятой от гоночного картинга, позволяет удешевить производство шаттлов и сделать продукт более привлекательным.

Выводы по разделу

В данном разделе были описаны основные характеристики электрического прогулочного шаттла. Более того были описаны основные требования к конструкции, компоновке, а также к эргономическим показателям электрического гольф-кара.

3 Расчетная часть

3.1 Разработка и расчет пространственной рамы электрического прогулочного шаттла

В качестве шасси электрического прогулочного шаттла была выбрана пространственная рамная конструкция, выполненная из стальных бесшовных труб. В качестве нижней платформы используется платформа от спортивного карта, что делает электрический прогулочный шаттл достаточно маневренным, безопасным и дешевым. Нижняя часть шаттла выполняется из стальных труб с наружным диаметром 30 мм и толщиной стенки 1.5 мм, а что касается верхней части электрического шаттла, то верхняя часть выполнялась из стальных труб с наружным диаметром 20 мм и толщиной стенки трубы 2 мм. Трубы с большим моментом инерции использовались именно для создания нижней платформы для того, чтобы придать рамной конструкции крутильную жесткость [9].

Для того чтобы смоделировать и рассчитать пространственную рамную конструкцию на прочность, для начала необходимо задать скелетный каркас. Для этого в программе Компас 3Д необходимо перейти в модуль каркасного моделирования и расставить точки в пространстве. Точки задаются в пространстве относительно нулевой координаты, которая по правилам автомобилестроения считается в центре передней оси автомобиля. Для того чтобы сократить время на создание скелетного каркаса, точки следует задавать только на одну из сторон, для дальнейшего отзеркаливания конструкции на противоположную сторону.

После того, как пространственные точки были заданы, в том же разделе необходимо выбрать команду «отрезок по точкам» и соединить все точки таким образом, чтобы в итоге образовалась половина пространственной скелетной рамы.

Когда скелетный каркас готов, при помощи команды «металлоконструкции» необходимо задать необходимый профиль труб и обвести весь контур каркаса, тем самым образовав твердотельную трубную модель пространственной рамной конструкции [20].

Для того чтобы получить полноценную рамную конструкцию, состоящую из двух полноценных половин, необходимо в поисковой строке прописать «зеркальное отражение элемента» и выбрать данную команду для того, чтобы зеркально отразить уже готовую половину пространственной рамной конструкции относительно центральной координатной плоскости. Таким образом мы получаем готовую КАД твердотельную модель пространственной рамы, которую можно увидеть на рисунке 7.



Рисунок 7 – Пространственная рама электрического прогулочного шаттла

Далее для того, чтобы убедиться в том, что пространственная рама электрического прогулочного шаттла достаточно прочная, а также может сопротивляться изгибающим моментам во время появления чрезмерного бокового ускорения, необходимо преобразовать файл пространственной рамной конструкции в СТП формат и переместиться в другую программу

моделирования, где будет произведен расчет рамной конструкции на прочность и на крутильную жесткость.

После того, как КАД модель была сохранена в формате STEP, ее необходимо импортировать в программу, где будет производиться дальнейший расчет, а именно в NX [23].

Для начала необходимо создать проект Static Structural. После того, как проект был создан необходимо объединить и выделить трубные элементы рамной конструкции, как это можно увидеть на рисунке 8.

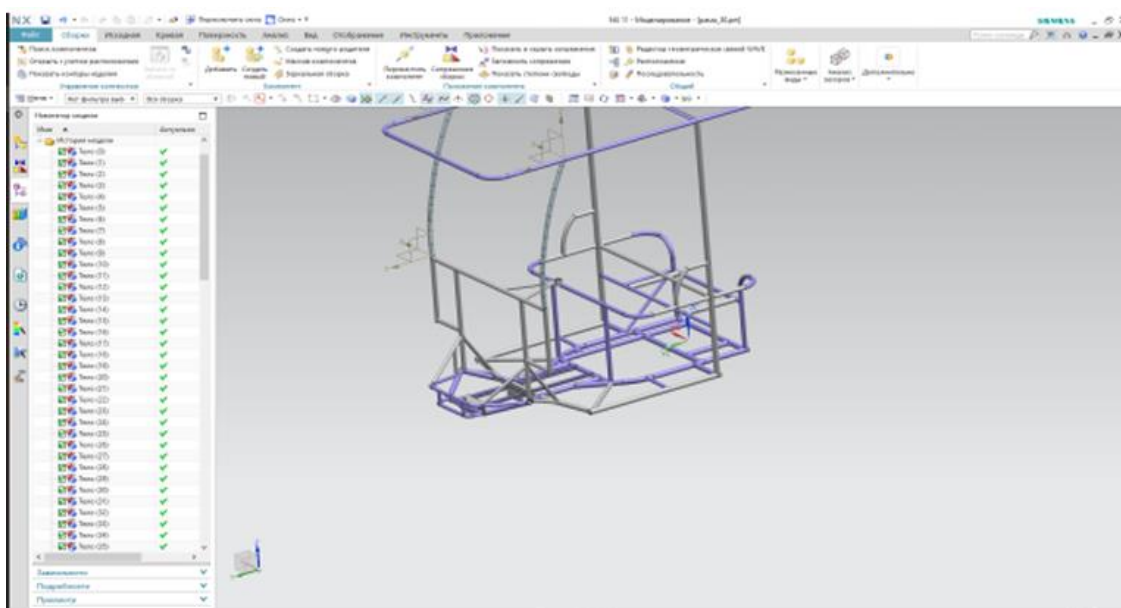


Рисунок 8 – Созданный проект Static Structural

Следующим этапом необходимо задать характеристики материала каждого элемента рамной конструкции из библиотеки программного обеспечения для того, чтобы программе во время расчетов можно было правильно распределить нагрузки, а также получить результаты деформаций и напряжений во время приложения различных сил и моментов к пространственной рамной конструкции электрического прогулочного шаттла [11].

Далее необходимо импортировать структурированную модель в формате STEP в раздел программы «geometry», что необходимо для произведения упрощения 3Д модели для дальнейшего проведения симуляций и анализов. На рисунке 9 можно увидеть импортированную деталь в раздел «geometry»

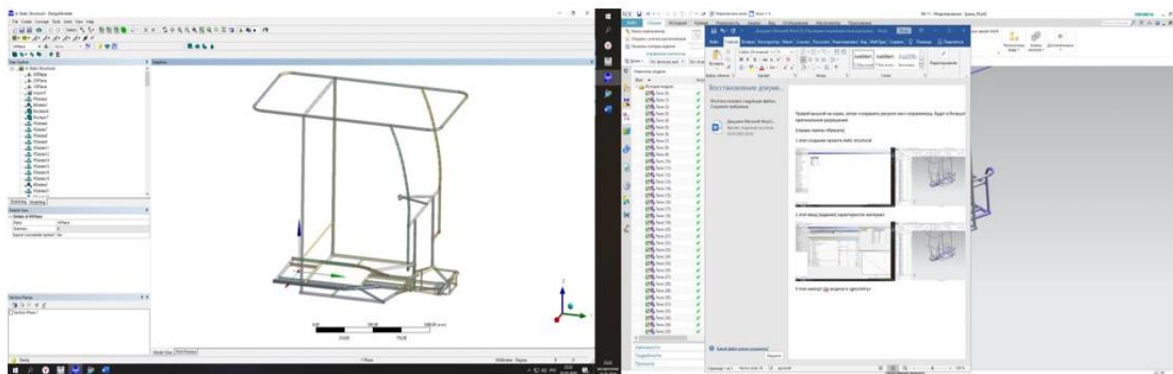


Рисунок 9 – Импортированная КАД в раздел «geometry»

Далее необходимо подготовить КАД модель к дальнейшему конечно-элементному моделированию. Для этого необходимо упростить модель таким образом, чтобы вся 3Д модель представляла собой единое твердое тело. Данные манипуляции необходимы для увеличения точности результатов расчета, уменьшения скорости проведения расчетов и симуляций, а также для снижения рисков появления различных ошибок моделирования при создании сетки, что может не позволить провести симуляцию, или же может привести к некорректному результату анализа. На рисунке 10 можно увидеть четвертый этап подготовки 3Д модели к симуляции.

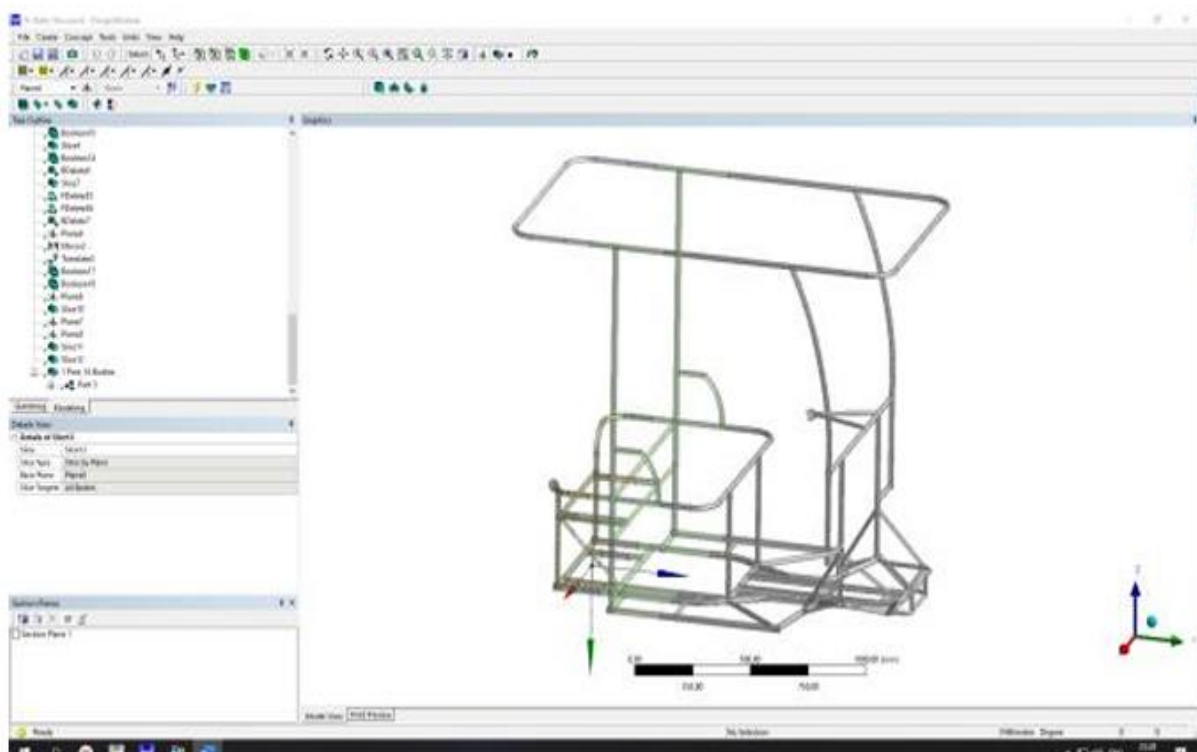


Рисунок 10 – Четвертый этап подготовки модели к проведению расчетных симуляций

Далее, на пятом этапе, необходимо перейти в модуль программы под названием «модель» и присвоить пространственной раме, выполненной в виде единого твердотельного объекта материал из библиотеки модель «модель». Очень важно не назначать дополнительные связи между элементами при помощи команды «connections», потому что пространственная рамная конструкция электрического прогулочного шаттла уже сделана одним телом, и если задать дополнительные контакты и связи, то может возникнуть ошибка или проблема во время проведения симуляции [17].

Следующий этап один из очень важных. На данном этапе необходимо задать параметры, конечно-элементной сеточной матрицы, которая будет служить структурой пространственной рамной конструкции электрического прогулочного шаттла. Для этого необходимо нажать на команду «mesh» и задать все необходимые параметры сетки, такие как тип сеточной матрицы (в нашем случае это гексагональная сетка), структура сетки (чем мельче

дисперсность сеточной матрицы, тем более точным будет результат, однако потребует большого количества времени на проведение симуляции.

Чтобы провести симуляцию пространственной рамной конструкции электрического прогулочного шаттла как в реальной жизни, а именно какие нагрузки могли бы быть при прохождении различных маневров на электрическом шаттле, необходимо задать точки фиксации рамной конструкции в местах крепления элементов подвески шаттла, потому что именно через эти точки пространственная рама начинает перенимать на себя силу, получаемую из точек пятна контакта шин с дорожным покрытием [8]. На рисунке 11 можно увидеть фиксацию рамной конструкции в точках крепления элементов подвески шаттла.

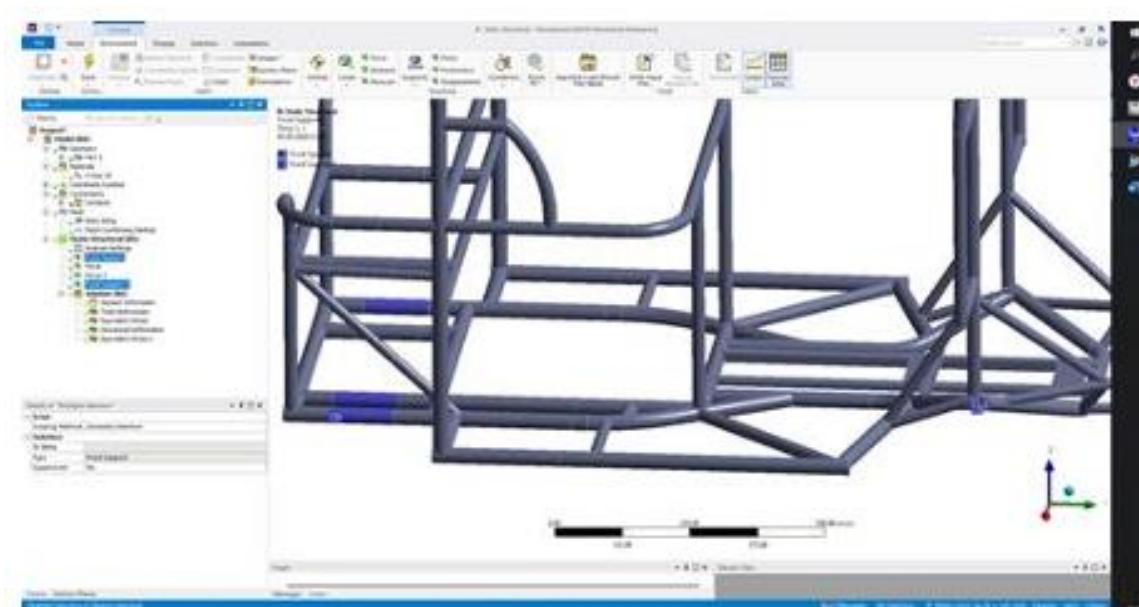


Рисунок 11 – Произведение фиксации рамной конструкции в местах крепления элементов подвески шаттла

Для проведения следующих действий в данном программном обеспечении необходимо рассчитать ветровую нагрузку, которая будет оказана на данную раму и определить приложенные усилия в месте, где будет сидеть, находится пассажир данного электрокара [13]. При расчётах ветровой

нагрузки будет использоваться материалы Савицкий Г. А. «Ветровая нагрузка на сооружения». По формуле 1 проведём расчёт ветровой нагрузки на представленную конструкции беспилотного электрокара на солнечных элементах.

$$W = 0,61 \times V \times V \times V \times P \quad (1)$$

где W – давление, Па;

V – скорость, м/с;

P – плотность воздуха, кг/м³.

При скорости движения прогулочного шаттла в 15 км/ч лобовое давление при условии, что скорость ветра, дующего в противоположное направление движению шаттла около 2 м/с, равняется 18Па.

Таким образом усилие получаемое от ветряного сопротивления на лобовую панель, выполненную из пластиковой пластины будет равняться 12 Н, и так как пластиковая панель закреплена на пространственной рамной конструкции на четырех точках, а именно на двух точках на правой передней стойке и на двух точках на левой передней стойке, то нагрузку стоит распределить равномерно на обе передние стойки рамы. На рисунке 12 можно увидеть, как нагрузка была применена к двум передним стойкам.

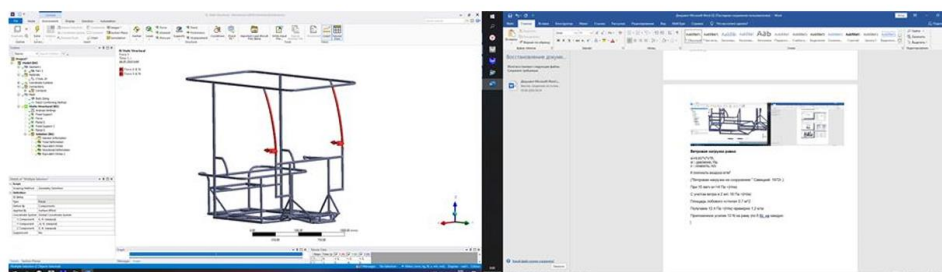


Рисунок 12 – симуляция сил лобового сопротивления на передних стойках рамы

Кроме того, необходимо также имитировать вертикальную нагрузку на каркас пространственной рамной конструкции, получаемой от водителя и пассажира. Для этого необходимо применить распределенную вертикальную силу в зону расположения сиденья в размере 180 килограммов, что в переводе на силу получается примерно 1800 Ньютон [15]. На рисунке 13 можно увидеть, как сила прикладывалась в зону расположения водителя и пассажира.

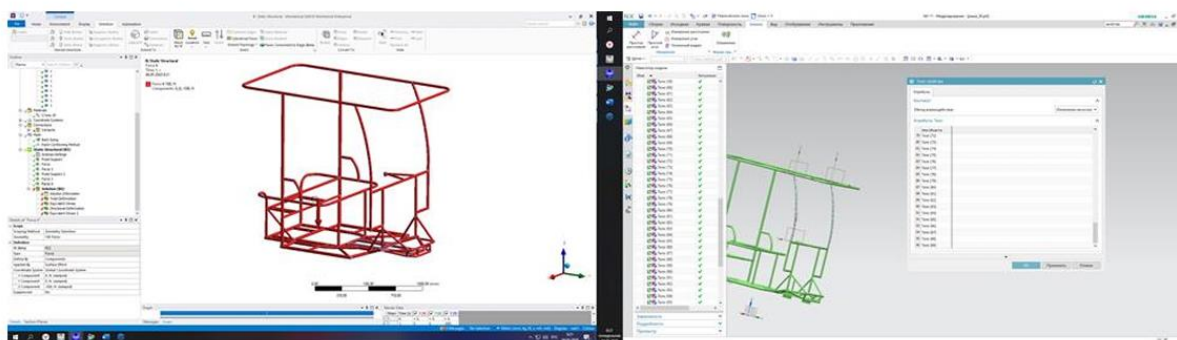


Рисунок 13 – Приложение вертикальной нагрузки в зоне расположения водителя и пассажира

Самым последним этапом расчетной части пространственной рамной конструкции электрического прогулочного шаттла, это получение результатов деформации рамы по всем трем осям X, Y, Z, что позволит понять, насколько сильно деформируется рамная конструкция под повседневными нагрузками, присущими гольф-кару. Более того, это позволит понять есть ли риски получения перманентной деформации, которая не будет нивелирована упругостью рамной конструкции. В случае если при типичных нагрузках возникает перманентная деформация, то рамная конструкция является не пригодной для использования в качестве шасси для настоящего электрического гольф-кара, иначе это может подвергать опасности людей, сидящих внутри шаттла, а также окружающих людей, которые могли бы пострадать из-за выхода из строя шасси электрического прогулочного шаттла.

В таком случае необходимо заново проходить все этапы моделирования до тех пор, пока результаты симуляции не покажут удовлетворительные результаты. На рисунке 14 можно увидеть результат симуляции пространственной рамной конструкции.

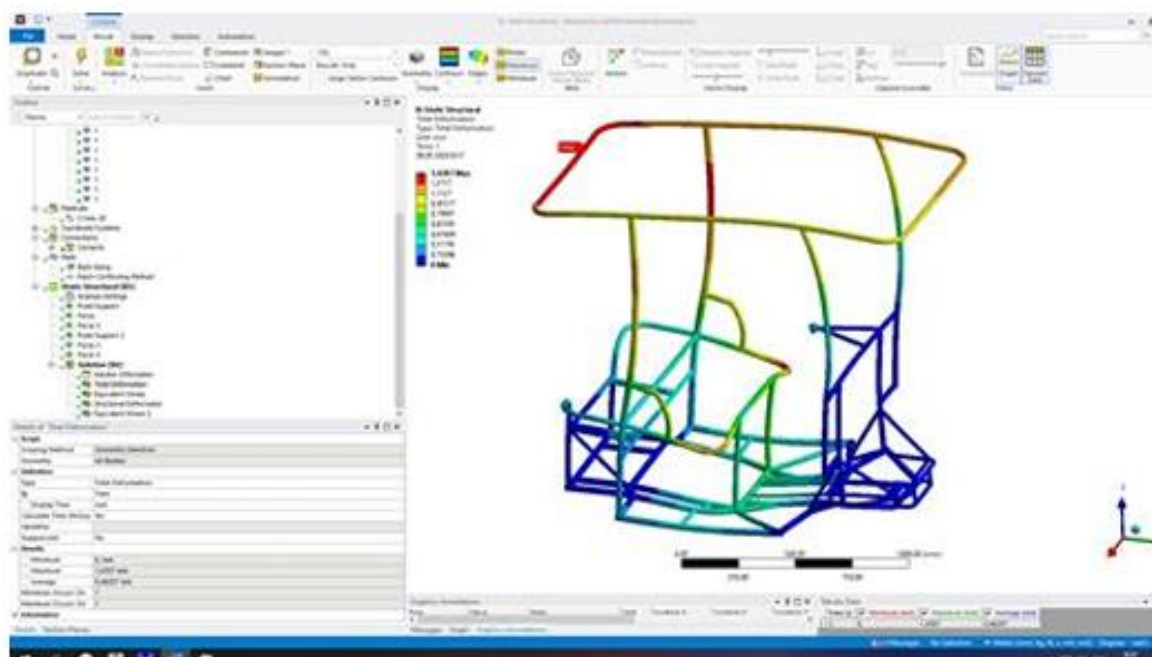


Рисунок 14 – Результат симуляции пространственной рамной конструкции на деформацию

Можно увидеть, что нижняя часть рамной конструкции практически не испытывает деформаций, так как изготовлена по прочному шаблону гоночного картинга. Далее можно увидеть увеличенную деформацию в зоне размещения водителя и пассажира, за счет того, что под креслом размещены силовой агрегат и тяжелая силовая батарея, а на кресле два человека общим весом 180 килограммов. Однако деформация в пассажирской зоне достаточно незначительная и не несет никакой опасности. Также можно рассмотреть крепление рулевой колонки и рулевого механизма, которое так же, как и нижняя платформа практически не имеет деформации, исходя из чего можно сделать вывод, что данный шаттл будет достаточно маневренным и

комфортным при проведении каких-либо маневров. Самыми же нагруженными и деформированными частями рамной конструкции являются две передних стойки, две задних стойки, а также крыша, в задней точке которой находится наиболее напряженная точка [21]. Однако можно заметить, что напряжения практически в два раза меньше предела текучести материала, из которого изготовлена пространственная рамная конструкция электрического прогулочного шаттла. Из проведенной симуляции можно сделать вывод, что данное шасси достаточно прочное и пригодно для использования на электрическом транспорте [25].

3.2 Расчет тягово-динамический для электрического прогулочного шаттла

Исходные данные для расчета тягово-динамических характеристик электрического прогулочного шаттла можно увидеть в таблице 5. Расчёт был проведён, при использовании методики из пособия.

Электрический прогулочный шаттл является среднемоторным и заднеприводным, при этом распределение веса по осям в соотношении: 45% на передней оси и 55% – на задней оси [6].

Коэффициент обтекаемости можно рассчитать по формуле 1:

$$k = \frac{Cx \times p}{2} \quad (1)$$

где p – плотность воздуха, кг/м³

Далее рассчитывается лобовая площадь за счет габаритных размеров электрического мотоцикла, а рассчитать ее можно по формуле 2

$$S = 0,8 \times H \times B \quad (2)$$

где H – высота, мм;

B – ширина, мм.

Кроме того, необходимо рассчитать внешнюю скоростную характеристику двигателя (ВСХ), которая может быть рассчитана по формуле номер 3

$$S = N_{\max} \times \left[\frac{we}{wN} + \left(\frac{we}{wN} \right)^2 - \left(\frac{we}{wN} \right)^3 \right] \quad (3)$$

где we – значение угловой скорости вала, рад/с;

wN – угловая скорость вала при максимальной мощности, рад/с.

На рисунке 15 можно увидеть график внешней скоростной характеристики двигателя, а в таблице 6 можно увидеть данные для его построения.

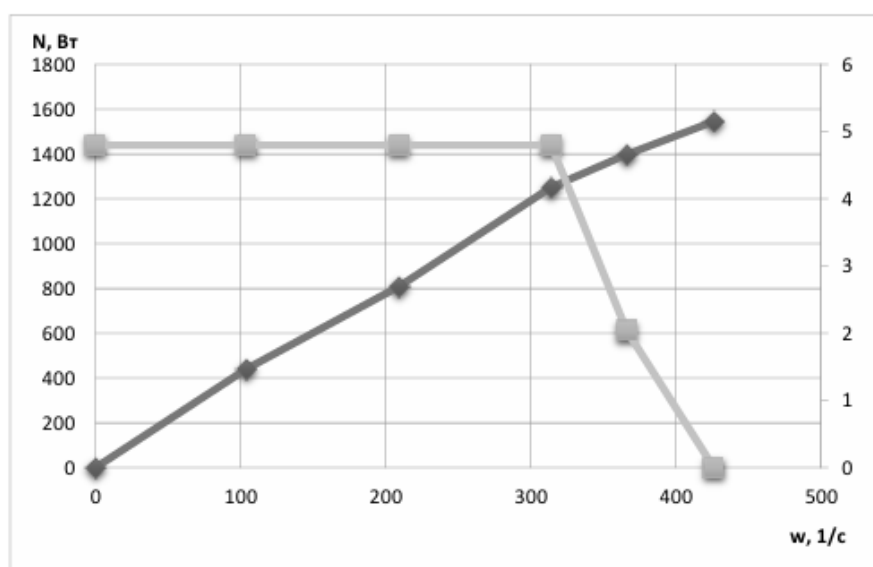


Рисунок 15 – График ВСХ электрического двигателя шаттла

Таблица 6 – Параметры электрического двигателя электрического прогулочного шаттла

ne, об/мин	We, рад/с	Ne, Вт	Me, Нм
1000	104	441	4.8
2000	209	809	4.8
3000	314	1251	4.8
3500	366	1398	2.04
4000	426	1545	0

«Передаточное число U_0 определяется, исходя из заданного значения максимальной скорости автомобиля и передачи, на которой мы хотим достигнуть эту скорость. Для того чтобы использовать транспортные средства в городе, в комфортных условиях передвижения, необходимо 3 скорости. В мотоцикле на электрической тяге отсутствует коробка переключения передач, потому исходя из этого подбираем главную передачу позволяющую достигнуть хороших показателей на разных покрытиях дороги» [12].

Расчет передаточного числа можно произвести при помощи формулы 4.

$$U_0 = \frac{r_k \times w_{\max}}{U_4 \times v_{\max} \times U_0} \quad (4)$$

Кроме того, необходимо рассчитать силовой баланс, который может быть рассчитан по формуле номер 5.

$$F_T = F_d + F_v + F_i \quad (5)$$

где F_T – сила тяги ведущего колес, Н;

F_d – сила сопротивления от дороги, Н;

F_v – сила сопротивления воздуха, Н;

$F_{\text{и}}$ – сила сопротивления разгону, Н;

«Пользуемся выбранными при расчете ВСХ значениями ω_e , приводя в соответствие с ними скорости электрического мотоцикла» [22].

Результаты расчетов необходимо занести в таблицу 7

Таблица 7 – Данные расчета

ω_e		104	209	314	366	426
M_e		4,8	4,8	4,8	2,04	0
1 передача	V	1,3	2,51	4	4,32	4,81
	F_t	432	432	432	184	0
	f	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	F_b	1,016	4,15	9,122	12,544	17,74
	F_d	24,776	24,776	24,776	24,776	24,776

На базе расчета данных из таблицы 7 был построен график тягового баланса электрического прогулочного шаттла.

График тягового баланса можно увидеть на рисунке 16.

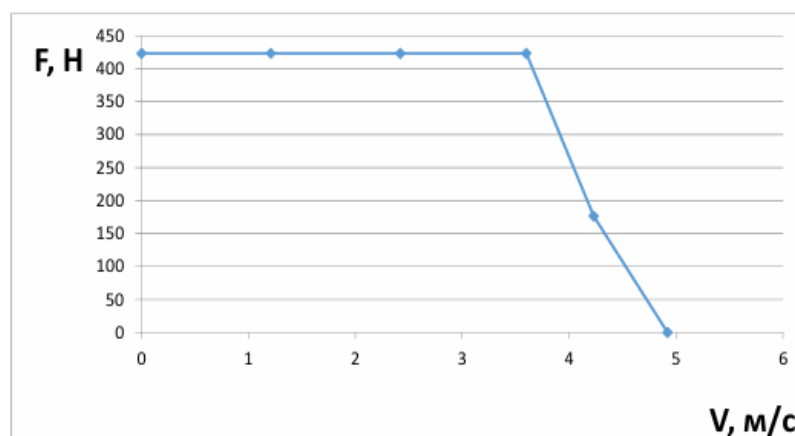


Рисунок 16 – Тяговый баланс электрического прогулочного шаттла

Для того чтобы рассчитать динамическую характеристику электрического прогулочного шаттла, необходимо использовать формулу под номером 6

$$D = \frac{F - Fb}{Ga} \quad (6)$$

По формуле номер 6 и по данным, которые были получены при расчете силового баланса, можно рассчитать и построить график динамической характеристики электрического прогулочного шаттла.

Данные расчета необходимо занести в таблицу 8, а график, полученный по результатам расчета, можно увидеть на рисунке 17.

Таблица 8 – данные расчета динамической характеристики

V	1,3	2,51	4	4,32	4,81
D	0,152	0,151	0,148	0,058	0

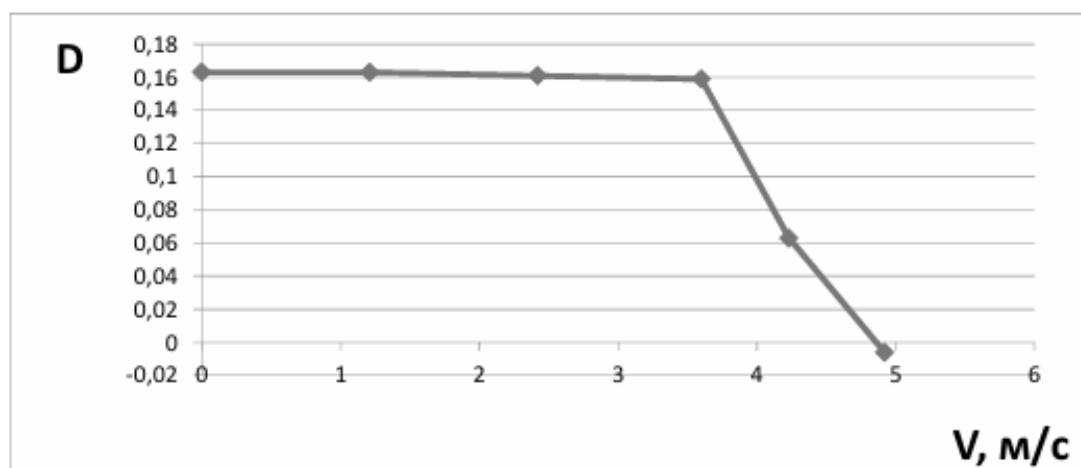


Рисунок 17 – Динамическая характеристика электрического прогулочного шаттла

Для получения трафика мощностного баланса электрического прогулочного шаттла необходимо составить уравнение, состоящее из действительной тяговой мощности и мощностных потерь, возникающих от внешних факторов [18].

Уравнение мощностного баланса электрического прогулочного шаттла можно увидеть в формуле 7

$$N_t = N_e - N_{tr} = N_f + N_n + N_d \quad (7)$$

где N_t – тяговая мощность, которая приходит на ведущие колеса электрического прогулочного шаттла, Вт;

N_{tr} – Мощность, которую электрический прогулочный шаттл теряет в элементах трансмиссии, Вт;

N_f – Мощность, которую электрический прогулочный шаттл затрачивает на преодоление сил сопротивления качению, Вт;

N_n – Мощность, которую электрический прогулочный шаттл затрачивает на преодоление сил сопротивления подъему, Вт;

N_b – Мощность, которую электрический прогулочный шаттл затрачивает на преодоление сил сопротивления воздуха;

N_d – Мощность, которую электрический прогулочный шаттл затрачивает на преодоление сил инерции гольф-кара, Вт.

Для интервалов по угловой скорости основного вала электромотора, которые были выбраны ранее, а также скорости электрического прогулочного шаттла, необходимо рассчитать значения мощностного баланса гольф-кара. Рассчитанные значения мощностного баланса можно увидеть в таблице 9. График мощностного баланса можно увидеть на рисунке 18.

Таблица 9 – Рассчитанные значения мощностного баланса

Ne, рад/с		1000	2000	3000	3500
Nt, Вт		432	812	1251	1296
характеристики	V, м/с	1,3	2,51	4	4,32
	Nf, Вт	33	61	92	104
	Nb, Вт	1301	9756	32143	53723
	Nd, кВт	0,6	0,7	0,8	1

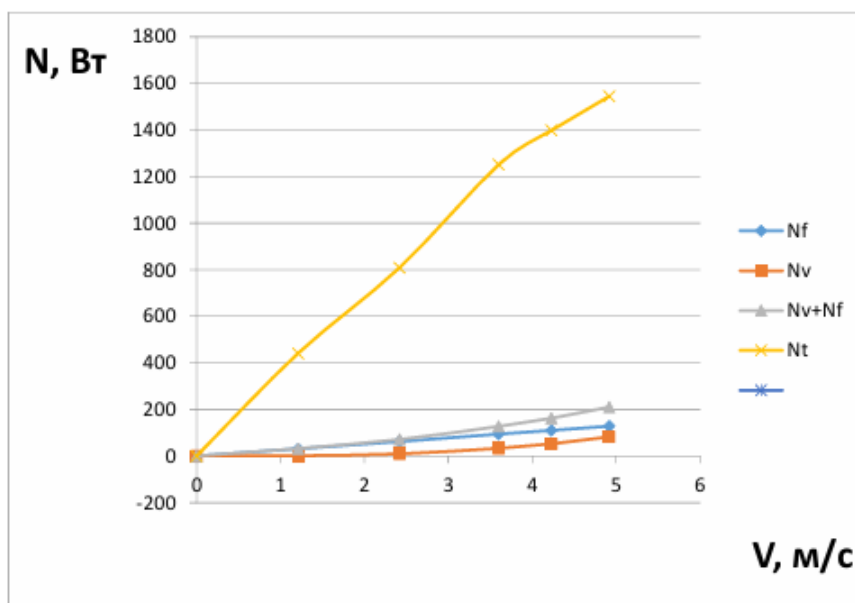


Рисунок 18 – Рассчитанный мощностной баланс электрического прогулочного шаттла.

Выводы по разделу

В рамках данного раздела был проведен ряд валидационных работ, а именно был проведен тягово-динамический расчет, а также была проведена валидация шасси электрического прогулочного шаттла на предмет прочности, надежности и деформационного скручивания.

4 Безопасность и экологичность технического объекта

«Изготовление электрического прогулочного шаттла связано с опасностью для изготовителя, поэтому весь процесс должен быть заключен в регламенте по охране труда, которое обеспечивает безопасность рабочим при изготовлении деталей. Разработка документации ведется с упором на опыт иностранных предприятий в области машиностроения, а также на законы, действующие на территории Российской Федерации. На обозначены все основные требования и все необходимые данные для поддержания безопасности, и каждый работник проходит инструктаж, регулярно проходит семинары по повышению квалификации, это способствует созданию безопасных условий труда на производстве.» [2]

Для производства электрического прогулочного шаттла необходимы слесарные, сварочные и сборочные работы. ОВПФ слесарных работ указаны в таблице 10.

Таблица 10 – ОВПФ слесарных работ

Направление работы	Сущность работы	Список необходимых инструментов	ОВПФ
1	2	3	4
Слесарные работы	– резка металла, – сверление, – резьбонарезание	Углошлифовальная машина, струбцина, керн, шуруповерт, молоток, метчик и метчикодержатель	Физические: механизмы, изделия, вращающиеся части, острые кромки, повышенная запыленность и загазованность

Для данного рабочего действуют требования по технике безопасности:

- применять в процессе своей работы оборудование, инструменты и средства малой механизации по назначению, в соответствии с инструкциями завода – изготовителя,
- выполнять только порученную непосредственным руководителем работу и не передавать ее другим без разрешения непосредственного

руководителя,

- содержать рабочее место, в том числе и проходы к рабочим местам в чистоте и порядке, при обнаружении захламления рабочей зоны – необходимо обеспечить ее уборку
- 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.

ОВПФ сварочных работ указаны в таблице 11.

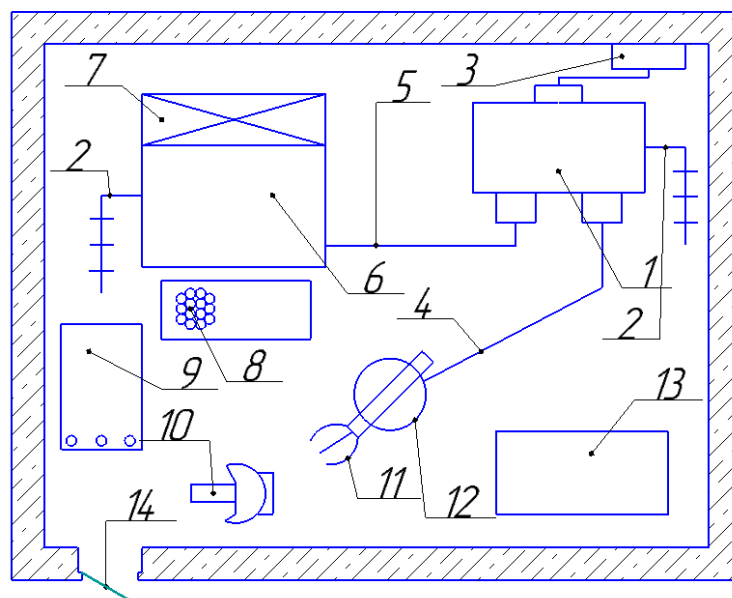
Таблица 11 – ОВПФ сварочных работ

Направление работы	Сущность работы	Список необходимых инструментов	ОВПФ
1	2	3	4
Сварочные работы	Сварка деталей	Сварочная оснастка, источник сварочного тока, пинцы, ручной инструмент.	Физические: механизмы, изделия, острые кромки, повышенная запыленность и загазованность, высокая температура, ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, излишняя яркость сварочной дуги, опасность ожогов, возможность взрыва баллонов и систем, электромагнитные поля.
			Химические: –аргон, вольфрам, хлориды железа, натрия и калия.

Для данного рабочего действуют требования по технике безопасности:

- необходимо подготовиться и произвести уборку перед сварочными операциями,
- проверка работоспособности и настройка рабочего оборудования происходит перед началом работы,
- 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.



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.

Рисунок 19 – Рабочие место для проведения сварочных работ

«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.» [16]

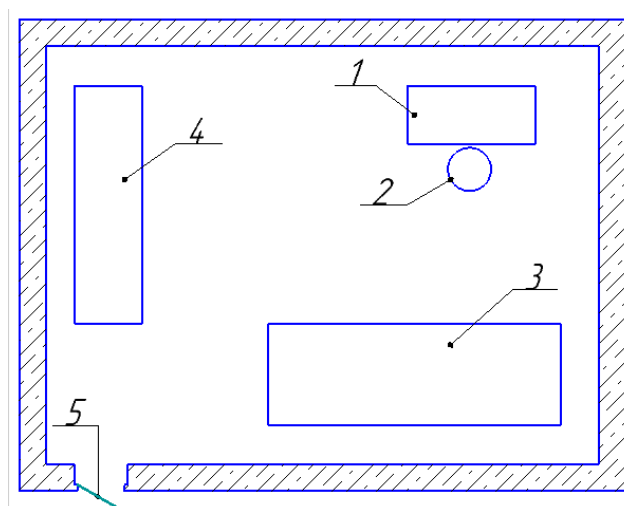
ОВПФ сборочных работ указаны в таблице 12.

Таблица 12 – 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.	Физические: – 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



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

Рисунок 20 – Рабочее место для сборочных работ

К основным задачам сборщика относятся:

- сборка деталей или узлов конструкции в кондукторе по чертежу либомодели,
- проверка точности установки деталей с опорой на чертежи при помощи измерительных инструментов,
- указание примечаний для дальнейшей работы с данной деталью.

Выводы по разделу

Реализация на практике всего комплекса мероприятий и мер, разработанных для данных ОВПФ, позволит практически полностью обезопасить работников во время выполнения технологического процесса.

Заключение

В выпускной квалификационной работе представлена разработка электрического прогулочного шаттла, предназначенного для эксплуатации в зонах отдыха, рекреационных зонах, для прогулочных и туристических маршрутов. В работе проведен анализ представленных на отечественном и зарубежном рынках электрических гольф-каров и сравнительная оценка их основных параметров. Составлена циклограмма, на базе которой можно визуально оценить уровень потребительских свойств, предлагаемый конкурирующими организациями.

Разработана карта требований, по которой был спроектирован электрический прогулочный шаттл с электрической силовой установкой. В рамках работы была разработана полноценная 3Д модель прогулочного шаттла в виде сборки, составленной из спроектированных и оцифрованных деталей.

В рамках работы также были проведены валидационные работы, а именно был проведен тягово-динамический расчет, позволяющий подобрать характеристики гольф-кара, а также была проведена валидация шасси электрического прогулочного шаттла на предмет прочности, надежности и деформационного скручивания. Симуляции были пройдены успешно, что говорит о качестве разработанной конструкции

В результате выполненной работы представлен полноценный проект электрического прогулочного шаттла, который соответствует всем требованиям безопасности пилота и пассажиров, а также соответствует всем требованиям комфортабельного передвижения.

Список используемых источников

1. ГОСТ 2.102–2013 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Виды и комплектность конструкторских документов: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: внесен Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) / Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2013 г. N 1627-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 2.102-2013 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июня 2014 г. – Москва: Стандартинформ - 2014 – Текст: непосредственный.
2. Горина Л. Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта» учебно-методическое пособие для студентов направлений подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство») [Текст] / Л. Н. Горина, М.И. Фесина. – Тольятти: ТГУ, 2016. – 51 с.
3. Егоров, А. Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста: учебно-методическое пособие / А. Г. Егоров, В. Г. Виткалов, Г. Н. Уполовникова, И. А. Живоглядова. – Тольятти, 2012, - 135 с.
4. Епишкин, В.Е. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебно-методическое пособие для студентов направлений подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство») [Текст] / В.Е. Епишкин, И.В. Турбин. - Тольятти: ТГУ, 2016. – 130 с.
5. Журнал Forbes [Электронный ресурс]: новости бизнеса - URL: <http://www.forbes.ru/karera-i-svoy-biznes/347503-bespilotnoe-budushchee-zachem-biznesu-novyy-vid-transporta> (дата обращения 02.04.2024). – Текст: электронный.

6. Ивлиев, В. А. Курсовое проектирование по дисциплине «Технология технического обслуживания и ремонта автомобилей»/ В.И. Ивлиев–Т.: ТГУ, 2015. – 30с.
7. КОМПАС-3D LT V 12: система трехмерного моделирования [для домашнего моделирования и учебных целей] / разработчик «АСКОН». – Москва: 1С, 2017. – 1 CD-ROM. – (1С: Электронная дистрибуция). – Загл. с титул. экрана. – Электронная программа: электронная.
8. Куклин, Н. Г. Детали машин: учеб. для техникумов [Текст] / Н. Г. Куклин, Г. С. Куклина, В. К. Житков. - 5-е изд., перераб. и доп.; Гриф МО. – Москва: Илекса, 1999. – 391 с.: ил
9. Лебедев, В. А. Технология машиностроения: Проектирование технологий изготовления изделий: учеб.пособие для вузов / В. А. Лебедев, М. А. Тамаркин, Д. П. Гепта. - Гриф УМО. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. – 361с.
10. Малкин В. С. Основы проектирования технологического оборудования предприятий автомобильного транспорта: электронное учебно-методическое пособие / В. С. Малкин. - Тольятти: Изд-во ТГУ, 2019 г.
11. Малкин В. С. Устройство и эксплуатация технологического оборудования предприятий автомобильного транспорта: электронное учебно-методическое пособие / В. С. Малкин. - Тольятти: Изд-во ТГУ, 2016 г.
12. Осепчугов В.В., Фрумкин А. К. Автомобиль: анализ конструкций, элементы расчета: учебник для студентов вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство». – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
13. Основы технологии машиностроения: учебник / А. М. Антимонов. - Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017–176 с. ISBN 978-5-7996 2132–2
14. Черепанов, Л.А. Расчет тяговой динамики и топливной экономичности автомобиля /Л. А. Черепанов; Г.К. Мирозоев. – Текстовое издание. – Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2016. – 60с.

15. Чумаков, Л. Л. Раздел выпускной квалификационной работы «Экономическая эффективность проекта». Уч.-методическое пособие с / Л. Л. Чумаков. – Тольятти: изд-во ТГУ, 2016. – 37 с. 20
16. Щетина, В.А. Электромобиль. Техника и экономика [Текст] - В.А. Щетина, Ю.Я. Морговский, Москва: Книжный мир, 2010–310 с.
17. Экологические свойства автомобильных эксплуатационных материалов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. И. Грушевский [и др.]; Сибирский федеральный университет. – Красноярск: СФУ, 2015. – 220 с.: ил. – ISBN 978-5-7638-3311-9
18. Электрический электрокар EWAY [Электронный ресурс] /. – Электрон. журн. –URL: <https://www.xn--80afvdopz7d.xn--p1ai/hm2> (дата обращения: 17.12.2019)
19. Электрокар Eagle EG2028K [Электронный ресурс] /. – Электрон. журн. – URL: https://www.eagleev.com/index.php?route=product/product&path=17_24&product_id=147 (дата обращения: 17.10.2024)
20. Электрокар Garia Golf [Электронный ресурс] /. – Электрон. журн. – URL: <https://ru.ecomotorsgroup.com/electric-vehicles/nizkoskorostniejelektromobili/golfkari/via> (дата обращения: 11.08.2024)
21. Battery Electric Vehicles: Perspectives and Challenges [Электронный ресурс] / Nicola Armaroli, Filippo Monti, Andrea Barbieri. - Электрон. журн. – Florence: Firenze University Press, 2019. – URL: <https://riviste.fupress.net/index.php/subs/article/view/576> (дата обращения 03.03.2024).
22. Experimental study of the use of electric car powered with stationary solar and electrochemical batteries in Northern Poland [Электронный ресурс] / Karkosiński Dariusz, Pacholczyk Michał, Sienkiewicz Łukasz. – Электрон. журн. - France: MDPI AG, 2018. – URL: <https://doaj.org/article/0641a2aa3fe44cbea1add84c7d899d01> (дата обращения 13.03.2024)

23. Modelling the Effect of Driving Events on Electrical Vehicle Energy Consumption Using Inertial Sensors in Smartphones [Электронный ресурс] / David Jiménez, Sara Hernández, Jesús Fraile-Ardanuy, и др. - Электрон. журн. Switzerland: MDPI AG, 2018. – URL: <https://doaj.org/article/10cdd6df9c5141a3b722dc0461ebf339> (дата обращения 16.04.2024)
24. Regulations Hinder Development of Driverless Cars [Электронный ресурс]: новости The New York Times – URL: [NYTimes.com](https://www.nytimes.com) (дата обращения 14.04.2024)
25. Graham Bell A. Performance Tuning in Theory and Practice Four Strokes [Текст] / A. Graham Bell. Haynes Publishing Group, 1981. –252 p.