

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)

23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили и тракторы

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)

на тему «Разработка туристического сервисного транспортного средства с электрической силовой установкой»

Обучающийся

М.О. Чагаев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

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

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

Тольятти 2025

Аннотация

Разработка туристического сервисного транспортного средства с электрической силовой установкой. Выпускная квалификационная работа. Тольяттинский государственный университет, 2025.

Произведены технические расчёты и разработан прокатный прогулочный электромобиль.

В основной части пояснительной записки проводится анализ известных аналогов по их основным характеристикам, рассмотрены и проанализированы их преимущества и недостатки.

Проведен подробный обзор основных теоретических аспектов, влияющих при проектировании электромобиля. Разработано техническое задание на разработку прокатного карта, определены основные параметры.

Проведена валидация рамы прокатного карта при помощи КАЕ анализа. Пошагово описан объем всех работ, приведены результаты прочностного анализа. Кроме того, проведен тягово-динамический расчет.

В результате работы представлен полный проект прогулочного электромобиля, отвечающий всем требованиям безопасности для пилота и пассажиров, а также обеспечивающий комфортное передвижение в условиях эксплуатации.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки в размере 59 страниц, содержащей 14 таблиц, 23 рисунков и графической части, содержащей 10 листов.

Abstract

Development of a tourist service vehicle with an electric power plant. Graduation qualification work. Togliatti State University, 2025.

Technical calculations have been made, and a rental walking electric vehicle has been developed.

The main part of the explanatory note analyzes known analogues by their main characteristics, considers and analyzes their advantages and disadvantages.

A detailed review of the main theoretical aspects that influence the design of an electric vehicle has been carried out. A technical specification for the development of a rental kart has been developed, the main parameters have been determined.

The frame of the rental kart has been validated using KAE analysis. The scope of all work is described step by step, the results of the strength analysis are given. In addition, traction dynamic calculation has been carried out.

As a result of the work, a complete project of a walking electric shuttle is presented, which meets all safety requirements for the pilot and passengers and also provides comfortable movement under operating conditions. The final qualifying work consists of an explanatory note of 59 pages, containing 14 tables, 23 figures and a graphic section containing 10 sheets.

Содержание

Введение.....	5
1 Проведение анализа аналогичных моделей	7
1.1 Электрический гольфкар EWAY CH2	8
1.2 Электрокар EWAY HM4-1	9
1.3 Электрокар GreenCamel A2500.....	11
1.4 Электрокар Retro Rolls Roys	13
1.5 Электрический автомобиль.....	15
1.6 Проведение анализа аналогичных конструкций.....	17
2 Проектирование электромобиля.....	20
2.1 Разработка технического задания для электромобиля.....	20
2.2 Компоновка электромобиля.....	22
2.3 Требования по эргономике к электрическому гольф-кару	23
3 Проведение расчетов	27
3.1 Проектирование и прочностной расчет рамной конструкции электрического гольф-кара	27
3.2 Тягово-динамический расчет электромобиля	43
4 Безопасность и экологичность технического объекта	50
Заключение	55
Список используемых источников.....	56

Введение

Актуальность разработки электрического гольф-кара в современном мире трудно переоценить. В условиях глобальных изменений климата и растущей обеспокоенности по поводу экологии, переход на экологически чистые транспортные средства становится не просто желательным, а необходимым. Электрические гольф-кары представляют собой идеальное решение для тех, кто ценит комфорт и удобство передвижения на закрытых территориях, таких как гольф-поля, курорты и жилые комплексы.

С каждым годом увеличивается количество людей, выбирающих активный образ жизни и увлекающихся гольфом. Это создает спрос на удобные и эффективные средства передвижения по полям. Электрические гольф-кары не только обеспечивают бесшумное и плавное движение, но и способствуют снижению уровня загрязнения воздуха. В отличие от традиционных бензиновых моделей, они не выбрасывают вредных веществ в атмосферу, что особенно важно для поддержания чистоты окружающей среды.

Кроме того, электрические гольф-кары предлагают экономическую выгоду. Они требуют значительно меньших затрат на обслуживание и эксплуатацию по сравнению с их бензиновыми аналогами. Зарядка аккумуляторов обходится дешевле, чем покупка топлива, а простота конструкции снижает расходы на техническое обслуживание. Это делает их привлекательными как для индивидуальных пользователей, так и для владельцев гольф-клубов и курортов.

Не стоит забывать и о технологическом прогрессе. Современные электрические гольф-кары оснащаются инновационными системами управления, навигации и безопасности, что делает их использование еще более комфортным и безопасным. Возможность интеграции с мобильными приложениями открывает новые горизонты для пользователей: от планирования маршрутов до мониторинга состояния аккумулятора.

Таким образом, разработка электрического гольф-кара отвечает не только требованиям времени, но и ожиданиям потребителей. Это шаг к более устойчивому будущему, где комфортное передвижение не будет противоречить заботе о природе. В условиях растущей популярности экологически чистых технологий электрические гольф-кары становятся не просто трендом, а необходимостью для современного общества.

Для того, чтобы достигнуть поставленных целей, были определены задачи:

- проанализировать аналогичные конструкции электрических гольф-каров, для определения недостатков конструкций;
- провести расчет тягово-динамический;
- разработать техническое задание на разработку и компоновку электрического гольф-кара;
- провести прочностной анализ пространственной рамной конструкции электрического гольф-кара.

1 Проведение анализа аналогичных моделей

«При разработке электротранспорта крайне важно провести исследование конкурентов и применяемых ими технологий, чтобы создать продукт, способный успешно конкурировать на рынке. Для этого выбирается группа основных соперников, обладающих аналогичными техническими характеристиками, что и предполагаемый продукт. На основе анализа будет сформирована сводная таблица и составлена циклограмма, которая продемонстрирует, как новый электрический гольф-кар будет выглядеть в сравнении с существующими моделями. Данное исследование предоставляет возможность извлечь полезные технологии и эффективные инженерные решения от других производителей, что позволит улучшить качество и функциональность разрабатываемого изделия.

В процессе изучения российского и международного рынка были выявлены ключевые конкуренты для нашего электрического прогулочного шаттла:

- электрический гольф-кар EWAY CH2;
- электрический гольф-кар EWAY HM4-1;
- электрический гольф-кар GreenCamel A2500;
- электрический гольф-кар Retro Rolls Roys;
- электрический шаттл.

Для того чтобы осуществить объективный и, что немаловажно, качественный анализ рынка, были установлены определенные критерии и технические характеристики электромобилей, по которым будет оцениваться уровень их качества и конкурентоспособность среди упомянутых ранее соперников:

- максимально допустимая масса, кг;
- ток аккумулятора, А;
- мощность электродвигателя, кВт;
- верхняя граница скорости, км/ч;

- автономность, час;
- стоимость, руб.

Теперь рассмотрим указанные модели электромобилей и проведем сравнительный анализ, используя методику «оценки качества технологического оборудования» [12].

1.1 Электрический гольфкар EWAY CH2

Гольф-кар EWAY CH2 представляет собой современное электрическое транспортное средство, разработанное для использования на гольф-полях, а также для различных развлекательных мероприятий и коммерческих нужд. EWAY CH2 имеет компактные размеры и легкий вес, что делает его маневренным и удобным для передвижения по различным типам маршрутов, включая ухоженные газоны и более труднодоступные участки.

Его стильный и современный дизайн сочетает в себе практичность и эстетическую привлекательность. Гольф-кар работает на электрической платформе, что обеспечивает низкий уровень шума и нулевые выбросы. Он, как правило, оснащен литий-ионным аккумулятором, который обеспечивает достаточную автономность на одном заряде, что является важным фактором для использования на гольф-полях.

В зависимости от модели, доступны различные дополнительные опции, такие как фары, поворотники, звукопоглощающие системы и другие элементы для улучшения удобства и безопасности. EWAY CH2 находит свое применение не только на гольф-полях, но и в парках, туристических зонах, курортах, а также в частных владениях для удобного перемещения по территории. Таким образом, EWAY CH2 – это многофункциональный и экологически чистый гольф-кар, который сочетает в себе удобство, практичность и современный дизайн. На рисунке 1 можно увидеть EWAY CH2 а в таблице 1 можно увидеть характеристики.



Рисунок 1 – Электрический Гольф-кар EWAY CH2

Таблица 1 – Характеристики электрического гольф-кара EWAY CH2

Максимально допустимая масса, кг	Ток аккумулятора, А	Мощность электродвигателя, кВт	Верхняя граница скорости, км/ч	Автономность, час	Стоимость, тыс. руб.
200	290	3.5	22	7	600

Этот электрический гольф-кар является очень доступной и вполне интересной с точки зрения дизайна моделью электромобиля, он демонстрирует весьма достойные характеристики за свою цену.

1.2 Электрокар EWAY HM4-1

В эру, когда устойчивое развитие и забота об экологии становятся приоритетами, электрические автомобили становятся всё более популярными и востребованными. Одним из ярких представителей этой новой волны является электрокар EWAY NM4-1, который обещает превратить каждую поездку в захватывающее и комфортное приключение.

Визуально EWAY NM4-1 притягивает взгляд своим современным и стильным дизайном. Его аэродинамические линии и гладкие формы создают эффект динамики, даже когда автомобиль стоит на месте. Эстетика этого электрокара отражает не только стремление к совершенству, но и готовность идти в ногу со временем, объединяя инновационные технологии с изысканным стилем. На рисунке 2 можно увидеть EWAY NM4-1, а в таблице 2 можно увидеть характеристики.



Рисунок 2 – Электрический гольф-кар EWAY NM4-1

Таблица 2 – Технические характеристики EWAY NM4-1

Максимальная допустимая масса, кг	Ток аккумулятора, А	Мощность электродвигателя, кВт	Верхняя граница скорости, км/ч	Автономность, час	Стоимость, тыс. руб.
225	250	4.5	20	8	1400

Под капотом EWAY NM4-1 скрывается мощная электрическая установка, которая обеспечивает мгновенный отклик на нажатие педали акселератора. Бесшумный двигатель не только радует уши, но и позволяет наслаждаться природой во время путешествий, не нарушая тишины окружающего мира. Запас хода, который способен преодолеть электрокар на одном заряде, позволяет отправляться в дальние поездки без лишних забот о зарядной инфраструктуре.

Интерьер EWAY NM4-1 продуман до мельчайших деталей. Комфортабельные сиденья и современные мультимедийные системы создают атмосферу, в которой каждая поездка становится удовольствием. Широкое внутреннее пространство позволяет не только разместить пассажиров, но и удобно разместить багаж, что делает электрокар идеальным спутником как для поездок по городу, так и для семейных путешествий.

В итоге EWAY NM4-1 – это не просто электрокар, это символ нового времени, где мы можем наслаждаться современными технологиями, не забывая о нашей планете.

1.3 Электрокар GreenCamel A2500

В мире, где экологичность и эффективность становятся важными критериями выбора автомобиля, GreenCamel A2500 уверенно заявляет о себе

как о практичном и стильном решении для городских пользователей. Этот электромобиль сочетает в себе классический городской дизайн и современные технологии, делая акцент на экологичность без уступок в комфорте.

С первого взгляда GreenCamel A2500 заставляет обратить на себя внимание благодаря своим плавным линиям и современному облику. Компактные размеры делают его идеальным для городских условий, где маневренность и возможность припарковаться в ограниченных пространствах являются ключевыми факторами. Стильные светодиодные фары и аэродинамические элементы придают автомобилю динамичный вид, а выбор цветового оформления позволяет каждому владельцу выразить свою индивидуальность. На рисунке 3 можно увидеть GreenCamel A2500, а в таблице 3 можно увидеть характеристики.



Рисунок 3 – Модель электрокара GreenCamel A2500

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

Таблица 3 – Технические параметры GreenCamel A2500

Максимально допустимая масса, кг	Ток аккумулятора, А	Мощность электродвигателя, кВт	Верхняя граница скорости, км/ч	Автономность, час	Стоимость, тыс. руб.
350	270	5.5	38	5.5	880

Внутри A2500 ожидает настоящая гармония комфорта и функциональности. Салон оформлен с использованием качественных материалов, создающих уютную атмосферу. Эргономичные сиденья, продуманные до мельчайших деталей, обеспечивают отличную поддержку, а наличие современных мультимедийных систем с интуитивно понятным интерфейсом делает поездку более увлекательной. Все элементы управления расположены удобно, что позволяет сосредоточиться на дороге, не отвлекаясь на лишние манипуляции.

GreenCamel A2500 – это не просто еще один электромобиль на рынке. Это целая философия, основанная на комфорте, стиле и экологической ответственности. Для городских жителей, стремящихся к современным технологиям без ущерба для окружающей среды, этот компактный электрокар станет идеальным выбором.

1.4 Электрокар Retro Rolls Roys

В мире гольф-каров, где скорость и маневренность часто ставятся на первое место, Retro Rolls Roys выделяется своим уникальным дизайном и неподражаемым стилем. Этот элегантный электромобиль для игрового поля

аккуратно сочетает в себе очарование классического старинного автомобиля с современными технологиями, создавая неповторимую атмосферу на каждом гольф-курсе.

Retro Rolls Royce привлекает внимание своим великолепным внешним видом, который отдает дань уважения культовому дизайну легендарных автомобилей Rolls Royce. Классическая решетка радиатора, обтекаемые линии и стильные фары придают ему аристократический вид, который отлично гармонирует с зелеными холмами гольф-поля. Матовые и глянцевые отделки кузова, доступные в разнообразных цветах, позволяют владельцам выбрать именно тот оттенок, который отражает их индивидуальность. На рисунке 4 можно увидеть Retro Rolls Roys, а в таблице 4 можно увидеть характеристики.



Рисунок 4 – Электрический гольф-кар Retro Rolls Roys

По этой модели электромобиля в таблице 4 можно увидеть характеристики.

Таблица 4 – Технические параметры Retro Rolls Roys

Максимальная допустимая масса, кг	Ток аккумулятора, А	Мощность электродвигателя, кВт	Верхняя граница скорости, км/ч	Автономность, час	Стоимость, тыс. руб.
310	300	7	45	5	1020

Внутри Retro Rolls Roys предлагает не только стиль, но и высочайший уровень комфорта. Просторный салон отделан высококачественными материалами, включая мягкую кожу и натуральное дерево, что создает атмосферу уюта и роскоши. Удобные сиденья обеспечивают поддержку даже во время продолжительных поездок по гольф-корту, а встроенная мультимедийная система с интуитивно понятным управлением позволяет наслаждаться любимой музыкой на ходу.

Retro Rolls Roys оборудован всем необходимым для комфортной игры в гольф. Удобный отсек для хранения клюшек и другого оборудования, а также солнечные панели для подзарядки аккумуляторов делают его идеальным компаньоном для гольфистов. Легкий и маневренный, этот гольф-кар позволяет без труда перемещаться по нейтральным полям и быстро добираться до нужной лунки.

1.5 Электрический автомобиль

В рамках данной работы был спроектирован электрический прогулочный электромобиль, который также может быть использован в роли гольф-кара. На рисунке 5 показана 3D модель разработанного электрического автомобиля. Его основные преимущества, это его грузоподъемность, достаточно хорошая мощность и автономность и все это при относительно

низкой цене. На рисунке 5 можно увидеть модель прогулочного электромобиля, а в таблице 5 можно увидеть характеристики.



Рисунок 5 – Модель прогулочного электромобиля

По этой модели электромобиля в таблице 5 можно увидеть характеристики.

Таблица 5 – Характеристики электромобиля.

Максимально допустимая масса, кг	Ток аккумулятора, А	Мощность электродвигателя, кВт	Верхняя граница скорости, км/ч	Автономность, час	Стоимость, тыс. руб.
370	290	5	40	8	400

Был спроектирован электрический гольф-кар, который выделяется на фоне конкурентов благодаря нескольким ключевым преимуществам. Во-первых, его отличает низкая стоимость, что делает его доступным выбором для гольф-клубов и любителей игры. Во-вторых, увеличенный запас хода позволяет без проблем преодолевать большие расстояния на поле, обеспечивая длительное время работы без необходимости подзарядки.

Кроме того, гольф-кар обладает хорошей грузоподъемностью, что позволяет перевозить не только игроков, но и их снаряжение, включая клюшки и другие аксессуары, с комфортом и удобством. Эти характеристики делают данный электрический гольф-кар идеальным выбором для тех, кто ценит эффективность, практичность и экономичность.

1.6 Проведение анализа аналогичных конструкций

«Для точной оценки качества технологического оборудования важно учитывать все его характеристики и формализовать процессы оценки. Если отдельные показатели качества (P_i) могут быть выражены в количественном формате, их уровень можно сопоставить с базовым значением этого показателя (P_{i0}). Когда увеличение значения отдельного показателя приводит к повышению качества, уровень этого показателя можно выразить как отношение $U_i = P_i / P_{i0}$. Если же повышение абсолютного значения ухудшает качество, то уровень следует рассчитывать как $U_i = P_{i0} / P_i$. В этом случае, независимо от характера влияния – положительного или отрицательного – рост показателя качества всегда будет вести к увеличению уровня при улучшении данного критерия.

Чтобы провести сравнительный анализ нескольких моделей гольф-каров и оценить их по различным характеристикам, необходимо составить общую таблицу для удобства сравнения. Ниже представлена таблица 6, которая включает всех упомянутых конкурентов и разрабатываемую модель. Она

позволяет наглядно увидеть, в каких аспектах новая модель превосходит другие при относительно доступной цене» [1].

Таблица 6 – Технические характеристики сравниваемых гольф-каров

Параметры	Максимально допустимая масса, кг	Ток аккумулятора, А	Мощность электродвигателя, кВт	Верхняя граница скорости, км/ч	Автономность, час	Стоимость, тыс.руб
Электрический шаттл	370	290	5	40	8	400
Yi	1	0,9	0,8	0,8	1	1
EWAY CH2	200	290	3,5	22	7	600
Yi	0,5	0,9	0,5	0,6	0,8	0,8
EWAY HM4-1	225	250	4,5	20	8	1400
Yi	0,7	0,8	0,4	0,55	1	0,3
GreenCamel A2500	350	270	5.5	38	5,5	880
Yi	0,9	0,8	0,9	0,75	0,5	0,5
Retro Rolls Roys	310	300	7	45	5	1020
Yi	0,85	1	1	1	0,4	0,35

По данным таблицы 6 и рисунка 6 можно увидеть, что оценки по показателям качества распределились таким образом:

- электромобиль EWAY CH2 – 4,1;
- электромобиль EWAY HM4-1 – 3,75;
- электромобиль GreenCamel A2500 – 4,35;
- электромобиль Retro Rolls Roys – 4,6;
- электромобиль – 5,5.

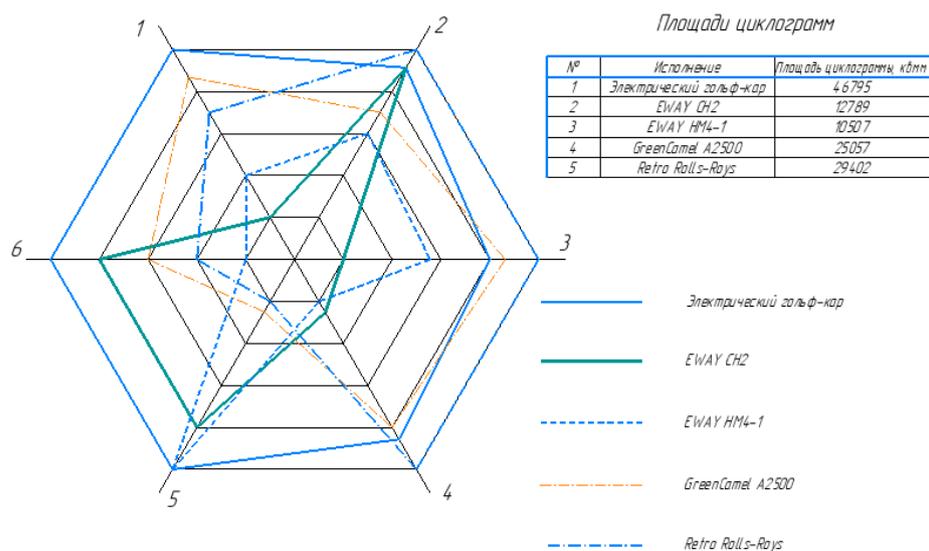


Рисунок 6 – Сравнительная циклограмма характеристик электрических гольф-каров

«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» [7].

Выводы по разделу

В данном разделе были рассмотрены и проанализированы несколько различных конструкций электрических гольф-каров. Выявлены их сильные и слабые стороны. С помощью анализа коэффициентов был проведен объективный сравнительный анализ моделей.

2 Проектирование электромобиля

2.1 Разработка технического задания для электромобиля

«Представленный электрический шаттл представляет собой электромобиль, работающий на аккумуляторе постоянного тока с возможностью постоянной подзарядки от солнечных панелей. Этот электрокар предназначен для поездок по ровным дорожным покрытиям в летнее время. Для его конструкции требуется создание несущей каркасной структуры из стальных труб, которая должна быть в состоянии выдерживать массу до 480 кг, включая вес самого электрокара. Беспилотный электромобиль на солнечной энергии планируется для использования на мероприятиях на территории ТГУ, а также для перемещения людей по паркам и набережным города Тольятти.

Важно отметить, что этот гольф-кар не является универсальным транспортным средством, поэтому необходимо соблюдать ряд рекомендаций, основанных на технических характеристиках электрического шаттла:

- для передвижения требуется равномерное асфальтированное покрытие из-за относительно низкого клиренса шаттла;

- использование возможно при температурном диапазоне от 0 до 35 градусов, что обусловлено характеристиками аккумуляторной батареи. Рекомендуется избегать эксплуатации при сильных дождях или снегопадах;

- для подзарядки электрического шаттла необходимо переменное электричество с напряжением 220В;

- для автономной подзарядки аккумулятора с помощью солнечных панелей на крыше электромобиля важно, чтобы солнечный свет напрямую попадал на панели;

- электрический шаттл можно применять не только в парках и заповедниках, но также на предприятиях для доставки сотрудников к рабочим местам» [20].

«Основная цель разработки конструкции электрического шаттла на солнечных элементах заключается в усовершенствовании дизайна подобного устройства для возможности его производства в малосерийных и индивидуальных объемах. Это достигается за счет новой компоновки каркаса из стандартных труб, соединяемых сварочным способом. Каркас также служит основой для установки солнечных панелей. В конструкции электрокара используются упрощенные элементы различных узлов и агрегатов. Повышение эффективности сборки и производства позволяет создать электрокар в небольшом сборочном цехе, оснащенный стандартным оборудованием. Основные характеристики электрического прогулочного шаттла представлены в Таблице 7» [25].

Таблица 7 – Характеристики электрического прогулочного шаттла с электрическими солнечными панелями

Параметр	Значение
Колесная формула	4x2
Места, кол-во	3
Масса m_0 , кг	120
Скорость, км/ч	40
ω_{max} , рад/с	500
Мощность, кВт	5
Крутящий момент, Нм	8
Колеса	155/60
C_x	0,8
Ширина электрокара, м	0,135
Высота электрокара, м	0,165
Сопротивление качения шин	0,08

Для того, чтобы можно было обслужить данный электрокар, был определен ряд рекомендаций:

- для того, чтобы техническое состояние электромобиля соответствовало нормальному, необходимо проводить техническое обслуживание не реже, чем раз в полгода;

- электрические системы, а также механизмы должны периодически осматриваться профессиональными мастерами;

- для того, чтобы заменить какую-либо из частей или деталей электрического гольф-кара, необходимо строго следовать инструкции;

- хранить автомобиль такого типа рекомендуется только в специализированных местах, оборудованных всеми мерами пожарной безопасности в помещении.

2.2 Компоновка электромобиля

«Вентиляция играет ключевую роль в удалении легковоспламеняющихся паров на площадках, где находится беспилотный электрокар, работающий на солнечных элементах. Она также помогает устранить водород, который выделяется во время зарядки аккумулятора.

Что касается особенностей конструкции и компоновки электрического шаттла, то он предназначен для работы в зонах отдыха и рекреационных территориях, а также для организации прогулочных и туристических маршрутов. В этом проекте разрабатывается механическая часть электрокара с возможностью дальнейшего оснащения его системой автоматического управления, что обеспечит высокий уровень удобства при использовании.

На рисунках 7 можно увидеть упрощенную сборочную схему электрического прогулочного шаттла с основными элементами, такими как: лобовое стекло 1, верхняя панель с солнечными батареями 2 и облицовка моторного отдела 3, задняя колеса 4, передние колеса 5, задняя ось в сборе 6,

передняя стойка 7, панель пола шаттла 8, рама пространственная 9. Седло с откидным механизмом 10, рулевой механизм 11, спинка кресла 12» [2].

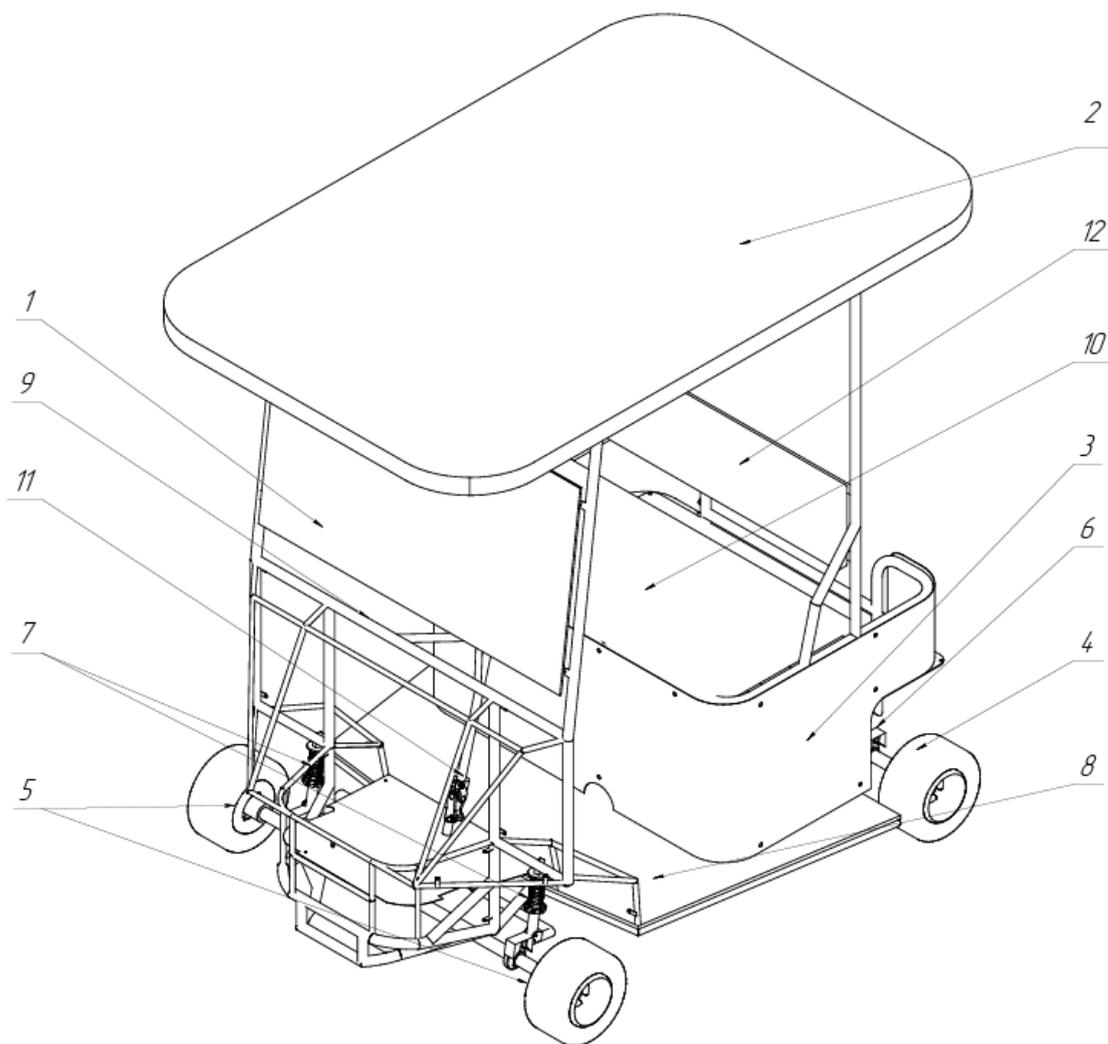


Рисунок 7 – Компоновка электромобиля (изометрия)

2.3 Требования по эргономике к электрическому гольф-кару

«Главная идея данного транспортного средства заключается в гармоничном сочетании эргономичных, эстетических и технических характеристик при сравнительно низкой цене по сравнению с электрическими гольф-карами конкурентов. Конструкторское решение беспилотного электрокара, работающего на солнечных панелях, отличается

функциональной выразительностью, компактными размерами, технологичностью и единством стилового оформления.

Функциональная выразительность достигается благодаря упрощенной и компактной компоновке. Общий контур верхней и нижней панелей капота, имеющий грибовидную форму, придаёт автомобилю устойчивый внешний вид. Компактность конструкции электрокара обеспечивается разделением на две основные части: капот и кузов с сиденьем. Передние колеса немного меньшего размера улучшают устойчивость и управляемость, создавая динамичный силуэт в боковом профиле, а также способствуют безопасности эксплуатации, комфортному доступу водителя, хорошей аэродинамике и удобству использования.

Крепление крыши на стойках, где передние изогнутые стойки имеют небольшой наклон относительно уровня руля, а задние – прямые, придаёт всей конструкции лёгкость и прозрачность, что в сочетании с технологической простотой и удобством при посадке и высадке водителя позволяет легче перемещаться внутри электрокара на солнечных панелях» [3].

«Задняя часть электрокара имеет прямоугольную форму и разделена спинкой сиденья, что придаёт массивный и устойчивый вид. Закругленные боковины багажника, выполненные на уровне сидения по высоте и на уровне боковой стенки кузова над задними колесами по ширине, создают проём между ними, а нижняя панель, равная ширине этого проёма, обеспечивает свободный доступ к багажнику и создаёт открытый визуальный эффект.

Круглый стоп-сигнал установлен в задней части электрического прогулочного шаттла на уровне багажника, чтобы оповещать других участников движения о начале и завершении торможения. В этой же области размещён надёжный бампер прямоугольной формы с закруглёнными краями, который расположен на уровне задних колёс. Это обеспечивает не только безопасность, но и защиту рамной конструкции и подвески электрического прогулочного шаттла.

Задняя часть шаттла оборудована открытым багажным отсеком объёмом 100 литров, что даёт возможность перевозить различные грузы. Например, при использовании шаттла в качестве гольф-кара можно удобно разместить в багажнике набор клюшек и гольф-сумку.

Внутри электрического прогулочного шаттла установлены комфортабельные двухместные сиденья, рассчитанные на нагрузку до 180 кг. Сиденья изготовлены из мягкого поролона и обшиты материалом, имитирующим кожу. Задняя спинка, которая крепится отдельно к рамной конструкции, исполнена по аналогичному принципу. Под сиденьем находится электродвигатель с силовой батареей, а также имеется возможность открывать седло для удобного доступа к техническим компонентам шаттла» [5].

«Чтобы обеспечить защиту водителя и пассажиров от ветра, грязи и других опасностей во время движения, в передней части установлен лобовой элемент, выполненный из листового пластика вместо стекла. Это решение способствует уменьшению веса шаттла и повышению безопасности. Листовой пластик установлен на рамную конструкцию с соблюдением зазоров, что предотвращает нежелательные вибрации и шум на неровной дороге.

Пол шаттла сделан из рифлёного алюминия, что предотвращает скольжение обуви. Для снижения вибраций по краям листового металла был применён виброизолирующий материал, который уменьшает шум и вибрации при движении. Кроме того, электрический прогулочный шаттл имеет низкий клиренс, а боковая часть рамной конструкции не имеет возвышений в зоне доступа для водителя и пассажиров, что делает посадку в шаттл максимально комфортной.

Рулевое управление в автомобиле расположено по центру, что позволяет разместить водителя в центре, а двух пассажиров по обе стороны от него. Рулевая колонка установлена практически вертикально, что соответствует автобусному стилю. Подобное расположение обеспечивает достаточно пространства для свободного перемещения внутри электрического прогулочного шаттла.

Передняя панель обвеса выполнена из прямоугольного профиля и состоит из крупной четырехплоскостной передней части трапециевидной формы, боковых треугольных элементов, наклонной верхней полосы и нижней панели, имеющей колоннообразную закругленную форму. Эти особенности придают электрокару устойчивый внешний вид, обеспечивая технологичность и жесткость конструкции, а также безопасность для пассажиров и водителя.

Подвеска шаттла достаточно жесткая, что делает его маневренным и безопасным. Широкая передняя и задняя колея в сочетании с низкой и жесткой подвеской уменьшают вероятность переворота. Кроме того, использование платформы от гоночного картинга позволяет сократить затраты на производство шаттлов, делая продукт более привлекательным» [10].

Выводы по разделу

В заключение, в этом разделе были показаны основные характеристики электрического прогулочного шаттла, а также изложены ключевые требования к его конструкции, компоновке и эргономическим параметрам в контексте электрического гольф-кара.

3 Проведение расчетов

3.1 Проектирование и прочностной расчет рамной конструкции электрического гольф-кара

Шасси автомобиля – один из важнейших узлов автомобиля. Именно к шасси крепятся все силовые агрегаты и элементы, а также именно шасси принимает все нагрузки, приходящие от колес автомобиля. Хорошо спроектированное шасси позволяет достичь дополнительного улучшения управляемости, за счет жесткости конструкции, дополнительного улучшения комфорта, за счет снижения вибраций и вибрационных шумов, а также позволяет достичь улучшения безопасности для пилота и пассажиров внутри автомобиля.

Существует несколько категорий шасси автомобилей:

– панельные шасси: данный тип шасси формируется из различных панелей, которые сварены или соединены между собой, придавая автомобилю необходимую прочность и стабильность;

– каркасные шасси: такие шасси состоят из труб, сделанных из металла или других материалов, формирующих каркас автомобиля. Они обеспечивают как гибкость, так и прочность;

– монококковые шасси: здесь кузов автомобиля выполняет одновременно функции каркаса и внешней оболочки, что придает конструкции высокую прочность и легкость;

– гидрошасси: этот вид шасси основывается на гидравлической системе, которая несет основную часть веса автомобиля. Они используются в специализированных транспортных средствах, таких как пожарные машины и внедорожники;

– электрические шасси: предназначенные для электромобилей, эти шасси комплектуются электрическими моторами и аккумуляторами, что делает их более экологичными и эффективными;

– гибридные шасси: этот тип шасси сочетает в себе элементы как электрического, так и традиционного двигателей, что обеспечивает более эффективное использование топлива и уменьшение выбросов;

– адаптивные шасси: данное шасси оснащено системами, позволяющими изменять его характеристики в зависимости от дорожных и эксплуатационных условий.

«Рама является основной несущей конструкцией, которая служит в качестве фундамента для других элементов транспортного средства. Она выполняет функцию каркаса, на который монтируются двигатель, подвеска, трансмиссионные механизмы и различные другие части автомобиля. Изначально все автомобили имели раму, но в настоящее время она используется только в тех моделях, которые не оснащены несущим кузовом, например, в грузовиках и большинстве внедорожников. Рамы могут быть хребтовыми, где несущие элементы представлены трубами, или лонжеронными, выполненными из металлоизделий, образующих в сечении букву «П». Хребтовые рамы отличаются высокой жесткостью, особенно в отношении к скручивающим нагрузкам, и позволяют легко создавать автомобили с различным числом ведущих мостов. В то же время современные производители чаще отдают предпочтение лонжеронным рамам. Это связано с тем, что при использовании хребтовой рамы механизмы приходится устанавливать внутри, что осложняет процесс ремонта в случае поломки автомобиля» [9].

Что же касается нашего электрического шаттла, то за основу был выбран вариант с каркасным шасси, или же с пространственной рамной конструкцией. Данный выбор обосновывается тем, что, такое решение:

– простое в исполнении и не требует высокотехнологичного оборудования;

– достаточно дешево в исполнении за счет недорогих материалов, инструментов, необходимых для изготовления, и услуг, если таковые требуются;

- обеспечивает хорошую жесткость конструкции, как с точки зрения вертикальной жесткости, так и с точки зрения крутильной жесткости;

- позволяет обеспечить модульную компоновку элементов и систем автомобилей.

Таким образом, пространственная рамная конструкция является оптимальным вариантом для электрического автомобиля по типу гольф-кар. Особенно учитывая, что гольф-кары в основном автомобили, не имеющие дверей, и какой-либо боковой защиты, прочная рамная конструкция позволит обеспечить необходимый уровень безопасности.

Вот некоторые требования к рамным конструкциям, включающие в себя следующие аспекты:

- жесткость конструкции. Рамные конструкции часто используют балки с Н-образным и коробчатым сечением, которые дополнительно укрепляются рёбрами жесткости в различных местах;

- высокая точность размещения узлов и деталей рамы. Это необходимо, поскольку на рамах устанавливаются различные механизмы;

- стабильность размеров в процессе эксплуатации. Повышенная жесткость конструкции и наличие большого количества сварных швов могут привести к образованию остаточных сварочных напряжений;

- защита от коррозии. Конструкции должны быть защищены от коррозии согласно методам, указанным в рабочей документации;

- проверка качества сварных швов и их размеров. Контроль следует проводить в соответствии с ГОСТ 23118;

- маркировка конструкций. Способы и место нанесения маркировки устанавливаются производителем, а содержание согласовывается с заказчиком;

- прочность опорных стоек. Прочность определяется расчётным изгибающим моментом, который не должен превышать допустимый предел для изгиба.

Для начала необходимо расположить основные точки в пространстве, обозначающие габариты автомобиля, после чего можно выстраивать все остальные косвенные точки, ограничивающие расположение элементов в пространстве. На рисунке 8 можно увидеть каркас рамы [11].

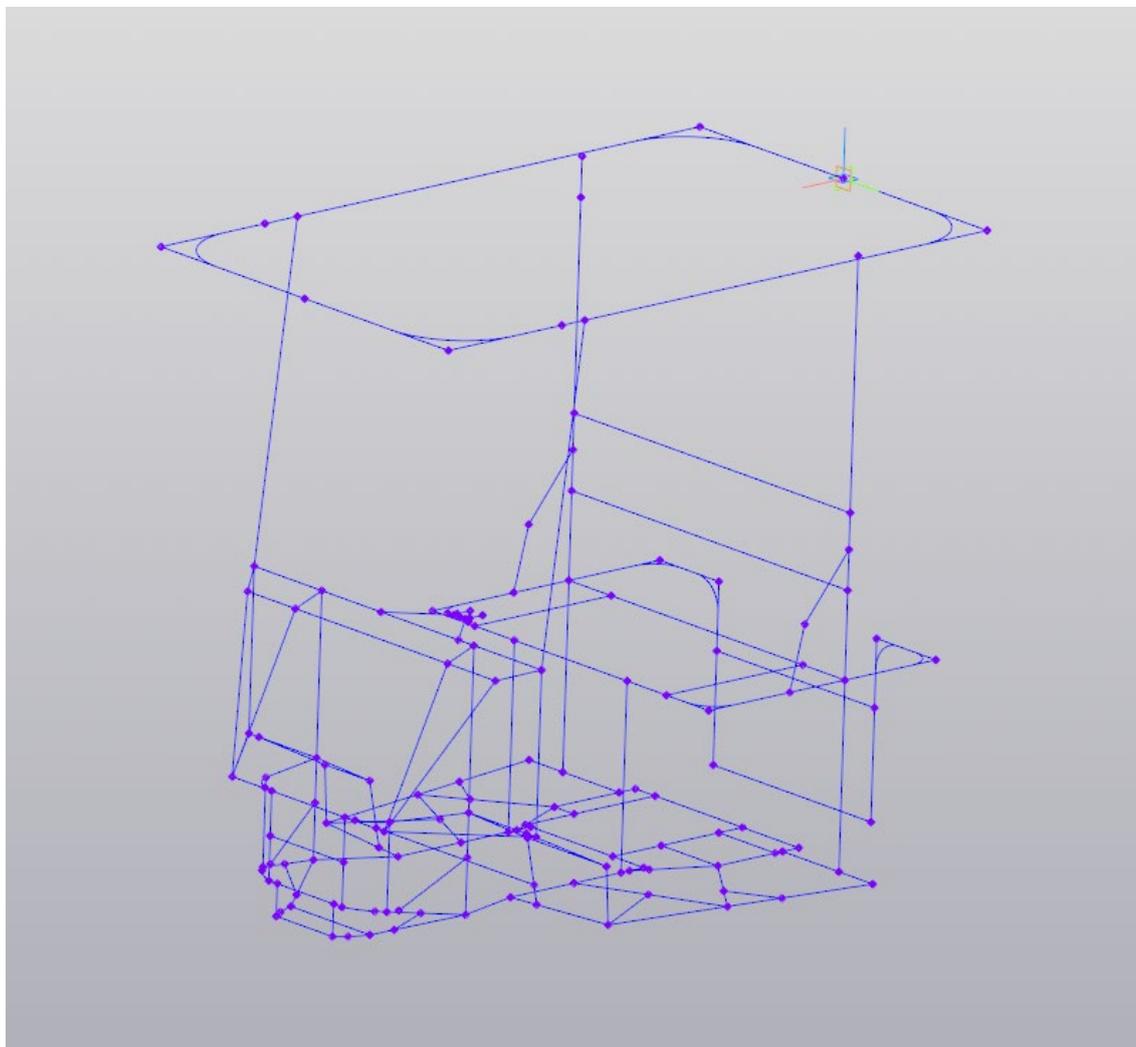


Рисунок 8 – Каркас пространственной рамной конструкции из точек и соединяющих отрезков

Для того, чтобы спроектировать пространственную рамную конструкцию, необходимо понимать необходимые габариты, которые зависят от колесной базы, колеи, размещения водителя и пассажиров, компоновки и габаритов трансмиссии и силового агрегата. Иногда данные не известны на

начальном этапе разработки, поэтому CAD-модель рамной конструкции может быть изготовлена за несколько итераций.

На рисунке 6 можно увидеть, как выглядит каркас пространственной рамной конструкции из точек и соединяющих отрезков. Можно увидеть, что нижняя часть каркаса, а именно самая нагруженная часть, или же платформа спроектирована таким образом, чтобы образовалась триангуляция. При таком построении конструкция имеет наиболее прочную структуру.

Далее необходимо подобрать металлические трубы, выбрать основные размеры и материал. Так как электрический гольф-кар позиционируется как бюджетный, то трубы, из которых будет изготовлена пространственная рама, должна быть изготовлена исключительно из стальных труб, потому что стальные трубы в разы дешевле алюминиевых, а также сварка стальных труб производится куда проще в процессе, а также дешевле. Конечно, алюминиевая рамная конструкция дала бы определенные преимущества электрическому гольф-кару, такие как снижение общего веса автомобиля, за счет чего можно было бы увеличить пробег на одном заряде, а также алюминиевая рама имеет хорошие антикоррозийные качества. Однако, использование алюминия в пространственной раме значительно бы удорожило производство.

На рисунке 9 изображен сортамент стальных труб, которые будут составлять основу рамы. Можно увидеть, что для рамной конструкции гольф-кара была выбрана размерность трубы 25x1,6 мм. Труба с такими показателями имеет высокий момент инерции, хорошие прочностные показатели на изгиб, оптимальную цену.

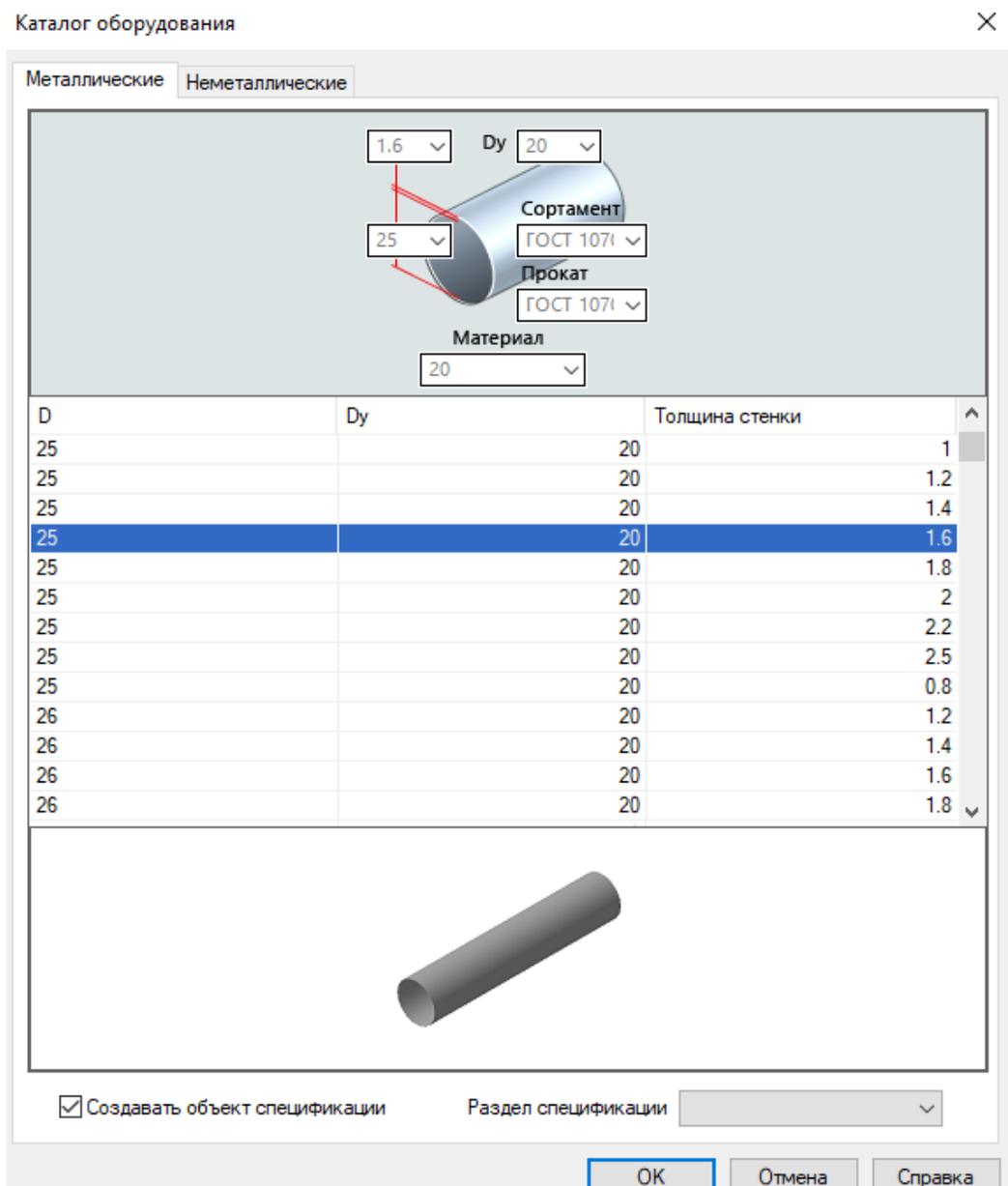


Рисунок 9 – Сортамент стальных труб

Далее необходимо на имеющийся каркас из точек и отрезков нарастить металлическую оболочку. Для этого в сортаменте необходимо задать необходимые параметры стальной трубы, выбрать ее и на место каждого из отрезков необходимо расположить трубы. Таким образом получается цельная пространственная рама, которую можно увидеть на рисунке 10.

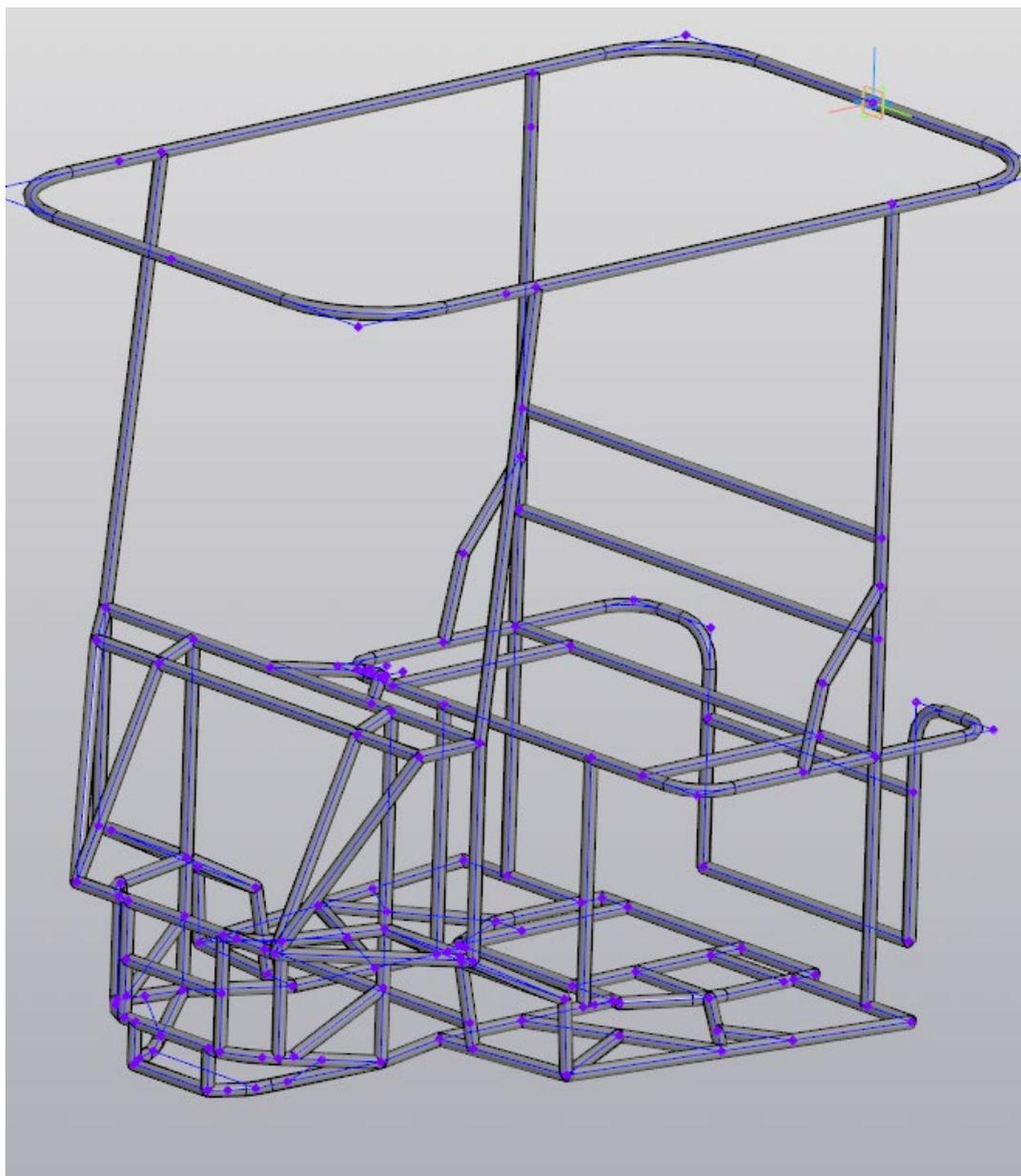


Рисунок 10 – Пространственная рамная конструкция электрического гольф-кара

После того, как наш каркас начал обрастать металлической оболочкой, необходимо провести дополнительную обработку готовой рамы. Дело в том, что на данном этапе трубы еще не соединены между собой, и САD-программа не может определить эти связи самостоятельно, поэтому в таком случае необходимо назначить эти связи самостоятельно. С такой задачей помогает справиться «Булева операция».

Для выполнения булевой операции в программе КОМПАС-3D используется команда «Булева операция». Эту команду можно найти в инструментальной панели по пути «Твердотельное моделирование» – «Элементы тела» – «Булева операция» или в главном меню под пунктом «Моделирование» – «Булева операция».

Совершается следующий порядок действий:

1) указать тела, которые будут участвовать в операции, в графическом окне или в Дереве построения. Первое выбранное тело автоматически попадает в поле «Базовый объект», а все остальные – в поле «Модифицирующие объекты»;

2) выбрать тип булевой операции с помощью группы кнопок «Результат» на Панели параметров:

– объединение: тела соединяются в одно новое тело;

– вычитание: из базового тела вырезается объём, занимаемый модифицирующими телами;

– пересечение: из тел удаляются части, которые находятся вне общего объёма базового и модифицирующих тел;

3) чтобы оставить базовые и/или модифицирующие тела в модели после завершения операции, активировать опции «Сохранить копию базового объекта» и/или «Сохранить копию модифицирующих объектов». Если опции отключены, базовое и модифицирующие тела будут убраны после завершения операции;

4) при необходимости задать название операции в разделе «Свойства» на Панели параметров;

5) создать объект для завершения операции.

6) если операция приводит к образованию тела, состоящего из нескольких частей, начинается процесс выбора необходимых элементов модели. В графическом окне отобразится итоговое тело, а в Дереве построения появится соответствующая пиктограмма.

Объединение тел возможно только при их пересечении или наличии общей поверхности, в то время как вычитание и пересечение могут быть выполнены только при условии, что тела пересекаются.

На рисунке 11 можно увидеть конечный результат после применения команды «Булева операция»

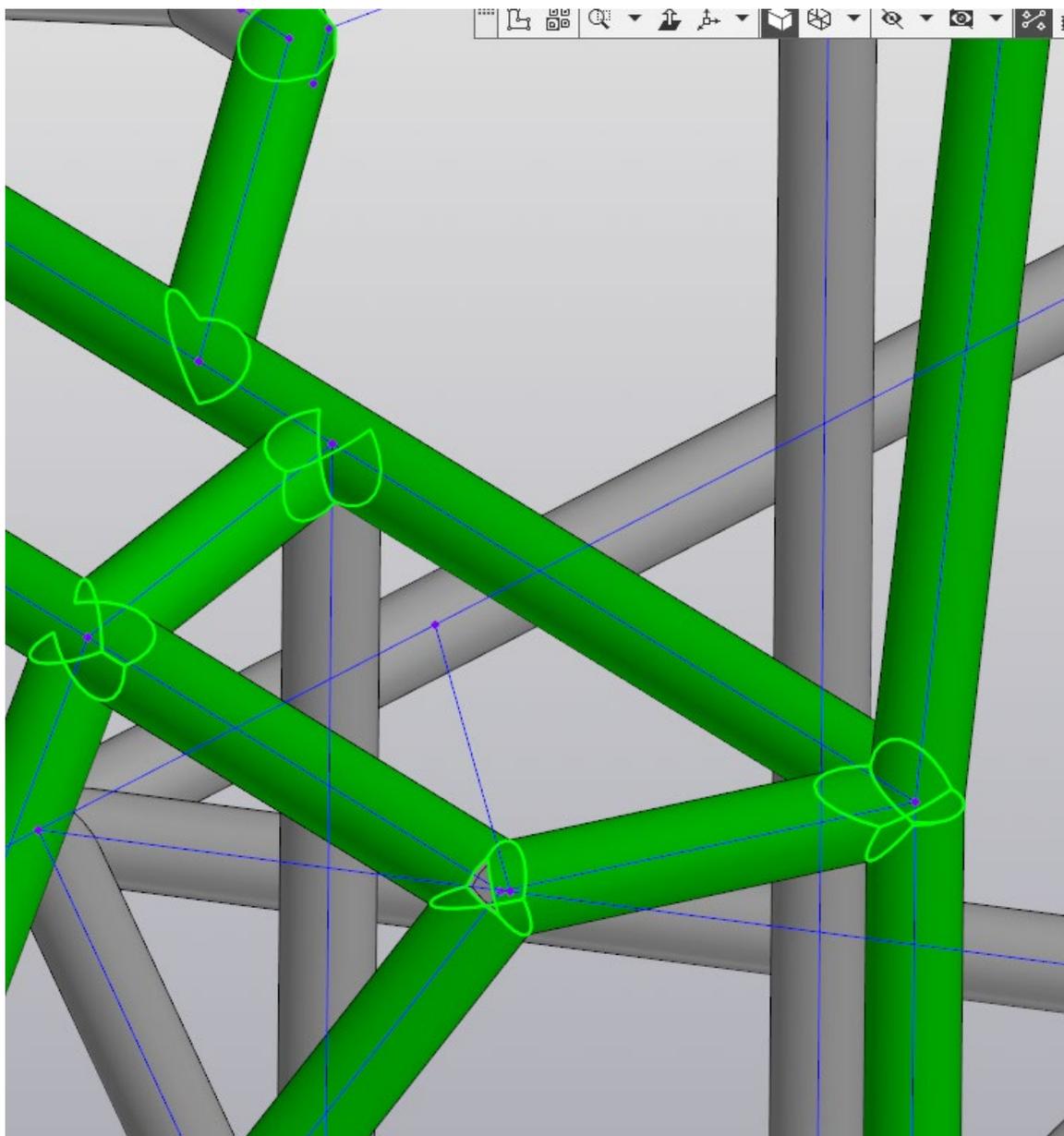


Рисунок 11 – Конечный результат после применения команды «Булева операция»

После того, как пространственная рамная конструкция построена, а все связи между элементами заданы, необходимо переходить к этапу валидации.

«На этапе валидации необходимо провести ряд симуляций пространственной рамы для того, чтобы проверить прочностные характеристики рамы, и убедиться, что таких характеристик будет достаточно для данного типа автомобиля.

Для проведения симуляций необходимо построить тетраэдральную сетку по всей поверхности рамы. Тетраэдральная сетка – это трёхмерная сетка, в которой конечным элементом разбиения сложного объекта является тетраэдр – простейший трёхмерный объект.

Чтобы активировать отображение сетки, необходимо нажать кнопку «Сетка» на панели инструментов «Текущее состояние» или воспользоваться сочетанием клавиш CTRL+G.

Настройка параметров сетки выполняется через выпадающее меню кнопки «Сетка». Вот некоторые параметры и их описание:

- «Тип»: доступно шесть визуально разных стилей отображения сетки на выбор;

- «Шаг по оси X»: устанавливает расстояние в миллиметрах между точками сетки вдоль оси X для текущей системы координат;

- «Шаг по оси Y»: определяет расстояние в миллиметрах между точками сетки вдоль оси Y для текущей системы координат;

- «Угол поворота»: позволяет задать угол поворота сетки относительно текущей системы координат в градусах (относительно оси X против часовой стрелки);

- «Угол искажения»: устанавливает угол между сторонами ячейки сетки, который определяет её прямоугольность в градусах. По умолчанию этот угол составляет 90 градусов, что свидетельствует о прямоугольной форме ячейки. На рисунке 12 показан процесс настройки параметров сетки, а на рисунке 13 показана сама тетраэдральная сетка» [15].



Рисунок 12 – Процесс настройки параметров сетки

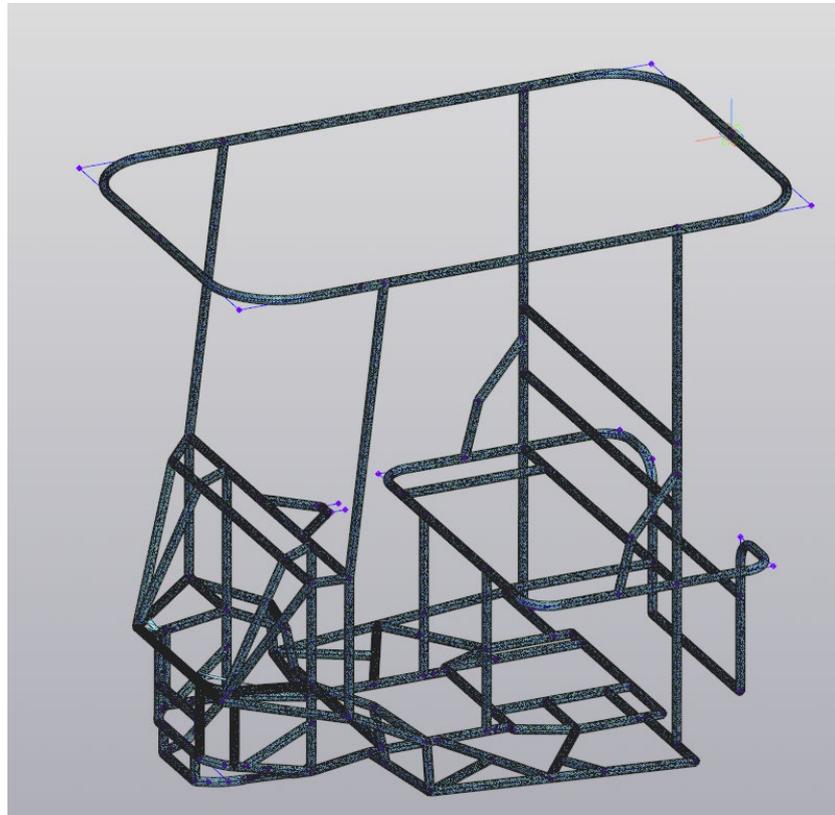


Рисунок 13 – Тетраэдральная сетка пространственной рамы

Можно увидеть, что перед тем, как создать сетку, иногда необходимо провести некоторые настройки параметров сетки, особенно если объект является достаточно габаритным, как например, рамная конструкция электрокара. Далее, когда настройка параметров проведена, можно приступать к созданию тетраэдральной сетки. Вот некоторые типы тетраэдральных сеток:

- структурированные – в таких сетках прослеживается четкая закономерность в расположении соседних ячеек;

- неструктурированные – в этих сетках расположение соседних ячеек может быть произвольным, и единственным критерием является качество ячеек, заполняющих область;

- гибридные – эти сетки комбинируют тетраэдры или треугольники с другими типами сеток в определённых областях, например, с треугольными призмами для улучшения расчета пограничного слоя. Гибридные сетки обеспечивают большую точность и эффективность по сравнению с использованием только тетраэдров или треугольников;

- гексаэдральные – в таких сетках применяются неортогональные гексаэдральные элементы для заполнения объема области. В тех местах, где программа не может создать гексаэдральные элементы достаточно высокого качества, используются тетраэдры;

- автоматически создаваемые – это самый быстрый метод генерации сетки с минимальным вмешательством со стороны пользователя. Программа сама определяет размер ячеек, основываясь на размерах объекта, и применяет улучшения в зависимости от кривизны для захвата мелких элементов.

В нашем случае можно увидеть автоматически создаваемую сетку на рисунке 10. Можно увидеть, что сетка состоит мелкозернистых тетраэдров для обеспечения максимального реализма симуляции.

Как только сетка настроена и нанесена на деталь, можно переходить к следующему этапу, а именно к этапу настройки условий симуляции. В условиях симуляций обычно указывается материал изделия, температура окружающей среду (температура также влияет на результаты симуляций),

условия гравитации и ускорения свободного падения. Кроме того, на данном этапе необходимо задать тип и место фиксации детали, а также установить необходимую нагрузку в нужные зоны.

Были заданы условия типичной нагрузки на рамную конструкцию, а именно на кручение рамы. Такая нагрузка обычно возникает во время маневров с боковым ускорением. Для того чтобы подготовить симуляцию такого типа необходимо установить жесткую заделку в месте крепления задней оси автомобиля, а также установить распределенную нагрузку в местах крепления передней подвески. Нагрузка при этом устанавливается в противоположном направлении для правой и для левой стороны. Типичная нагрузка при боковом ускорении для автомобиля такой массы составляет 1500 Ньютонов на каждую сторону. На рисунке 14–17 можно увидеть результаты проведения симуляций.

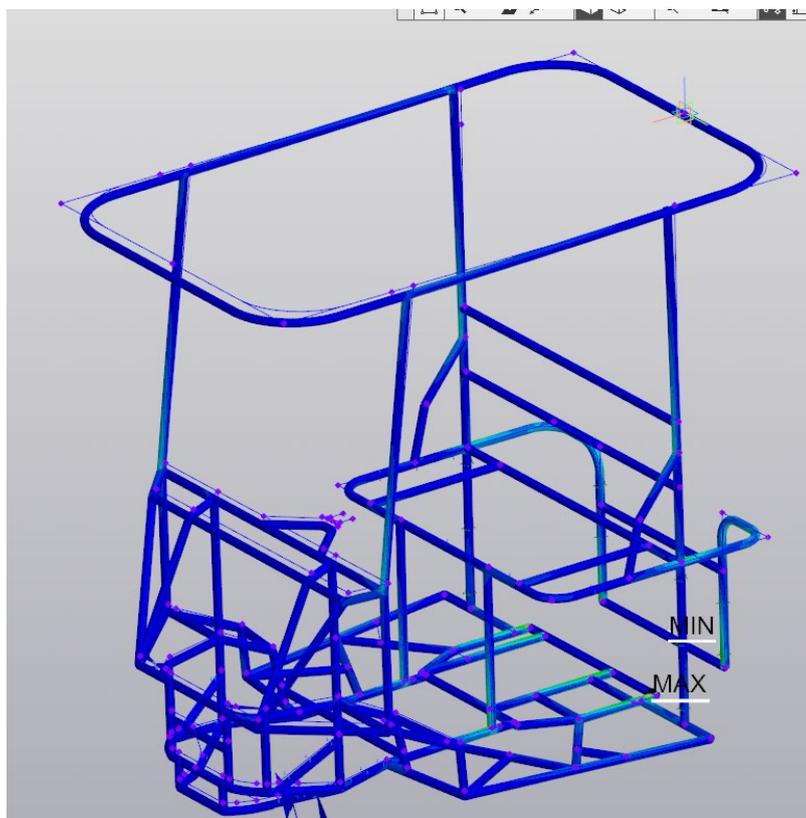


Рисунок 14 – Результат симуляции, показывающий напряжения

«На рисунке 14 можно увидеть напряжения, возникающие в пространственной рамной конструкции во время симуляции. Можно увидеть, что преобладающий цвет синий, что означает, что напряжения не превышают норму для данного материала данной конструкции. Также можно увидеть, что при приложении нагрузки на переднюю ось, основные напряжения появляются в месте фиксации рамной конструкции, что происходит за счет плеча приложения нагрузки» [23].

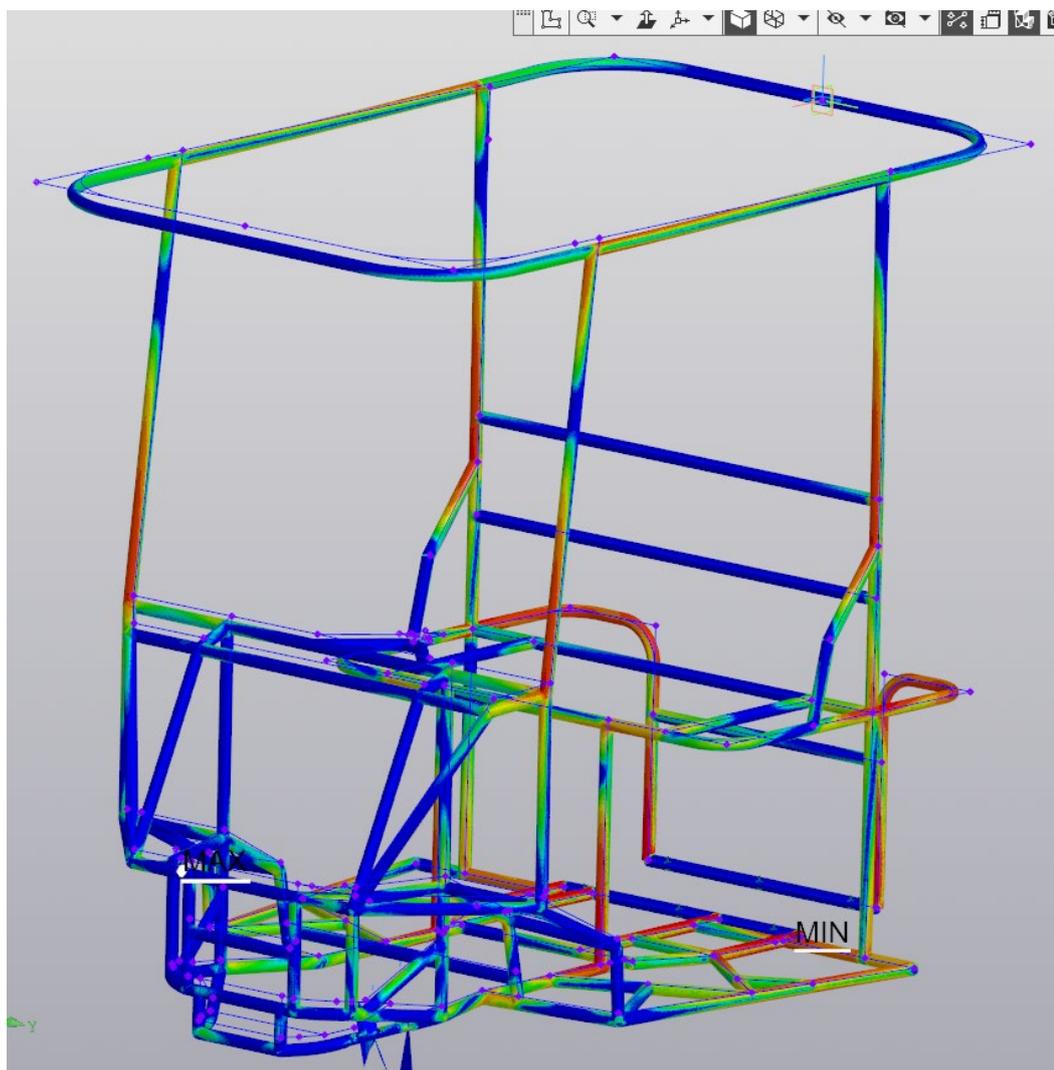


Рисунок 15 – Результат симуляции, показывающий коэффициент запаса прочности

На рисунке 15 можно увидеть распределение коэффициента запаса прочности конструкции, который должен быть не менее 1, потому что

значение коэффициента запаса прочности ниже 1 означает, что конструкция недостаточно прочная, а также может указывать на неправильно подобранный материал. В нашем же случае минимальный коэффициент запаса прочности, отмеченный красным цветом на рисунке 12 не ниже 1.2, что указывает на достаточную надежность данной конструкции.

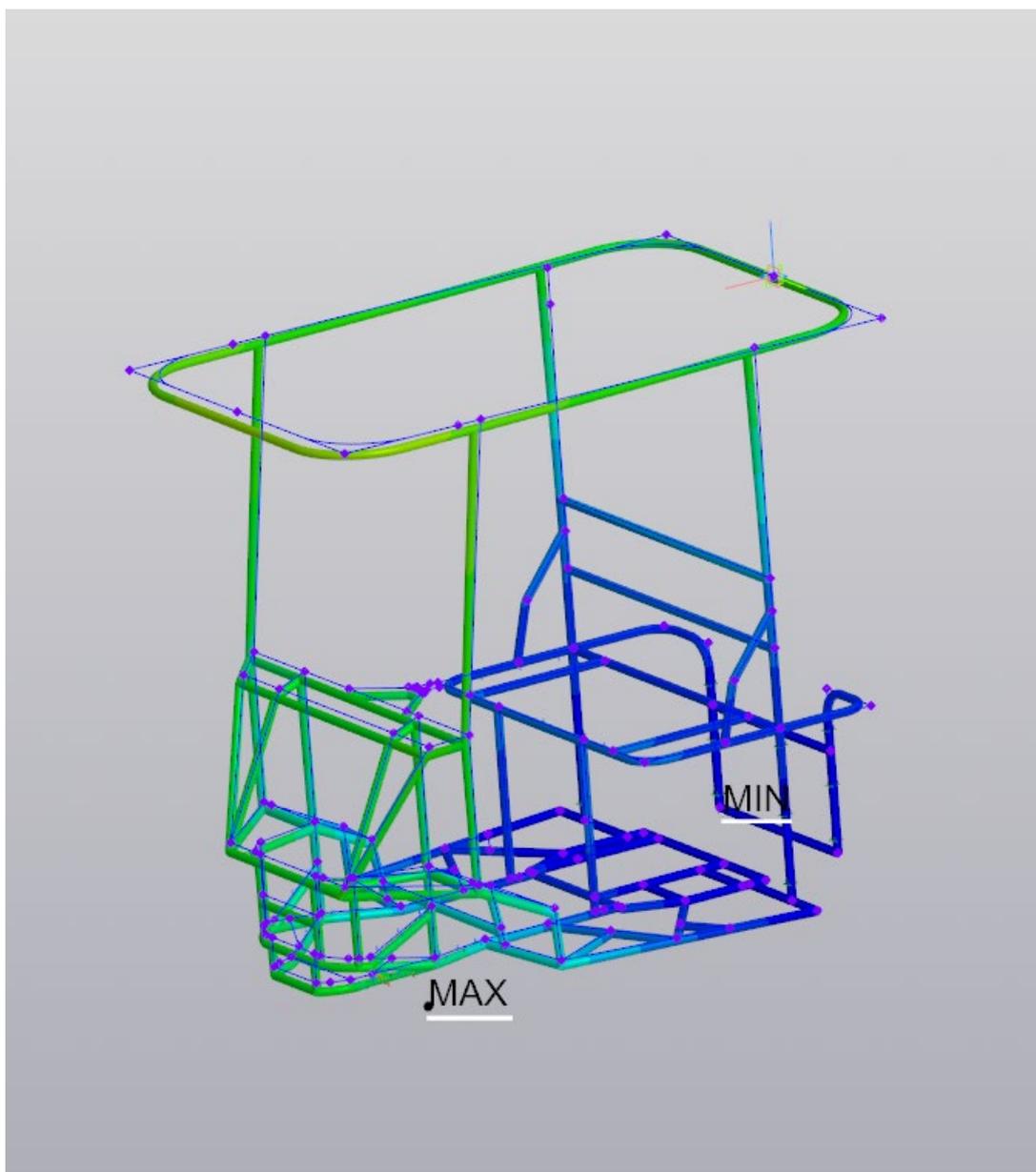


Рисунок 16 – Результат симуляции, показывающий деформацию

На рисунке 16 можно увидеть, как распределились деформации рамной конструкции во время симуляции. Можно увидеть, что если напряжения

сосредотачивались в основном в месте жесткой фиксации, то деформации и смещения рамной конструкции происходит именно в месте приложения силы. В нашем случае деформации не превышают 3 мм, что является допустимым и не приводит к невозвратимой деформации.

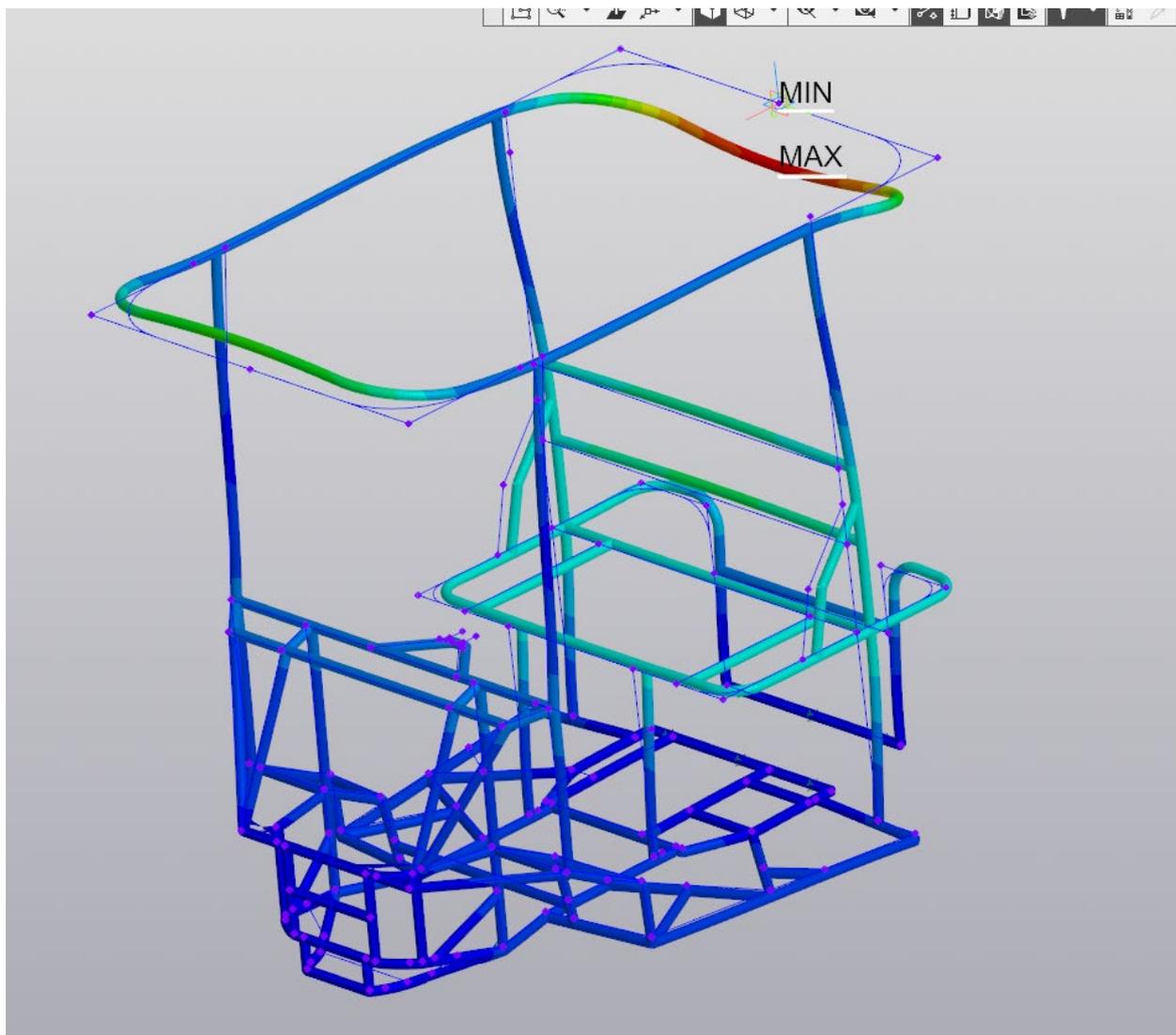


Рисунок 17 – Результат симуляции, показывающий напряжения

На рисунке 17 представлен результат модального анализа, который подразумевает под собой расчет частот собственных колебаний. По результатам анализа можно увидеть, что максимальные вибрации и колебания происходят в самых не жестких местах конструкции, что является вполне логичным и указывает на корректность симуляции. Исходя из симуляции

можно сделать вывод, что данная конструкция рамы имеет некоторые риски повышенных вибраций, а также достижения резонанса. Однако верхняя часть рамы будет также закреплена за счет панели с солнечными батареями, что уменьшит данные риски.

3.2 Тягово-динамический расчет электромобиля

«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» [19].

«Коэффициент обтекаемости можно рассчитать по формуле 1:

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

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:

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

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

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

На рисунке 18 можно увидеть график внешней скоростной характеристики двигателя, а в таблице 8 можно увидеть данные для его построения» [8].

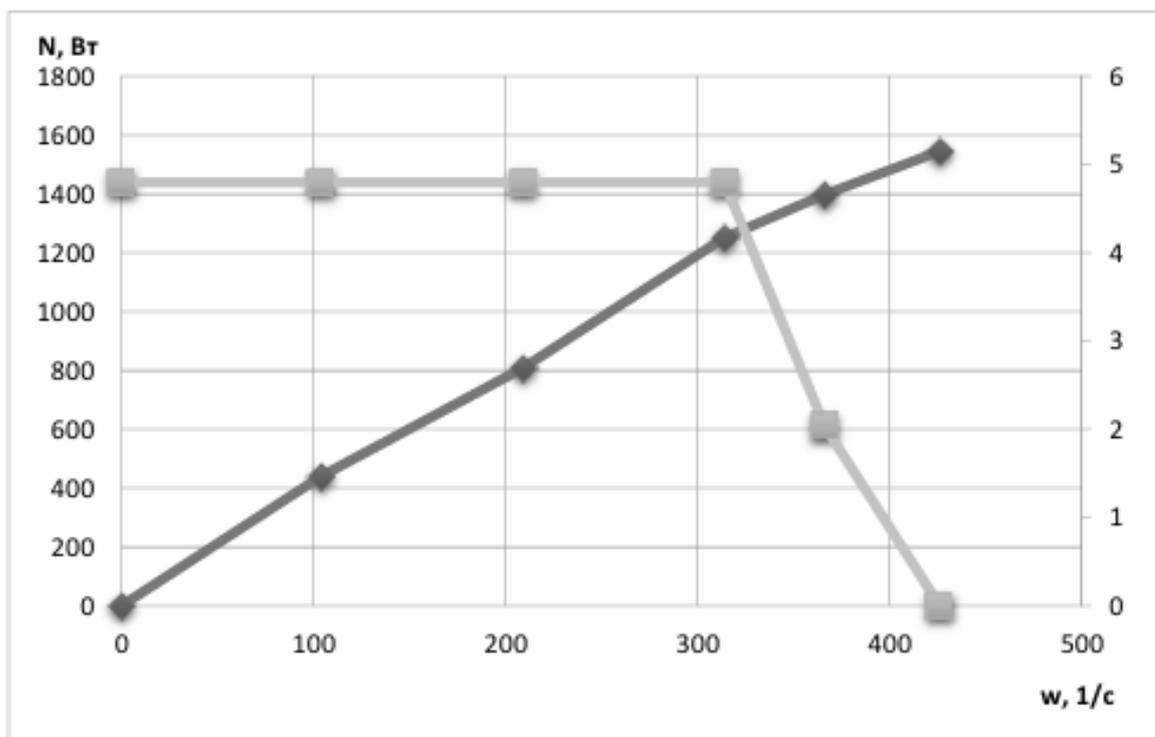


Рисунок 18 – График ВСХ электрического двигателя шаттла

Таблица 8 – Параметры электрического двигателя электрического прогулочного шаттла

n_e , об/мин	ω_e , рад/с	N_e , Вт	M_e , 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 транспортное 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 позволяющая достигнуть хороших показателей на разных покрытиях дороги» [13].

«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_i – 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 9.

Таблица 9 – 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 19.

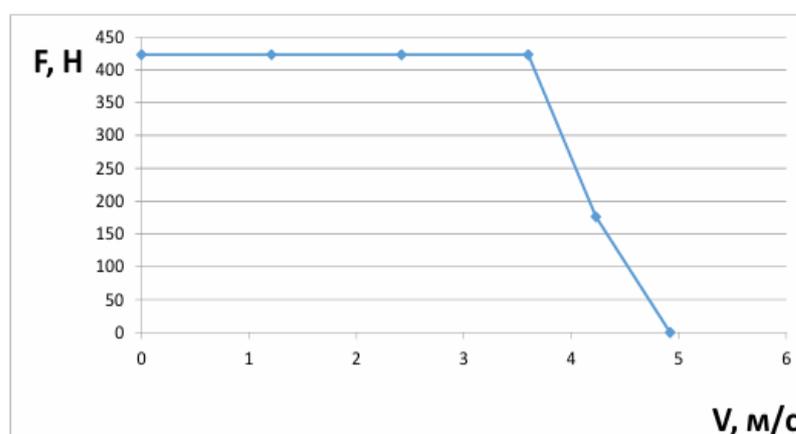


Рисунок 19 – Тяговый баланс электрического прогулочного шаттла

«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 10, а график, полученный по результатам расчета, можно увидеть на рисунке 20» [24].

Таблица 10 – данные расчета динамической характеристики

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

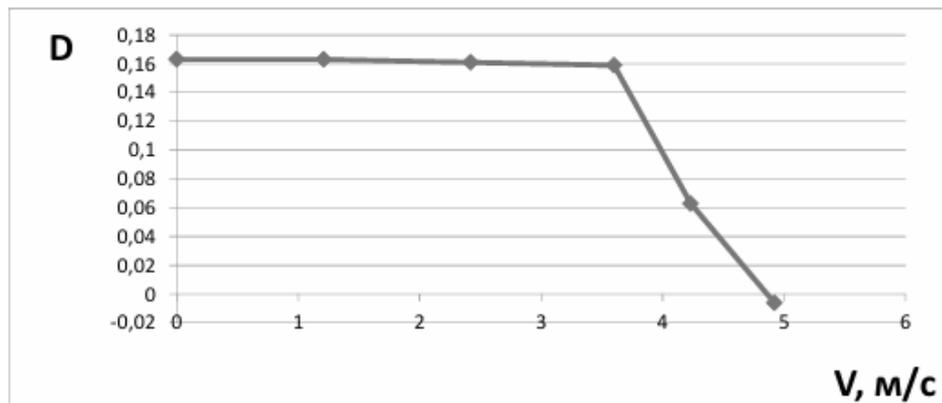


Рисунок 20 – Динамическая характеристика электрического прогулочного шаттла

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

«Уравнение мощностного баланса электрического прогулочного шаттла можно увидеть в формуле 7

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

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

$N_{тр}$ – 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 11. График мощностного баланса можно увидеть на рисунке 21» [18].

Таблица 11 – 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

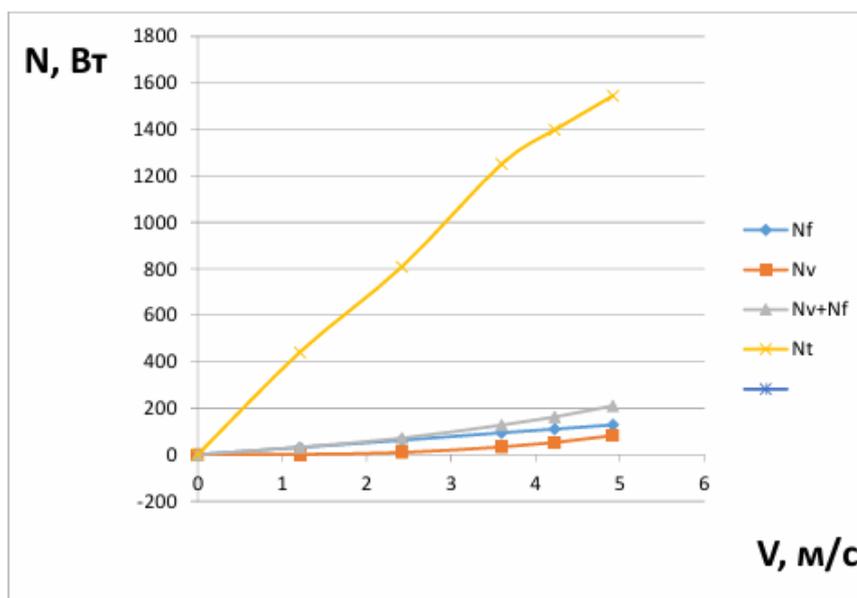


Рисунок 21 – Рассчитанный мощностной баланс электрического прогулочного шаттла

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 прогулочного электромобиля на предмет прочности, надежности и деформационного скручивания.

4 Безопасность и экологичность технического объекта

«Процесс изготовления электрического прогулочного шаттла включает в себя риски для производителей, поэтому все этапы должны соответствовать регламентам по охране труда, обеспечивающим безопасность работников при производстве компонентов. Разработка соответствующей документации основывается на международном опыте машиностроительных компаний, а также на законодательстве Российской Федерации. В документе обозначены главные требования и сведения, необходимые для поддержания безопасности на рабочем месте. Все сотрудники проходят инструктаж и регулярно участвуют в семинарах по повышению квалификации, что способствует созданию безопасной рабочей обстановки на производстве» [14].

В процессе производства электрического прогулочного шаттла необходимы слесарные, сварочные и сборочные работы. Информация о необходимых операциях слесарных работ представлена в таблице 12.

Таблица 12 – 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 сотрудника установлены следующие требования по технике безопасности:

– использовать в работе оборудование, инструменты и средства малой механизации строго по назначению, следуя инструкциям производителя;

– выполнять только те задачи, которые были поручены непосредственным руководителем, и не передавать их другим лицам без его

разрешения;

– поддерживать чистоту и порядок на рабочем месте, включая проходы к нему; при возникновении захламления рабочей зоны следует организовать её уборку;

– регулярно проходить проверки знаний по технике безопасности и охране труда;

– периодически проходить медицинские осмотры и проверки состояния здоровья;

– соблюдать правила внутреннего распорядка предприятия;

– следить за соблюдением мер пожарной безопасности и охраны труда на рабочем месте. ОВПФ сварочных работ указаны в таблице 13» [16].

Таблица 13 – 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 работника установлены следующие правила техники безопасности:

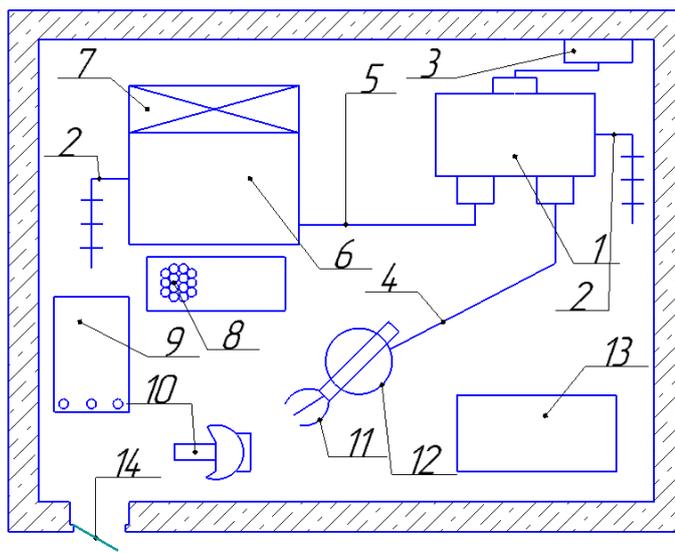
– необходимо провести подготовку и уборку перед осуществлением сварочных работ;

– проверка рабочего оборудования на исправность и его настройка осуществляется до начала работы;

– регулярно проводятся проверки знаний по технике безопасности и

охране труда;

- предполагается периодическая проверка здоровья и медицинские осмотры;
- важно соблюдать внутренний распорядок на предприятии;
- необходимо придерживаться норм пожарной безопасности и правил охраны труда на рабочем месте» [17].



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 дляотходов; 14 – дверной проем.

Рисунок 22 – Рабочие место для работ со сварочным аппаратом

«Основные обязанности сварщика включают в себя:

- сварку конструкций из различных материалов, обладающих требуемыми характеристиками;
- выполнение прихваток деталей;
- устранение дефектов путём зачистки;
- резку простых элементов с использованием дуговой сварки;
- контроль качества сварного шва и его проникаемости в материал после

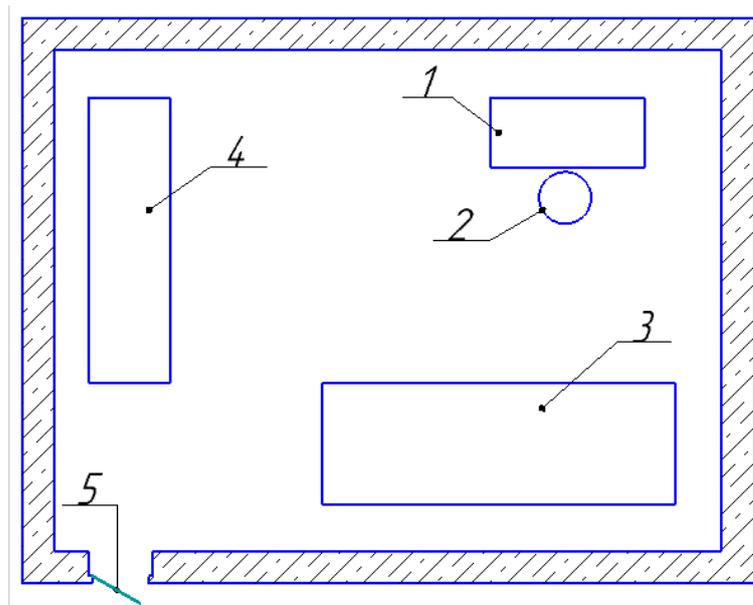
завершения сварки с применением специализированных инструментов.
ОВПФ сборочных работ указаны в таблице 14» [21].

Таблица 14 – 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 сотрудника действуют следующие нормы техники безопасности:

- знакомство с инструкциями по безопасности;
- поддержание промышленной санитарии (содержание рабочего места в чистоте);
- соблюдение дисциплины на рабочем месте;
- правильное использование оборудования в соответствии с его назначением;
- в случае выявления поломки – необходимо информировать ремонтную группу» [6].



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

Рисунок 23 – Рабочее место для работ со сварочным аппаратом

«Ключевые обязанности сборщика включают в себя:

- сборку деталей или узлов конструкции в специальном приспособлении согласно чертежу или модели;
- проверку точности установки компонентов с использованием измерительных инструментов в соответствии с чертежами;
- предоставление комментариев для дальнейшей обработки данной детали.

В заключение данного раздела следует отметить, что выполнение всего спектра мероприятий и мер, разработанных для данных ОВПФ, позволит практически полностью защитить работников во время осуществления технологического процесса» [4].

Заключение

В условиях растущей популярности экологически чистых технологий электрические гольф-кары становятся не просто трендом, а необходимостью для современного общества.

В данной выпускной квалификационной работе выполнена разработка электромобиля, предназначенного для использования в зонах отдыха, рекреационных территориях, а также для прогулочных и туристических маршрутов. В ходе исследования проведен анализ существующих на отечественном и зарубежном рынках электрических гольф-каров, а также выполнена сравнительная оценка их ключевых характеристик. Создана циклограмма, позволяющая наглядно определить уровень потребительских свойств предлагаемых моделей конкурентов.

Произведены технические расчёты и разработан прокатный прогулочный электромобиль.

В основной части пояснительной записки проводится анализ известных аналогов по их основным характеристикам, рассмотрены и проанализированы их преимущества и недостатки.

Проведен подробный обзор основных теоретических аспектов, влияющих при проектировании электромобиля. Разработано техническое задание на разработку прокатного карта, определены основные параметры.

Проведена валидация рамы прокатного карта при помощи CAE-анализа. Проведена валидация на предмет прочности, надежности и деформационного скручивания. Пошагово описан объем всех работ, приведены результаты прочностного анализа. Кроме того, проведен тягово-динамический расчет. был проведен ряд

В результате работы представлен полный проект прогулочного электромобиля, отвечающий всем требованиям безопасности для пилота и пассажиров, а также обеспечивающий комфортное передвижение в условиях эксплуатации.

Список используемых источников

1. 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.
2. 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.
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-novuyu-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. – 30 с.
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.
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. – 361 с.
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. – 60 с.

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: 17.02.2025).
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: 17.04.2025).
20. Электрокар Garia Golf [Электронный ресурс] / – Электрон. журн. – URL: <https://ru.ecomotorsgroup.com/electric-vehicles/nizkoskorostniejelektromobili/golfkari/via> (дата обращения: 11.05.2025).
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 23.03.2025).
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 18.03.2025).

23. Graham Bell A. Performance Tuning in Theory and Practice Four Strokes [Текст] / A. Graham Bell. Haynes Publishing Group, 1981. – 252 p.

24. 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: 16.04.2025).

25. Regulations Hinder Development of Driverless Cars [Электронный ресурс] : новости The New York Times – URL: [NYTimes.com](https://www.nytimes.com) (дата обращения: 14.04.2025).