

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 Проектирование конструкции картинга на электрической тяге

Обучающийся

А.О. Дементьев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент А.С. Тизилов

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

Консультанты

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

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

канд. техн. наук, доцент А.Н. Москалюк

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

канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков

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

Тольятти 2025

## Аннотация

Дипломный проект на тему: «Проектирование конструкции картинга на электрической тяге».

Развитие экологически чистого транспорта и популяризация технического творчества среди молодежи обуславливают повышенный интерес к электрокартингу. Проектирование картинга на электрической тяге объединяет задачи современного машиностроения, электротехники и энергоэффективности, что делает тему особенно актуальной в условиях перехода к «зеленым» технологиям.

Цель работы: разработка конструкции картинга с электрическим приводом, отвечающего требованиям безопасности, динамичности и энергоэффективности.

Задачи работы:

- анализ существующих конструкций картингов и их силовых установок;
- оценка тягово-динамических показателей;
- обоснование выбора компонентов электропривода (двигатель, аккумулятор, система управления);
- разработка технологических решений для сборки.

Объект: картинг на электрической тяге.

Методы исследования:

- теоретический анализ научной и технической литературы;
- компьютерное моделирование (CAD/CAE-системы).

Структура работы включает введение, шесть разделов основного содержания, заключение, список используемой литературы и используемых источников, приложение.

В первом разделе рассмотрена история развития картов, общие сведения о конструкции, в отдельном подразделе выполнен обзор электрических картов.

Во втором разделе проведен анализ динамических характеристик электрокарта, представлены расчёты, определяющие тяговые возможности и динамику транспортного средства при различных режимах движения.

В третьем разделе проведена конструкторская разработка электрического карта.

Четвертый раздел посвящен разработке технологического процесса сборки, представлен выбор оптимального метода, детальная схема выполнения операций.

В пятом разделе проведен комплексный анализ безопасности и экологичности проекта, оценены потенциальные риски для персонала и окружающей среды, разработаны инженерные и организационные меры по их минимизации, предложены решения, обеспечивающие соответствие проекта действующим нормам охраны труда и экологическим стандартам.

В шестом разделе проведена оценка финансовой целесообразности проекта, проведён расчёт ключевых показателей, подтверждающих его рентабельность и окупаемость.

Пояснительная записка на 97 страницах, объем графической части составляет 10 листов формата А1.

Проект демонстрирует возможность создания доступного электрокартинга для образовательных и спортивных целей. Результаты могут быть использованы для популяризации технического творчества среди молодёжи, развития инженерных навыков.

## **Abstract**

The title of the graduation work is: «The design of an electric-powered karting vehicle».

The graduation work consists of: an introduction, six general parts, a conclusion, a list of references, appendices and a graphic part on 10 A1 sheets.

The aim of the project is to develop a functional and efficient electric karting vehicle by optimizing its design, performance characteristics, and manufacturing process while adhering to modern technological and environmental standards.

In the first part of the graduation project, the current state of karting technology is examined, including an overview of traditional and electric karts, their evolution, and a comparative analysis of existing electric kart models on the market.

In the second part, traction and dynamic calculations are performed to determine the kart's power requirements, acceleration, and overall performance capabilities.

The third section focuses on the engineering design of the electric kart, including technical specifications, conceptual proposals, and structural calculations to ensure durability, safety, and optimal performance.

The fourth section covers the technological aspects of the kart's assembly, including the selection of efficient manufacturing methods and the development of a step-by-step assembly process.

The special part of the graduation work gives details about the safety and environmental friendliness of the project.

Finally, we calculate the economic efficiency of the project.

This research contributes to the advancement of electric karting technology, offering a sustainable and high-performance alternative to traditional combustion-engine karts while maintaining competitive dynamics and reliability.

## Содержание

Введение.....	6
1 Состояние вопроса .....	10
1.1 Общие сведения о картах .....	10
1.2 Развитие электрических картов .....	13
1.3 Электрические карты представленные на рынке.....	16
2 Тягово-динамический расчет автомобиля.....	21
3 Конструкторская часть .....	30
3.1 Техническое задание на разработку конструкции электрического картинга.....	30
3.2 Техническое предложение на разработку конструкции электрического картинга.....	33
3.3 Конструкторские расчеты .....	40
4 Технологический раздел.....	44
4.1 Выбор рациональной организации технологии сборки .....	45
4.2 Разработка технологического процесса сборки .....	52
5 Безопасность и экологичность проекта .....	58
5.1 Структурно-функциональный анализ .....	60
5.2 Идентификация профессиональных рисков.....	62
5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	65
5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта .....	71
5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса сборки картинга на электрической тяге.....	76
6 Экономическая эффективность проекта.....	80
Заключение .....	89
Список используемой литературы и используемых источников.....	91
Приложение А. Спецификация.....	97

## Введение

В условиях глобального перехода на «зелёные» технологии и сокращения выбросов CO<sub>2</sub> развитие электромобилестроения становится стратегическим направлением для многих стран, включая Российскую Федерацию.

Несмотря на историческую зависимость от нефтегазового сектора, Российская Федерация постепенно наращивает компетенции в области электромобилестроения, опираясь на импортозамещение, государственную поддержку и частные инициативы.

Ключевыми документами по развитию электротранспорта в Российской Федерации являются стратегия развития автотранспорта до 2035 года (акцент на экологизацию) и паспорт федерального проекта «Электротранспорт» (инвестиции ориентировочно 120 млрд руб.).

По данным АО «Аналитический центр при Правительстве РФ», в 2024 году в России было продано около 3,5 тыс. электромобилей, что составляет менее 1% от общего рынка новых авто.

Основные причины медленного роста:

- высокая стоимость (новые электромобили в 1,5-2 раза дороже ДВС-аналогов);
- неразвитая зарядная инфраструктура (менее 2000 публичных зарядных станций на всю страну);
- дефицит доступных моделей (после ухода западных брендов).

Однако начиная с 2022 года наметились положительные изменения:

- рост интереса к электромобилям из-за подорожания бензина;
- локализация производства (запуск новых моделей под российскими брендами);
- государственная поддержка (льготные кредиты, сниженные транспортные налоги).

Рассмотрим ключевые российские проекты по производству электромобилей и сведем их в таблицу 1.

Таблица 1 – Ключевые российские проекты по производству электромобилей

Проект	Завод:	Модель	Планы по производству
Кама (бывшее «Ё-мобиль»)	Набережные Челны (совместно с «КамАЗом»).	Седан «Кама-1» запас хода 450 км, цена от 3 млн руб.)	Выпуск 50000 авто к 2030 году, создание грузовых электромобилей
Москвич 3е	Москва (бывший завод Renault)	Перелицованный JAC Sehol E40X (запас хода 410 км)	Локализация производства и разработка собственной платформы
Соллерс Электро	Елабуга (Татарстан)	Электрогрузовики и фургоны (Соллерс Арго и Атлант)	Расширение линейки коммерческого электротранспорта

Также существуют другие проекты, разработка которых находится в начальной стадии:

- «Авито» (лёгкие электромобили для каршеринга);
- «Электротранспортные решения» (ЭТС) – электробусы и спецтехника;
- «ГАЗ» – тестирование электромобилей на базе Volga.

Несмотря на активность, российское автомобилестроение сталкивается с рядом сложностей:

- зависимость от импорта основных частей электромобиля;
- недостаток инфраструктуры (особенно в регионах);
- высокие цены из-за малых объёмов производства;
- конкуренция с Китаем (китайские бренды дешевле и технологичнее).

Российская Федерация постепенно формирует законодательную базу для стимулирования производства и эксплуатации электромобилей.

Вводятся льготы для производителей – налоговые каникулы, субсидии на НИОКР (например, в особых экономических зонах). Для покупателей

введено снижение транспортного налога, льготные кредиты (программа Минпромторга).

Немаловажным моментом является развитие инфраструктуры – к 2030 году планируется создать более 10000 зарядных станций (в том числе на федеральных трассах М-1, М-4).

Под эгидой Росатома и Ростеха планируется создание отечественных аккумуляторов.

Водородные топливные элементы (ВТЭ) рассматриваются как дополнение или даже альтернатива литий-ионным аккумуляторам из-за:

- большей энергоёмкости – запас хода на водороде может превышать 600–800 км (против 300-500 км у Li-Ion);
- быстрой заправкой – 3-5 минут (против 30 минут – 2 часа у электромобилей);
- экологичностью – единственный выхлоп – вода (при использовании «зелёного» водорода);
- устойчивостью к холоду – не теряют ёмкость при -30°C (литий-ионные батареи деградируют).

Для наглядности выполним сравнение Li-Ion батареи с водородным топливным элементом и сведём в таблицу 2.

Таблица 2 – Сравнение Li-Ion батареи с водородным топливным элементом

Критерий	Тип аккумулятора	
	Li-Ion	Водород
Запас хода	до 500 км	600–1000 км
Время заправки	30 мин. – 12 ч.	3–5 мин.
КПД	80–90%	40–60% (с учётом производства водорода)
Температуры	Деградация на морозе	Стабильная работа
Стоимость	10000–15000 р./кВт·ч.	20000–30000 р./кВт·ч.

Водород пока проигрывает в экономике, но выигрывает в логистике (грузовики, автобусы, авиация).

Если удастся снизить стоимость водорода до 100-200 р./кг, технология станет по-настоящему конкурентоспособной.

Выбор темы дипломного проекта полностью оправдан глобальным переходом на экологичный транспорт и развитием электротранспорта в России, а актуальность темы выпускной квалификационной работой обуславливается несколькими причинами:

- Экологические аспекты. Электротранспорт становится всё более востребованным во всём мире благодаря своей экологичности, так как его использование позволяет снизить выбросы вредных веществ в атмосферу и делает их привлекательными для эксплуатации в закрытых помещениях и зонах отдыха вблизи жилых районов;
- экономическая эффективность. Электродвигатели обладают высокой эффективностью преобразования энергии по сравнению с двигателями внутреннего сгорания. Это снижает затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание, делая электрокартинг экономически выгодным решением;
- технологический прогресс. Развитие технологий аккумуляторов и электродвигателей позволяет создавать мощные и компактные решения, обеспечивающие высокую производительность и динамику картингов;
- развитие спорта и индустрии развлечений. Электрокартинг привлекает внимание молодых спортсменов и любителей активного отдыха. Возможность участия в соревнованиях и мероприятиях повышает интерес к данному виду транспорта среди широкой аудитории, способствуя развитию спортивной инфраструктуры и развлекательных комплексов.

Таким образом, проектирование конструкций картинга на электрической тяге представляет собой перспективное направление развития техники, сочетающее в себе инновационные технологии, экономичность и заботу об окружающей среде.

Тема дипломного проекта позволяет применить инженерные знания на практике и внести вклад в развитие российского электротранспорта.

## 1 Состояние вопроса

### 1.1 Общие сведения о картах

Карт (англ. go-kart, kart) – это небольшой гоночный или развлекательный автомобиль без кузова, предназначенный для соревнований, тренировок или активного отдыха. Отличается простой конструкцией, минимальным весом и высокой маневренностью.

Всю историю развития картингов условно можно разделить на 5 этапов:

- истоки (1930–1950-е годы),
- становление (1960-е годы),
- техническая эволюция (1970–1990-е),
- современный этап (2000-е — настоящее время).

Проборазы картов появились в США в 1930-х годах как самодельные гоночные тележки с двигателями от мотоциклов или бензопил. Однако официальной датой рождения картинга считается 1956 год, когда американский пилот и механик Арт Ингелс (Art Ingels) построил первый прототип карта в Калифорнии.

Его конструкция включала:

- трубчатую раму,
- двигатель от газонокосилки,
- примитивную рулевую систему.

Этап становления включал в себя следующие основные вехи:

- 1959: основана Международная федерация картинга (CIK), что придало дисциплине официальный статус;
- 1962: первый чемпионат мира в Италии. Картинг признан «ступенью» в автоспорт — многие будущие звезды «Формулы-1» (например, Айртон Сenna, Михаэль Шумахер) начинали с картинга;

- 1964: появление первых серийных картов (компания Go-Kart Manufacturing Co.).

На этапе технической эволюции (1970–1990-е) произошли следующие изменения:

- двигатели: переход от моторов бензопил (5–10 л.с.) к специализированным двухтактным (до 40 л.с.);
- безопасность: введение защитных дуг, многоточечных ремней, огнестойких комбинезонов;
- популяризация: открытие коммерческих картодромов, развитие любительских соревнований.

С 2010-х годов развиваются экологичные модели электрических картов (например, Rotax MAX E-Kart).

Их преимущества:

- мгновенный крутящий момент,
- отсутствие выхлопов,
- низкий шум,
- использование карбоновых материалов, аэродинамических элементов, цифровых систем телеметрии.

Карт на бензиновом ДВС представляет собой предельно упрощенную конструкцию по сравнению с обычными автомобилями и профессиональными гоночными машинами.

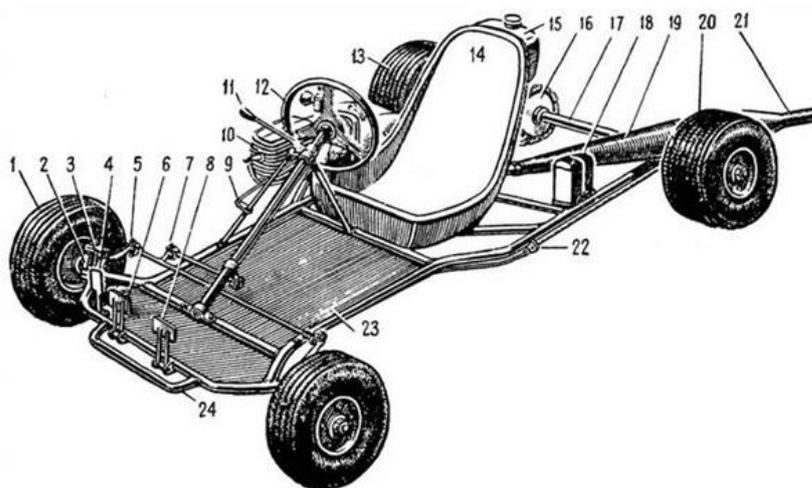
Это обусловлено его специализированным назначением – обеспечение максимально непосредственного контакта между пилотом, машиной и трассой.

Основные аспекты этой простоты:

- отсутствие кузова, только пространственная рама из стальных труб;
- полное отсутствие каких-либо обтекателей или панелей;
- колеса жестко закреплены на раме, все неровности передаются непосредственно пилоту, что в совокупности обеспечивает мгновенную реакцию на руление;

- двигатель расположен открыто сзади;
- топливный бак (если есть) небольшая канистра;
- нет сложных систем вентиляции или охлаждения;
- рулевое управление: прямая тяга без усилителей, максимально короткий рулевой вал, угол поворота до 180°;
- тормозная система: часто только задние тормоза, примитивные дисковые механизмы, нет ABS или других электронных помощников;
- трансмиссия: нет дифференциала, цепной привод напрямую от двигателя, в большинстве случаев - одноступенчатая передача;
- жесткое сиденье без амортизации;
- минимум электроники, нет бортового компьютера;
- отсутствие датчиков (кроме тахометра в спортивных моделях);
- примитивная система зажигания.

Рассмотрим конструкцию карта с ДВС (рисунок 1).



- 1 – правое переднее колесо; 2 – поворотный кулак; 3 – вилка; 4 – педаль газа; 5 – шарнирное соединение тяги с рычагом; 6 – педаль тормоза; 7 – шарнир рулевой тяги; 8 – педаль сцепления; 9 – рычаг переключения передач; 10 – двигатель; 11 – рычаг переулючения передач; 12 – рулевое колесо; 13 – заднее правое колесо; 14 – сиденье водителя; 15 – бензобак; 16 – ведомая зубчатка на задней оси; 17 – задняя ось; 18 – аккумулятор; 19 – глушитель; 20 – заднее левое колесо; 21 – выхлопная труба; 22 – упор троса тормоза; 23 – полик; 24 – предохранительная дуга

Рисунок 1 – Конструкция карта с ДВС

Преимуществами такой простоты является:

- низкая стоимость – производство и обслуживание в разы дешевле;
- ремонтпригодность – большинство поломок можно устранить прямо на трассе;
- чистота управления – пилот чувствует каждую неровность и изменение сцепления;
- быстрая модификация – легко менять настройки под разные условия.

Некоторые профессиональные модели могут иметь:

- гидравлические тормоза на все колеса,
- 6-ступенчатую коробку передач (класс KZ),
- системы сбора телеметрии,
- углепластиковые компоненты.

Однако даже эти усложнения не меняют базовой философии картинга - максимальной простоты и непосредственности управления. Именно эта простота делает картинг идеальным инструментом для обучения основам автоспорта и оттачивания навыков пилотирования.

Современные экологические тренды и ужесточение норм выбросов CO<sub>2</sub> стимулируют развитие альтернативных видов транспорта, включая малогабаритную технику. Электрические карты (электрокарты) становятся одним из ключевых элементов этого перехода, сочетая в себе экологичность, доступность и высокие динамические характеристики.

## **1.2 Развитие электрических картов**

Электрические карты (электрокарты) – это компактные гоночные или развлекательные автомобили с электродвигателем, которые набирают популярность в мире автоспорта, туризма и корпоративных мероприятий.

Рассмотрим основные узлы электрического карта и сведем их в таблицу 3.

Таблица 3 – Основные узлы электрического карта

Компонент	Характеристика
Рама и шасси	Алюминиевые или стальные трубы (реже – карбоновые композиты в премиум-сегменте). Усиленная конструкция из-за веса батареи. Более низкий центр тяжести для улучшения устойчивости.
Электродвигатель	Бесщёточный (BLDC), 5–20 кВт (6,8–27 л.с.)
Контроллер	Регулирует мощность, часто с Bluetooth-управлением
Аккумулятор	Литий-ионный (48–72 В, 5–15 кВт·ч)
Охлаждение	Воздушное или жидкостное (в гоночных моделях)
Редуктор	Одноступенчатый (фиксированное передаточное число).
Привод:	Задний (90% моделей), реже полный (например, Razor X Cruiser).
Тормозная система	Гидравлические дисковые тормоза (иногда с рекуперацией энергии)

В ближайшие годы ожидается дальнейшее развитие рынка за счёт новых технологий и увеличения числа пользователей.

Главным трендом перехода на электрические карты остается экологический, а именно:

- глобальная политика декарбонизации (запреты на ДВС в городах (например, Low Emission Zones в Европе), субсидии и налоговые льготы для электромобильности (включая малогабаритный транспорт));
- запрос общества на устойчивое развитие (рост спроса на экологичные развлечения (картинг-центры с «нулевым выбросом»), корпоративная ответственность (компании арендуют электрокарты для ивентов вместо бензиновых));
- развитие сопутствующей инфраструктуры (строительство зарядных станций на трассах и в развлекательных комплексах; использование возобновляемой энергии (солнечные панели для подзарядки карт)).

Немалое влияние на развитие электрокартов также оказывают технологические инновации.

К ним относятся:

- развитие литий-ионных АКБ. По данным BloombergNEF цена аккумуляторов упала на 80% за 10 лет;
- увеличение плотности энергии АКБ (на 20-30% к 2026);
- рекуперация энергии;
- умные системы управления (VR-технологии для тренировок);
- легкие композитные материалы.

Выполним сравнение показателей электрических картов с традиционными картами с ДВС и сведем в таблицу 4.

Таблица 4 – Сравнение показателей электрических картов с традиционными картами с ДВС

Критерий	Электрические карты	Бензиновые карты
Мощность, л.с.	10-40	5-45
Время подготовки, мин.	1-2 (зарядка)	5-10 (прогрев)
Стоимость 1 заезда, руб.	50-150	300-700
Вибрации	Минимальные	Значительные
Ресурс ДВС/мотора, ч.	1000+	300-500
Шумность	Низкая	Высокая
Экологичность	Полная	Загрязнение
Стоимость эксплуатации	Низкая	Высокая
Динамика разгона	Быстрый крутящий момент	Зависит от ДВС

Прогноз отраслевых аналитиков также подтверждает актуальность развития электрических картов.

Как отражено в отчёте McKinsey & Company (2024): «Рынок электрических картов к 2027 году достигнет \$2.1 млрд при ежегодном росте 22%. Основные драйверы – корпоративный сектор (45% спроса) и образовательные учреждения (30%)».

Как отмечено в исследовании BloombergNEF: «Снижение цен на батареи позволит электрокартам сравняться по стоимости владения с ДВС уже к 2026 году. Ключевой фактор – масштабирование производства в Китае и ЕС».

Несмотря на большие достоинства и перспективы развития электрических катков, их массовому распространению препятствует ряд технологических, экономических и экологических проблем:

- высокая начальная стоимость: на 30-50% дороже бензиновых из-за дорогостоящих компонентов (литий-ионные батареи, электродвигатели, системы управления), бензиновый карт: от 300000 р., электрический карт аналогичного класса: от 450000 р.;
- ограниченный запас хода (запас хода электрокарта в спокойном режиме 40–60 мин., в гоночном 20–30 мин.; запас хода карта с ДВС в спокойном режиме 60–90 мин., в гоночном 50–70 мин.);
- необходимость квалифицированного обслуживания;
- проблемы утилизации батарей: литий-ионные аккумуляторы содержат токсичные вещества (никель, кобальт), при неправильной утилизации возможны загрязнение почвы и воды. В России и странах СНГ нет развитой инфраструктуры переработки. До 60% использованных батарей пока хранятся на складах или попадают на свалки.

### **1.3 Электрические карты представленные на рынке**

Рассмотрим конструкции популярных электрических картингов, представленных на рынке.

«Компания Speedomax производит электрические карты с 2000 года и сегодня предлагает широкий ассортимент продуктов, полностью электрических: карты для взрослых, двухместные карты, карты для детей и мини-мотоциклы.

Популярная модель электрического картинга Speedomax SLC представлена на рисунке 2» [1].



Рисунок 2 – Электрический карт Speedomax SLC

Технические характеристики электрического кarta Speedomax SLC представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики электрического картинга Speedomax SLC

Параметр	Значение
«Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	2100×1350×800
Масса, кг	200
Тип шин	слик
Размер шин	10×4,50-5/11×7,10-5
Тип электрического двигателя	асинхронный бесщеточный двигатель
Мощность электрического двигателя, кВт / л.с.	17 /23
Крутящий момент, Н×м	30
Тип аккумулятора	свинцово-гелиевый аккумулятор
Напряжение, В	12
Емкость, А×ч	65» [1]

«BIZ Karts – один из крупнейших производителей картингов в мире. Компания специализируется на проектировании, разработке и производстве катов уже более 25 лет. Электрическая модель кarta EcoVolt NG представлена на рисунке 3» [1].



Рисунок 3 – Электрический карт EcoVolt NG

Технические характеристики электрического карта EcoVolt NG представлены в таблице 6.

Таблица 6– Технические характеристики электрического карта EcoVolt NG

Параметр	Значение
«Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	1960×1400×650
Масса, кг	145
Тип шин	слик
Размер шин	10×4,50-5/11×7,10-5
Тип электрического двигателя	асинхронный бесщеточный двигатель
Мощность электрического двигателя, кВт / л.с.	10,5 / 14,2
Крутящий момент, Н×м	45
Тип аккумулятора	литиевый аккумулятор
Напряжение, В	48
Емкость, А×ч	106» [1]

«SODIKART, мировой лидер в области картинга, построила свою репутацию благодаря смелой стратегии развития, эксклюзивным инновациям, подтвержденным многочисленными патентами, и постоянному стремлению к совершенству в обслуживании своих клиентов. Электрическая модель карта Sodi RSX2 представлена на рисунке 4» [1].



Рисунок 4 – Электрический карт Sodi RSX2

Технические характеристики электрического карта Sodi RSX2 представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики электрического карта Sodi RSX2

Параметр	Значение
«Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	1850×1270×590
Масса, кг	137
Тип шин	слик
Размер шин	10×4,50-5/11×7,10-5
Тип электрического двигателя	асинхронный бесщеточный двигатель
Мощность электрического двигателя, кВт / л.с.	10,5 /14,2
Крутящий момент, Н×м	38
Тип аккумулятора	литиевый аккумулятор
Напряжение, В	12
Емкость, А×ч	32,5» [1]

«Sodi RSX2 – это новый эталон для электрических картов на рынке. Он оборудован новейшими технологическими и электронными достижениями группы Sodikart. Благодаря новой запатентованной технологии EASY DRIVE карт RSX2 обеспечивает непревзойденный комфорт вождения. Оснащенный новым двигателем, который тише своего предшественника, и литиевыми

батареями последнего поколения, Sodi RSX2 отличается повышенной мощностью и запасом хода до одного часа при стандартной скорости. Новый синхронный двигатель из автомобильного мира имеет интегрированный регулятор мощности.

Эргономика RSX2 включает в себя систему регулировки сиденья и рулевой колонки, которая позволяет легко настраивать (в дополнение к регулируемым педалям) положение водителя в соответствии с телосложением каждого человека.

Абсолютно новый, современный дизайн рулевого колеса, созданного по образцу картов Формулы-1, не оставит равнодушным пилотов и любителей картинга. Таким образом, Sodi RSX2 – это самый эффективный, надежный и успешный на рынке электрический карт нового поколения» [20].

Выводы по разделу.

В данном разделе проведен анализ современного состояния развития электрических картов.

Общие сведения о картах заложили теоретическую основу, раскрыв ключевые особенности конструкции, принципы работы и основные компоненты картов.

Развитие электрических картов продемонстрировало эволюцию технологий в этой области, а также тенденции повышения энергоэффективности и экологичности.

Обзор рынка электрических картов показал разнообразие доступных моделей, их технические характеристики и конкурентные преимущества, что позволило оценить текущие предложения и перспективы развития отрасли.

Таким образом, проведенный анализ подтверждает актуальность и перспективность электрических картов, как экологичного и технологичного вида транспорта, а также выявляет ключевые направления для дальнейшего совершенствования.

## 2 Тягово-динамический расчет автомобиля

Для грамотного подбора элементов тяговой системы электрокартинга, гарантирующего хорошую разгонную динамику и надежность, выполним соответствующий расчет. За основу примем технические данные модели Sodi RSX2 (таблица 8).

Таблица 8 – Базовые параметры электромобиля Sodi RSX2

Параметр	Значение
«Тип автомобиля	заднеприводный карт
Колесная формула	4×2
Количество человек	1
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	1855×1706×712
Снаряженная масса, кг	137
Размерность шин	11×7,10-5
Коэффициент сопротивления воздуха	0,3
Коэффициент сопротивления качению	0,013
Коэффициент, зависящий от уклона дороги	0,15
Максимальная скорость, км/ч	90
Максимальная частота вращения вала электродвигателя, с <sup>-1</sup>	404
КПД трансмиссии	0,85» [19]

«Определяем полную массу автомобиля по формуле:

$$M_a = M_0 + (M_q \cdot n) + M_g \cdot n, \quad (1)$$

где  $M_0$  – снаряженная масса автомобиля, принимаем 137 кг;

$M_q$  – масса человека, принимаем 80 кг;

$M_g$  – масса груза на одного человека, принимаем 10 кг;

$n$  – количество людей в электромобиле» [27].

$$M_a = 137 + (80 \cdot 1) + (10 \cdot 1) = 227 \text{ кг.}$$

«Определяем статический радиус колеса по формуле:

$$r_{ст} = 0,5 \cdot d + \lambda_z \cdot H, \quad (2)$$

где  $d$  – посадочный диаметр, принимаем 0,2794 м;

$\lambda_z$  – коэффициент вертикальной деформации шин, зависящий от специфики используемых шин, равен 0,92;

$H$  – высота профиля шины, равна 0,11 м» [27].

$$r_{\text{ст}} = 0,5 \cdot 0,2794 + 0,92 \cdot 0,110 = 0,229 \text{ м.}$$

$$r_{\text{ст}} \approx r_{\text{д}} \approx r_{\text{к}} = 0,229 \text{ м.}$$

«Определяем коэффициент обтекаемости по формуле:

$$k = \frac{C_x \cdot \rho}{2}, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха, равна 1,293 кг/м<sup>3</sup>» [27].

$$k = \frac{0,3 \cdot 1,293}{2} = 0,194.$$

Определяем лобовую площадь автомобиля по формуле:

$$F = 0,8 \cdot B_r \cdot H_r, \quad (4)$$

$$F = 0,8 \cdot 1,7 \cdot 0,712 = 0,96 \text{ м}^2.$$

Определяем коэффициент сопротивления качению по формуле:

$$f = f_0 \cdot \left( 1 + \frac{V^2}{25000} \right), \quad (5)$$

$$f = 0,013 \cdot \left( 1 + \frac{25^2}{25000} \right) = 0,0133.$$

Определяем внешнюю скоростную характеристику необходимого электродвигателя.

«Сначала определяем мощность электродвигателя при наивысшей скорости электромотоцикла с учетом КПД трансмиссии по формуле (6) мощностного баланса:

$$N_V = \frac{1}{\eta_{mp}} \cdot \left( G_a \cdot \psi_V \cdot V_{\max} + \frac{C_x}{2} \cdot \rho \cdot F \cdot V_{\max}^3 \right), \quad (6)$$

где  $G_a$  – полный вес автомобиля;

$\psi_V$  – коэффициент сопротивления дороги при максимальной скорости автомобиля. Для легких автомобилей коэффициент сопротивления дороги принимают равным коэффициенту качения при максимальной скорости и равен 0,0131» [27].

$$N_V = \frac{1}{0,85} \cdot \left( 227 \cdot 9,81 \cdot 0,0133 \cdot 25 + 0,15 \cdot 1,544 \cdot 25^3 \right) = 4325 \text{ Вт.}$$

На основании полученной мощности электродвигателя при наивысшей скорости электрического картинга с учетом КПД трансмиссии можно подобрать электрический двигатель.

На основании рассчитанной мощности электродвигателя при максимальной скорости картинга (с учетом КПД трансмиссии) можно выбрать подходящую силовую установку.

Оптимальным вариантом для электрического картинга является бесколлекторный двигатель постоянного тока (BLDC). Среди распространенных моделей выделяется НРМ5000В с пиковой мощностью 5 кВт – его характеристик достаточно для обеспечения требуемой динамики.

Рисунок 5 иллюстрирует рабочие параметры электродвигателя НРМ5000В, подтверждающие его соответствие поставленным задачам.

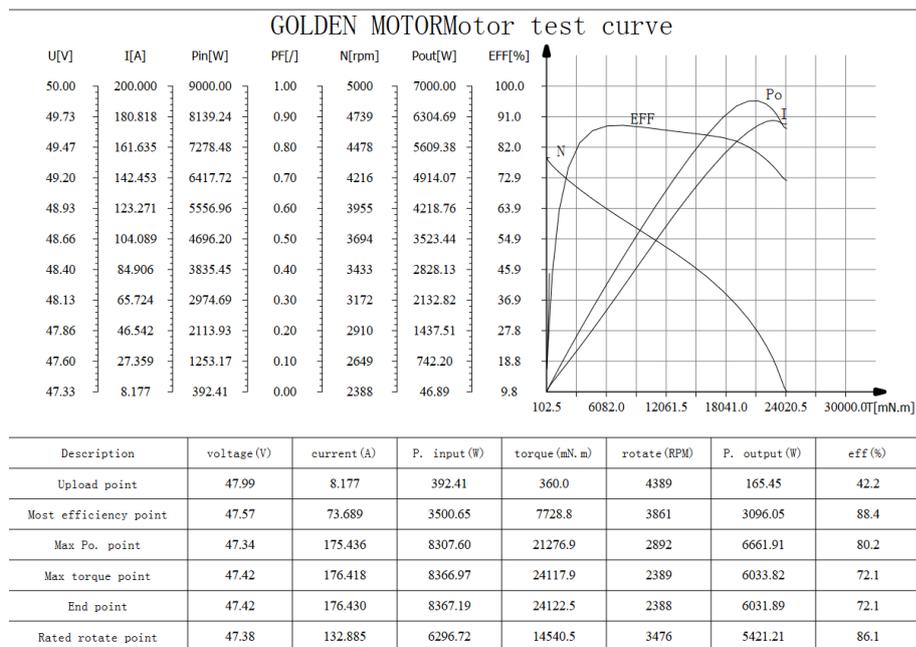


Рисунок 5 – Характеристика электрического двигателя НРМ5000В

«Определяем передаточное число главной передачи по формуле (7):

$$U_0 = \frac{r_k}{U_k} \cdot \frac{\omega_{\max}}{V_{\max}}, \quad (7)$$

где  $\omega_{\max}$  – максимальная угловая скорость вала электродвигателя.

$U_k$  – передаточное число коробки передач, так как в разрабатываемом электромобиле не будет коробки передач, то передаточное число принимаем за 1» [27].

$$U_0 = \frac{0,256}{1} \cdot \frac{404}{25} = 4,13.$$

«Для исключения буксования ведущих колес тяговая сила должна быть меньше силы сцепления колес с дорогой в соответствии с формулой:

$$U_1 \leq \frac{G_{cu} \cdot \varphi \cdot r_k}{M_{\max} \cdot \eta_{mp} \cdot U_0}, \quad (8)$$

где  $G_{cu}$  – сцепной вес автомобиля, определяется по формуле:

$\phi$  – где коэффициент сцепления шин ведущих колес с дорожным покрытием, для сухого асфальтобетонного покрытия в хорошем состоянии коэффициент равен 0,8» [27].

$$G_{сц} = \lambda_k \cdot G_{вд}, \quad (9)$$

$$G_{сц} = 9,81 \cdot 0,8 \cdot 136,2 = 1068,9 \text{ Н},$$

$$U_1 \leq \frac{1068,9 \cdot 0,8 \cdot 0,256}{24,1 \cdot 0,85 \cdot 4,13} \leq 2,58.$$

Выполняем анализ тяговой динамики.

Определяем силу тяги на ведущих колесах, в зависимости от скорости электромобиля по формуле:

$$P_T = \frac{U_k \cdot U_0 \cdot M_e \cdot \eta_{мп}}{r_k}. \quad (10)$$

Определяем силу сопротивления воздуха по формуле:

$$P_B = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \rho \cdot F \cdot V^2. \quad (11)$$

Определяем силу сопротивления качению автомобиля по формуле:

$$P_d = G_a \cdot \psi. \quad (12)$$

Определяем суммарную силу сопротивления движению автомобиля по формуле:

$$P_{\Sigma} = P_B + P_d. \quad (13)$$

Сводим результаты расчетов в таблицы 9 и 10.

Определяем динамический фактор по формуле:

$$D = \frac{P_T - P_B}{G_a}. \quad (14)$$

Таблица 9 – Результаты расчета

«Частота вращения коленчатого вала, об/мин	Тяговая сила на ведущих колесах, Н	Сила сопротивления, Н		
		$P_6$	$P_0$	$P_\Sigma$
1529	390,75	1,70	42,05	43,75
2000	316,32	6,77	47,68	54,46
2500	279,11	15,26	48,37	63,63
3000	241,89	27,10	49,52	76,62
3500	204,68	42,37	51,13	93,50
4000	163,74	60,97	53,21	114,18
4500	13,03	83,03	55,74	138,77» [1]

Таблица 10 – Зависимость сопротивления воздуха от скорости электромобиля

«Скорость движения, м/с	Сила сопротивления, Н
3,12	1,70
6,23	6,77
9,35	15,26
12,46	27,10
15,58	42,37
18,69	60,97
21,81	83,03
24,92	108,40» [1]

Результаты расчетов коэффициента сопротивления качению и динамического фактора сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Зависимость коэффициента сопротивления качению и динамического фактора от скорости вращения электродвигателя

«Частота вращения коленчатого вала, об/мин	Динамический фактор	Коэффициент сопротивления
1529	0,1951	0,013
2000	0,1937	0,013
2500	0,1914	0,014
3000	0,1882	0,014
3500	0,184	0,015
4000	0,1984	0,015
4500	0,1963	0,016
1529	0,1894	0,017» [1]

Выполняем анализ динамики разгона.

«Ускорение во время разгона рассчитывают при движении электромобиля по горизонтальной дороге хорошего качества с твердым покрытием при максимальном использовании мощности электродвигателя и при отсутствии пробуксовывания ведущих колес по формуле:

$$J = \frac{(D - f) \cdot g}{\delta_{ep}}, \quad (15)$$

$$\delta_{ep} = 1 + \frac{(I_M \cdot \eta_{mp} \cdot U_{mp} + I_k) \cdot g}{G_a \cdot r_k^2}, \quad (16)$$

где  $I_M$  – момент инерции вращающихся деталей двигателя;

$I_k$  – суммарный момент инерции ведущих колес.

В случае если точное значение  $I_M$  и  $I_k$  неизвестно, то  $\delta_{ep}$  определяют по формуле (17):

$$\delta_{ep} = 1 + (\delta_1 + \delta_2 \cdot U_k^2), \quad (17)$$

где  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  – коэффициент учета вращающихся масс колес и электродвигателя. Принимаем, значения коэффициентов от 0,03 до 0,05» [27].

Результаты расчетов ускорений и обратных ускорений  $1/j$  сведены в таблицу 12.

Таблица 12 – Зависимость ускорений и обратных ускорений от частоты вращения электродвигателя

«Частота вращения коленчатого вала, об/мин	Ускорение на передаче м/с <sup>2</sup>	Величина, обратная ускорению на передаче, с <sup>2</sup> /м
1529	1,5455	0,647
2000	1,5321	0,6527
2500	1,5097	0,6624
3000	1,4784	0,6764
3500	1,4381	0,6954
4000	1,5549	0,6431
4500	1,5299	0,6536
1529	1,4629	0,6836» [1]

«Путь и время разгона электромобиля определяем по формуле (18) при помощи графоаналитического способа, то есть интегрирование заменяется суммой величин» [1].

$$\Delta t = \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{j} \cdot d_v \approx \left( \frac{1}{j_{cp}} \right)^2 \cdot (V_2 - V_1) \Delta t. \quad (18)$$

Результаты расчетов приведены в таблицах 13 и 14.

Таблица 13 – Результаты расчета

V, м/с	0	3,12	6,23	9,35	12,46	15,58	18,69	21,81	24,92
1/Jcp	0	0,647	0,653	0,662	0,676	0,695	0,643	0,654	0,684
t, с	0	1,76	3,54	5,34	7,19	9,08	10,83	12,61	14,48

Таблица 14 – Результаты расчета

t, с	0	1,76	3,54	5,34	7,19	9,08	10,83	12,61	14,48
V, м/с	0	3,12	6,23	9,35	12,46	15,58	18,69	21,81	24,92
ΔS	0	7,1	13,04	17,98	22,9	27,84	32,77	37,71	42,64
S	0	7,1	20,15	38,12	61,04	88,88	121,66	159,37	202

Выполняем анализ мощностного баланса электромобиля.

«Определяем мощность, передаваемую ведущим колесам по формуле:

$$N_T = N_e - N_{TP} = N_f + N_{II} + N_B + N_{II}, \quad (19)$$

где  $N_{TP}$  – мощность, затрачиваемая в трансмиссии;

$N_f$  – мощность, затрачиваемая на качение колес;

$N_{II}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление подъема;

$N_B$  – мощность, затрачиваемая на сопротивление воздуха;

$N_{II}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление силы инерции;

$N_D$  – мощность, затрачиваемая на преодоление сил сопротивления дороги» [27].

$$N_f = P_k \cdot V, \quad (20)$$

$$N_{II} = P_{II} \cdot V, \quad (21)$$

$$N_B = P_B \cdot V, \quad (22)$$

$$N_{II} = P_{II} \cdot V, \quad (23)$$

$$N_d = P_d \cdot V. \quad (24)$$

Результаты расчетов сводим в таблицу 15.

Таблица 15 – Результаты расчетов

$V_{max}$	3,12	6,23	9,35	12,46	15,58	18,69	21,81	24,92
$N_e$	1,50	5,00	7,50	10,00	12,00	12,00	14,00	16,00
$N_t$	1,28	4,25	6,38	8,50	10,20	10,20	11,90	13,60
$N_B$	0,01	0,04	0,14	0,34	0,66	1,14	1,81	2,7
$N_d$	0,13	0,30	0,45	0,62	0,80	1,00	1,22	1,46
$N_B + N_H$	0,14	0,34	0,59	0,96	1,46	2,14	3,03	4,16
$(N_e + N_d) / N_t$	0,11	0,08	0,09	0,11	0,14	0,21	0,25	0,31

Выводы по разделу.

В разделе «Тягово-динамический расчет автомобиля» выполнен тягово-динамический расчет электрического картинга.

Тягово-динамический расчет необходим для:

- правильного подбора компонентов (двигатель, АКБ, редуктор),
- обеспечения требуемых характеристик (скорость, разгон, запас хода),
- избежания перегрева и перегрузок при эксплуатации,
- снижения затрат на переделки и доработки.

### **3 Конструкторская часть**

#### **3.1 Техническое задание на разработку конструкции электрического картинга**

«Конструкторская разработка относится к области электротранспорта, а именно электрического картинга, и может быть использована для разработки транспортного средства для гонок на специально обустроенных картодромах.

Электрический картинг представляет собой рамное четырехколесное одноместное транспортное средство, в передней части которого расположен рулевой механизм с двумя неприводными колесами, педали для управления, в задней части расположен электрический двигатель, задняя ось установлена на корпусные подшипники, на оси установлена звезда для цепной передачи и тормозной диск, слева от сиденья размещена сборка аккумуляторных батарей, за сиденьем установлен контроллер.

«Электрический картинг предназначен для передвижения по специально оборудованным картодромам» [1].

«Разработка ведется в соответствии с заданием на выполнение ВКР, выданным кафедрой «Проектирование и эксплуатация автомобилей».

При выполнении конструкторской разработки особое внимание следует обратить на следующие источники информации: интернет-форумы, журналы, методические пособия и другую техническую литературу.

Наименование и условное обозначение темы разработки не имеет» [6].

«Электрический картинг должен состоять из металлической рамы, четырех колес, руля поворота передних колес, электродвигателя, задней оси, установленной на корпусные подшипники, звезд для цепной передачи и тормозного диска, набора аккумуляторных батарей, контроллера, педалей для управления» [1].

«К конструкции электрического картинга предъявляются следующие требования:

- должен быть предназначен для управления одним человеком;
- должен отвечать требованиям правил эксплуатации и быть безопасным при эксплуатации в различных погодных условиях;
- конструкция рамы должна обладать достаточной жёсткостью, прочностью и легкостью;
- для оснащения электрического картинга должны максимально использоваться механические узлы, электрические и электронные элементы, агрегаты и отдельные элементы автомобильной промышленности, отвечающие современным и перспективным международным и российским требованиям;
- в передней части должен быть выполнен рулевой механизм для управлением поворота передних колес;
- электрический картинг должен быть выполнен с электрическим приводом на задние колеса;
- дизайн электрического картинга должен быть современным, иметь красивый и эстетичный вид;
- посадка и высадка водителя должна быть максимально удобной;
- в процессе эксплуатации электрический картинг не должен требовать частых профилактических работ и особого ухода. При проведении технического обслуживания необходимо использовать только эксплуатационные материалы, выпускающиеся серийно, не требующие использования специальных инструментов.
- разработку конструкции выполнить в универсальной системе автоматизированного проектирования» [7].

«Исходя из конструктивных соображений и представленных на рынке предложений, ориентировочно принимаем следующие технические показатели:

- габаритные размеры:

- 1) длина, не более мм ..... 2000;
- 2) ширина, не более мм ..... 1800;
- 3) высота, не более мм ..... 800.
- тип привода ..... задний, электрический, BLDC  
электродвигатель;
- количество двигателей, не более шт. .... 1;
- мощность двигателя, не более Вт ..... 5000;
- запас хода, не менее км ..... 40;
- масса, не более кг ..... 200» [13].

Электрический картинг изготовить в 1 экземпляре. Поскольку серийное производство не предусмотрено, то поиск на патентную чистоту не обязателен.

«Использовать электрический картинг должны люди, прошедшие специальный инструктаж по технике безопасности и изучившие правила эксплуатации.

Составные части конструкции должны легко подвергаться сборке-разборке при замене деталей или транспортировке.

Транспортировка осуществляется в разобранном виде, все части электрического картинга должны быть упакованы в деревянные ящики, которые маркируются соответственным образом. Хранить электрический картинг в собранном или разобранном виде в сухом помещении» [2].

«При выполнении задания предусмотреть разработку технического предложения с эскизным проектом.

На экспертизу предоставить в письменном варианте ТЗ, ТП. Место проведения экспертизы – кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей» ФГБОУ ВПО «Тольяттинский государственный университет».

На согласование предоставляется техническое предложение с эскизным проектом. Согласование с другими организациями не требуется.

Изготовление опытного образца не предусматривается.

Возможность экспорта разрабатываемого электрического картинга в зарубежные страны не предусмотрена» [17].

### **3.2 Техническое предложение на разработку конструкции электрического картинга**

В соответствии с техническим заданием необходимо разработать конструкцию электрического картинга.

«Электрический картинг представляет собой рамное четырехколесное одноместное транспортное средство, в передней части расположен рулевой механизм с двумя неприводными колесами, педали для управления, в задней части расположен электрический двигатель, задняя ось установлена на корпусные подшипники, на оси установлена звезда для цепной передачи и тормозной диск, слева от сиденья размещена сборка аккумуляторных батарей, за сиденьем установлен контроллер» [1].

«Электрический картинг должен иметь следующие технические показатели:

- габаритные размеры:
  - 1) длина, не более мм ..... 2000;
  - 2) ширина, не более мм ..... 1800;
  - 3) высота, не более мм ..... 800.
- тип привода ..... задний, электрический, BLDC электродвигатель;
- количество двигателей, не более шт. .... 1;
- мощность двигателя, не более Вт ..... 5000;
- запас хода, не менее км ..... 40;
- масса, не более кг ..... 400» [13].

«Проведенный поиск аналогов показал, что представленные на рынке электрические картинги в основном зарубежного производства, сложны и затратны в обслуживании, стоимость начинается от 600 тысяч рублей.

Анализ конструктивных особенностей транспортных средств – аналогов показал, что ни одно из них не отвечает в полной мере, установленным в ТЗ требованиям, что обуславливает необходимость разработки новой конструкции» [1].

«Техническим заданием рекомендовано обратить внимание на представленные источники информации: российские и зарубежные интернет-форумы, журналы на техническую тематику, техническую литературу» [16].

«Основными частями электрического картинга являются:

- рама,
- рулевое управление,
- привод, состоящий из электродвигателя, цепной передачи, задней оси со звездой, тормозной диск,
- сборка аккумуляторных батарей,
- контроллер,
- педали для управления.

Предлагаются следующие варианты исполнения элементов электрического картинга.

В первую очередь необходимо определиться с рамой для электрического картинга, так как она должна обеспечивать требуемую прочность, надёжность крепления элементов» [1].

«Рама может быть изготовлена из профиля прямоугольного сечения (рисунок 6, а) или профиля круглого сечения (рисунок 6, б).

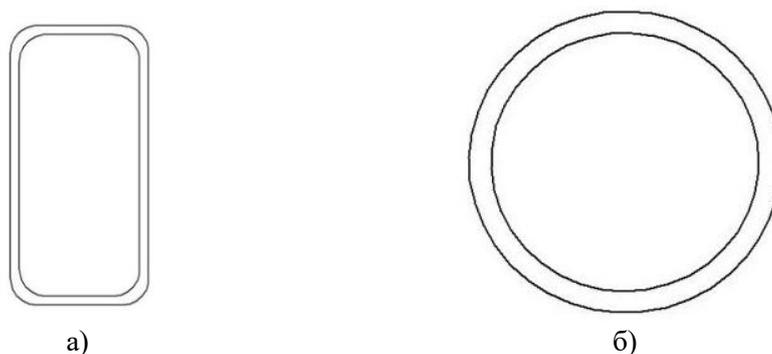


Рисунок 6 – Виды профиля для рамы

С точки зрения сопротивления материалов, наиболее выгодными в плане устойчивости к изгибу являются круглые трубы. При минимальном количестве материала они обеспечивают максимальную жесткость конструкции и в то же время легко изгибаются, что позволяет создавать изделия криволинейной формы.

Недостатками профильной прямоугольной трубы является:

- высокая себестоимость – труба весит на 30% больше аналогичной круглой, а стоит примерно на 35% дороже;
- наличие сварного шва. Трубы квадратного (прямоугольного) сечения производятся только по сварной технологии. По одной из сторон идет сварной шов на всю длину трубы. Труба начинает активно корродировать, причем окраска практически не предотвращает возникновение коррозии по сварному шву» [12].

Принимаем форму рамы из профиля круглого сечения – трубы (рисунок 7).

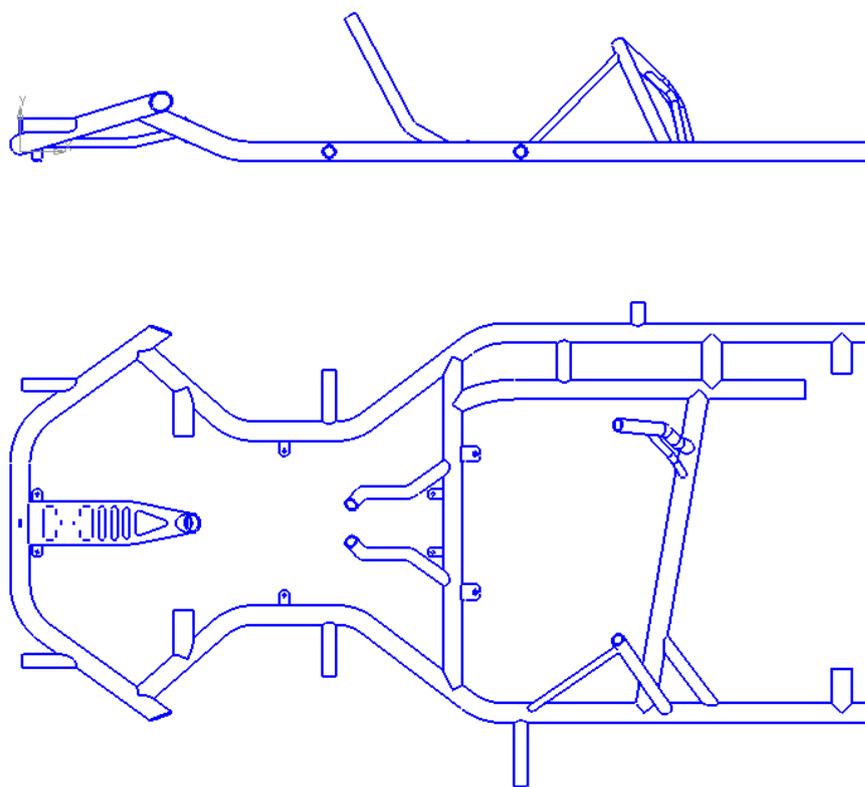


Рисунок 7 – Конструкция рамы

«Для поворота передних колёс используется минималистичная рулевая система (рисунок 8). Конструкция предельно проста: рулевой вал через жёсткие тяги напрямую соединён со ступицами управляемых колёс.

Ключевые особенности:

- жёсткость руля – отсутствие усилителей и демпферов обеспечивает прямой контакт с колёсами;
- ограниченный угол поворота – около  $45^\circ$  в каждую сторону, что типично для картинговых систем;
- регламентные требования – иные типы рулевых механизмов (например, реечные или с сервоприводами) запрещены в классических картингах.

Такая конструкция гарантирует мгновенную реакцию на действия пилота и соответствует стандартам безопасности.

«Другие типы рулевого управления в картинге запрещены» [1].

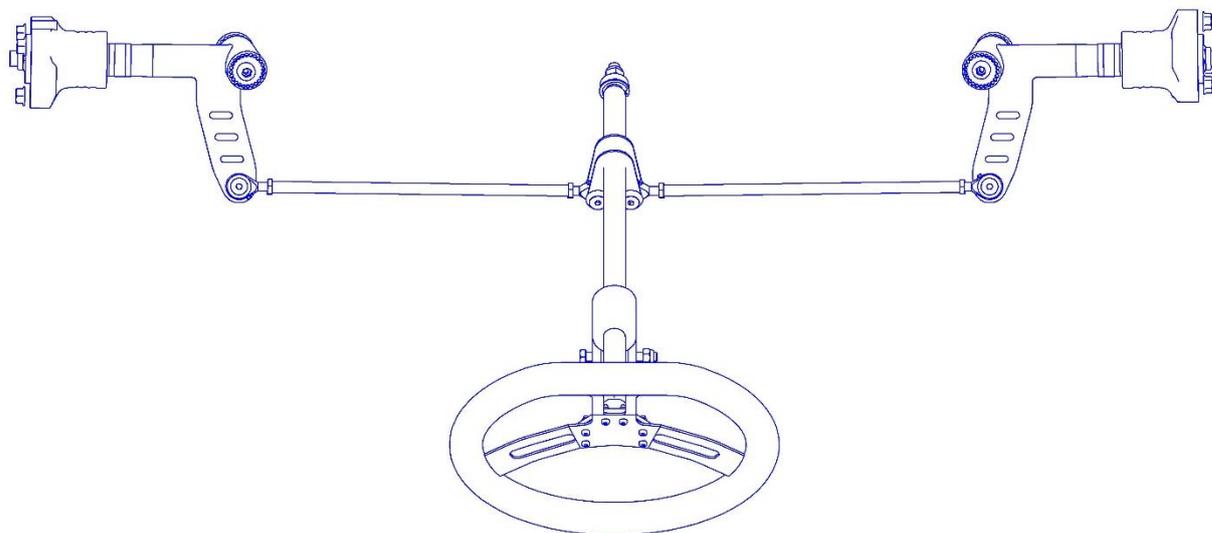


Рисунок 8 – Конструкция подвески и рулевого привода

«В качестве привода транспортного средства предлагается использовать бесщёточный, бесколлекторный электродвигатель постоянного тока (BLDC) 5000 Вт с воздушным охлаждением (рисунок 9)» [25].



Рисунок 9 – Электродвигатель постоянного тока (BLDC) 5000 Вт

Технические характеристики электродвигателя постоянного тока (BLDC) 5000 Вт представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Технические характеристики электродвигателя постоянного тока (BLDC) 5000 Вт

Параметр	Значение
Тип двигателя	бесщеточный мотор-редуктор
Напряжение, В	48
Номинальная мощность, Вт	5000
Номинальный момент, Н·м	14
Масса, кг	11
КПД, %	91

«Крутящий момент передается цепной передачей, на ведущей звёздочке 12 зубьев, на ведомой – 61 зуб.

Для обеспечения торможения электрического карта на задней оси предусмотрен тормозной диск.

Современный контроллер (рисунок 10), управляет слаженной работой электродвигателя постоянного тока и управляющих компонентов» [1].



Рисунок 10 – Контроллер HPC300H для BLDC-мотора 5 кВт

Серия HPC от Golden Motor создана для высоконагруженных электроприводов, сочетая мощность, точность управления и долговечность.

Ключевые особенности:

- передовые алгоритмы управления – обеспечивают плавный разгон и точную регулировку скорости без рывков;
- премиальные компоненты – использование качественных электронных компонентов повышает ресурс работы;
- полная герметичность (IP66) – защита от пыли, влаги и механических воздействий для работы в сложных условиях.

Эти контроллеры идеально подходят для применения в электрических картингах, где критичны отказоустойчивость и стабильность.

«Контроллер размещается в пластиковом корпусе, который легко установить на раме или подседельной трубе. Контроллер обеспечивает управление двигателем: позволяет регулировать скорость вращения электродвигателя, обеспечивает торможение двигателем (рекуперация). Контроллер работает по принципу понижающего преобразователя, и благодаря этому, фазный ток, протекающий по обмоткам электродвигателя,

может значительно превышать батарейный ток, протекающий от батареи до контроллера. Именно контроллер определяет мощность, поступающую в электродвигатель» [30].

«Для питания силовой установки используется специализированная тяговая аккумуляторная батарея, обеспечивающая стабильное энергоснабжение двигателя постоянного тока» [30]. Батарея размещается слева от сиденья пилота – такое расположение оптимально с точки зрения распределения массы и эргономики. Точные технические параметры АКБ будут приведены в соответствующем разделе расчетной части.

Система управления включает две педали:

- педаль тормоза – для замедления и остановки,
- педаль акселератора – для управления мощностью двигателя.

Изначально рассматривался вариант с ручкой управления газом.

В ходе разработки принято решение о переходе на педальную схему как более удобную и эргономичную.

Конструкция педали акселератора создана на базе разобранный ручки газа.

В процессе модификации были удалены индикатор уровня заряда батареи и ограничитель скорости. Крепление выполнено на двух винтах

Все технологические отверстия подлежат герметизации для защиты от пыли.

После определения всех компонентов системы разрабатывается компоновочная схема, учитывающая:

- рациональное размещение элементов,
- распределение масс,
- удобство обслуживания,
- эргономику управления.

Такое решение обеспечивает оптимальные эксплуатационные характеристики и безопасность конструкции.

После выбора всех элементов конструкции электрического картинга составляем компоновочную схему размещения элементов конструкции (рисунок 11).

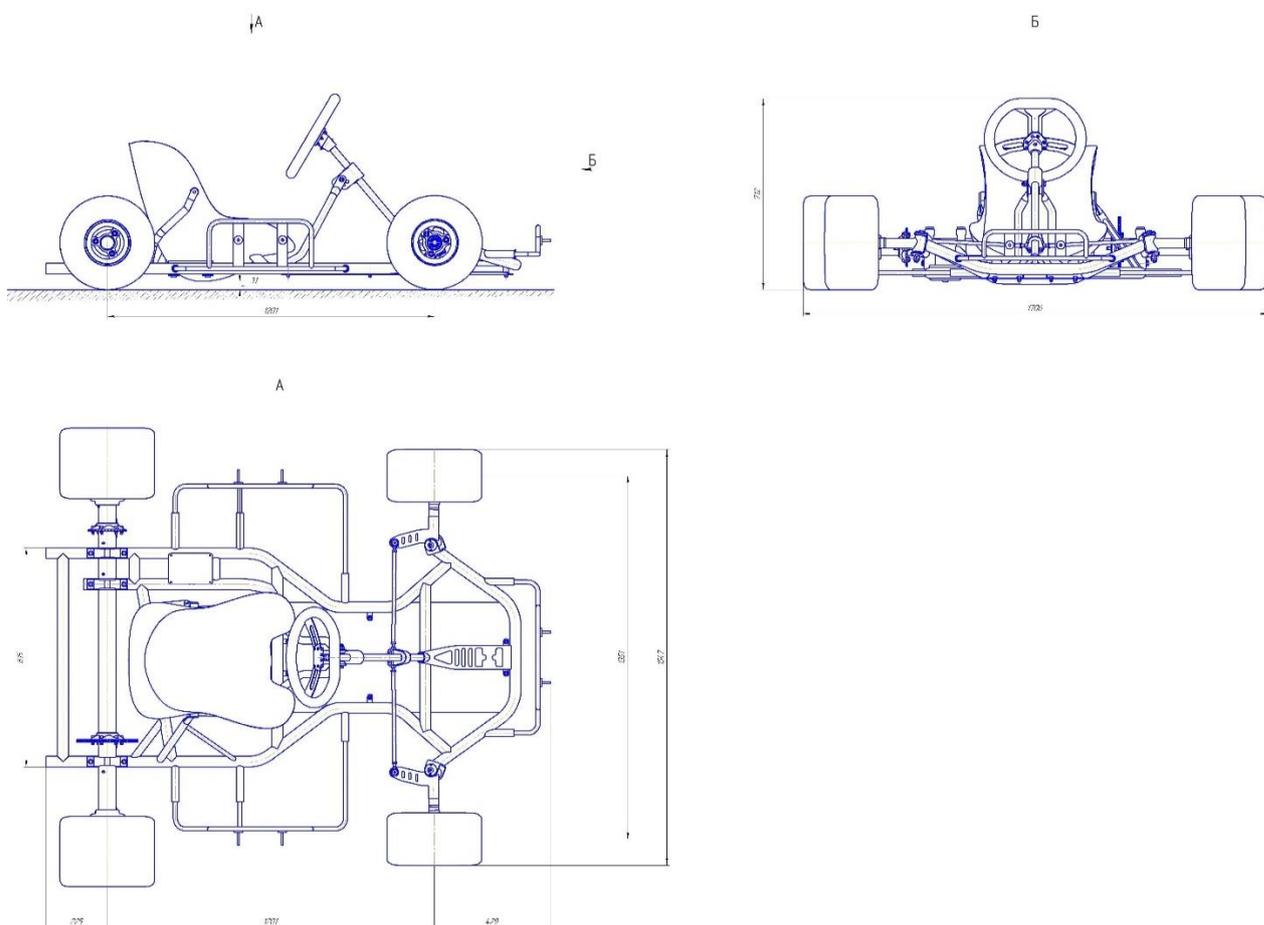


Рисунок 11 – Общая компоновка электрического картинга

Спецификация на электрический картинг представлена в Приложении А (рисунок А.1).

### 3.3 Конструкторские расчеты

«Так как никель-металлогидридный и никель-кадмиевый аккумуляторы имеют значительно меньшую плотность энергии на единицу массы, чем литий-ионный и литий-железо-фосфатный аккумуляторы, их в процессе подбора не рассматриваем» [7].

При средней скорости 45 км/час и дальности хода 35 км требуемое время хода 0,77 часа чистого времени.

Определяем затрачиваемую энергию на движение по формуле:

$$Q = N_{\Pi} \cdot t, \quad (25)$$
$$Q = 4325 \cdot 0,77 = 3330,25 \text{ Дж.}$$

Определяем ток отдачи батареи по формуле:

$$I_{\text{отд}} = \frac{N_{\Pi}}{U}, \quad (26)$$
$$I_{\text{отд}} = \frac{4325}{48} = 90,1 \text{ А.}$$

Определяем минимальную емкость аккумуляторной батареи по формуле:

$$C = \frac{Q}{U}, \quad (27)$$
$$C = \frac{3330,25}{48} = 69,4 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

На основании проведенных расчетов и анализа конструктивных особенностей различных типов батарей принято решение об использовании литий-железо-фосфатной (LiFePO<sub>4</sub>) аккумуляторной батареи.

Преимущества выбранного решения:

- высокая энергоёмкость при компактных габаритах;
- долговечность (большее количество циклов заряда-разряда по сравнению с другими типами Li-ion);
- безопасность (устойчивость к перегреву и перезаряду);
- ударопрочность за счёт ABS-корпуса;

– адаптация к рекуперации – повышение КПД системы.

На рисунке 12 представлена конструкция батареи и схема расположения элементов.



Рисунок 12 – Аккумуляторная батарея LiFePO<sub>4</sub>, 48В-72 А·ч

Технические характеристики аккумуляторной батареи представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Технические характеристики аккумуляторной батареи

Параметр	Значение
Габаритные размеры (Д×Ш×В),	360×200×150
Масса, кг	11
Класс защиты	IP65
Корпус	ABS пластик
Напряжение, В	48
Ёмкость, А·ч	24
BMS	встроенное
Количество циклов зарядки, раз	>2000
Максимальный непрерывный ток разряда, А	40
Максимальный непрерывный ток разряда, кВт	2
Зарядное устройство	на 5А (зарядка 4ч), либо быстрая зарядка 30А за 40мин

«Самый безопасный аккумулятор из всех литиевых АКБ. В отличие от свинцовых батарей, в 2 раза легче и при этом срок эксплуатации выше в 15 раз. Высокая токоотдача, позволяющая выдавать большую мощность. Эксплуатация зимой до минус 20°С» [26].

Выводы по разделу.

В рамках раздела выполнено:

- разработано техническое задание и предложение на проектирование,
- сформировано техническое предложение по компонентам,
- определена оптимальная конфигурация АКБ,
- обоснован выбор  $\text{LiFePO}_4$  технологии,
- рассчитаны требования по емкости и напряжению,
- совместимость с системой рекуперации,
- обеспечение требуемых защит (IP65)

Предложенная конструкция электросистемы удовлетворяет всем требованиям технического задания по мощности, безопасности и эксплуатационным характеристикам.

## 4 Технологический раздел

Технологический процесс сборки автомобилей и тракторов представляет собой строго регламентированную последовательность операций по соединению деталей и компонентов.

В ходе данного процесса осуществляется:

- поэтапная интеграция отдельных элементов в функциональные узлы,
- комплексирование механизмов в единую систему,
- формирование готового транспортного средства.

Все операции выполняются в соответствии с:

- техническими спецификациями производителя,
- нормативными требованиями безопасности,
- параметрами качества сборки,
- производственными стандартами предприятия.

Ключевыми характеристиками процесса являются:

- четкая последовательность операций,
- контроль на каждом этапе сборки,
- соблюдение технологических нормативов,
- обеспечение заданных эксплуатационных качеств конечного продукта.

Результатом процесса становится полностью функциональное транспортное средство, соответствующее всем заявленным техническим и эксплуатационным требованиям.

Трудоемкость сборочных работ при производстве автомобилей и тракторов определяется совокупностью следующих ключевых факторов:

- конструктивные особенности: сложность и количество соединяемых узлов; степень унификации деталей; применение модульных принципов сборки;

- технологические аспекты: тип организации производства (конвейерная/позиционная сборка); степень механизации и автоматизации процессов; используемое оборудование и оснастка; требования к точности соединений;
- человеческий фактор: квалификация рабочих; организация рабочих мест; система контроля качества; применение нормативов времени.

Габаритные характеристики изделия являются определяющим параметром при проектировании процесса сборки:

- для крупногабаритных конструкций (корпуса машин, рамы) требуются: подъемно-транспортное оборудование (мостовые краны, тельферы), специализированные сборочные стенды, позиционная организация работ;
- мелкие узлы и компоненты позволяют применять: роботизированные сборочные комплексы, конвейерные линии, высокую степень автоматизации.

#### **4.1 Выбор рациональной организации технологии сборки**

Рациональная организация сборки – это оптимизация процесса сборки изделий для минимизации времени, затрат и трудоёмкости при обеспечении высокого качества.

Основные принципы рациональной организации сборки:

- разделение сборки на узлы и подузлы;
- сборка сложных изделий разбивается на отдельные узлы, которые собираются параллельно, это ускоряет процесс и позволяет специализировать рабочие места;
- поточный метод сборки: организация конвейерных линий с чётким тактом (ритмом) работы. Каждая операция выполняется за фиксированное время на отдельной рабочей позиции;

- механизация и автоматизация: использование сборочных роботов, автоматических линий, пневмо- и электроинструмента;
- внедрение систем ЧПУ (числового программного управления) для точной сборки;
- стандартизация и унификация: применение одинаковых крепёжных элементов, соединений и методов сборки; использование модульных конструкций для упрощения сборки;
- оптимизация трудовых процессов: изучение и устранение лишних движений (методы научной организации труда);
- правильная организация рабочего места (эргономика, доступность инструментов): контроль качества на каждом этапе, встроенный контроль (проверка узлов после каждой операции), использование систем визуализации дефектов (например, контрольные метки, датчики);
- логистика и снабжение: чёткое планирование подачи деталей и комплектующих к месту сборки (система «just-in-time»); минимизация простоев из-за нехватки материалов.

Методы оптимизации сборки:

- метод групповой сборки – одновременная сборка однотипных изделий;
- комплекточные тележки/контейнеры – предварительная подготовка деталей для каждой операции;
- использование CAD/CAM-систем – цифровое моделирование сборки для выявления ошибок до производства.

Учитывая ограниченный спрос на картинг на электрической тяге, наиболее эффективным решением станет организация сборки по мелкосерийному принципу.

Такой подход позволит: минимизировать издержки за счёт гибкости производства, избежать избыточных запасов комплектующих, адаптировать процесс под индивидуальные требования заказчиков.

В отличие от массового выпуска, мелкосерийная сборка обеспечит экономическую целесообразность при небольшом количестве заказов.

В условиях мелкосерийного выпуска применяется стационарная непоточная сборка, при которой процесс делится на два ключевых этапа:

- узловая сборка – формирование отдельных компонентов конструкции;
- общая сборка – компоновка готовых узлов в конечное изделие.

Работы выполняются специализированными бригадами, что обеспечивает: гибкость производственного процесса, эффективное использование квалификации персонала и возможность параллельного выполнения операций.

Для определения такта выпуска продукции используем формулу:

$$T_{\text{д}} = \frac{F_{\text{д}} \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (25)$$

где  $F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени сборочного оборудования в одну смену, принимается равным 2070 ч. для стационарной сборки на необорудованном оборудовании;

$m$  – количество смен, принимается равным 1;

$N$  – годовой объем выпуска, принимается равным 120 шт» [8].

$$T_{\text{д}} = \frac{2070 \cdot 60 \cdot 1}{120} = 1035 \text{ ч.}$$

Такой подход позволяет оптимизировать затраты при ограниченных объемах производства.

После завершения проектирования разрабатывается технологическая карта сборки, включающая:

- графическую схему последовательности операций,
- детальное описание всех сборочных этапов.

Данный подход обеспечивает:

- четкую стандартизацию производственных этапов,
- контроль трудоемкости операций,
- минимизацию технологических простоев.

Спецификация операций узловой и общей сборки картинга на электрической тяге приведена в таблице 18.

Таблица 18 – Перечень операций с указанием трудоемкости и необходимого оборудования технологического процесса сборки картинга на электрической тяге

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин
Подборка рамы		
«Взять раму картинга в сборе	Рама без дефектов, соответствие чертежу	1
Осмотреть раму картинга в сборе	Проверить на отсутствие трещин и коррозии	2
Установить раму картинга на сборочный стапель	Надежная фиксация, горизонтальное положение	2,3
Взять кронштейн для крепления поворотных кулаков 2 шт.	Соответствие размерам, отсутствие деформаций	0,2
Осмотреть кронштейн для крепления поворотных кулаков 2 шт.	Проверить на отсутствие дефектов	0,3
Приварить кронштейн для крепления поворотных кулаков 2 шт. к раме	Точно по разметке, прочность сварного шва	10
Взять кронштейн крепления подшипниковой опоры 3 шт.	Соответствие чертежу, отсутствие повреждений	0,3
Осмотреть кронштейн крепления подшипниковой опоры 3 шт.	Проверить на отсутствие трещин	0,5
Приварить кронштейн крепления подшипниковой опоры 3 шт.	Прочность сварки, точность позиционирования	15
Взять кронштейн 2 шт. крепления поворотных кулаков	Соответствие размерам	0,3
Осмотреть кронштейн 2 шт. крепления поворотных кулаков	Проверить на отсутствие дефектов	0,2
Приварить кронштейн 2 шт. крепления поворотных кулаков на раму	Точно по разметке, прочность сварного шва	10
Сборка привода задних колес		
Взять подшипниковую опору 3 шт.	Соответствие типу подшипника	0,3
Осмотреть подшипниковую опору 3 шт.	Проверить на плавность вращения	0,6
Установить подшипниковую опору 3 шт. в кронштейн крепления подшипниковой опоры 3 шт. при помощи болтов 12 шт.	Надежная фиксация болтами, соосность» [1]	6

Продолжение таблицы 18

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин
«Взять вал	Отсутствие деформаций	0,3
Осмотреть вал	Проверить на биение	0,4
Установить вал в подшипниковые опоры	Плавное вращение, отсутствие люфта	3
Взять тормозной диск	Соответствие диаметру	0,3
Осмотреть тормозной диск	Проверить на отсутствие трещин	0,4
Установить тормозной диск на вал при помощи шпонки	Надежная фиксация, соосность	2
Взять шестерню	Соответствие модулю и количеству зубьев	0,3
Осмотреть шестерню	Проверить на отсутствие сколов	0,4
Установить шестерню на вал при помощи шпонки	Надежная фиксация, правильное зацепление	2
Взять ступицу 2 шт.	Соответствие посадочным размерам	0,4
Осмотреть ступицу 2 шт.	Проверить на отсутствие повреждений	0,5
Установить ступицу на вал при помощи шпонки	Надежная фиксация, соосность	4
<b>Сборка системы питания</b>		
Взять аккумуляторную батарею LiFePO <sub>4</sub> , 48 В-72 А·ч в сборе	Соответствие напряжению и емкости	0,4
Установить аккумуляторную батарею на раму картинга	Надежная фиксация, изоляция от металла	2
Взять контроллер НРС300Н для BLDC-мотора	Соответствие модели	0,3
Установить контроллер в районе аккумуляторной батареи	Надежная фиксация, доступ для подключения	2
Взять электрические провода	Соответствие сечению и длине	0,3
Подключить контроллер и аккумуляторную батарею	Правильная полярность, изоляция соединений	15
<b>Сборка рулевого управления</b>		
Взять рулевой вал с рулевым колесом в сборе	Отсутствие люфта, соответствие чертежу	0,8
Осмотреть рулевой вал с рулевым колесом в сборе	Проверить на плавность вращения	0,6
Установить рулевой вал с рулевым колесом в сборе в кронштейн с подшипником на раме и кронштейн с подшипником в нижней части картинга	Надежная фиксация, свободное вращение	7
Взять поворотный кронштейн	Соответствие размерам	0,4
Осмотреть поворотный кронштейн	Проверить на отсутствие дефектов	0,3
Приварить поворотный кронштейн к рулевому валу	Прочность сварного шва, точность позиционирования	10
Взять рулевую тягу 2 шт.	Соответствие длине» [1]	0,3
Осмотреть рулевую тягу 2 шт.	Проверить на отсутствие	0,6

Продолжение таблицы 18

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин
	деформаций	
«Установить конец рулевой тяги 2 шт. в поворотный кронштейн	Надежное соединение, отсутствие люфта	4
Зафиксировать рулевую тягу 2 шт. при помощи болта 2 шт. и гайки 2 шт.	Надежная фиксация, контроль момента затяжки	4
Взять поворотный кулак 2 шт.	Соответствие чертежу	0,3
Осмотреть поворотный кулак 2 шт.	Проверить на отсутствие повреждений	0,6
Установить поворотный кулак 2 шт. на кронштейн 2 шт. крепления поворотных кулаков и зафиксировать при помощи болтового соединения	Надежная фиксация болтами, свободное вращение	10
Установить конец рулевой тяги 2 шт. в поворотный кулак 2 шт. и зафиксировать болтовое соединение 2 шт.	Надежное соединение, отсутствие люфта» [1]	10
Общая сборка		
Взять сиденье	Соответствие размерам	0,4
Осмотреть сиденье	Проверить на отсутствие повреждений	0,6
Установить сиденье на раму при помощи винтов 2 шт.	Надежная фиксация, комфортное положение	5
Взять электродвигатель BLDC	Соответствие мощности и модели	0,3
Осмотреть электродвигатель BLDC	Проверить на отсутствие повреждений	0,4
Установить электродвигатель BLDC на специальную площадку на раме при помощи винтов 4 шт.	Надежная фиксация, соосность с валом	8
Взять приводную цепь	Соответствие длине и шагу	0,3
Осмотреть приводную цепь	Проверить на отсутствие повреждений	0,5
Установить приводную цепь на звездочку электродвигателя и шестерню приводного вала	Правильное натяжение, совмещение зубьев	6
Взять колеса 4 шт.	Соответствие размеру и типу	2
Осмотреть колеса 4 шт.	Проверить на отсутствие повреждений	0,8
Установить колеса 4 шт. при помощи гаек 12 шт.	Надежная фиксация, контроль момента затяжки	6
Взять pedalный узел	Соответствие чертежу	0,3
Осмотреть pedalный узел	Проверить на плавность хода	0,5
Установить pedalный узел	Надежная фиксация, правильное подключение	25
Выполнить подключение электрических проводов электродвигателя с контроллером, pedalным узлом	Правильная схема подключения, изоляция	30

Продолжение таблицы 18

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин
«Провести регулировочные операции	Проверка всех систем, устранение люфтов	40
Выполнить проверку электрической части картинга	Тестирование всех электрических компонентов	60
Выполнить испытания собранного картинга	Проверка ходовых качеств, тормозной системы» [1]	120
Итого:		438

Для оптимизации производственного графика выполним расчет суммарной продолжительности всех технологических операций по формуле:

$$t_{on}^{общ} = \sum t_{on1} + t_{on2} + \dots t_{on_n}. \quad (26)$$

Методика расчета основана на суммировании нормированного времени по всем позициям технологической карты с применением поправочных коэффициентов.

Полученные данные позволяют точно планировать производственные мощности и загрузку оборудования.

«Определяем суммарную трудоемкость сборки изделия по формуле:

$$t_{ум}^{общ} = t_{on}^{общ} + t_{on}^{общ} \cdot \left( \frac{\alpha + \beta}{100} \right), \quad (27)$$

где  $\alpha$  – часть оперативного времени на организационно-техническое обслуживание рабочего места в процентах, принимается равным 3%;  $\beta$  – часть оперативного времени для перерыва и отдыха в процентах, принимается равным 5%» [23].

$$t_{ум}^{общ} = 438 + 438 \cdot \left( \frac{3 + 5}{100} \right) = 473 \text{ мин.}$$

Суммарная трудоемкость сборки составила 473 мин.

## 4.2 Разработка технологического процесса сборки

Формируем поэтапную последовательность монтажных работ, фиксируем необходимый инструмент и оснастку для каждой операции, далее рассчитываем нормативное время выполнения и сводим всё в таблицу 19.

Таблица 19 – Технологический процесс сборки электрического картинга

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время мин.
Подборка рамы					
005	Сборочная	1	«Взять раму картинга в сборе	Сварочный аппарат, электрическая дрель, молоток, углошлифовальная машина, шуруповерт, плоскогубцы	42,1
		2	Осмотреть раму картинга в сборе		
		3	Установить раму картинга на сборочный стапель		
		4	Взять кронштейн для крепления поворотных кулаков 2 шт.		
		5	Осмотреть кронштейн для крепления поворотных кулаков 2 шт.		
		6	Приварить кронштейн для крепления поворотных кулаков 2 шт. к раме		
		7	Взять кронштейн крепления подшипниковой опоры 3 шт.		
		7	Осмотреть кронштейн крепления подшипниковой опоры 3 шт.		
		8	Приварить кронштейн крепления подшипниковой опоры 3 шт.		
9	Взять кронштейн 2 шт. крепления поворотных кулаков» [1]				

Продолжение таблицы 19

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время мин.
		10	Осмотреть кронштейн 2 шт. крепления поворотных кулаков		
		11	Приварить кронштейн 2 шт. крепления поворотных кулаков на раму		
Сборка привода задних колес					
010	Сборочная	1	«Взять подшипниковую опору 3 шт.	Набор головок, гаечных ключей, отверток, молоток, шуруповерт, плоскогубцы	20,9
		2	Осмотреть подшипниковую опору 3 шт.		
		3	Установить подшипниковую опору 3 шт. в кронштейн крепления подшипниковой опоры при помощи болтов 12 шт.		
		4	Взять вал		
		5	Осмотреть вал		
		6	Установить вал в подшипниковые опоры		
		7	Взять тормозной диск		
		8	Осмотреть тормозной диск		
		9	Установить тормозной диск на вал при помощи шпонки		
		10	Взять шестерню		
		11	Осмотреть шестерню		
		12	Установить шестерню на вал при помощи шпонки		
		13	Взять ступицу 2 шт.		
		14	Осмотреть ступицу 2 шт.		
		15	Установить ступицу на вал при помощи шпонки		
015	Сборочная	1	Взять аккумуляторную батарею LiFePO4, 48 В-72 А·ч в сборе» [1]	Набор головок, гаечных ключей, отверток,	20

Продолжение таблицы 19

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время мин.
<b>Сборка системы питания</b>					
		2	«Установить аккумуляторную батарею на раму картинга	молоток, шуруповерт, плоскогубцы, бокорезы	
		3	Взять контроллер НРС300Н для BLDC-мотора		
		4	Установить контроллер в районе аккумуляторной батареи		
		5	Взять электрические провода		
		6	Выполнить подключение контроллера и аккумуляторной батареи» [1]		
<b>Сборка рулевого управления</b>					
020	Сборочная	1	«Взять рулевой вал с рулевым колесом в сборе	Сварочный аппарат, электрическая дрель, молоток, углошлифовальная машина, шуруповерт, плоскогубцы	48,9
		2	Осмотреть рулевой вал с рулевым колесом в сборе		
		3	Установить рулевой вал с рулевым колесом в сборе в кронштейн с подшипником на раме и кронштейн с подшипником в нижней части картинга		
		4	Взять поворотный кронштейн		
		5	Осмотреть поворотный кронштейн		
		6	Приварить поворотный кронштейн к рулевому валу		
		7	Взять рулевую тягу 2 шт.		
		8	Осмотреть рулевую тягу 2 шт.» [1]		

Продолжение таблицы 19

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время мин.
		9	«Установить конец рулевой тяги 2 шт. в поворотный кронштейн		
		10	Зафиксировать рулевую тягу 2 шт. при помощи болта 2 шт. и		
		11	гайки 2 шт.		
		12	Взять поворотный кулак 2 шт.		
		13	Осмотреть поворотный кулак 2 шт.		
		14	Установить поворотный кулак 2 шт. на кронштейн 2 шт. крепления поворотных кулаков и зафиксировать при помощи болтового соединения		
		15	Установить конец рулевой тяги 2 шт. в поворотный кулак 2 шт. и зафиксировать болтовое соединение 2 шт.» [1]		
Общая сборка					
025	Сборочная	1	«Взять сиденье	Набор головок, гаечных ключей, отверток, молоток, шуруповерт, плоскогубцы, бокорезы	86,1
		2	Осмотреть сиденье		
		3	Установить сиденье на раму при помощи винтов 2 шт.		
		4	Взять электродвигатель BLDC		
		5	Осмотреть электродвигатель BLDC		
		6	Установить электродвигатель BLDC на специальную площадку на раме при помощи винтов 4 шт.» [1]		
		7	Взять приводную цепь		
		8	Осмотреть приводную		

Продолжение таблицы 19

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время мин.
			цепь		
		9	«Установить приводную цепь на звездочку электродвигателя и шестерню приводного вала		
		10	Взять колеса 4 шт.		
		11	Осмотреть колеса 4 шт.		
		12	Установить колеса 4 шт. при помощи гаек 12 шт.		
		13	Взять педальный узел		
		14	Осмотреть педальный узел		
		15	Установить педальный узел		
		16	Выполнить подключение электрических проводов электродвигателя с контроллером, педальным узлом		
030	Регулировочная	1	Провести регулировочные операции	Мультиметр, набор гаечных ключей, головок	220
		2	Выполнить проверку электрической части картинга		
		3	Выполнить испытания собранного картинга» [1]		

Дополнительные требования при сборке и испытаниях картинга.

Все соединения (болтовые, сварные, шпоночные) должны соответствовать чертежам и техническим условиям.

Затяжка резьбовых соединений производится с контролем момента затяжки (использование динамометрического ключа).

Сварные швы должны быть равномерными, без трещин, пор и непроваров.

Все подвижные узлы (подшипники, рулевое управление) должны быть смазаны.

Электрические соединения должны быть защищены от влаги и вибрации (термоусадка, гофра, стяжки).

Требования к испытаниям:

- проверить отсутствие люфтов в рулевом управлении, подвеске и приводе;
- убедиться в надежности крепления всех узлов (аккумулятора, двигателя, тормозов);
- проверить работу тормозной системы (отсутствие заклинивания, равномерное срабатывание);
- проверить целостность изоляции проводов;
- убедиться в отсутствии коротких замыканий;
- проверить работу контроллера, двигателя и педального узла (плавность разгона и торможения);
- провести тест-драйв на ровной площадке (проверка разгона, торможения, управляемости);
- проверить работу системы охлаждения двигателя и контроллера (перегрев недопустим);
- убедиться в отсутствии посторонних шумов и вибраций.

Графическая часть выпускной квалификационной работы включает технологическую схему сборки картинга на электрической тяге.

Выводы по разделу.

В данном разделе проведено обоснование выбранного технологического процесса, рассчитана трудоемкость сборки, а также разработан и визуализирован в графической части ВКР технологический процесс сборки картинга на электрической тяге.

## 5 Безопасность и экологичность проекта

Автомобилестроение – сложная отрасль с многоэтапным производственным циклом, требующая комплексного подхода к вопросам безопасности.

Согласно данным Международной организации труда (ILO):

- ежегодно происходит 2,78 миллионов смертей из-за профессиональных заболеваний;
- 374 миллиона несчастных случаев на производстве с потерей трудоспособности;
- экономические потери достигают 3,94% мирового ВВП.

Структура отраслевых рисков:

- травмы при работе с прессами (42% случаев),
- отравления парами красок (23%),
- поражения током (15%),
- падения с высоты (12%).

В таблице 20 представлен сравнительный анализ по странам (в % от ВВП).

Таблица 20 – Сравнительный анализ затрат на несчастные случаи (% ВВП) по странам

Страна	Затраты (% ВВП)	Особенности регулирования
Германия	2,8-3,2%	Система обязательного страхования Berufsgenossenschaften
США	3,1-3,5%	Workers' compensation + судебные иски
Япония	2,6-2,9%	Пожизненные компенсации при профзаболеваниях
Россия	3,5-4,1%	Высокий уровень скрытого травматизма
Бразилия	4,2-4,8%	Неформальный сектор до 35% занятости

Типичные затраты на 1 тяжелый несчастный случай составляют:

- Европа: 250000-400000 евро;
- США: 500000-1200000 долларов (с учетом судебных исков);
- Китай: 800000-1500000 йен.

В дипломном проекте необходимо учитывать специфические риски и современные тенденции отрасли.

Рассмотрим особенности производственной и экологической безопасности в автомобилестроении.

Технологические риски:

- работа с прессовым оборудованием (риск травматизма),
- сварочные операции (опасность возгораний, поражения током),
- окрасочные работы (взрывоопасность, токсичные испарения),
- конвейерные линии (движущиеся механизмы).

К мерам обеспечения безопасности относятся:

- автоматизация опасных процессов (роботизированная сварка и покраска; автоматические прессы с оптической защитой; конвейеры с датчиками присутствия персонала);
- системы контроля (мониторинг концентрации ЛВЖ в окрасочных цехах; термоконтроль электрооборудования; видеонаблюдение за опасными зонами);
- защита персонала (специальные СИЗ для разных участков (термостойкая одежда для сварщиков, респираторы для маляров); антистатические комплекты для работы с электроникой; системы принудительной вентиляции).

Основные источники воздействия на экологическую безопасность:

- выбросы лакокрасочных материалов,
- сточные воды гальванических производств,
- отходы полимерных материалов,
- шумовое воздействие испытательных стендов.

Таким образом, современное автомобилестроение требует интегрированного подхода к безопасности, сочетающего технические инновации, экологическую ответственность и экономическую эффективность.

В долгосрочной перспективе каждый рубль, вложенный в профилактику профессиональных рисков, приносит предприятию ориентировочно 3-5 рублей совокупной выгоды за счет синергетического эффекта от улучшения всех ключевых показателей деятельности.

### 5.1 Структурно-функциональный анализ

Для детального исследования сборочного цикла, либо технологического процесса обслуживания, включая его конструктивные параметры и организационно-технические условия, необходимо разработать технологический паспорт (таблица 21).

Таблица 21 – Технологический паспорт технологического процесса сборки картинга на электрической тяге

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
Сборка электрического картинга	1 Сборка рамы. 2 Покраска рамы. 3 Сборка электрического картинга. 4 Испытание электрического картинга	Слесарь по ремонту автомобилей пятого разряда	Набор гаечных ключей (рожковых, накидных, торцевых), шестигранные ключи (имбусовые), отвертки (крестовые, шлицевые, биты), пассатижи, кусачки, круглогубцы, молоток (резиновый/металлический), ножницы по металлу / болгарка	Перчатки, ветошь, смазка Литол-24, ЦИАТИМ-221) – для штока, пружины, уплотнений. Уплотнительная паста (типа Loctite 577) – для резьбовых соединений, чистящие средства

Продолжение таблицы 21

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
			(УШМ), напильники, надфили, шуруповерт / дрель с регулировкой оборотов сварочный аппарат (ММА/МIG), болгарка (УШМ) с отрезными и шлифовальными кругами, термофен / паяльник, динамометрический ключ	

Данный документ является обязательным требованием для:

- технически сложных изделий,
- продукции, подлежащей обязательной сертификации,
- оборудования с повышенными требованиями безопасности.

Функциональное назначение технологического паспорта:

- систематизация производственных данных – фиксация ключевых параметров сборки;
- обеспечение контроля качества – регламентация технологических норм и допусков;
- оптимизация технического обслуживания – упрощение диагностики и ремонта;
- повышение безопасности эксплуатации – четкие инструкции по монтажу и обслуживанию

Преимущества оформления паспорта:

- упрощение процедур сертификации и аудита,
- снижение рисков производственного брака,
- повышение прозрачности технологических процессов,
- обеспечение соответствия международным стандартам (ISO, ГОСТ, ТР ТС).

Таким образом, технологический паспорт служит не только формальным требованием, но и практическим инструментом управления качеством на всех этапах жизненного цикла изделия.

## **5.2 Идентификация профессиональных рисков**

Комплексная оценка производственных угроз является ключевым элементом системы охраны труда, направленной на сохранение здоровья персонала и устойчивую работу предприятия.

Реализация данного процесса требует последовательного выполнения четырех взаимосвязанных этапов:

- выявление потенциальных угроз: комплексное обследование рабочих мест на предмет наличия физических факторов (шум, вибрация, излучение), химических агентов (токсичные вещества, аэрозоли), биологических опасностей (микробактерии, вирусы, аллергены), психофизиологических нагрузок (стресс, монотонность операций), эргономических проблем (неудобные позы, чрезмерные нагрузки);
- количественная и качественная оценка угроз: расчет вероятности возникновения опасных ситуаций; прогнозирование возможного ущерба здоровью сотрудников; ранжирование рисков по степени значимости;
- разработка защитных мер: внедрение многоуровневой системы защиты, включающей технические усовершенствования (модернизация оборудования); организационные изменения

(оптимизация рабочих процессов); средства индивидуальной защиты; целевые программы обучения персонала; периодические контрольные проверки;

- динамический контроль и совершенствование: регулярный аудит условий труда; анализ эффективности принятых мер; своевременная корректировка защитных мероприятий.

Практическая значимость систематической оценки производственных рисков заключается в:

- создании безопасной рабочей среды,
- предупреждении профессиональных заболеваний,
- снижении экономических потерь от несчастных случаев,
- повышении производственной дисциплины,
- обеспечении соответствия требованиям регуляторных органов.

Реализация данного подхода позволяет трансформировать систему охраны труда из формального требования в действенный инструмент повышения эффективности производства.

В представленной таблице 22 систематизированы данные по выявленным профессиональным рискам, характерным для процесса сборки картинга на электрической тяге.

Таблица 22 – Результаты идентификации профессиональных рисков

Операция	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
1 Сборка рамы. 2 Покраска рамы. 3 Сборка электрического картинга. 4 Испытание электрического картинга	«Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях деталей энергоаккумулятора, навесного оборудования	Элементы конструкции базовой машины, навесного оборудования

Продолжение таблицы 22

Операция	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
	Запыленность и загазованность воздуха	Поднимающаяся пыль от инструмента, ног, шум базовой машины
	Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования	Элементы конструкции базовой машины, навесного оборудования» [12].
	«Возможность поражения электрическим током	Инструмент в зоне проведения технического обслуживания
	Отсутствие или недостаток естественного света	Недостаточное количество окон, световых колодцев в помещении, где производится технологический процесс» [12].
	«Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой	Однообразно повторяющиеся технологические операции. Операции, требующие повышенного внимания и точности» [12]
	Напряжение зрительных анализаторов	
	Монотонность труда, вызывающая монотонию	

Оценка рисков проведена по методике ГОСТ 12.0.230-2007. Таблица позволяет наглядно сопоставить технологические операции с соответствующими рисками и разработать комплекс профилактических мероприятий для минимизации профессиональных заболеваний и травматизма.

### **5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков**

Для эффективного снижения профессиональных рисков применяется комплекс технических, организационных и индивидуальных мер.

Технические решения:

- автоматизация опасных процессов (роботизированные линии),
- установка защитных ограждений и блокировок,
- внедрение систем принудительной вентиляции,
- использование инструментов с антивибрационными свойствами.

Организационные мероприятия:

- оптимизация режимов труда и отдыха,
- введение ротации персонала на вредных участках,
- разработка четких регламентов безопасной работы,
- организация производственного контроля.

Средства индивидуальной защиты:

- специализированные костюмы (термостойкие, химически стойкие),
- антистатические комплекты,
- респираторы с многоуровневой фильтрацией,
- защитные каски с системой вентиляции.

Инженерные разработки:

- системы дистанционного управления,
- датчики контроля опасных факторов,
- аварийные остановы оборудования,
- звуковая и световая сигнализация.

Профилактические программы:

- медицинские осмотры,
- специальная оценка условий труда,
- тренинги по безопасности,
- психологическая поддержка.

Особое внимание уделяется:

- внедрению цифровых систем мониторинга,
- использованию эргономичного инструмента,
- применению экологичных материалов,
- совершенствованию технологических процессов.

Реализация данных мер позволяет:

- снизить уровень травматизма на 40-60%,
- уменьшить профзаболеваемость,
- повысить производительность труда,
- обеспечить соответствие международным стандартам.

Эффективность применяемых методов регулярно оценивается через:

- анализ показателей травматизма,
- медицинскую статистику,
- результаты специальной оценки условий труда,
- опросы сотрудников.

Для эффективного решения обозначенных проблем необходимо:

- применять нормативно-обоснованные меры,
- реализовывать адресные мероприятия,
- обеспечивать системный контроль.

Нормативно-обоснованные меры по снижению профессиональных рисков представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Мероприятия по снижению профессиональных рисков

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
«Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования»	Организационно-технические мероприятия: <ul style="list-style-type: none"><li>– инструктажи по охране труда;</li><li>– содержание технических устройств в надлежащем состоянии</li></ul>	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].

Продолжение таблицы 23

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
«Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях автомобиля	<p>Выполнение на регулярной основе планово-предупредительного обслуживания.</p> <p>Эксплуатация технологического оборудования в строгом соответствии с инструкцией.</p> <p>Санитарно-гигиенические мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– обеспечение работника СИЗ, смывающими и обеззараживающими средствами;</li> <li>– предохранительные устройства для предупреждения перегрузки оборудования;</li> <li>– знаки безопасности, цвета, разметка по ГОСТ 12.4.026-2015;</li> <li>– обеспечение дистанционного управления оборудованием</li> </ul>	<p>Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].</p>
«Повышенный уровень шума	<p>Мониторинг здоровья работников:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– систематическое проведение аудиометрии для сотрудников шумных цехов;</li> <li>– создание индивидуальных аудиограмм для отслеживания динамики слуха;</li> <li>– включение исследований в программу периодических медосмотров.</li> </ul> <p>Инструктаж по:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– правилам эксплуатации СИЗ органов слуха;</li> <li>– технике подбора и применения противошумных устройств;</li> <li>– методам проверки плотности прилегания защитных средств.</li> </ul> <p>Техническая модернизация:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– плановый контроль уровня шума оборудования;</li> <li>– внедрение шумопонижающих технологий (вибрационные демпферы, звукоизолирующие кожухи, акустические экраны);</li> <li>– приоритетная замена устаревшего шумного оборудования.</li> </ul> <p>Организация рабочего процесса:</p>	<p>Защитные противошумные наушники, беруши противошумные» [20].</p>

Продолжение таблицы 23

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– введение регламентированных «тихих пауз»;</li> <li>– создание зон акустической разгрузки;</li> <li>– оптимизация графика работы с учетом шумовой нагрузки.</li> </ul> <p>Тренинги по:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– техникам стрессоустойчивости;</li> <li>– методам звуковой релаксации;</li> <li>– профилактике слухового утомления.</li> </ul> <p>Консультации корпоративного психолога.</p> <p>Инженерные решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– установка звукопоглощающих панелей;</li> <li>– применение антивибрационных креплений;</li> <li>– модернизация вентиляционных систем;</li> </ul> <p>использование шумоподавляющих материалов</p>	
«Возможность поражения электрическим током	<p>Образовательные мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– проведение специализированных курсов по принципам безопасной эксплуатации электроустановок, методам идентификации опасных участков, правилам применения электротехнических средств;</li> <li>– организация регулярных тематических семинаров с разбором реальных случаев</li> </ul> <p>Практическая подготовка:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ежеквартальные тренировки по алгоритмам действий в аварийных ситуациях, технике безопасного отключения оборудования, особенностям работы под напряжением;</li> <li>– внедрение системы ежегодной аттестации электротехнического персонала</li> </ul>	Индивидуальные защитные и экранирующие комплекты для защиты от электрических полей» [12].

Продолжение таблицы 23

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<p>Техническая защита:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– оснащение рабочих мест современными устройствами защитного отключения, диэлектрическими коврами и инструментами, сигнализаторами напряжения, заземляющими устройствами нового поколения.</li> </ul> <p>Профилактический контроль:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– внедрение системы планово-предупредительных ремонтов:</li> <li>– ежемесячный осмотр силовых линий,</li> <li>– термографический контроль соединений,</li> <li>– диагностика изоляции электрооборудования,</li> <li>– ведение электронного журнала технического состояния.</li> </ul> <p>Административный надзор:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– реализация трехступенчатой системы контроля,</li> <li>– ежедневный осмотр ответственным лицом,</li> <li>– еженедельная проверка начальником участка,</li> <li>– месячная комиссионная инспекция,</li> <li>– автоматизированная система учета нарушений</li> </ul> <p>Медицинское сопровождение:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– углубленные медосмотры для электротехперсонала;</li> <li>– проверка нервной системы;</li> <li>– контроль сердечно-сосудистых показателей;</li> <li>– тесты на скорость реакции</li> </ul>	
Отсутствие или недостаток естественного света	<p>Оптимальное расположение рабочих мест с акцентом на естественный свет (размещение столов и зон активности рядом с окнами или в хорошо освещённых участках).</p> <p>Использование прозрачных конструкций для свободного</p>	–

Продолжение таблицы 23

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	проникновения дневного света (стеклянные перегородки, светопропускающие стены или другие решения, обеспечивающие равномерное освещение без искусственных источников)	
«Напряжение зрительных анализаторов. Статические нагрузки, связанные с рабочей позой	Оздоровительно-профилактические мероприятия: <ul style="list-style-type: none"> <li>– медицинские осмотры (предварительный (при поступлении на работу) и периодические (в течение трудовой деятельности) и других медицинских осмотров согласно ст. 212 ТК РФ;</li> <li>– правильное оборудование рабочих мест, обеспечение технологической и организационной оснащенности средствами комплексной и малой механизации;</li> <li>– используемые в работе оборудование и предметы должны быть удобно и рационально расположены на столе» [27].</li> </ul>	–
«Монотонность труда	<ul style="list-style-type: none"> <li>– чередование задач и ротация видов деятельности, периодическая смена рабочих операций для предотвращения однообразия и поддержания вовлеченности;</li> <li>– внедрение элементов автономности и разнообразия, предоставление сотрудникам возможности влиять на порядок выполнения задач и варьировать методы работы;</li> <li>– регламентированные перерывы и микропаузы, введение коротких перерывов для отдыха и смены активности в течение рабочего дня;</li> <li>– использование технологических решений, автоматизация рутинных задач</li> </ul>	–

Продолжение таблицы 23

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<p>течение рабочего дня;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– использование технологических решений, автоматизация рутинных процессов и применение интерактивных систем для повышения вариативности труда;</li> <li>– психологическая разгрузка и мотивация, организация зон отдыха, проведение мини-тренингов или использование геймификации для поддержания интереса;</li> <li>– оптимизация эргономики рабочего места, создание комфортных условий, снижающих физическое и эмоциональное напряжение (например, регулируемая мебель, динамическое освещение).</li> </ul> <p>Мероприятия подбираются с учетом специфики труда и рекомендаций по охране здоровья (СНиП, СанПиН, ТК РФ)</p>	

Данный подход гарантирует не только формальное соблюдение требований охраны труда, но и создание по-настоящему безопасной производственной среды. Все мероприятия должны быть задокументированы и включены в систему управления охраной труда предприятия.

#### 5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

План пожарной безопасности – это документ, регламентирующий порядок действий при пожаре, эвакуации людей и материальных ценностей, а также меры по предотвращению возгораний.

Этот план должен быть доступен всем сотрудникам и регулярно пересматриваться.

План пожарной безопасности содержит:

- ответственных за пожарную безопасность;
- профилактику (проверки оборудования, хранение горючих материалов);
- порядок действий при пожаре: оповещение (сигнализация, вызов МЧС); эвакуация (схемы путей, сборные пункты); тушение (огнетушители, пожарные краны);
- проверки и обновления (регулярные тренировки, корректировка плана).

Производим анализ потенциальных источников пожаров и определяем опасные факторы, способные их вызвать (таблица 24).

Таблица 24 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
«Участок сборки»	Технологическое оборудование, применяемое в зоне ТО	В	Пламя и искры, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения	Образующиеся в процессе пожара осколки, части разрушившихся строительных зданий, инженерных сооружений, оборудования, технологических установок» [17].

Классификация пожарной техники (по ГОСТ Р 53325-2012 и нормам МЧС) включает следующие основные категории:

- первичные средства пожаротушения: огнетушители (пенные, порошковые, углекислотные, хладоновые); пожарные щиты и инвентарь (вёдра, лопаты, ящики с песком, кошмы (противопожарные полотна), багры, топоры, ломы);

- пожарные автомобили: основные (АЦ – автоцистерны, АНР – насосно-рукавные); специальные (автолестницы, дымоудаление, аварийно-спасательные);
- пожарные поезда, суда, вертолёты (для спецобъектов);
- мотопомпы (переносные насосы для воды);
- установки пожаротушения: автоматические системы (водяные (спринклерные, дренчерные), газовые, порошковые, аэрозольные);
- пожарные краны и рукава (в зданиях);
- пожарная сигнализация и связь (извещатели (дымовые, тепловые, ручные));
- приёмно-контрольные приборы (ПКП);
- системы оповещения (громкоговорители, световые табло);
- средства индивидуальной защиты (СИЗ) для пожарных: костюмы, каски, дыхательные аппараты (ДАСВ), теплоотражающие экраны; для эвакуируемых: противогазы, самоспасатели (например, «Феникс»);
- специальная техника: роботы-пожарные (для АЭС, химических объектов); термокамеры и тепловизоры для поиска очагов.

«Выполним классификацию средств пожаротушения, применяемых для данного технического объекта:

- первичные средства пожаротушения – внутренний пожарный кран, щит пожарный с песком и инвентарем (лом, багор пожарный, топор, комплект для резки электропроводов, лопата совковая, полотно асбестовое), универсальный огнетушитель порошковый ОП-10 – 1 шт., воздушно-пенный огнетушитель ОВП-12 – 1 шт.;
- мобильные средства пожаротушения предназначены для тушения пожаров с возможностью перемещения (мотопомпа для тушения возгораний);

- стационарные средства пожаротушения состоят из трубопроводов, в случае с наполнением из воды, пара или пены. Система трубопроводов соединяет автоматические устройства и оборудование. Приборы реагируют на повышенную температуру, сигнал передается на датчики. Затем происходит включение насосов, подающих воду» [16].

Разработка планов действий по пожарной безопасности – обязательная процедура для организаций, зданий и сооружений, регламентированная ФЗ №69 «О пожарной безопасности» и Правилами противопожарного режима в РФ.

Цели разработки планов:

- предотвращение пожаров (профилактика нарушений);
- обеспечение безопасности людей (эвакуация, первая помощь);
- минимизация ущерба (быстрое тушение, защита имущества);
- соответствие закону (избежание штрафов и приостановки деятельности).

Рассмотрим основные виды планов по пожарной безопасности.

План эвакуации при пожаре состоит из графической части (схема путей эвакуации, выходы, места огнетушителей) и текстовой инструкции (действия персонала, вызов МЧС, порядок отключения оборудования).

Обязателен для всех общественных зданий, офисов, школ, больниц и так далее.

Инструкция о мерах пожарной безопасности включает в себя Правила содержания территории, электрооборудования, хранения ЛВЖ (легковоспламеняющихся жидкостей), порядок проведения огневых работ, ответственных лиц и их обязанности.

План противопожарных мероприятий содержит:

- регулярные проверки (электропроводки, систем сигнализации);
- обучение персонала (инструктажи, тренировки);
- техническое обслуживание средств пожаротушения.

План ликвидации аварийных ситуаций оформляется для опасных объектов (АЗС, склады ГСМ, химические производства). Включает взаимодействие с МЧС, локализацию возгораний, защиту окружающей среды.

Разработка планов состоит из 5 этапов:

- анализ объекта (категория пожарной опасности, особенности здания);
- определение рисков (где возможны возгорания, слабые места);
- разработка документов (схемы, инструкции, приказы);
- согласование (при необходимости – с МЧС или экспертами);
- обучение персонала и проведение тренировок.

Разрабатываем планы соблюдения требований пожарной безопасности при сборке картинга на электрической тяге (таблица 25).

Таблица 25 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при сборке картинга на электрической тяге

Мероприятия, направленные на предотвращение пожарной опасности и обеспечению пожарной безопасности	Предъявляемые требования к обеспечению пожарной безопасности
«Наличие сертификата соответствия продукции требованиям пожарной безопасности»	Все приобретаемое оборудование должно в обязательном порядке иметь сертификат качества и соответствия» [15]
«Обучение правилам и мерам пожарной безопасности в соответствии с Приказом МЧС России 645 от 12.12.2007»	Проведение обучения, а также различных видов инструктажей по тематике пожарной безопасности под роспись» [22]
«Проведение технического обслуживания, планово-предупредительных ремонтов, модернизации и реконструкции оборудования»	Выполнение профилактики оборудования в соответствии с утвержденным графиком работ. Назначение приказом руководителя лица, ответственного за выполнение данных работ» [24]
«Наличие знаков пожарной безопасности и знаков безопасности по охране труда по ГОСТ»	Знаки пожарной безопасности и знаки безопасности по охране труда, установленные в соответствии с нормативно-правовыми актами РФ» [15].
«Рациональное расположение производственного оборудования без создания препятствий для эвакуации и использованию средств пожаротушения»	Эвакуационные пути в пределах помещения должны обеспечивать безопасную, своевременную и беспрепятственную эвакуацию людей
«Обеспечение исправности, проведение своевременного обслуживания и ремонта»	Не допускается использование неисправных средств пожаротушения

## Продолжение таблицы 25

Мероприятия, направленные на предотвращение пожарной опасности и обеспечению пожарной безопасности	Предъявляемые требования к обеспечению пожарной безопасности
источников наружного и внутреннего противопожарного водоснабжения	также средств с истекшим сроком действия» [26]
«Разработка плана эвакуации при пожаре в соответствии с требованиями статьи 6.2 ГОСТ Р 12.2.143-2009, ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ	Наличие действующего плана эвакуации при пожаре, своевременное размещение планов эвакуации в доступных для обозрения местах
Размещение информационного стенда по пожарной безопасности	Наличие средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности» [15]

Рассмотрим обязанности работодателя по пожарной безопасности.

Контроль горючих отходов: не допускать скопления легковоспламеняющихся материалов, включить регулярную уборку в систему противопожарных мер.

Обучение персонала: четко разъяснять сотрудникам риски, связанные с используемыми материалами и технологическими процессами; вводный инструктаж для новых работников; ознакомить каждого нового сотрудника с разделами плана пожарной безопасности, которые касаются его личной защиты в ЧС.

Техническое обслуживание оборудования: проводить плановые проверки и ремонт теплогенерирующих установок, чтобы исключить риск возгорания.

### **5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса сборки картинга на электрической тяге**

Экологическая безопасность – это комплекс мер, направленных на сохранение природных систем и предотвращение их разрушения в результате человеческой деятельности.

Ключевые аспекты:

- защита экосистем от загрязнения, истощения и необратимых изменений;
- рациональное использование ресурсов (воды, почвы, воздуха, биоразнообразия);
- минимизация антропогенного воздействия на окружающую среду.

Основные направления:

- контроль загрязнений (промышленные выбросы, отходы, химические вещества);
- сохранение биоразнообразия (защита редких видов, восстановление лесов);
- устойчивое развитие (баланс между экономикой и экологией).

Экологическая безопасность – не просто синоним охраны природы, а системный подход к гармоничному взаимодействию человека и окружающей среды.

Выполняем идентификацию негативных (вредных, опасных) экологических факторов, возникающих при технологическом процессе сборки картинга на электрической тяге и сведем их в таблицу 26.

Таблица 26 – Идентификация негативных (вредных, опасных) экологических факторов

Технологический процесс	Антропогенное воздействие на окружающую среду:		
	атмосферу	гидросферу	литосферу
«Сборка картинга на электрической тяге»	Мелкодисперсная пыль в воздушной среде, испарения смазочно-охлаждающей жидкости с поверхности новых деталей.	Масло трансмиссионное	Спецодежда пришедшая в негодность, твердые бытовые / коммунальные отходы коммунальный мусор), металлический лом, стружка» [11].

Последствия игнорирования негативных факторов

- ухудшение здоровья населения (респираторные, онкологические заболевания);
- деградация экосистем (исчезновение видов, опустынивание);
- экономические потери (ущерб сельскому хозяйству, туризму);
- климатические катастрофы (учащение экстремальных погодных явлений).

Идентификация вредных экологических факторов – первый шаг к разработке стратегий устойчивого развития и снижению антропогенной нагрузки на природу.

Для минимизации вреда от пыли и СОЖ требуется комплексный подход:

- технический – фильтрация и модернизация оборудования,
- организационный – обучение персонала, контроль норм,
- экологический – правильная утилизация отходов.

Составляем сводную таблицу 27 с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ.

Таблица 27 – Сводная таблица с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ

Вредный фактор	Способ устранения	Примечание
Мелкодисперсная пыль	Фильтрация: циклоны – грубая очистка крупных частиц (эффективность ~70–80%). рукавные фильтры – задерживают частицы до 1 мкм (эффективность 95–99%). электрофильтры – для субмикронной пыли (используют коронный разряд). мокрые скрубберы – улавливание пыли водой (актуально для литейных цехов).	–
Испарения СОЖ и масляных аэрозолей	Маслоуловители (коалесцентные фильтры) – отделяют масло от воздуха. Угольные адсорбенты – для летучих органических соединений (ЛОС). Плазменно-каталитические очистители – разложение паров	ПДК для металлической пыли – 0,5–10 мг/м <sup>3</sup> (зависит от металла). ПДК для масляных аэрозолей – 5 мг/м <sup>3</sup> (СанПиН 1.2.3685-21).

Продолжение таблицы 27

Вредный фактор	Способ устранения	Примечание
	СОЖ на CO <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> O	
Отходы различного типа: металлическая стружка и лом; промасленная ветошь, спецодежда; твердые коммунальные отходы (ТКО)	Переплавка на металлургических заводах. Обезжиривание и сжигание в спецпечах. Сортировка и захоронение/переработка. Регенерация или сжигание в цементных печах	–
Опасные отходы	Масла (код 4 13 101–4 13 110). Промасленные материалы (код 4 13 201–4 13 204) – класс опасности 3–4	–

Выводы по разделу.

В рамках обеспечения производственной и экологической безопасности проекта выполнены следующие работы:

- составлен технологический паспорт процесса сборки картинга на электрической тяге;
- проведена оценка профессиональных рисков с разработкой эффективных методов их минимизации;
- определен класс пожарной опасности производства, выявлены ключевые факторы возгорания и предложены превентивные меры;
- проанализировано воздействие на окружающую среду при сборке оборудования, разработан комплекс природоохранных мероприятий.

## 6 Экономическая эффективность проекта

«Для определения финансовых затрат на разработку конструкции электрического картинга воспользуемся формулой:

$$C_{\text{кон}} = C_{\text{к.д}} + C_{\text{о.д}} + C_{\text{сб.п}} + C_{\text{п.д}} + C_{\text{о.н}}, \quad (28)$$

где  $C_{\text{к.д}}$  – стоимость изготовления корпусных деталей, р.;

$C_{\text{о.д}}$  – затраты на изготовление оригинальных деталей, р.;

$C_{\text{сб.п}}$  – полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке, р.;

$C_{\text{п.д}}$  – цена покупных деталей, изделий, агрегатов, р.;

$C_{\text{о.н}}$  – общепроизводственные накладные расходы на изготовление конструкции, р.» [14].

«Стоимость изготовления корпусных деталей рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{к.д}} = Q_{\text{к}} \cdot C_{\text{к}}, \quad (29)$$

где  $Q_{\text{к}}$  – масса материала, израсходованного на изготовление корпусных деталей, кг;

$C_{\text{к}}$  – средняя стоимость 1 кг готовых деталей, р./кг» [14].

В таблице 28 представлена стоимость изготовления корпусных деталей.

Таблица 28 – Стоимость изготовления корпусных деталей

Деталь	Марка металла	Масса материала заготовок, кг	Масса деталей, кг	Цена за 1 кг, руб.	Сумма, руб.
Рама картинга из стандартного проката	Ст3	57	57	78,8	4491,6
Итого:	–	–	–	–	4491,6

$$C_{к.д} = 57 \cdot 78,8 = 4491,6 \text{ р.}$$

«Затраты на изготовление оригинальных деталей и заработную плату определяем по формулам (30, 31):

$$C_{о.д} = C_{прн} + C_M, \quad (30)$$

где  $C_{прн}$  – заработная плата производственных рабочих, занятых на изготовление оригинальных деталей, с учетом дополнительной зарплаты и отчислений, р.;

$C_M$  – стоимость материала заготовок для изготовления оригинальных деталей, р.» [14].

$$C_{пр} = t \cdot C_ч \cdot k_t, \quad (31)$$

где  $t$  – средняя трудоемкость на изготовление отдельных деталей: кронштейн крепления двигателя – 2 шт., поворотный кулак – 2 шт., задний вал – 1 шт., трудоёмкость на изготовление деталей: кронштейн крепления двигателя – 0,9 чел.-ч., задний вал – 1,8 чел.-ч., поворотный кулак – 2 чел.-ч.

$C_ч$  – часовая ставка рабочих, отчисляемая по среднему разряду, р./ч;

$k_t$  – коэффициент, учитывающий доплаты к основной зарплате, принимаем равным 1,030» [14].

$$t = (2 \cdot t_{\text{кронштейн}} + 2 \cdot t_{\text{поворотный кулак}} + 1 \cdot t_{\text{вал}}),$$

$$t = 2 \cdot 0,9 + 2 \cdot 2 + 1 \cdot 1,8 = 7,6 \text{ чел.-ч.}$$

«Тарифная ставка определяется на основании минимального размера оплаты труда (далее – МРОТ). Для Самарской области с 1 января 2025 года МРОТ составляет 23562 р.

Принимаем тарифную ставку из учета МРОТ для первого разряда:  $23562/(7 \cdot 21) = 160,28$  р./ч. Для остальных разрядов с учётом тарифной сетки: I – 1,0; II – 1,12; III – 1,26; IV – 1,42; V – 1,60; VI – 1,80» [14].

Дальнейшие расчёты ведём по IV разряду:  $160,28 \cdot 1,42 = 227,6$  р./ч.

$$C_{\text{ПР}} = 7,6 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 1781,65 \text{ р.}$$

Определяем дополнительную заработную плату по формуле:

$$C_{\text{Д}} = (5 \dots 12) \cdot C_{\text{ПР}} / 100, \quad (32)$$

$$C_{\text{Д}} = 10 \cdot 1781,65 / 100 = 178,16 \text{ р.}$$

Начисления на заработную плату определяем по формуле:

$$C_{\text{соц}} = 30 \cdot (C_{\text{ПР}} + C_{\text{Д}}) / 100, \quad (33)$$

$$C_{\text{соц}} = 30 \cdot (1781,65 + 178,16) / 100 = 587,94 \text{ р.,}$$

$$C_{\Sigma\text{ПР}} = 1781,65 + 178,16 + 587,94 = 2549,75 \text{ р.}$$

В таблице 29 представлена заработная плата на изготовление оригинальных деталей.

Таблица 29 – Заработная плата на изготовление оригинальных деталей

Значение	Сумма, руб.
Заработная плата	1781,65
Дополнительная заработная плата	178,16
Начисления на заработную плату	587,94
Итого:	2549,75

«Стоимость материала заготовок для изготовления оригинальных деталей определяем по формуле:

$$C_M = C \cdot Q_3, \quad (34)$$

где  $C$  – цена 1 кг материала заготовок, р./кг;

$Q_3$  – масса заготовки, кг» [14].

В таблице 30 представлена стоимость материала для изготовления оригинальных деталей.

Таблица 30 – Стоимость материала заготовок на изготовление оригинальных деталей

Наименование детали	Материал	Количество, шт.	Общая масса материала, кг	Цена за 1 кг, руб.	Сумма, руб.
Кронштейн крепления двигателя	Сталь 45	2	3	84,2	252,6
Задний вал	Ст3	1	2,5	69,3	173,25
Поворотный кулак	Сталь 40	2	6	76,3	457,8
Итого:	–	–	–	–	883,65

$$C_M = 3 \cdot 84,2 + 2,5 \cdot 69,3 + 6 \cdot 76,3 = 883,65 \text{ р.}$$

$$C_{O.Д} = 1781,65 + 883,65 = 2665,3 \text{ р.}$$

«Полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке определяется по формуле:

$$C_{СБ.П} = C_{СБ} + C_{Д.СБ} + C_{СОЦ.СБ}, \quad (35)$$

где  $C_{СБ}$  – основная заработная плата рабочих, занятых на сборке, р.;

$C_{Д.СБ}$  – дополнительная заработная плата рабочих, занятых на сборке, р.;

$C_{СОЦ.СБ}$  – страховые взносы в фонды, р» [14].

«Основная заработная плата рабочих, занятых на сборке рассчитывается по формуле:

$$C_{CB} = T_{CB} \cdot C_{д.сб} \cdot k_t, \quad (36)$$

где  $T_{сб}$  – нормативная трудоемкость на сборку конструкции, чел.-ч.

Значение определяем по формуле:

$$T_{CB} = k_C \cdot \Sigma t_{CB}, \quad (37)$$

где  $t_{сб}$  – трудоемкость сборки составных частей, чел.-ч ;

$k_C$  – коэффициент, учитывающий непредусмотренные работы, 1,1...1,5» [14].

По справочным данным принимаем трудоемкость сборки составных частей равной 10 чел.-ч.

$$T_{CB} = 1,25 \cdot 9 = 11,25 \text{ чел.-ч.}$$

Тогда заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке определится:

$$C_{CB} = 11,25 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 2637,31 \text{ р.,}$$

$$C_{д.сб} = 0,1 \cdot 2637,31 = 263,73 \text{ р.,}$$

$$C_{соц.сб} = 0,3 \cdot (2637,31 + 263,73) = 870,31 \text{ р.,}$$

$$C_{сб.п} = 2637,31 + 263,73 + 870,31 = 3771,35 \text{ р.}$$

В таблице 31 представлена полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке.

Таблица 31 – Полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке

Значение	Сумма, руб.
Основная заработная плата	2637,31
Дополнительная заработная плата	263,73
Страховые взносы в фонды	870,31
Итого	3771,35

«Общепроизводственные накладные расходы на изготовление приспособления определяем по формуле:

$$C_{OH} = \frac{(C'_{PP} \cdot R_{OH})}{100}, \quad (38)$$

где  $C'_{PP}$  – основная заработная плата производственных рабочих, участвующих в изготовлении, р.;

$R_{OH}$  – процент общепроизводственных накладных расходов, %» [14].

$$C'_{PP} = (C_{PP} + C_{CB}). \quad (39)$$

Подставив числовые значения в формулу (15) получим:

$$C'_{PP} = 1781,65 + 3771,35 = 5553 \text{ р.},$$

$$C_{OH} = \frac{(5553 \cdot 15)}{100} = 832,95 \text{ р.}$$

«Для данной конструкции необходимо приобрести следующие компоненты: аккумуляторную батарею 1 – шт., тяговый электродвигатель – 1 шт., контроллер – 1 шт., педальный узел – 1 шт., а также метизы. Перечень покупных деталей представлен в таблице 32» [12].

Таблица 32 – Затраты по статье «Материалы» на конструкторскую разработку

Значение	Количество, шт.	Цена, руб.	Сумма, руб.
«Аккумуляторная батарея	1	9020	9020
Тяговый электродвигатель	1	14850	14850
Электрические провода (пучок)	1	2310	2310
Контроллер	1	8250	8250
Педальный узел	1	2970	2970
Болт	28	4,62	129,36
Гайка	24	3,52	84,48
Шайба	20	2,31	46,2
Грунт-эмаль	1	814	814
Краска-эмаль по металлу	1	2453	2453
Разное	–	–	3350
Итого:			44277,04» [12]

$$C_{\text{ИД}} = 9020 + 14850 + 2310 + 8250 + 2970 + 129,36 + 84,48 + 46,2 + 814 + 2453 + 3350 = 44277,04 \text{ р.}$$

Определим затраты на изготовление конструкции и сводим их в таблицу 33.

$$C_{\text{КОИ}} = 4491,6 + 2665,3 + 3771,35 + 823,95 + 44277,04 = 56029,24 \text{ р.}$$

Таблица 33 – Затраты на изготовление конструкции

Значение	Сумма, руб.
Стоимость изготовления корпусных деталей	4491,6
Затраты на изготовление оригинальных деталей	2665,3
Затраты на сборку	3771,35
Общепроизводственные накладные расходы	823,95
Стоимость покупных изделий (деталей)	44277,04
Итого:	56029,24

Общие затраты на изготовление конструкции электрического картинга равны 56029,24 р.

Далее рассчитаем годовую экономию, годовой экономический эффект и срок окупаемости разработки.

«Годовая экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции составит:

$$\mathcal{E}_Г = C_{ПР} - C_{КОН}, \quad (40)$$

где  $C_{ПР}$  – стоимость прототипа, р. [14];

$$\mathcal{E}_Г = 117000 - 56029,24 = 60970,76 \text{ р.}$$

Срок окупаемости определяем по формуле:

$$O_{ОК} = \frac{C_{КОН}}{\mathcal{E}_Г}, \quad (41)$$

$$O_{ОК} = \frac{56029,24}{60970,76} = 0,92 \text{ года.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения конструкции составит:

$$\mathcal{E}_{ЭФ} = \mathcal{E}_Г - 0,15 \cdot C_{КОН}, \quad (42)$$

$$\mathcal{E}_{ЭФ} = 60970,76 - 0,15 \cdot 56029,24 = 52566,37 \text{ р.}$$

В таблице 34 представлены основные показатели проекта.

Таблица 34 – Основные показатели проекта

Показатели	Единица измерения	Значение	
		До внедрения	После внедрения
Стоимость изготовления конструкции	р.	117000	56029,24
Экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции	р.	–	60970,76
Экономический эффект	р.	–	52566,37
Срок окупаемости	год	–	0,92

Таким образом, стоимость изготовления конструкции электрического

картинга составляет 56029,24 р., что более чем в 2 раза дешевле представленного на рынке аналога.

Выводы по разделу.

В рамках раздела «Экономическая эффективность проекта» дипломной работы по проектированию конструкции картинга на электрической тяге проведен расчет затрат, экономии от внедрения конструкции и срока окупаемости.

Полная стоимость производства картинга составила 56029,24 р., что включает расходы на материалы, комплектующие, проектирование и сборку.

Наибольшую долю затрат занимают электронные компоненты (двигатель, аккумулятор, контроллер) и рама, что характерно для транспортных средств на электрической тяге.

Благодаря оптимизации конструкции достигнуто снижение себестоимости на 60970,76 р.

Годовой экономический эффект от внедрения составил 52566,37 р., что подтверждает финансовую выгоду проекта.

Проект окупается всего за 0,92 года ( $\approx$ 11 месяцев), что свидетельствует о его высокой инвестиционной привлекательности. Столь короткий срок окупаемости делает разработку перспективной для коммерческого внедрения.

Дополнительное снижение себестоимости возможно за счет масштабирования производства, использования более доступных материалов и оптимизации цепочки поставок.

Проект может быть интересен развлекательным центрам, прокатным сервисам и частным пользователям, что расширит рынок сбыта.

Дальнейшая оптимизация конструкции и производственных процессов позволит увеличить прибыль и расширить рынок применения.

Таким образом, проект является рентабельным и перспективным для реализации в условиях растущего спроса на экологичный транспорт.

## Заключение

В данном дипломном проекте была разработана конструкция электрического картинга.

В процессе выполнения дипломного проекта был осуществлён комплексный анализ и разработка конструкции картинга на электрической тяге, включающий следующие этапы:

- проведён исторический анализ эволюции картингов;
- выполнено сравнительное исследование конструктивных решений современных электрических картингов от ведущих мировых производителей;
- определены ключевые тенденции и технологические решения в данной области;
- разработаны и обоснованы параметры тягово-динамических характеристик транспортного средства;
- составлено детализированное техническое задание и техническое предложение на проектирование. Создана конструкция, отличающаяся оптимальной технологичностью производства, доступностью комплектующих, ремонтпригодностью, высокими технико-экономическими показателями. Проведён расчёт и обоснование выбора аккумуляторной батареи. Определены параметры энергопотребления и автономности;
- разработан оптимальный технологический процесс сборки;
- рассчитана трудоёмкость производственных операций;
- обоснована выбранная технология изготовления;
- проведён анализ факторов безопасности конструкции;
- оценено экологическое воздействие транспортного средства;
- разработаны мероприятия по обеспечению безопасности эксплуатации;

- себестоимость изготовления составила 56029,24 руб., что на 30-40% ниже рыночной стоимости аналогов от ведущих производителей. Достигнуто значительное снижение затрат за счёт оптимизации конструкции, использования доступных комплектующих, рационального подхода к выбору материалов. Полученные экономические показатели демонстрируют не только техническую, но и коммерческую состоятельность проекта, что делает его привлекательным для потенциальных инвесторов и производителей.

Результатом проведённой работы стала полностью проработанная конструкция электрического картинга, сочетающая в себе современные технические решения, экономическую эффективность и соответствие экологическим требованиям.

## Список используемой литературы и используемых источников

1 Автомобильный спорт [Текст] / Российская автомобильная федерация. - Москва : Российская автомобильная федерация, 2014-. - 20 см. 2014, 7: Картинг. - 2014. 96 с.

2 Автотранспортные средства. Основы конструирования : учебное пособие / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», [Институт информационных технологий, машиностроения и автотранспорта]; составители А. В. Буянкин, В. Г. Ромашко. - Кемерово : КузГТУ, 2021. 203 с.

3 Аносов В. Н. Повышение эффективности систем тягового электропривода автономных транспортных средств [Текст] = [Improving the efficiency of traction electric drive systems for autonomous vehicles] / В. Н. Аносов, В. М. Кавешников. - Новосибирск : НГТУ, 2014. 218 с.

4 Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя : В 3-х т. / В. И. Анурьев. - 6-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1982-. - 22 см. Т. 2. - М. : Машиностроение, 1982. 584 с.

5 Беспалов В. Я. Электрические машины : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 140600 "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" / В. Я. Беспалов, Н. Ф. Котеленец. - 2-е изд., испр. - Москва : Академия, 2008. - 312, [1] с.

6 Блинов Е. И. Автомобиль и трактор: энергетика сложных механических систем [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Наземные транспортно-технологические средства" / Е. И. Блинов ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф.

образования Московский гос. ун-т приборостроения и информатики. - Москва : МГУПИ, 2014. 113 с.

7 Бокман Г. А. Конструкция и технология производства электрических машин и аппаратов [Текст] : [Учебник для сред. проф.-техн. училищ] / Бокман Г.А., Пузевский И.С. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высш. школа, 1977. - 368 с.

8 Болотов А. К. Конструкция тракторов и автомобилей : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по агроинженерным специальностям / А. К. Болтов, А. А. Лопарев, В. И. Судницын. - Москва : КолосС, 2006 (Смоленск : Смоленская обл. тип. им. В.И. Смирнова). - 349, [2]с.

9 Брылев И. С. Расчет систем и механизмов транспортных средств : учебное пособие для студентов, магистров, аспирантов и преподавателей строительных, технических и автомобильно-дорожных университетов по направлению подготовки и специальностям: 15.03.03 (15.04.03)-"Прикладная механика", 23.03.03 (23.04.03)-"Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов", 23.03.01 (23.04.01)-"Технология транспортных процессов", 23.03.02 (23.04.02)-"Наземные транспортно-технологические комплексы", 23.05.01-"Наземные транспортно-технологические средства" / И. С. Брылев, С. А. Евтюков, П. А. Кравченко. - Санкт-Петербург : Петрополис, 2019. 111 с.

10 Вахламов В. К. Техника автомобильного транспорта : Подвиж. состав и эксплуатац. свойства : Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Организация перевозок и упр. на трансп. (автомобил. трансп.) направления подгот. дипломир. специалистов "Организация перевозок и упр. на трансп." / В.К. Вахламов. - Москва : Academia, 2004 (ГУП Сарат. полигр. комб.). - 521, [1] с.

11 Галимзянов, Р. К. Теория автомобиля : учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 190201 - "Автомобиле- и тракторостроение" / Р. К. Галимзянов ; М-во образования и науки Российской

Федерации, Федеральное агентство по образованию, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. "Автомобили". - Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2007. - 219, [1] с.

12 Галкин В. И. Транспортные машины : учебник для вузов. - Москва : Издательство «Горная книга» : Издательство МГГУ, 2010. - 587 с.

13 Горина Л. Н., Фесина М. И. Раздел бакалаврской работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.-методическое пособие (2-е изд. Доп.). - Тольятти: изд-во ТГУ, 2021. 22 с.

14 Гуревич А. М. Тракторы и автомобили : [Для инж. спец.] / А. М. Гуревич. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Колос, 1983. - 336 с.

15 Карпухин К. Е. . Этапы развития транспортных средств на электрической тяге в России и мире [Текст] : монография / К. Е. Карпухин, В. Н. Кондрашов, А. С. Теренченко ; Государственный научный центр Российской Федерации, Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт "НАМИ". - Москва : НАМИ, 2018. 306 с.

16 Конаков А. М. Трансмиссия тракторов и автомобилей : учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по агроинженер. специальностям / А. М. Конаков ; М-во высш. образования РФ, Нижегород. гос. с.-х. акад. - Н. Новгород : Нижегород. гос. с.-х. акад., 2004. - 106 с.

17 Конструирование и эксплуатация транспортно-технологических машин [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Наземные транспортно-технологические средства» / [А. Ю. Барыкин, Р. М. Галиев, А. Т. Кулаков и др.] ; Казанский федеральный университет, Набережночелнинский институт. – Казань : Изд-во Казанского ун-та, 2016. 176 с.

18 Лавриков, И. Н. Экономика автомобильного транспорта [Текст] : учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям 190601 "Автомобили и автомобильное хозяйство" и 190702 "Организация и безопасность движения (автомобильный транспорт)" и специалистов автомобильного транспорта / И. Н. Лавриков, Н. В. Пеньшин ; М-во

образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Тамбовский гос. технический ун-т". - Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. - 115 с.

19 Норин В. А. Разработка технологического процесса изготовления деталей [Текст] : дипломное проектирование : учебное пособие / В. А. Норин [и др.] ; М-во образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский гос. архитектурно-строит. ун-т. - Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский гос. архитектурно-строит. ун-т, 2013. - 161 с

20 Огороднов С. М. Конструкция автомобилей и тракторов [Текст] : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 23.03.02 "Наземные транспортно-технологические комплексы" и специальности 23.05.01 "Наземные транспортно-технологические средства" / С. М. Огороднов, Л. Н. Орлов, В. Н. Кравец ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева". - Нижний Новгород : Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, 2017. - 284, [1] с.

21 Петров Г. Г. Трансмиссия автомобилей (анализ конструкций, основы расчета) : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Автомобили и автомобильное хозяйство" направления подготовки дипломированных специалистов "Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования" / Г. Г. Петров, Э. И. Удлер ; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Томский гос. архитектурно-строительный ун-т". - Томск : Изд-во Томского гос. архитектурно-строительного ун-та, 2008. - 255 с.

22 Потапов С. И. Электрооборудование автомобилей и тракторов [Текст] : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 23.05.01 "Наземные транспортно-

технологические средства" / С. И. Потапов, Е. А. Чашин ; Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Ковровская гос. технологическая акад. им. В. А. Дегтярева". - Ковров : КГТА им. В. А. Дегтярева, 2014. 87 с.

23 Русинов А. В. Основы дизайна в машиностроении : учебное пособие для студентов обучающихся в высших учебных учреждениях по направлению подготовки "Наземные транспортно-технологические комплексы" и специальности "Наземные транспортно-технологические средства" / Русинов А. В. ; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова". - Саратов : ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2018. 101 с.

24 Савкин А. Н. Основы расчетов на прочность и жесткость типовых элементов транспортных средств [Текст] : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 190109 "Наземные транспортно-технологические средства" / А. Н. Савкин, В. И. Водопьянов, О. В. Кондратьев ; М-во образования и науки Российской Федерации, Волгоградский гос. технический ун-т. - Волгоград : ВолгГТУ, 2014. 211 с.

25 Смирнов, Ю. А. Силовая электроника электромобилей. Управление инверторной генерацией энергии : учебное пособие для вузов / Ю. А. Смирнов, В. А. Детистов. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 256 с.

26 Смирнов, Ю. А. Электромобиль: инфраструктура и электротехнические компоненты : учебное пособие для вузов / Ю. А. Смирнов. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 476 с.

27 Сухочев Г. А. Разработка технологического процесса изготовления детали : Учеб. пособие / Г.А. Сухочев, К.А. Яковлев ; М-во образования Рос. Федерации, Воронеж. гос. лесотехн. акад. - Воронеж : ВГЛТА, 2002. - 67 с.

28 Черепанов Л. А. Наземные транспортно-технологические средства. Выполнение дипломного проекта : электронное учебно-методическое пособие / Л. А. Черепанов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Тольяттинский государственный университет, Институт машиностроения. - Тольятти : Тольяттинский гос. ун-т, 2021. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см.

29 Энтони Джутон, Ксавье Рейн, Валери Совант-Мойно, Франсуа Орсини, Кристель Сабер, Седдик Бача, Оливье Бету, Эрик Лабуре. Электромобиль: устройство, принцип работы, инфраструктура / пер. с франц. В. И. Петровичева – М.: ДМК Пресс, 2022. – 440 с.

30 Ютт, В. Е. Электромобили и автомобили с комбинированной энергоустановкой. Расчет скоростных характеристик: учеб. пособие / В.Е. Ютт, В.И. Строганов. – М.: МАДИ, 2016. – 108 с.

31 Arnold, M. Simulation Algorithms in Vehicle System Dynamics / M. Arnold // Technical Report 27. - Martin-Luther-University Halle, Department of Mathematics and Computer Science, 2004. 27 p.

32 Lowndes, E.M. Development of an Intermediate DOF Vehicle Dynamics Model for Optimal Design Studies / E.M. Lowndes, - Raleigh, 1998. 209 p.

33 Pettersson, M. Driveline Modeling and Control / M. Pettersson. - Linkoping, 1997. 150 p.

34 Puhs, Allen E., Hybrid vehicles. CRC Press, London NewYork 2009. 505 p.

35 Wagner G. Transmission options / Gerhard Wagner// Automotive Engineering International. 2001. - Vol. 7 (109). 64 - 70 p.

Приложение А  
**Спецификация**

Формат Зона		Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме- чание
<i>Документация</i>						
A4			25.ДПО1124.61.00.000.ПЗ	Пояснительная записка	1	
A0			25.ДПО1124.61.00.000.СБ	Сборочный чертёж	1	
<i>Сборочные единицы</i>						
Справ. №	A1	1	25.ДПО1124.61.01.000	Рама	1	
		2	25.ДПО1124.61.02.000	Колесо заднее	2	
		3	25.ДПО1124.61.03.000	Колесо переднее	2	
		4	25.ДПО1124.61.04.000	Рулевое управление	1	
		5	25.ДПО1124.61.05.000	Подвеска задняя	1	
		6	25.ДПО1124.61.06.000	Привод задних колес	1	
		7	25.ДПО1124.61.07.000	Аккумуляторная батарея	1	
		8	25.ДПО1124.61.08.000	Тормозной суппорт	1	
		9	25.ДПО1124.61.09.000	Звездочка в сборе	1	
<i>Детали</i>						
Взам. инв. №			10 25.ДПО1124.61.00.010	Цепь	2	
			11 25.ДПО1124.61.00.011	Подшипниковая опора	3	
			12 25.ДПО1124.61.00.012	Пол	1	
			13 25.ДПО1124.61.00.013	Сиденье	1	
25.ДП.01.124.61.00.000						
Изм. Лист		№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.		Дементьев А.О.			Лит.	Лист
Проб.		Тизилов А.С.			Д	1
Н.контр.		Тизилов А.С.			ТГУ, АТс-2001б	
Утв.		Бобровский АВ.				
Электрический картинг						
Копировал				Формат А4		

Рисунок А.1 – Спецификация на электрический картинг