

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)

13.03.03 Энергетическое машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Проектирование и эксплуатация автомобилей с гибридными силовыми установками

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему «Разработка прокатного карта»

Обучающийся

Ш. А. Мавлоназаров

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент А. С. Тизиров

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

Тольятти 2025

Аннотация

Разработка прокатного карта. Выпускная квалификационная работа. Тольяттинский государственный университет, 2025.

Произведены технические расчёты и разработан прокатный спортивный карт.

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 прокатного карта. Разработано техническое задание на разработку прокатного карта, определены основные параметры.

Проведена валидация рамы прокатного карта при помощи CAE-анализа. Пошагово описан объем всех работ, приведены результаты прочностного анализа.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки в размере 49 страниц, содержащей 10 таблиц, 16 рисунков и графической части, содержащей 6 листов.

Abstract

Development of a rolling kart. Graduation qualification work. Togliatti State University, 2025.

Technical calculations were made and a rolling sports kart was 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 a rolling kart was carried out. A technical task for the development of a rolling kart was developed, the main parameters were determined.

The frame of the rolling kart was validated using KAE analysis. The scope of all work is described step by step, the results of strength analysis are given.

The final qualification work consists of an explanatory note of 49 pages, containing 10 tables, 16 figures and a graphic part containing 6 sheets.

Содержание

Введение	5
1 Обзор аналогов	7
1.1 Спортивный карт RiMO EVO6	8
1.2 Спортивный карт Sigma KZ 2025	10
1.3 Спортивный карт SODI SR5	12
1.4 Спортивный карт VLR Emerald with Briggs 206	15
1.5 Спортивный карт модель 1	18
1.6 Сравнительный анализ аналогов	20
2 Разработка карты.....	23
2.1 Теоретические аспекты для разработки спортивного карты.....	23
2.2 Обоснование компоновочного решения.....	25
2.3 Техническое задание на разработку спортивного карты.....	26
3 Разработка и расчет рамы карты	29
4 Безопасность и экологичность технического объекта	41
Заключение	46
Список используемой литературы и используемых источников.....	47

Введение

Создание гоночного карта становится все более актуальным в современном мире, поскольку популярность автоспорта продолжает расти. Любители гонок ищут новые площадки для участия в соревнованиях, что влечет за собой необходимость в создании современных трасс. Гоночные карты не только привлекают участников и зрителей, но и способствуют развитию инфраструктуры, включая трибуны, боксы и безопасность на трассе. Высококачественные трассы обеспечивают безопасность как гонщиков, так и зрителей, что помогает развивать культуру безопасного вождения и снижает количество инцидентов во время соревнований. Кроме того, гоночные карты могут сыграть существенную роль в экономическом развитии местных сообществ, привлекая спонсоров и увеличивая финансовые поступления в бюджеты регионов. Также такие трассы становятся площадкой для тестирования новых технологий в автомобилестроении, что способствует прогрессу всей индустрии.

С другой стороны, актуальность малого транспорта также нарастает в условиях современности. С увеличением плотности населения и интенсивной урбанизацией малый транспорт, такой как компактные автомобили, становится особенно востребованным. Он обеспечивает удобство перемещения по городским улицам, что позволяет решать проблемы с пробками. Малый транспорт способствует снижению выбросов и улучшению состояния окружающей среды – это особенно важно в условиях изменения климата. Экономическая выгода, связанная с использованием маломобильного транспорта, также играет ключевую роль: пользователи могут существенно сэкономить на топливе, обслуживании и страховании.

Кроме того, малый транспорт предлагает большую гибкость и возможность передвижения по узким улицам, где крупные автомобили часто не могут проехать. Это облегчает доступ ко многим частям городов, особенно в условиях ограниченной инфраструктуры. Наконец, наблюдается рост

интеграции технологий в малый транспорт, что создает дополнительные удобства для пользователей и формирует новый рынок услуг. Создание спортивного карта также подтолкнет развитие малого транспорта в нашей стране.

Таким образом, как создание гоночного карта, так и развитие малого транспорта являются важными аспектами современного общества, которые способствуют экономическому развитию и повышению качества жизни населения.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- провести сравнительный анализ конструкций аналогичных моделей с целью выявления их преимуществ и недостатков;
- установить технические характеристики гоночного карта;
- выполнить симуляции для оценки прочности шасси.

1 Обзор аналогов

«Создание гоночного транспорта требует тщательного анализа конкурентной среды и используемых технологий, чтобы разработать продукт, способный успешно выделяться на рынке. Для этого выбирается группа основных конкурентов с сопоставимыми техническими характеристиками, аналогичными предполагаемому продукту. На основе проведенного анализа будет составлена сводная таблица и циклограмма, которые наглядно покажут, как новый гоночный карт соотносится с существующими моделями. Такое исследование позволяет извлечь полезные технологии и эффективные инженерные решения от других компаний, что в свою очередь способствует улучшению качества и функциональности разрабатываемого изделия. В ходе анализа как российского, так и международного рынков были определены главные конкуренты для гоночного карта:

- спортивный карт RiMO EVO6;
- спортивный карт Sigma KZ 2025;
- спортивный карт SODI SR5;
- спортивный карт VLR Emerald with Briggs 206;
- спортивный карт модель 1.

Чтобы провести объективный и, что особенно важно, качественный анализ рынка, были определены конкретные критерии и технические характеристики спортивных картов. По ним будет оцениваться уровень их качества и конкурентоспособности по сравнению с ранее упомянутыми конкурентами:

- максимально допустимая масса, кг;
- масса карта, кг;
- мощность, лс;
- макс. скорость, км/ч;
- объем бака, л;

– цена, руб.

Далее рассмотрим указанные модели спортивных катков и проведем сравнительный анализ, применяя методику оценки качества технологического транспорта» [1].

1.1 Спортивный каток RiMO EVO6

Спортивный каток RiMO EVO6 представляет собой высококачественный гоночный транспорт, предназначенный как для профессиональных соревнований, так и для любительских заездов. Он изготовлен из прочной стали, что обеспечивает ему долговечность и легкость, а также улучшает управляемость и стабильность при движении. Конструкция шасси оптимизирована для достижения максимальной жесткости и маневренности, что положительно сказывается на динамике в различных условиях трассы.

На катки устанавливаются мощные 2-тактные или 4-тактные двигатели, которые обеспечивают отличную скорость и производительность. Системы охлаждения увеличивают надежность двигателя во время гонок, что особенно важно при интенсивных заездах. Улучшенная подвеска делает возможной регулировку конфигурации колес, что способствует отличной управляемости и плавности хода, позволяя гонщику адаптировать каток под свои предпочтения и особенности трассы.

Безопасность также занимает важное место в конструкции RiMO EVO6: каток оснащен современными защитными элементами, такими как каркас и ремни безопасности, что обеспечивают дополнительную защиту гонщика. Эргономичное сиденье добавляет комфорт и контроль во время гонок, а возможность регулировки позволяет легко адаптировать его под разные размеры гонщиков. На рисунке 1 можно увидеть RiMO EVO6, а в таблице 1 можно увидеть характеристики.



Рисунок 1 – Спортивный карт RiMO EVO6

Таблица 1 – Характеристики электрического гольф-кара RiMO EVO6

Допустимая масса, кг	Масса карта, кг	Мощность, лс	Макс. скорость, км/ч	Объем бака, л	Цена, тыс. руб.
210	105	6.5	65	11	340

Карт также укомплектован легкосплавными дисками и качественными шинами, что обеспечивает превосходное сцепление с дорогой и отличную

управляемость на высоких скоростях. RiMO EVO6 подходит для использования на картинг-треках, клубных гонках и соревнованиях различного уровня, как на закрытых, так и открытых трассах.

Преимущества этого спортивного картинга включают высокую производительность, чувствительность рулевого управления и простоту обслуживания. Сочетание качества, мощности и возможностей настройки делает RiMO EVO6 привлекательным выбором для всех, кто хочет испытать настоящие гоночные ощущения, будь то профессиональные гонщики или любители картинга.

1.2 Спортивный карт Sigma KZ 2025

Спортивный карт Sigma KZ 2025 представляет собой высококачественный гоночный транспорт, предназначенный для профессионального картинга. Его конструкция выполнена из прочной стали, что обеспечивает необходимую жесткость и стабильность, а также позволяет эффективно реагировать на управление. Sigma KZ 2025 оснащен современными независимыми подвесками, которые минимизируют наклон шасси и улучшают сцепление с трассой, что дает гонщику более точное управление и уверенность в пройденных поворотах.

Этот карт обычно укомплектован мощным 2-тактным двигателем, который сочетает высокую производительность с отличной реакцией на акселератор. Системы охлаждения поддерживают оптимальную температуру работы двигателя, что повышает его надежность в условиях напряженных гонок.

Важным аспектом разработки Sigma KZ 2025 стали элементы безопасности: карт оснащен прочным защитным каркасом и надежными ремнями безопасности, что снижает риск травм в случае аварийной ситуации. Конструкция сиденья обеспечивает максимальный комфорт и надежную

поддержку гонщика. На рисунке 2 можно увидеть Sigma KZ 2025, а в таблице 2 можно увидеть характеристики.



Рисунок 2 – Спортивный карт Sigma KZ 2025

Таблица 2 – Технические характеристики Sigma KZ 2025

Допустимая масса, кг	Масса карта, кг	Мощность, лс	Макс. скорость, км/ч	Объе м бака, л	Цена, тыс. руб.
200	100	5	45	7	250

Для улучшения аэродинамических характеристик разработаны специальные элементы, которые снижают сопротивление воздуха и способствуют достижению высоких скоростей на прямых участках трассы. Sigma KZ 2025 предлагает различные возможности для настройки, позволяя

гонщику адаптировать карт под личные предпочтения и условия гонки. Этот карт идеален для участия в международных чемпионатах и клубных гонках, сочетая в себе мощность, управляемость и безопасность, что делает его популярным выбором среди профессиональных гонщиков.

Инновационные технологии и качественные материалы подтвердили статус Sigma KZ 2025 как одного из лучших кортов на рынке, созданного для достижения высоких результатов и удовлетворения потребностей как опытных, так и начинающих гонщиков [5].

1.3 Спортивный карт SODI SR5

Спортивный карт SODI SR5 представляет собой современное решение для гонщиков, стремящихся к максимальным результатам на картинг-трассах. Этот карт, разработанный французским производителем SODI, отличается высокой производительностью, продуманной конструкцией и отличными управляемыми характеристиками, что делает его идеальным выбором как для профессиональных гонщиков, так и для любителей картинга.

Основой SODI SR5 является прочное и легкое шасси, выполненное из высококачественной стали, что обеспечивает оптимальное сочетание жесткости и легкости. Шасси сконструировано таким образом, чтобы максимально эффективно передавать нагрузки на колеса во время гонки, что способствует лучшему сцеплению с трассой. Подвеска карты также была разработана с акцентом на производительность: независимые передние и задние подвески обеспечивают отличную маневренность и устойчивость при прохождении поворотов, позволяя гонщику максимально использовать потенциал карты.

Двигатель SODI SR5 – это мощный 4-тактный двигатель с прямым впрыском, который обеспечивает не только высокую мощность, но и отличную эффективность. Эта силовая установка обладает линейным моментом и отзывчивостью, что позволяет гонщику легко контролировать

скорость и ускорение. Система охлаждения и впуска оптимизирована для поддержания температуры и производительности на высоком уровне даже во время интенсивных гонок.

Важной деталью SODI SR5 является внимание к безопасности гонщика. Карт оснащен прочным защитным каркасом, который соответствует самым современным стандартам безопасности. Кроме того, специальные ремни безопасности и поддерживающее сиденье обеспечивают надежную фиксацию гонщика, минимизируя риск травм в случае аварии. Конструкция сиденья и рулевого колеса предполагает возможность регулировки, позволяя гонщику настроить карт под свои физические параметры и предпочтения. На рисунке 3 можно увидеть SODI SR5, а в таблице 3 можно увидеть характеристики.



Рисунок 3 – Спортивный карт SODI SR5

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

Таблица 3 – Технические параметры SODI SR5

Допустимая масса, кг	Масса карта, кг	Мощность, лс	Макс. скорость, км/ч	Объе м бака, л	Цена, тыс. руб.
200	120	10	80	9	450

Аэродинамика SODI SR5 также была тщательно продумана. Автомобиль оборудован фарами и другими аэродинамическими элементами, которые помогают снизить сопротивление воздуха и улучшают общую производительность на трассе. Это позволяет картингу достигать значительно более высоких скоростей на прямых участках и сохранять стабильность на поворотах.

Одним из значительных преимуществ SODI SR5 является возможность настройки и персонализации. Гонщики могут регулировать параметры подвески, давления в шинах и другие аспекты, что позволяет адаптировать карт под индивидуальные требования гонщика и условия трассы. Такая гибкость является важным фактором в соревнованиях, где каждая деталь может сыграть решающую роль [10].

SODI SR5 идеально подходит для соревнований различного уровня, включая клубные гонки и более высокие категории. Этот карт прекрасно справляется с как с закругленными, так и с прямыми участками трасс, демонстрируя великолепную управляемость и отзывчивость. В результате SODI SR5 занимает сильные позиции на рынке картинга и пользуется популярностью у гонщиков, стремящихся к высоким достижениям и интересным гоночным впечатлениям. В итоге SODI SR5 – это сочетание инновационных технологий, производительности и удобства, что делает его идеальным выбором для настоящих любителей картинга.

1.4 Спортивный карт VLR Emerald with Briggs 206

Спортивный карт VLR Emerald с двигателем Briggs 206 – это высококачественный гоночный транспорт, предназначенный для тех, кто ценит производительность, надежность и отличные управляемые характеристики на трассе. Этот карт отражает все преимущества современных инженерных решений, применяемых в спортивном картинге, и предназначен как для начинающих гонщиков, так и для опытных спортсменов, участвующих в различных соревнованиях [9].

Шасси VLR Emerald изготовлено из прочной и легкой стали, что обеспечивает необходимую жесткость и выносливость. Конструкция шасси разработана таким образом, чтобы максимально эффективно передавать нагрузки и улучшать сцепление с трассой, что особенно важно при прохождении поворотов. Именно этот аспект позволяет гонщикам чувствовать уверенность и контроль над картом на различных спортивных треках. Соответствующее распределение веса и специальные геометрические решения в подвеске обеспечивают отличную маневренность и стабильность, что является критически важным при проведении гонок на высоких скоростях.

Двигатель Briggs 206, установленные на VLR Emerald, представляет собой мощную 4-тактную силовую установку, известную своей надежностью и долговечностью. Этот двигатель обеспечивает отличное сочетание мощности и экономичности, что делает его идеальным выбором для гоночного картинга. Briggs 206 также отличается простотой в обслуживании и регулировке, что позволяет гонщикам быстро адаптироваться к различным условиям и требованиям трасс. Важной характеристикой данного двигателя является его линейная передача мощности, что обеспечивает стабильное ускорение и лайтовую реакцию на команды гонщика.

VLR Emerald также оборудован современными системами безопасности, что является обязательным элементом для спортивных картов. Прочный защитный каркас, наряду с надежными ремнями безопасности, обеспечивает

максимальную защиту гонщика в случае аварийной ситуации. Сиденье картинга разработано с акцентом на анатомические особенности, обеспечивая надежную фиксацию и комфорт во время гонки. Возможность регулировки сиденья и других элементов управления позволяет гонщику настроить карт под свои физические параметры, что дополнительно повышает уровень комфорта и управления. На рисунке 4 можно увидеть VLR Emerald with Briggs 206, а в таблице 4 можно увидеть характеристики.



Рисунок 4 – Спортивный карт VLR Emerald with Briggs 206

По данной модели представлены технические характеристики, которые отражены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические параметры VLR Emerald with Briggs 206

Допустимая масса, кг	Масса карта, кг	Мощность, лс	Макс. скорость, км/ч	Объе м бака, л	Цена, тыс. руб.
250	120	8	60	10	345

Кроме того, VLR Emerald предлагает разнообразные возможности для настройки и персонализации. Гонщики могут менять настройки подвески, давления в шинах и другие параметры, что позволяет адаптировать карт под специфические условия гонки и индивидуальные предпочтения. Эта гибкость является важным преимуществом для гонщиков, которые хотят оптимизировать свои результаты на различных типах трасс [3].

С точки зрения эстетики, VLR Emerald выделяется ярким и стильным дизайном, который привлекает внимание на соревнованиях и демонстрациях картинга. Возможность кастомизации внешнего вида также позволяет гонщикам выделяться на фоне конкурентов и выражать свою индивидуальность [23].

В целом, VLR Emerald с двигателем Briggs 206 представляет собой идеальное сочетание производительности, уверенной управляемости и безопасности. Он подходит для широкого круга гонщиков и соревнований, и его уникальные характеристики делают его одним из лучших картов на рынке спортивного картинга. С VLR Emerald гонщики могут рассчитывать на интересные гонки и высокие достижения, что делает его безусловным выбором для истинных любителей картинга.

1.5 Спортивный карт модель 1

В процессе данной выпускной работе был разработан конкурентоспособный спортивный карт. Основными преимуществами данной разработанной модели, относительно рассмотренных ранее, являются его стоимость, относительно небольшая масса и достаточно мощный силовой агрегат. Небольшая стоимость данного карта достигается за счет использования простых и недорогих материалов, а также за счет технологии производства рамной конструкции карта, а именно сварка трубных конструкций между собой в специализированном стапеле (кондуктое), что позволяет увеличить скорость производства, улучшить качество продукта, и позволяет уменьшить нагрузку на рабочих. На рисунке 5 можно увидеть КАД модель спортивного карта.



Рисунок 5 – Спортивный карт модель 1

Основные характеристики спроектированного спортивного карта можно увидеть в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики спортивного карта модель 1

Допустимая масса, кг	Масса карта, кг	Мощность, лс	Макс. скорость, км/ч	Объем бака, л	Цена, тыс. руб.
220	95	8,5	80	10	200

Спортивный карт, обладающий низкой стоимостью, мощным силовым агрегатом и относительно низкой массой, представляет собой идеальное решение для любителей автоспорта и активного отдыха. Его шасси изготовлено из прочного стального трубопровода, что обеспечивает необходимую жесткость и безопасность при минимальном весе. Мощный одноцилиндровый бензиновый двигатель с рабочим объемом около 200 куб. см обеспечивает отличное соотношение мощности и веса, развивая до 8,5 л.с., что достаточно для динамичного вождения. Рулевое управление отличается прямоотой и отзывчивостью, что позволяет водителю точно контролировать карт на высоких скоростях. В системе безопасности предусмотрены защитный каркас и ремни безопасности, что обеспечивает защиту водителя в случае аварии [18].

Эргономичное сиденье, выполненное из углеродистого волокна с эпоксидной смолой для снижения веса карте, с хорошей боковой поддержкой и возможностью регулировки по высоте и углу наклона добавляет комфорта. Использование доступных материалов и простота конструкции позволяют снизить стоимость производства, делая карт доступным для широкой аудитории. Относительно небольшой объем двигателя и легкий вес способствуют низкому расходу топлива, что делает карт экономичным в эксплуатации. Такой спортивный карт станет отличным выбором для начинающих гонщиков и любителей активного отдыха, предлагая сочетание доступности, мощности и легкости, идеально подходящий для картодромов и участия в любительских соревнованиях.

1.6 Сравнительный анализ аналогов

«Для адекватной оценки качества транспортного средства необходимо учитывать все его характеристики и формализовать процессы оценки. Если отдельные показатели качества (P_i) можно выразить количественно, их уровень можно сопоставить с базовым значением этого показателя (P_{i0}). В случаях, когда увеличение значения конкретного показателя приводит к улучшению качества, уровень этого показателя можно выразить как отношение $U_i = P_i / P_{i0}$. Если же рост абсолютного значения негативно сказывается на качестве, уровень следует рассчитывать как $U_i = P_{i0} / P_i$. Таким образом, независимо от того, является ли влияние положительным или отрицательным, увеличение показателя качества всегда будет приводить к росту уровня при улучшении данного критерия.

Для проведения сравнительного анализа нескольких моделей спортивных картов и оценки их по заранее определенным характеристикам необходимо создать общую таблицу, которая упростит процесс сравнения. В таблице 6 представлены все рассматриваемые конкуренты и разрабатываемая модель, что позволяет наглядно увидеть, в каких аспектах новая модель превосходит другие, оставаясь при этом относительно доступной по цене. Такой подход обеспечивает более глубокое понимание конкурентных преимуществ и помогает сделать обоснованный выбор. В данной таблице можно будет увидеть все перечисленные ранее характеристики картов, а также их коэффициенты относительно абсолютного значения, которые в дальнейшем будут перенесены на циклограмму для визуального анализа показателей качественных показателей» [19].

Таблица 6 – Технические характеристики сравниваемых картов

Характеристика	Допустимая масса, кг	Масса карта, кг	Мощность, лс	Макс. скорость, км/ч	Объем бака, л	Цена, тыс. руб.
RiMO EVO6	210	105	6,5	65	11	340
Yi	0,65	0,7	0,6	0,8	1	0,7
Sigma KZ 2025	200	100	5	45	7	250
Yi	0,5	0,8	0,5	0,5	0,7	0,9
SODI SR5	200	120	10	80	9	450
Yi	0,5	0,5	1	1	0,875	0,4
VLR Emerald with Briggs 206	250	120	8	60	10	345
Yi	1	0,5	0,7	0,7	0,9	0,7
Карт модель 1	220	95	8,5	80	10	200
Yi	0,8	1	0,8	1	0,9	1

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

- карт RiMO EVO6 – 4,45;
- карт Sigma KZ 2025 – 3,9;
- карт SODI SR5– 4,275;
- карт VLR Emerald with Briggs 206 – 4,5;
- карт модель 1 – 5,5.

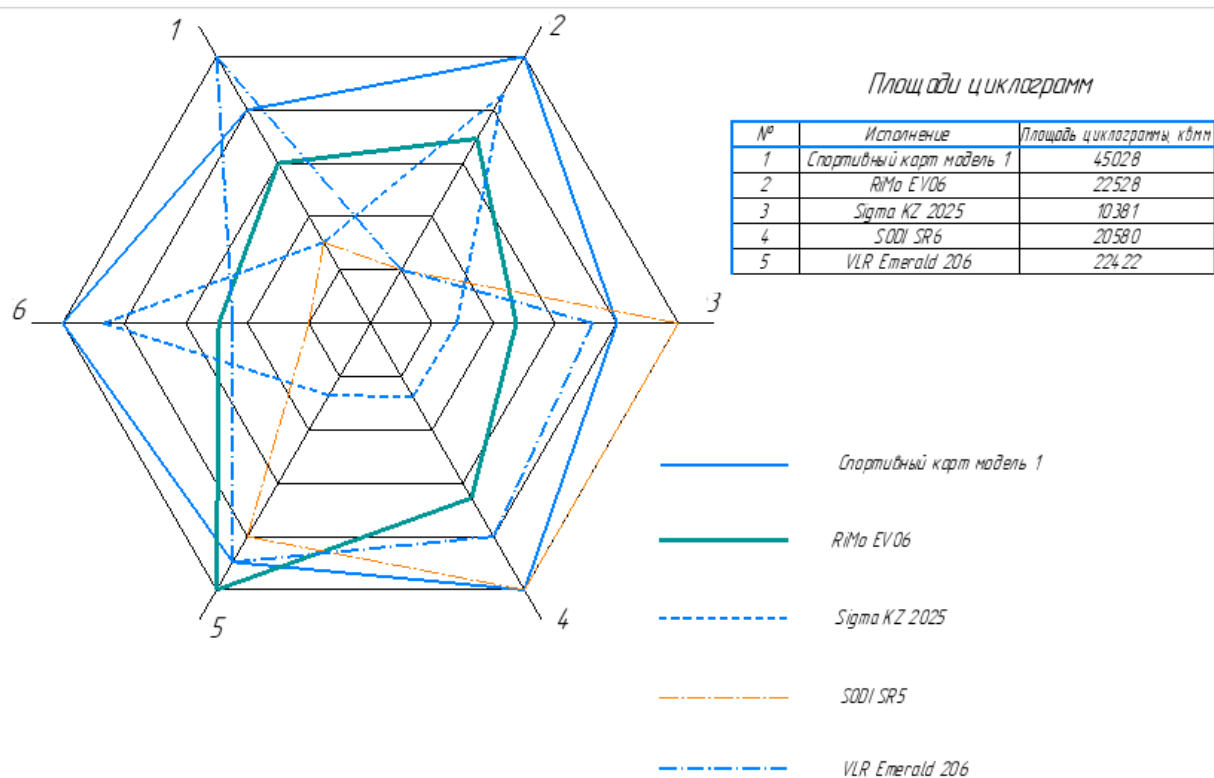


Рисунок 6 – Сравнительная циклограмма характеристик карт

Выводы по разделу

Был проведен анализ рынка карт, что позволило выявить конкурентные преимущества прототипа карты по сравнению с аналогичными моделями других производителей.

2 Разработка карта

2.1 Теоретические аспекты для разработки спортивного карта

Разработка спортивного карта включает в себя множество теоретических аспектов, которые критически важны для достижения высоких показателей производительности, безопасности и удобства использования. Рассмотрим ключевые элементы, которые необходимо учитывать:

Эффективная аэродинамика является основополагающим фактором, влияющим на скорость и устойчивость карты. При проектировании кузова важно учитывать его форму, углы наклона и расположение аэродинамических элементов, таких как спойлеры и диффузоры, чтобы минимизировать сопротивление воздуха.

Шасси должно быть одновременно легким и жестким, что достигается с помощью современных материалов, таких как углеродное волокно и алюминий. Подвеска должна быть настроена для обеспечения отличной управляемости и стабильности на высоких скоростях, а также адаптироваться к различным условиям трассы.

Выбор двигателя – один из ключевых аспектов разработки. Он должен обеспечивать необходимую мощность при минимальном весе. Трансмиссия должна быть простой и надежной, обеспечивая быстрое переключение передач и минимальные потери мощности [21].

Безопасность гонщика является приоритетом. Важно предусмотреть защитный каркас, качественные ремни безопасности и другие элементы, которые могут защитить водителя в случае аварии. Также следует учитывать расположение сиденья и рулевого управления для обеспечения максимального контроля.

Для достижения высокой производительности на трассе необходимо оптимальное сцепление колес с дорогой. Это достигается правильным выбором шин, настройкой подвески и распределением веса. Центр тяжести карты также влияет на его управляемость.

Удобство водителя имеет большое значение. Сиденье должно обеспечивать хорошую поддержку и быть регулируемым, а элементы управления должны быть расположены так, чтобы гонщик мог легко их использовать, не отвлекаясь от дороги.

Хотя спортивные карты ориентированы на производительность, важно учитывать и экономические факторы, такие как расход топлива и стоимость обслуживания. Это может повлиять на выбор компонентов и материалов.

После создания прототипа необходимо провести обширные испытания, чтобы выявить слабые места и оптимизировать характеристики карты. Это включает как тесты на треке, так и анализ данных, полученных в процессе эксплуатации.

Внедрение новых технологий, таких как системы телеметрии, может значительно улучшить производительность и безопасность. Эти системы позволяют собирать данные о работе карты в реальном времени и вносить коррективы в настройки [22].

Также не стоит забывать про настройку различных параметров гоночного карта во время его испытаний на полигоне. Для достижения максимальной скорости спортивного карта существует множество вариантов настройки:

- оптимизация давления может существенно повлиять на сцепление с дорогой и управляемость;
- в некоторых моделях можно устанавливать или снимать этот элемент, что влияет на поведение карты в поворотах;
- передаточное число цепной передачи: Изменение этого параметра позволяет адаптировать ускорение и максимальную скорость;
- регулировка положения сиденья помогает сбалансировать вес карты для улучшения управляемости;
- правильная настройка схождения обеспечивает стабильность на прямых участках и в поворотах;

- изменение высоты передней части карты может повлиять на аэродинамику и устойчивость;
- в картах с тормозами на всех колесах важно правильно настроить распределение тормозного усилия для повышения безопасности и эффективности;
- ширина колеи может влиять на устойчивость и маневренность карты;
- оптимизация работы карбюратора позволяет улучшить подачу топлива и, соответственно, мощность двигателя;
- особенно важно для центробежного сцепления, чтобы обеспечить плавное и эффективное переключение передач;
- расстояние от двигателя до резонатора.

Эти настройки позволяют адаптировать спортивный карт под конкретные условия гонки и предпочтения гонщика, что в итоге способствует достижению максимальной скорости [17].

Учитывая все эти аспекты, процесс разработки спортивного карта становится многогранной задачей, требующей междисциплинарного подхода и глубоких знаний в области механики, материаловедения, аэродинамики и безопасности.

2.2 Обоснование компоновочного решения

Что касается характеристик конструкции и компоновки гоночного карта, то он создан для эксплуатации в специально отведенных зонах для спортивного отдыха и на закрытых трассах, а также для организации туристических и прогулочных маршрутов. В рамках данного проекта разрабатывается высокоэффективный и доступный гоночный карт, который будет соответствовать современным требованиям и ожиданиям пользователей [16].

На рисунке 7 можно увидеть упрощенную сборочную схему гоночного карта, где показаны основные узлы, такие как: Передняя ось 1, Боковые защитные панели 2 и рулевая система 3, педаль акселератора 4, педаль тормоза 5, передний буфер отбоя 6, впускная система 7, силовой агрегат 8, седло 9, задняя ось в сборе 10, выпускная система 11, тормозная система 12, система охлаждения 13.

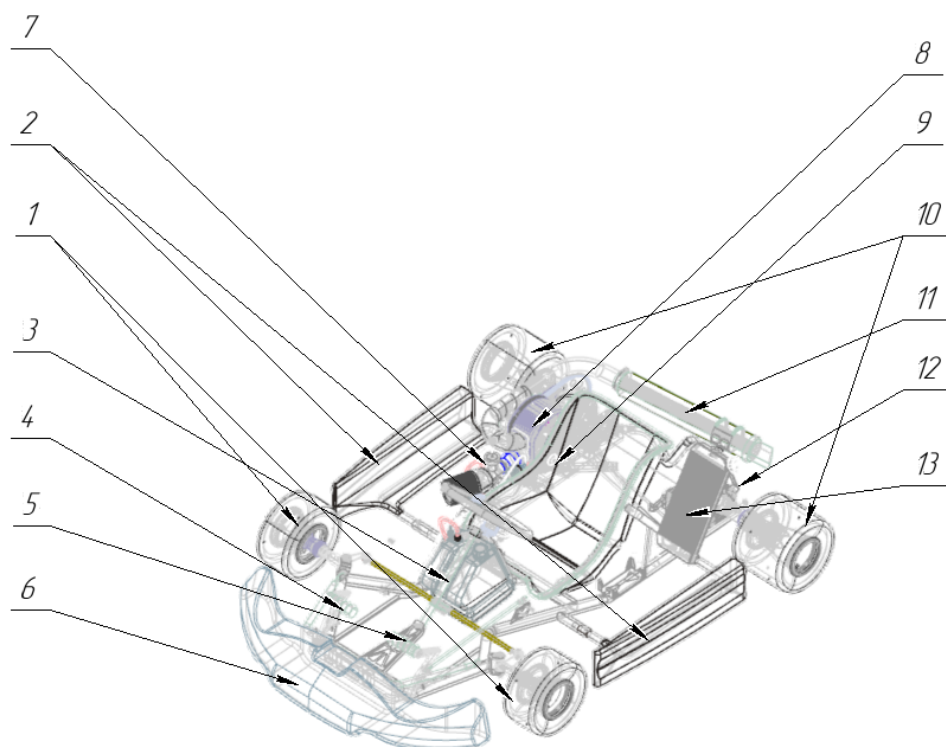


Рисунок 7 – Компоновка спортивного карта (упрощенная схема)

2.3 Техническое задание на разработку спортивного карта

Представленный спортивный карт представляет собой высокопроизводительное транспортное средство, предназначенное для использования на специализированных гоночных трассах и в закрытых зонах для спортивного отдыха. Этот карт работает на бензиновом двигателе, обеспечивая отличную маневренность и скорость [25]. Конструкция карта

включает в себя прочную рамную конструкцию, способную выдерживать нагрузки до 3000 Н.

Спортивный карт планируется использовать на различных мероприятиях, таких как гонки и соревнования, а также для организации развлекательных мероприятий на открытых площадках и в парках. Важно отметить, что данный карт не предназначен для использования на общественных дорогах, поэтому необходимо соблюдать ряд рекомендаций, основанных на его технических характеристиках:

- для оптимальной работы требуется ровная и хорошо подготовленная трасса, так как спортивный карт имеет низкий клиренс и предназначен для высоких скоростей;

- рекомендуемый температурный диапазон эксплуатации составляет от -10 до 30 градусов Цельсия, что связано с характеристиками двигателя и материалов, используемых в конструкции. Не рекомендуется использовать карт в условиях сильного дождя или снега;

- для обеспечения максимальной производительности необходимо использовать качественное топливо (в случае бензинового двигателя) или следить за состоянием аккумулятора (в случае электрического варианта);

- спортивный карт может быть использован не только на гоночных трассах, но и для организации развлекательных мероприятий, таких как картинг на праздниках или корпоративных выездах [8].

Основная цель разработки спортивного карта заключается в создании высокоэффективного и доступного транспортного средства, которое можно производить в малосерийных объемах. Это достигается за счет применения современных технологий и материалов, а также оптимизации конструкции, что позволяет упростить процесс сборки. Пространственная рама карта выполнена из прочных материалов, что обеспечит необходимую жесткость и устойчивость.

Основные характеристики спортивного карта можно увидеть в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристики спортивного карта модель 1

Параметр	Показатель
Колесная формула	4x2
Кол-во мест	1
Масса без пилота, кг	140
Максимально возможная скорость, км/ч	80
Угловая скорость, рад/с	1250
Мощность мотора, кВт	5.8
Крутящий момент на валу, Нм	12
Размерность шин	170/65 R8
Cx – воздушное сопротивление	0,3
Ширина карта, мм	1370
Высота карта, мм	485
Сопротивление качению шин	0,09

Для данного спортивного карта разработаны следующие рекомендации по техническому обслуживанию:

- регулярное техобслуживание является обязательным для поддержания транспортного средства в надлежащем состоянии;
- проверка и ремонт, особенно электрических систем, должны проводиться исключительно квалифицированными специалистами;
- запасные части и компоненты спортивного карта следует использовать строго в соответствии с руководством пользователя.

Выводы по разделу

В данном разделе были рассмотрены теоретические аспекты, необходимые при проектировании прокатного карта. Также было разработано техническое задание на разработку карта.

3 Разработка и расчет рамы карта

Шасси спортивного карта – это критически важный элемент, к которому крепятся все основные компоненты и агрегаты. Оно также принимает на себя все нагрузки, возникающие от колес. Хорошо спроектированное шасси способствует улучшению управляемости благодаря своей жесткости, повышает комфорт за счет снижения вибраций и шумов, а также обеспечивает безопасность как для водителя, так и для пассажиров.

Рама представляет собой основную несущую конструкцию, которая служит базой для установки других компонентов транспортного средства. Она выполняет роль каркаса, на который монтируются двигатель, подвеска, трансмиссия и другие части автомобиля. Ранее все автомобили имели раму, но в настоящее время она применяется только в моделях без несущего кузова, таких как грузовики и большинство внедорожников. Рамы могут быть хребтовыми, где несущие элементы выполнены в виде труб, или лонжеронными, которые состоят из металлических профилей. Хребтовые рамы обладают высокой жесткостью, особенно в отношении к кручению, и позволяют создавать автомобили с различным количеством ведущих мостов. Однако современные производители чаще выбирают лонжеронные рамы, так как установка механизмов внутри хребтовой рамы усложняет процесс ремонта в случае поломки.

При разработке нашего спортивного карта модель 1, был выбран вариант с пространственной рамной конструкцией. Такой выбор оправдан по нескольким причинам:

- он легко реализуем и не требует использования сложного оборудования;
- изготовление обходится недорого благодаря доступным материалам и инструментам, а также минимальным затратам на услуги, если они необходимы;

– конструкция обладает хорошей жесткостью, как в вертикальном, так и в крутильном направлениях;

– это решение позволяет организовать модульную компоновку компонентов и систем автомобилей.

Таким образом, пространственная рамная конструкция является оптимальным вариантом для спортивного карта. Особенно учитывая, что шасси карта должно быть гибким, как стабилизатор поперечной устойчивости, а также должно выдерживать большие нагрузки и сильные удары.

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

– рама спортивного карта должна обладать хорошей жесткостью;

– высокая точность сварки необходима для сохранения правильной развесовки и иметь уверенное прямолинейное движение;

– должна быть стабильность размеров в процессе эксплуатации, иначе повышенная жесткость конструкции и наличие большого количества сварных швов могут привести к образованию остаточных сварочных напряжений;

– конструкции должны быть защищены от коррозии;

– контроль качества сварных швов и их размеров следует проводить в соответствии с ГОСТ;

– прочность определяется расчётным изгибающим моментом, который не должен превышать допустимый предел для изгиба.

Рама разработана с учетом технических требований соревнований. Ее основная задача – эффективно и безопасно разместить все компоненты картинга, включая водителя. При проектировании и реализации шасси особое внимание уделялось безопасности водителя и трансмиссии. Приоритетом в дизайне шасси была безопасность водителя, а на втором месте – безопасность двигателя.

Рама разделена на две основные секции: переднюю (кабину) для размещения руля и сиденья, и заднюю секцию, с трансмиссией и мотором.

Созданы различные модели шасси. Все модели были сравнены по общим размерам и весу, а также по прочности [13].

Структурная целостность рамы была проверена путем сопоставления результатов анализа со стандартными значениями материала. Теоретически рассчитанные нагрузки были применены к каркасной модели рамы в критических точках, чтобы смоделировать силу, которой подвергнется транспортное средство от собственного веса и веса водителя в случае столкновения. Анализ проводился с использованием программы Компас. Для выполнения симуляции шасси была загружена его модель, после чего были рассчитаны напряжения при сценарии нагрузки в повороте. Смоделирован сценарий поворота, и проведен анализ кручения.

Сохранение легкости рамы было приоритетной задачей. При ограниченной мощности вес автомобиля существенно влияет на его производительность. Рама является одним из самых крупных и тяжелых компонентов машины, поэтому особое внимание было уделено ее весу. Стратегия, использованная для минимизации массы, заключалась в установлении четких целей для шасси и выборе подходящих материалов в оптимальных местах для достижения этих целей. После выполнения базовых требований к безопасности метод конечных элементов (FEA) помог в процессе выбора материалов.

Симуляция в Компас сыграла ключевую роль в определении, подвергается ли элемент высоким или низким напряжениям в ранее обсуждаемых сценариях, что сделало процесс проектирования шасси более эффективным. Члены шасси были изготовлены из стали Сталь 20 с толщиной стенки 2 мм и внешним диаметром 25 мм. Точное определение напряжений на шасси в различных сценариях позволило максимально сократить вес за счет выбора и размещения материалов, а также благодаря простоте конструкции рамы, которая предполагает использование меньшего количества элементов, что также способствует снижению веса.

Сначала нужно определить ключевые точки в пространстве, которые будут обозначать размеры автомобиля, после чего можно установить остальные вспомогательные точки, которые ограничивают размещение элементов.

Для проектирования пространственной рамной конструкции важно знать необходимые размеры, которые зависят от колесной базы, ширины колеи, расположения водителя и пассажиров, а также от компоновки и размеров трансмиссии и двигателя. Порой эти данные могут быть недоступны на начальном этапе разработки, поэтому CAD-модель рамной конструкции может потребовать несколько итераций для доработки.

Следующим шагом является выбор металлических труб, определение основных размеров и материала. Поскольку спортивный карт разрабатывается как бюджетный вариант, трубы для пространственной рамы должны быть изготовлены из стали, так как они значительно дешевле алюминиевых. Кроме того, сварка стальных труб проще и экономичнее. Хотя алюминиевая рама могла бы предложить определенные преимущества, такие как снижение общего веса автомобиля, что увеличило бы пробег на одном заряде, а также обладает хорошими антикоррозийными свойствами, использование алюминия значительно увеличило бы стоимость производства. Кроме того, алюминий имеет низкую упругость и для его деформации требуется меньше усилий по сравнению со сталью.

После этого необходимо создать металлическую оболочку на основе имеющегося каркаса из точек и отрезков. Для этого в спецификации нужно задать необходимые параметры стальной трубы, выбрать ее и разместить трубы на месте каждого отрезка. В результате получается цельная пространственная рама, которую можно увидеть на рисунке 8 [11].

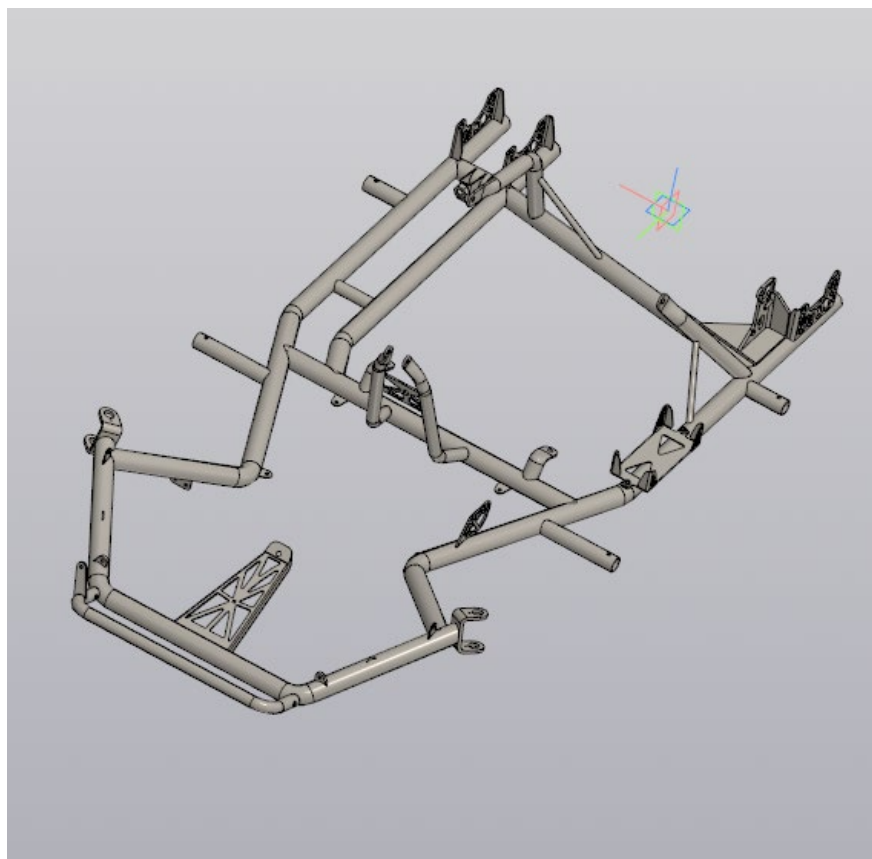


Рисунок 8 – Каркас пространственной рамной конструкции из точек и соединяющих отрезков

Когда каркас начинает покрываться металлической оболочкой, требуется провести дополнительную обработку готовой рамы. На этом этапе трубы еще не соединены, и CAD-программа не может автоматически определить эти соединения. Поэтому необходимо вручную установить эти связи. В этом процессе полезна так называемая «Булева операция».

Также стоит учитывать, что пространственная рама достаточно сложна в изготовлении и в производстве, поэтому для обеспечения качественной сварки, а также качественного конечного продукта, стоит позаботиться о некоторых производственных моментах. Для обеспечения точной сварки, точного расположения каждого из узлов, а также для того, чтобы конструкцию не повело от сварки за счет температурных напряжений необходимо разработать специальный кондуктор, куда будут устанавливаться трубы,

фиксироваться и свариваться между собой. На рисунке 9 можно увидеть такой кондуктор.

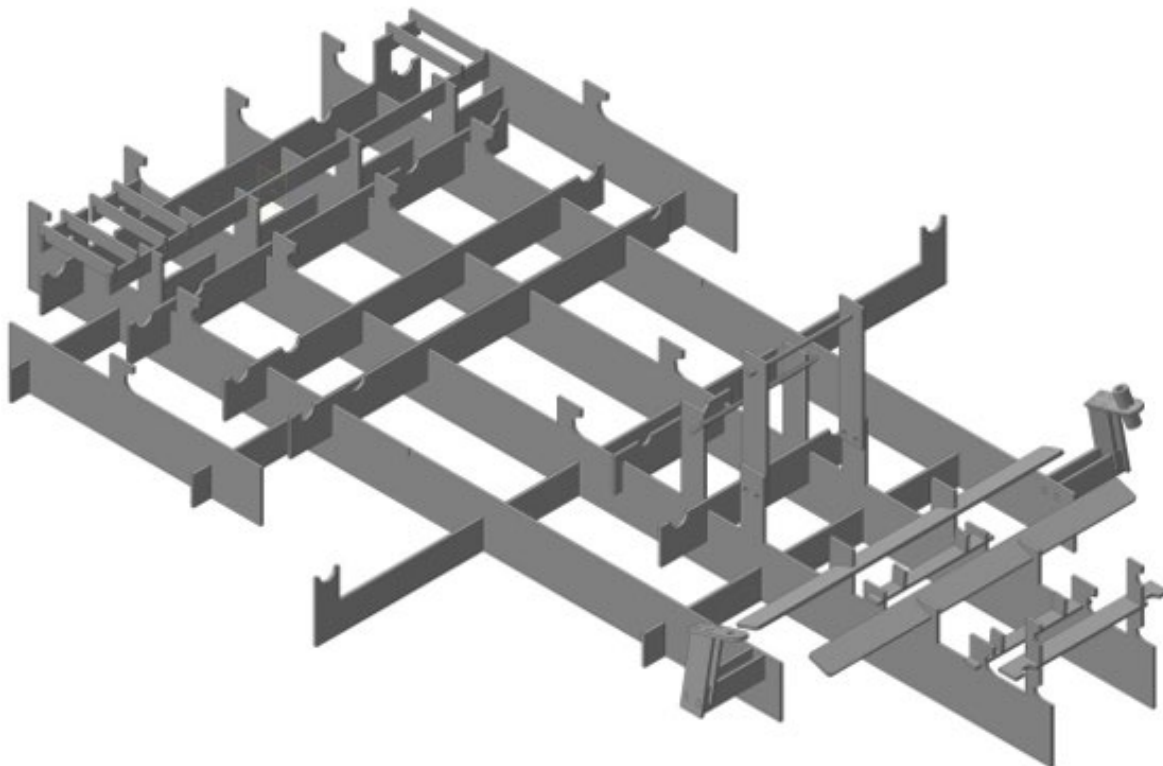


Рисунок 9 – Кондуктор для точной сварки пространственной рамы спортивного карта

После завершения построения пространственной рамной конструкции и задания всех соединений между элементами следует перейти к этапу валидации.

На этом этапе необходимо провести серию симуляций, чтобы оценить прочностные характеристики рамы и убедиться, что они соответствуют требованиям для данного типа автомобиля. Для выполнения симуляций нужно создать тетраэдральную сетку, которая охватывает всю поверхность рамы. Тетраэдральная сетка представляет собой трехмерную сетку, где конечным элементом является тетраэдр – самый простой трехмерный объект [14].

«Чтобы отобразить сетку, нужно нажать кнопку «Сетка» на панели инструментов «Текущее состояние» или использовать сочетание клавиш CTRL+G. Настройка параметров сетки осуществляется через выпадающее меню кнопки «Сетка». Вот некоторые из параметров и их описание:

- «Тип»: предоставляет шесть различных 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 равен 90 градусам, что указывает на прямоугольную форму ячейки» [2].

На рисунке 10 представлена тетраэдральная сетка.

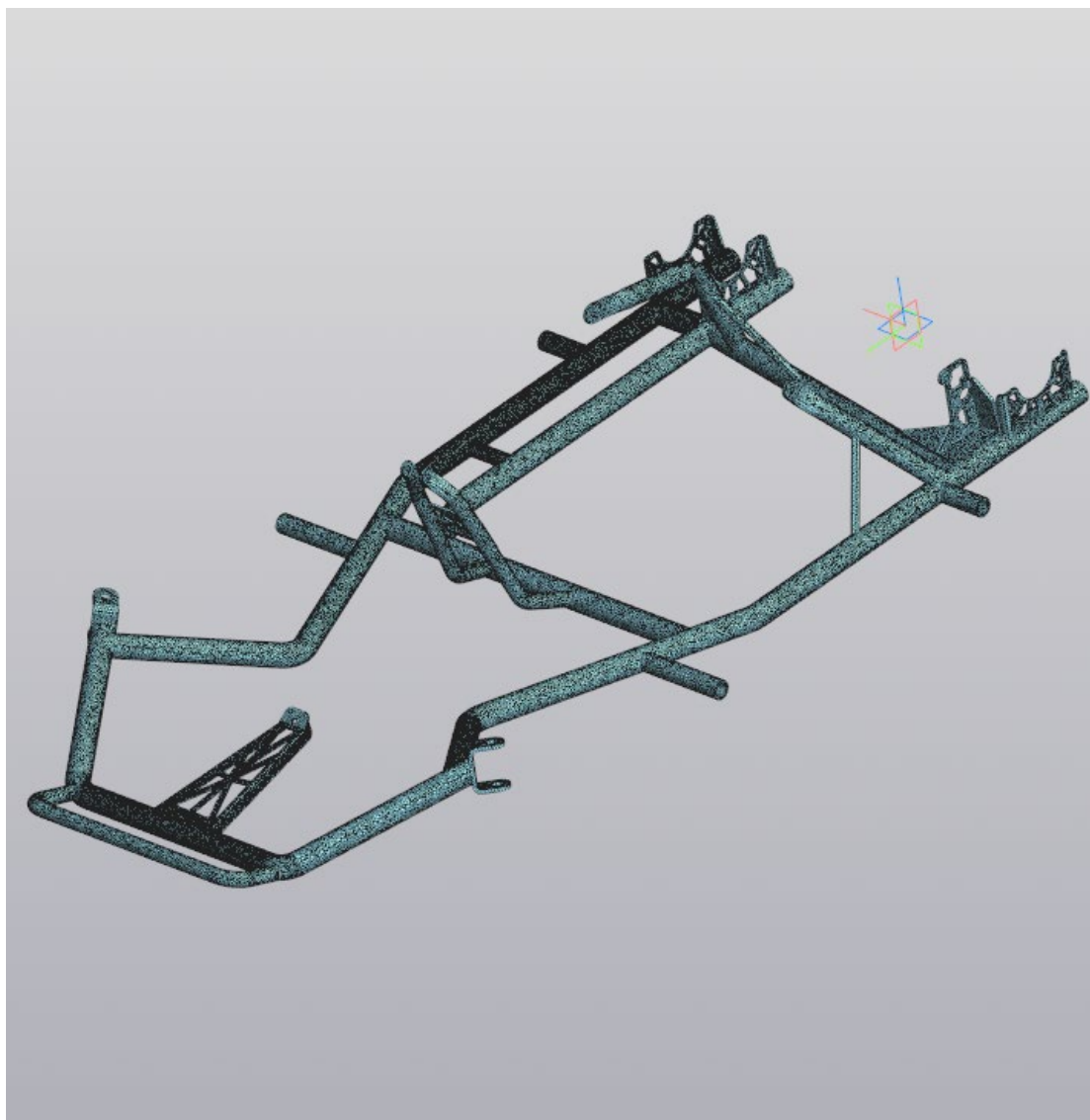


Рисунок 10 – Тетраэдральная сетка рамы

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 среды (температура также влияет на результаты симуляций), условия гравитации и ускорения свободного падения [15]. Кроме того, на

данном этапе необходимо задать тип и место фиксации детали, а также установить необходимую нагрузку в нужные зоны [4].

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 1000 Ньютонов на каждую сторону. На рисунках 11–14 можно увидеть результаты проведения симуляций.

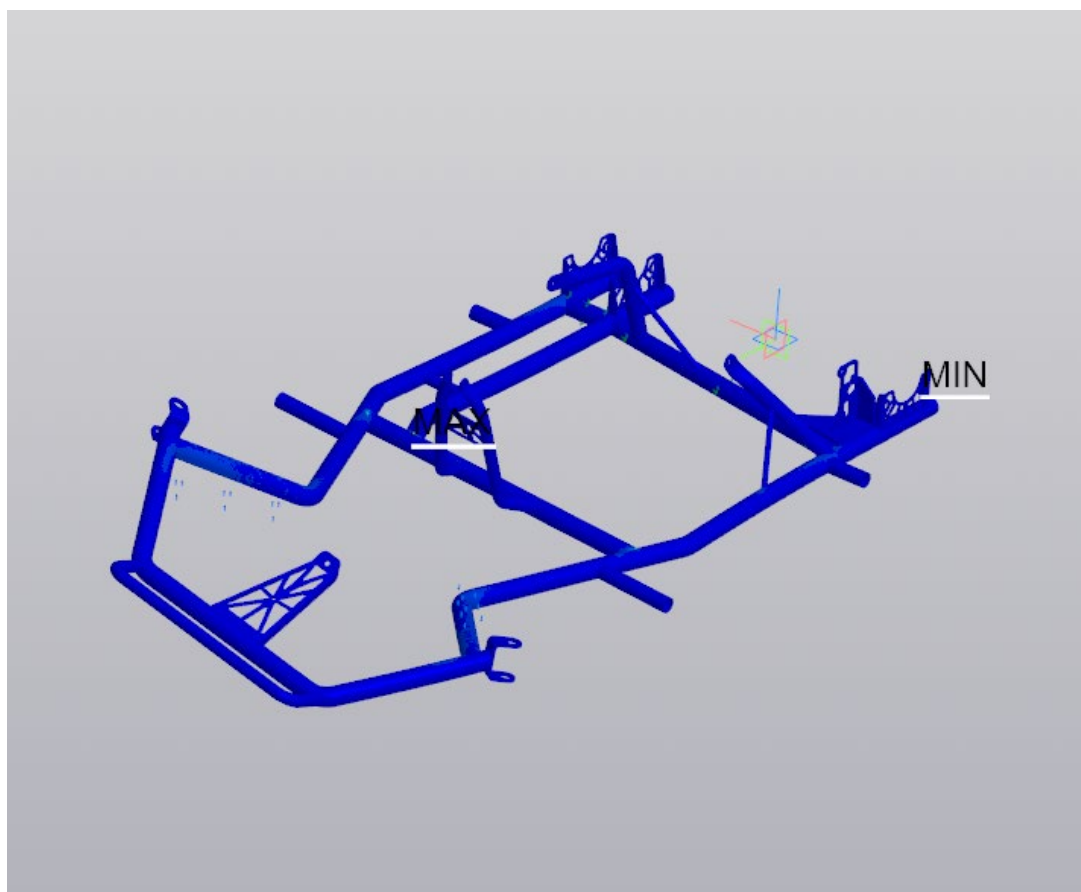


Рисунок 11 – Результат симуляции, показывающий напряжения

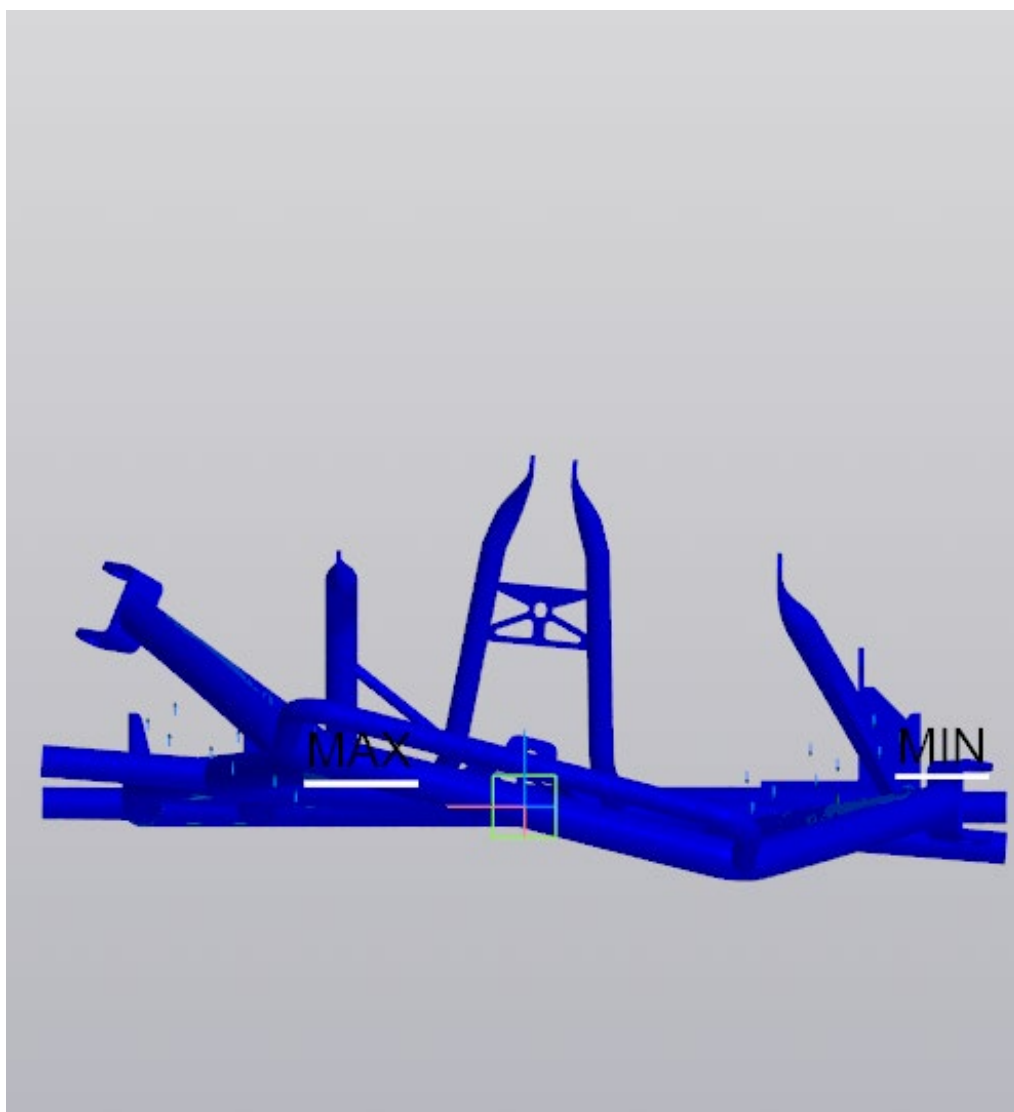


Рисунок 12 – Результат симуляции, показывающий напряжения (вид спереди)

На рисунке 11 и 12 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.

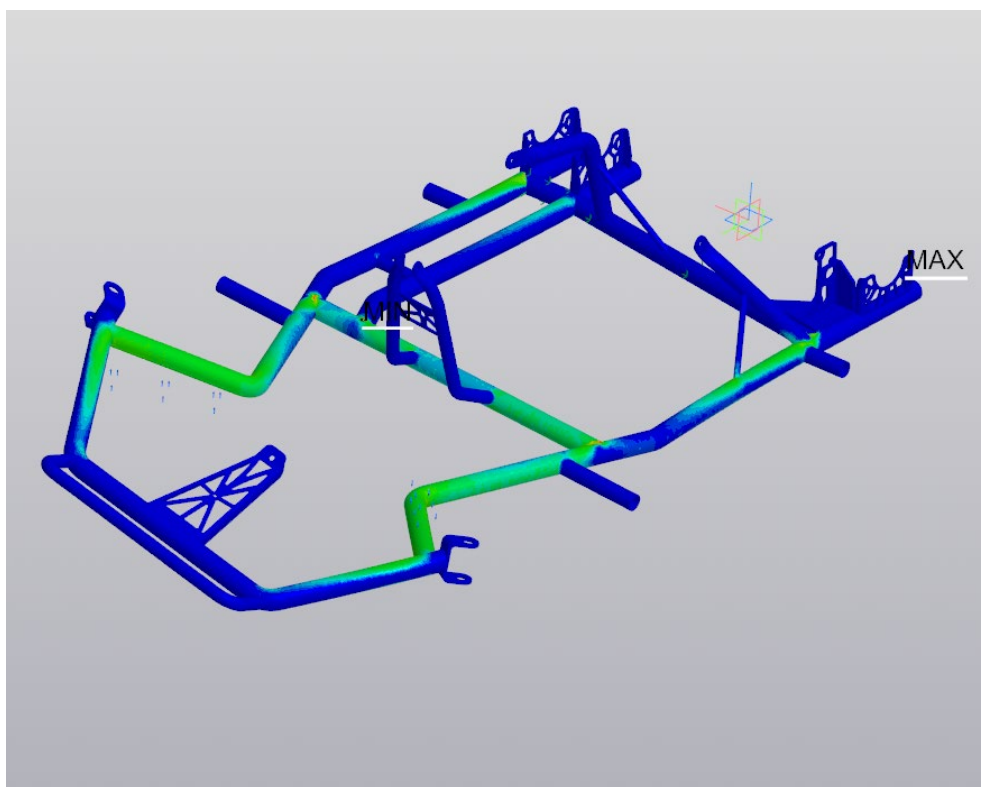


Рисунок 13 – Результат симуляции, показывающий коэффициент запаса прочности

На рисунке 13 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 13 не ниже 1.4, что указывает на достаточную надежность данной конструкции [6].

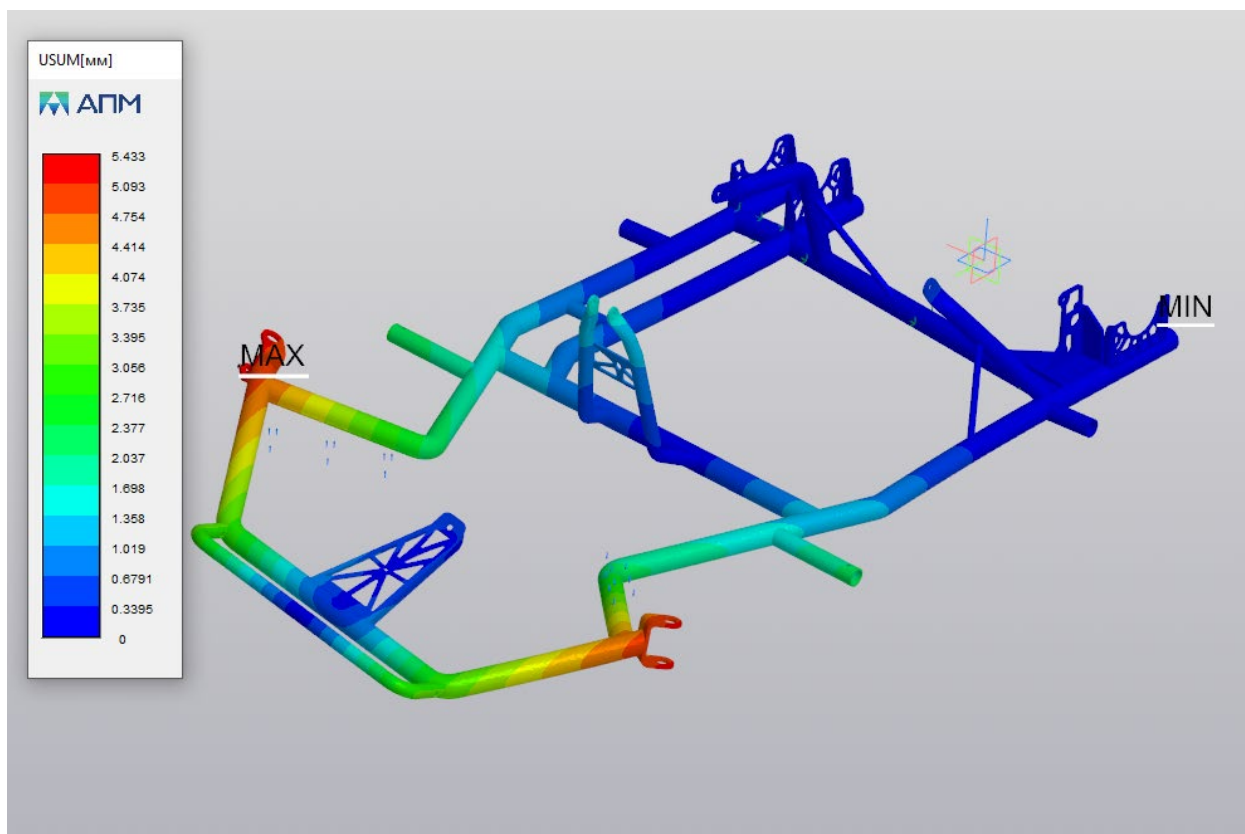


Рисунок 14 – Результат симуляции, показывающий деформацию

На рисунке 14 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 5.4 мм, что является допустимым и не приводит к невозвратимой деформации [7].

Выводы по разделу

В данном разделе был проведен САЕ-анализ пространственной рамы прокатного карта в целях валидации прочностных характеристик рамной конструкции.

4 Безопасность и экологичность технического объекта

«Процесс изготовления спортивного карта 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» [12].

В процессе производства гоночного карта необходимы слесарные, сварочные и сборочные работы. Информация о необходимых операциях слесарных работ представлена в таблице 8.

Таблица 8 – ОВПФ слесарных работ

Направление работы	Сущность работы	Список необходимых инструментов	ОВПФ
1	2	3	4
Слесарные работы	– резка металла, – сверление, – резьбонарезание	Углошлифовальная машина, трубка, 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» [24]. на рабочем месте. ОВПФ сварочных работ указаны в таблице 9.

Таблица 9 – 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;

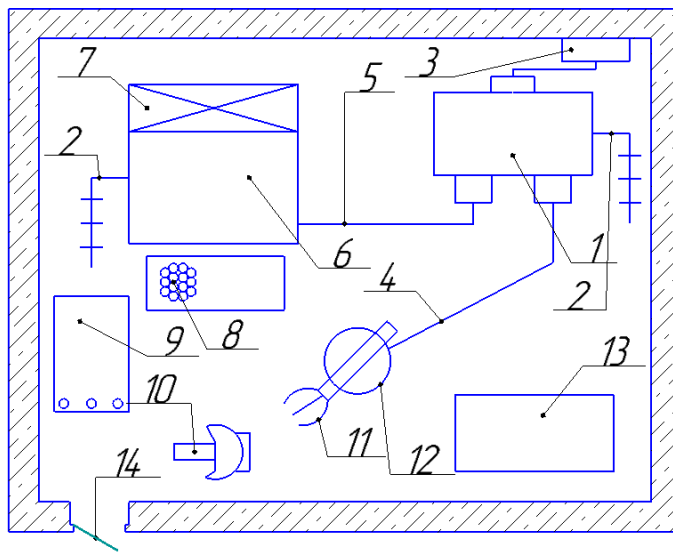
- регулярно проводятся проверки знаний по технике безопасности и

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.



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 15 – 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.

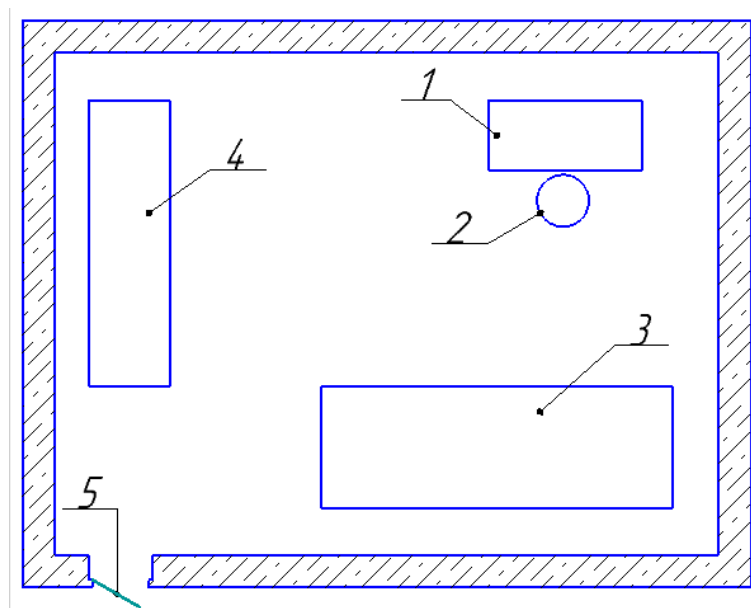
ОВПФ сборочных работ указаны в таблице 10.

Таблица 10 – 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.



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

Рисунок 16 – 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» [20].

Заключение

В выпускной квалификационной работе представлена разработка спортивного прокатного карта, предназначенного для эксплуатации в специализированных зонах.

Произведены технические расчёты и разработан прокатный спортивный карт.

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 прокатного карта. Разработано техническое задание на разработку прокатного карта, определены основные параметры.

Проведена валидация рамы прокатного карта при помощи CAE-анализа. Пошагово описан объем всех работ, приведены результаты прочностного анализа.

В результате выполненной работы представлен полноценный проект прокатного карта, который соответствует всем требованиям безопасности.

Для данного спортивного карта разработаны следующие рекомендации по техническому обслуживанию:

- регулярное техобслуживание является обязательным для поддержания транспортного средства в надлежащем состоянии;
- проверка и ремонт, особенно электрических систем, должны проводиться исключительно квалифицированными специалистами;
- запасные части и компоненты спортивного карта следует использовать строго в соответствии с руководством пользователя.

Предложенная модель прототипа может использоваться для реализации мелко- и среднесерийного производства. Проведенный сравнительный анализ показал конкурентоспособность представленной разработки на рынке.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя в 3-х т. Т.3. - 8-е изд. Перераб. и доп. Под ред. И. Н. Жестоковой. / В. И. Анурьев. - М.: Машиностроение, 2001. - 864 с.
2. Горбацевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие для вузов/ А. Ф. Горбацевич, В.А. Шкред. М: – ООО ИД «Альянс», 2007–256 с.
3. Горелов В. А., Косицын Б.Б. Разработка комплексной системы управления движением спортивного автомобиля класса «Формула Студент» по заданной трассе // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2016. С. 45–55.
4. Дьяков И. Ф., Оптимальный выбор подвески транспортных средств // Новые импульсы развития: вопросы научных исследований. Механика и машиностроение. 2020. С. 148–154.
5. Иванов, А.С. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие / А. С. Иванов, П. А. Давыденко, Н.П. Шамов. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 276 с.
6. Капрова, В.Г. Учебно-методическое пособие к выполнению курсовой работы по дисциплине «Организация производства» для студентов специальности 190201 – «Автомобиле и тракторостроение» всех форм обучения / В. Г. Капрова. –Т.: ТГУ, 2007. – 63 с
7. Клепиков, В.В. Основы технологии машиностроения: учебник / В. В. Клепиков [и др.]. – М.: ИНФРА-М, 2017. - 295 с.
8. Косилова, А.Г. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х томах Т2 (под ред. А. Г. Косиловой 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985, 496 с., ил.).
9. Косов, Н.П. Технологическая оснастка: вопросы и ответы: Учебное пособие для вузов. / Н. П. Косов, А. Н. Исаев, А.Г. Схиртладзе. – Электрон.дан. – М.: Машиностроение, 2007. – 304 с

10. Лебедев, В. А. Технология машиностроения: Проектирование технологий изготовления изделий: учеб. пособие для вузов / В. А. Лебедев, М. А. Тamarin, Д. П. Гепта. - Гриф УМО. – Р.-на-Д.: Феникс, 2008. – 361 с.
11. Маркина А. А., Чепкасов С.Н., Бережная М.А. Разработка комплексной системы управления движением спортивного автомобиля класса «Формула Студент» по заданной трассе // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2019. С. 1–12
12. Маталин, А. А. Технология машиностроения: учеб. для студ. вузов, обуч. по спец. 151001 напр. "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроит. производств" / А. А. Маталин. - Изд. 3-е, стер. ; Гриф УМО. – С.-П. [и др.]: Лань, 2010. - 512 с.
13. Михайлов, А.В. Оформление документов на технологические процессы обработки резанием: Метод. указания/Сост. Михайлов А. В.-Т.: ТолПИ, 1993.
14. Раймпель Й. Шасси автомобиля / под. ред. И. Н. Зверева. М.: Машиностроение, 1983. 356 с.
15. Свинов В.В. Моделирование динамики рулевого управления автомобиля // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2008. С. 110–111.
16. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х томах Т2 / под ред. А. Г. Косиловой. М.: Машиностроение, 1985, 496 с.
17. Шерстобитова О. О., Мошко Д. А. Разработка модульной каркасно сборочной технологической оснастки для производства элементов спортивно гоночных автомобилей» // Ежегодный сборник трудов "Студенческие инженерные проекты". 2017. С. 205–207.
18. Badih A. Jawad, Jason Baumann. Design of Formula SAE Suspension // Motorsport Engineering Conference & Exhibition Indianapolis, Indiana December. 2002. P. 2–5.
19. Formula SAE [Электронный ресурс] <http://www.fsaeonline.com/> (дата обращения: 05.04.2025).

20. Formula Student Germany [Электронный ресурс] // URL: <https://www.formulastudent.de/> (дата обращения: 05.04.2025).
21. Greg Wheatley, Brent Lane Design of a Rear Suspension for a Race Car // Engineering Letters Journal. 2020. P. 414–418.
22. Li Sun, Zhao Deng, Qing Zhang. Design and Strength Analysis of FSAE Suspension // The open Mechanical Engineering Journal. 2014. P. 414–418.
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 16.04.2025).
24. Popa C. 2005 Formula SAE-A Racer Car / University of Southern Queensland. 2005. P.113–124.
25. Riley W. and George A. «Design, Analysis and Testing of a Formula SAE Car Chassis» / University of Cornwell. 2002. P. 85-88.