

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 квадроцикла на электрической тяге

Обучающийся

А.Ю. Федосеев
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент Н.С. Соломатин
(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 квадроцикла на электрической тяге».

Цель работы: разработка современной конструкции электрического квадроцикла с оптимальными эксплуатационными характеристиками для рекреационного и утилитарного применения, обеспечивающего экологичность, энергоэффективность и надежность.

Задачи работы:

- анализ существующих моделей квадроциклов и электроприводных систем;
- определение оптимальных технических параметров (мощность, запас хода, динамика);
- проектирование несущей конструкции и ходовой части;
- оценка экономической целесообразности проекта.

Методы исследования:

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

Разработанный электроквадроцикл может быть использован для рекреационного отдыха (кемпинги, туризм), патрулирования охраняемых территорий, учебных целей в технических вузах.

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

В первом разделе рассмотрена история развития квадроциклов, достоинства и недостатки бензиновых и электрических квадроциклов.

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

В третьем разделе проведена конструкторская разработка электрического квадроцикла.

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 94 страницах, объем графической части составляет 10 листов формата А1.

Abstract

This graduation work is devoted of the design the ATV on electric traction.

The explanatory note consists of four parts, introduction and conclusion, list of references, totally 96 pages. The graphic part is on 10 A1 sheets were executed in the computer-aided modeling system KOMPAS-3D. The graduation work is fully consistent with the issued assignment.

After analyzing the latest ratings, we can conclude that electric quad bikes in the near future will seriously compete with petrol vehicles. The advantages of electrified vehicles will look even more advantageous in case of tightening environmental legislation or introducing additional charges for the use of petrol engines.

Considering the current trends in the use of electric drives, it was decided to develop a technical solution for modifying the petrol quad bike to work on electric traction.

The first part of graduation work deals with the history of the quad bikes development, advantages and disadvantages of petrol and electric quad bikes presented on world markets.

In the second part we make up the terms of reference and the technical proposal for modifying the petrol quad bike to work on electric traction. The design calculations for the selection of an electric motor and a battery for this vehicle are made.

The graduation work covers safety and labor protection issues. Measures for ecological safety are offered.

In the last part of graduation work the economic efficiency of the developed design of the quad bike on electric traction is established.

In the conclusion the results of the study are featured.

Содержание

Введение.....	6
1 Состояние вопроса	7
1.1. История развития электрических квадроциклов	7
1.2 Анализ конструкций бензинового и электрического приводов для квадроцикла.....	10
2 Тягово-динамический расчет электрического квадроцикла.....	13
3 Конструкторская часть	23
3.1 Техническое задание на разработку конструкции квадроцикла на электрической тяге	23
3.2 Техническое предложение на разработку конструкции квадроцикла на электрической тяге	25
3.3 Конструкторские расчеты.....	38
4 Технологический раздел.....	43
4.1 Выбор рациональной организации технологии сборки.....	44
4.2 Проектирование технологического процесса сборки квадроцикла на электрической тяге	52
5 Безопасность и экологичность проекта	60
5.1 Структурно-функциональный анализ.....	62
5.2 Идентификация профессиональных рисков	65
5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	68
5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	74
5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса сборки квадроцикла на электрической тяге....	78
6 Экономическая эффективность проекта.....	81
Заключение	90
Список используемой литературы и используемых источников.....	91
Приложение А. Спецификация	94

Введение

В последние годы наблюдается активное развитие электрического транспорта, включая квадроциклы.

Переход на электротягу обусловлен экологическими требованиями, повышением эффективности энергоснабжения и развитием аккумуляторных технологий.

Первые попытки создания электрических квадроциклов относятся к началу 2000-х годов, однако массовое производство началось лишь в последнее десятилетие благодаря:

- улучшению характеристик литий-ионных аккумуляторов,
- снижению стоимости электронных компонентов,
- ужесточению экологических норм в ряде стран.

Пионерами в этой области стали компании Polaris, Taiga Motors, Ecocharger, выпустившие первые серийные модели с запасом хода, сопоставимым с бензиновыми аналогами.

Аналитики прогнозируют рост доли электрических квадроциклов на рынке в связи с:

- развитием инфраструктуры зарядных станций,
- снижением стоимости батарей,
- государственными субсидиями на «зеленый» транспорт.

К 2030 году ожидается появление моделей с запасом хода 200+ км и ультрабыстрой зарядкой (до 80% за 15 минут).

Электрические квадроциклы постепенно вытесняют бензиновые аналоги благодаря технологическому прогрессу и экологическим трендам. Дальнейшее развитие направления зависит от прорывов в аккумуляторных технологиях и расширения сфер применения (спорт, сельское хозяйство, военная отрасль).

1 Состояние вопроса

1.1. История развития электрических квадроциклов

Попытки создания электрических квадроциклов предпринимались еще в конце XX века, однако технологии того времени не позволяли добиться приемлемых характеристик.

Основные ограничения:

- свинцово-кислотные аккумуляторы – большой вес, низкая энергоемкость, медленная зарядка;
- слабая мощность электродвигателей – недостаточная динамика и проходимость;
- высокая стоимость – отсутствие массового производства компонентов;
- дефицит качественных аккумуляторных ячеек;
- необходимость дорогостоящей модернизации цехов;
- сложности с логистикой комплектующих.

Первые прототипы создавались энтузиастами и небольшими компаниями, но не выходили за рамки экспериментальных разработок.

С середины 2000-х годов, благодаря развитию литий-ионных аккумуляторов и бесщеточных двигателей, начали появляться первые коммерческие модели:

- 2006 год – американская компания Brammo (позже приобретена Polaris) представила один из первых электрических квадроциклов Empluse eATV, но проект не получил массового распространения из-за ограниченного запаса хода (ориентировочно 50 км);
- 2010 год – китайские производители (Qianxiang, Ecocharger) начали выпуск бюджетных электрических квадроциклов для местного рынка, но их качество и характеристики оставляли желать лучшего;

- 2012 год – Polaris анонсировал Ranger EV, утилитарный квадроцикл для фермеров и охотников, ставший одним из первых успешных серийных электроквадроциклов.

В период так называемого технологического прорыва (2015-2020 гг.) произошли ключевые изменения:

- улучшение батарей – переход на литий-ионные (NMC, LFP) с увеличенной энергоемкостью (до 10-15 кВт·ч);
- рост мощности двигателей – появление моделей с 30-50 кВт (40-70 л.с.), сравнимых с бензиновыми аналогами;
- развитие инфраструктуры – появление быстрых зарядных станций.

Знаковые модели этого периода:

- 2017 год – канадская Taiga Motors представила Nomad, первый спортивный электроквадроцикл с запасом хода 100+ км и разгоном до 100 км/ч за 4 секунды.
- 2018 год – Polaris обновил Ranger EV, увеличив запас хода до 80 км.
- 2019 год – Volta Vehicles (Франция) выпустила Volta Zero, квадроцикл для коммерческого использования.

С 2020 года рынок электрических квадроциклов активно растет благодаря:

- снижению стоимости батарей (на 80% за последние 10 лет);
- появлению новых игроков – Tesla (анонсировала электроквадроцикл для Cybertruck), Zero Motorcycles (разработка мощных силовых установок);
- государственной поддержке – льготы и субсидии в ЕС, США, Китае.

Последние значимые модели:

- 2022 год – Taiga Nomad 2 с батареей 24 кВт·ч и запасом хода 180 км.

- 2023 год – Polaris RANGER XP Kinetic (совместно с Zero Motorcycles) – мощный утилитарный квадроцикл с рекордным крутящим моментом 140 Нм.
- 2024 год – KTM Electric ATV (в разработке) – первый электроквадроцикл от известного мото-бренда.

В таблице 1 представлена хронология развития ключевых моделей электрических квадроциклов.

Таблица 1 – Хронология ключевых моделей электрических квадроциклов

Год	Модель, производитель	Мощность двигателя	Время зарядки	Ключевые характеристики	Значимость
2006	Brammo Empluse eATV, США	15 кВт, ~20 л.с.	8-10 часов	Один из первых серийных eATV, запас хода ~50 км	Экспериментальная модель, не получила массового распространения
2010	Ecocharger ECO, Китай	4 кВт, ~5,4 л.с.	6-8 часов	Бюджетная модель для локального рынка	Показал потенциал китайских производителей
2012	Polaris Ranger EV, США	22 кВт, ~30 л.с.	8 часов	Утилитарный квадроцикл, запас хода ~45 км	Первый успешный коммерческий электроквадроцикл
2017	Taiga Nomad, Канада	50 кВт, ~67 л.с.	2 часа, БЗ	Спортивный квадроцикл, 100+ км, разгон до 100 км/ч за 4 сек	Прорыв в мощности и динамике
2018	Volta Zero, Франция	30 кВт, ~40 л.с.	4 часа	Коммерческий квадроцикл, 80 км на заряде	Попытка выхода на европейский рынок
2022	Taiga Nomad 2, Канада	60 кВт, ~80 л.с.	1,5 часа, БЗ	Батарея 24 кВт·ч, запас хода 180 км	Улучшенная версия с увеличенной дальностью
2023	Polaris RANGER XP Kinetic, США	75 кВт, ~100 л.с.	1 час, БЗ	Совместно с Zero Motorcycles, крутящий момент 140 Нм	Мощный утилитарный квадроцикл нового поколения
2024	KTM Electric ATV (концепт), Австрия	65 кВт, ~87 л.с.*	45 мин, БЗ	Ожидаемый запас хода 200 км	Первый электроквадроцикл от ведущего мото-бренда
2025	Tesla Cybertruck ATV, США	100 кВт, ~135 л.с.*	30 мин, БЗ	Ожидается в комплекте с Cybertruck	Потенциальный рыночный прорыв

Примечание:

БЗ – быстрая зарядка (80% емкости).

* ожидаемые характеристики.

Ожидаемые тенденции:

- 2025–2030 – появление квадроциклов с запасом хода свыше 250 км и водородными топливными элементами;
- интеграция с беспилотными технологиями – автономные квадроциклы для сельского хозяйства и логистики;
- использование твердотельных батарей – более безопасных и энергоемких.

Таким образом, эволюция электрических квадроциклов прошла путь от экспериментальных образцов до высокотехнологичных серийных моделей.

Дальнейшее развитие будет зависеть от прорывов в аккумуляторных технологиях и расширения сфер применения.

1.2 Анализ конструкций бензинового и электрического приводов для квадроцикла

Цель анализа – выявить преимущества и недостатки каждого типа привода, определить их применимость в различных условиях эксплуатации и оценить перспективы развития данных технологий. При проведении анализ были рассмотрены ключевые аспекты, такие как конструктивные особенности, энергоэффективность, экологичность, стоимость и условия эксплуатации.

Рассмотрим конструкции приводов и их конструктивные особенности.

Бензиновый привод основан на использовании двигателя внутреннего сгорания, который преобразует химическую энергию бензина в механическую. Конструкция включает в себя топливную систему, систему выхлопа, систему зажигания и трансмиссию.

Основные компоненты:

- двигатель внутреннего сгорания,
- топливный бак и система подачи топлива,
- система выхлопа (глушитель, катализатор),
- коробка передач и сцепление.

Электрический привод использует энергию, запасенную в аккумуляторной батарее, которая питает электродвигатель.

Основные компоненты: электродвигатель (BLDC, синхронный или асинхронный), аккумуляторную батарею (литий-ионную, LiFePO₄ и так далее), контроллер управления двигателем, зарядное устройство, редуктор или прямая передача.

Выполним сравнение характеристик и представим сравнительные данные в виде таблицы 2.

Таблица 2 – Сравнение характеристик бензинового и электрических приводов

Характеристика	Тип привода	
	бензиновый	электрический
Мощность и крутящий момент	Обеспечивает высокую максимальную мощность, особенно на высоких оборотах, но требует коробки передач для оптимизации крутящего момента	Характеризуется высоким крутящим моментом на низких оборотах, что делает его идеальным для бездорожья, но мощность ограничена характеристиками двигателя и батареи
Энергоэффективность и КПД	КПД составляет 20-30%, так как большая часть энергии теряется в виде тепла	КПД достигает 90%, что делает его более энергоэффективным
Экологичность	Сопровождается выбросами вредных веществ (CO ₂ , NO _x , углеводороды) и шумовым загрязнением	Не производит вредных выбросов (при условии использования энергии из возобновляемых источников) и работает практически бесшумно
Дальность хода и время заправки/зарядки	Обеспечивает дальность хода до 200-300 км и более на одном баке, а заправка занимает несколько минут	Имеет ограниченную дальность хода (обычно 50-150 км), а время зарядки варьируется от 1 до 8 часов
Обслуживание и надежность	Требует регулярного технического обслуживания (замена масла, фильтров, свечей зажигания) и имеет больше изнашиваемых деталей	Практически не требует обслуживания, так как имеет минимальное количество движущихся частей

Продолжение таблицы 2

Характеристика	Тип привода	
	бензиновый	электрический
Масса и габариты	Имеет большую массу из-за двигателя, топливного бака и системы выхлопа	Сам привод более компактен и легче, но масса батареи может быть значительной и в совокупности превышать бензиновый привод
Начальная стоимость	Имеет более низкую начальную стоимость квадроцикла	Привод дороже из-за высокой стоимости аккумуляторных батарей
Эксплуатационные расходы	Требуется постоянных затрат на топливо и техническое обслуживание	Имеет низкие эксплуатационные расходы, так как электроэнергия дешевле бензина, а обслуживание минимально
Условия эксплуатации	Подходит для длительных поездок по бездорожью. Менее чувствителен к перепадам температуры.	Идеален для коротких поездок по пересеченной местности. Снижение эффективности при низких температурах.

Проведенный сравнительный анализ показал, что бензиновый и электрический приводы имеют свои преимущества и недостатки.

Бензиновый привод остается предпочтительным для длительных поездок и тяжелых условий эксплуатации благодаря высокой мощности и дальности хода. Электрический привод, в свою очередь, демонстрирует превосходство в плане экологичности, энергоэффективности и простоты обслуживания. Выбор типа привода зависит от конкретных задач, бюджета и условий эксплуатации квадроцикла.

Перспективы развития электрического привода связаны с увеличением энергоемкости батарей, снижением их стоимости и внедрением технологий быстрой зарядки, что может сделать электрические квадроциклы более конкурентоспособными в будущем.

Выводы по разделу.

В данном разделе рассмотрены ключевые этапы развития электрических квадроциклов, их преимущества перед традиционными моделями с ДВС, современные технологические решения и перспективы рынка.

2 Тягово-динамический расчет электрического квадроцикла

«Одним из этапов разработки конструкции электрического квадроцикла является проведение тягово-динамического расчета с целью подбора комплектующих тяговой системы для обеспечения достаточной динамики и безопасности» [19].

«За базовые параметры электрического квадроцикла принимаем технические характеристики электрического квадроцикла Ecocharger ECO LITHIUM PURE (рисунок 1).



Рисунок 1 – Электрический квадроцикл Ecocharger ECO LITHIUM PURE

Базовые параметры электрического квадроцикла Ecocharger ECO LITHIUM PURE приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Базовые параметры электрического квадроцикла Ecocharger ECO LITHIUM PURE [1]

Параметр	Значение
Тип	заднеприводный квадроцикл
Колесная формула	2×1
Количество человек	1

Продолжение таблицы 3

Параметр	Значение
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	1980×1140×1150
Снаряженная масса, кг	240
Размерность шин	175/65R 18
Коэффициент сопротивления воздуха, C_x	0,3
Коэффициент сопротивления качению, f_0	0,013
Коэффициент, зависящий от уклона дороги, α_{max}	0,25
Максимальная скорость, V_{max} , км/ч	90
Максимальная частота вращения вала электродвигателя, ω_{emax} , с ⁻¹	398
КПД трансмиссии, $\eta_{тр}$	0,75» [1].

«Определяем полную массу квадроцикла по формуле:

$$M_a = M_0 + (M_q \cdot n) + M_6 \cdot n, \quad (1)$$

где M_0 – снаряженная масса квадроцикла, принимается равной 150 кг;

M_q – масса человека, принимается равной 80 кг;

M_6 – масса груза на одного человека, принимается равной 10 кг;

n – количество людей, принимается равным 1» [21].

$$M_a = 150 + (80 \cdot 1) + (10 \cdot 1) = 240 \text{ кг.}$$

«Определяем статический радиус колеса по формуле:

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

где d – посадочный диаметр, принимаем 0,256 м;

λ_z – коэффициент вертикальной деформации шин, зависящий от специфики используемых шин, принимаем 0,92;

H – высота профиля шины, принимаем 0,114 м» [21].

$$r_{ст} = 0,5 \cdot 0,256 + 0,92 \cdot 0,114 = 0,233 \text{ м.}$$

«Определяем коэффициент обтекаемости по формуле:

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

где ρ – плотность воздуха, принимаем $1,293 \text{ кг/м}^3$ » [21].

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

Определяем лобовую площадь квадроцикла по формуле:

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

$$F = 0,8 \cdot 1,140 \cdot 1,150 = 1,05 \text{ м}^2.$$

Определяем коэффициент сопротивления качению по формуле:

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

$$f = 0,013 \cdot \left(1 + \frac{25^2}{25000} \right) = 0,0131.$$

Определяем внешнюю скоростную характеристику необходимого электродвигателя.

«Сначала определяем мощность электродвигателя при наивысшей скорости квадроцикла с учетом КПД трансмиссии по формуле 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 η_{mp} – КПД трансмиссии, принимается равным 0,75;

G_a – полный вес квадроцикла;

ψ_v – коэффициент сопротивления дороги при максимальной скорости квадроцикла. При небольшой массе коэффициент сопротивления дороги принимают равным коэффициенту качения при максимальной скорости и равен 0,0131» [21].

$$N_v = \frac{1}{0,75} \cdot (240 \cdot 9,81 \cdot 0,0131 \cdot 25 + 0,15 \cdot 1,05 \cdot 25^3) = 2890,7 \text{ Вт.}$$

«На основании полученной мощности электродвигателя при наивысшей скорости электрического квадроцикла с учетом КПД трансмиссии можно подобрать электрический двигатель» [21].

«Наиболее распространенным электрическим двигателем, используемым на электрических квадроциклах является бесколлекторный, бесщёточный электродвигатель постоянного тока (BLDC) модели НРМ3000В, с максимальной мощностью 3 кВт. Одного двигателя будет достаточно для обеспечения достаточной динамичности» [3].

На рисунке 2 представлены характеристики электрического двигателя НРМ3000В.

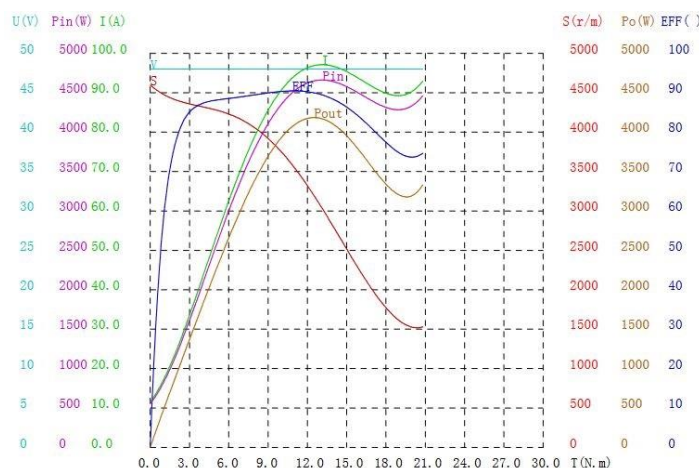


Рисунок 2 – Характеристика электрического двигателя НРМ3000В

«Определяем передаточное число главной передачи по формуле:

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

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

U_k – передаточное число коробки передач, так как в разрабатываемом электрическом квадроцикле не будет коробки передач передаточное число равняется 1» [21].

$$U_0 = \frac{0,233}{1} \cdot \frac{398}{13,89} = 6,67.$$

«Для того чтобы избежать буксование ведущих колес тяговая сила должна быть меньше силы сцепления колес с дорогой в соответствии с формулой:

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

где ϕ – сцепной вес автомобиля, определяется по формуле:

$$G_{cy} = \lambda_k \cdot G_{\text{сод}}, \quad (9)$$

$$G_{cy} = 9,81 \cdot 0,8 \cdot 348 = 2731,1 \text{ Н},$$

где λ_k – коэффициент сцепления шин ведущих колес с дорожным покрытием, равняется 0,8 для сухого асфальтобетонного покрытия в хорошем состоянии» [21].

$$U_1 \leq \frac{2731,1 \cdot 0,8 \cdot 0,233}{21 \cdot 0,65 \cdot 6,67} \leq 5,59.$$

Выполняем анализ тяговой динамики.

«Определяем силу тяги на ведущих колесах, в зависимости от скорости электрического квадроцикла по формуле:

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

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 электрического квадроцикла по формуле:

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

Определяем суммарную силу сопротивления движению электрического квадроцикла по формуле:

$$P_\Sigma = P_B + P_D. \quad (13)$$

Сводим результаты расчетов в таблицы 4 и 5» [21].

Определяем динамический фактор по формуле:

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

Таблица 4 – Результаты расчета

n, об/мин	Тяговая сила на ведущих колесах P_T , Н	Сила сопротивления, Н		
		P_ϕ	P_D	P_Σ
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

Продолжение таблицы 4

n , об/мин	Тяговая сила на ведущих колесах P_T , Н	Сила сопротивления, Н		
		P_e	P_o	P_Σ
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

Таблица 5 – Зависимость сопротивления воздуха от скорости электрического квадроцикла

Скорость V , м/с	P_e , 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

Результаты расчетов коэффициента сопротивления качению и динамического фактора сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Зависимость коэффициента сопротивления качению и динамического фактора от скорости вращения электродвигателя

Частота вращения коленчатого вала n , об/мин	Динамический фактор D	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

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.

Определяем ускорение 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» [21].

«В случае если точное значение I_M и I_k неизвестно, то δ_{ep} определяют по формуле:

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

где δ_1 – коэффициент учета вращающихся масс колес;

δ_2 – коэффициент учета вращающихся масс электродвигателя.

Принимаем, что $\delta_1 = \delta_2 = 0,03 \div 0,05$ » [21].

Результаты расчетов ускорений и обратных ускорений $1/j$ сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Зависимость ускорений и обратных ускорений от частоты вращения электродвигателя

Частота вращения коленчатого вала, об/мин	Ускорение на передаче, м/с ²	Величина, обратная ускорению на передаче, с ² /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

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

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

Результаты расчетов приведены в таблицах 8 и 9» [7].

Таблица 8– 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 9 – 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 электрического квадроцикла.

«Определяем мощность, передаваемую ведущему колесу по формуле:

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

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

N_f – мощность, затрачиваемая на качение колеса;

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 подъема» [21].

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

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

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

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

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

Вычисления производились в среде Microsoft Excel, а графическое представление тягово-динамических зависимостей реализовано в программе Компас-3D.

Выводы по разделу. В рамках проведённой работы были успешно выполнены следующие этапы:

- расчёт тягово-динамических характеристик электрического квадроицикла с учётом его конструктивных параметров, условий эксплуатации и характеристик силовой установки;
- расчёты выполнены в Microsoft Excel, что позволило систематизировать данные, применить формулы и провести анализ результатов;
- графическое представление зависимостей (тягового усилия, мощности, скорости, ускорения) реализовано в Компас-3D, обеспечив наглядную визуализацию полученных характеристик.

Определены ключевые параметры, влияющие на динамику квадроицикла (максимальная скорость, ускорение, преодолеваемые уклоны).

Оценено соответствие рассчитанных характеристик требованиям эксплуатации.

Полученные данные позволяют сделать вывод о достаточности тягово-динамических возможностей разрабатываемого квадроицикла для целевых условий использования. Результаты могут быть применены для дальнейшей оптимизации конструкции или корректировки параметров силовой установки.

3 Конструкторская часть

3.1 Техническое задание на разработку конструкции квадроцикла на электрической тяге

«Конструкторская разработка относится к транспортному машиностроению, а именно, к внедорожным колесным транспортным средствам – квадроциклам.

Квадроцикл с электрической силовой установкой представляет собой переработанную версию стандартной модели с ДВС, где традиционный двигатель заменен на электромеханическую систему, включающую мотор, дифференциал (задняя ось), контроллер и аккумуляторную батарею.

Его эксплуатация возможна на дорогах общего пользования и умеренном бездорожье в любое время года, однако поставки за пределы страны не планируются» [11].

Проектирование осуществляется в соответствии с техническим заданием кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей».

В процессе разработки использовались данные из научно-технических публикаций, форумов и методических материалов.

Наименование и условное обозначение темы разработки не имеет.

«Квадроцикл на электрической тяге должен содержать несущую систему в виде рамы с закрепленной на ней электродвигателем, систему передачи крутящего момента на ведущие колеса, подвеску, энергетическую систему, состоящую из аккумуляторных батарей и контроллера управления, для транспортировки грузов предусмотреть задний багажник» [5].

«К конструкции квадроцикла на электрической тяге предъявляются следующие требования:

- эргономика и назначение: должна быть предусмотрена одноместная компоновка для перевозки водителя, удобная посадка/высадка;

- безопасность и надежность: должен соответствовать нормам эксплуатационной безопасности, быть устойчивым к различным погодным условиям;
- конструкция рамы: должна обеспечивать необходимую жесткость и прочность, предусмотреть на раме наличие точек креплений для груза;
- техническое оснащение: должен быть электропривод на задние колеса, применение серийных автомобильных компонентов, соответствующих российским и международным стандартам.
- эксплуатационные требования: минимальная потребность в обслуживании, использование стандартных расходных материалов и инструментов.
- дизайн и разработка: современный эстетичный внешний вид, проектирование в универсальной САПР» [11].

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

- 1) Габаритные размеры, не более мм:
 - длина 2600;
 - ширина 900;
 - высота 1200.
- 2) Тип привода электрический;
- 3) Количество двигателей, шт. не более 1;
- 4) Мощность двигателя, Вт не менее 3000;
- 5) Запас хода, км не менее 50;
- 6) Грузоподъемность, кг не менее 50;
- 7) Масса, кг не более 200» [11].

Изготовление транспортного средства осуществляется в единичном экземпляре.

«В связи с отсутствием планов серийного производства проверка на патентную чистоту не требуется. Эксплуатация разрешена только лицам, прошедшим специальный инструктаж по технике безопасности и ознакомившимся с правилами использования.

Конструкция должна предусматривать возможность легкой сборки и разборки для замены компонентов или транспортировки. Перевозка осуществляется в разобранном состоянии с упаковкой всех узлов в маркированные деревянные ящики. Хранение допускается как в собранном, так и в разобранном виде в условиях сухого помещения» [11].

В рамках проекта необходимо разработать техническое предложение, включающее эскизный проект

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.

3.2 Техническое предложение на разработку конструкции квадроцикла на электрической тяге

«В соответствии с техническим заданием требуется разработать электрическую модификацию серийного бензинового квадроцикла. Конструктивное решение предполагает создание рамного четырехколесного транспортного средства путем демонтажа двигателя внутреннего сгорания и его замены на электрическую силовую установку, включающую:

- тяговый электродвигатель,
- дифференциальный механизм (заднее расположение),
- систему управления (контроллер),
- аккумуляторную батарею» [11].

«Квадроцикл на электрической тяге должен иметь следующие технические показатели:

- 1) Габаритные размеры, не более мм:
 - длина 2600;
 - ширина 900;
 - высота 1200.
- 2) Тип привода электрический;
- 3) Количество двигателей, шт. не более 1;
- 4) Мощность двигателя, Вт не менее 3000;
- 5) Запас хода, км не менее 50;
- 6) Грузоподъемность, кг не менее 50;
- 7) Масса, кг не более 200» [2].

Проведенный патентно-технический анализ существующих конструкций показал преобладание бензиновых квадроциклов с моно- или полным приводом (преимущественное распространение бензиновых моделей (97% рынка), с приводом на одну ось (85%)). При этом решения по конверсии бензиновых моделей в электрические аналоги в доступных источниках не обнаружены.

Сравнительный анализ выявил отсутствие транспортных средств, полностью соответствующих требованиям технического задания, что подтверждает необходимость разработки принципиально новой конструкции.

«Основными частями квадроцикла на электрической тяге являются:

- рама,
- подвеска,
- электродвигатель,
- дифференциал;
- колеса,
- аккумуляторные батареи,
- контроллер» [3].

Проведем сравнительный анализ базовых платформ квадроциклов для электроконверсии и составим сводную таблицу 10.

Таблица 10 – Сравнительный анализ базовых платформ квадроциклов для электроконверсии

Критерий	Модель квадроцикла			
	Irbis ATV250	CFMOTO CFORCE 250	STELS ATV 250	Kayo Bull 250
Масса, кг	280	310	295	270
Габариты, мм	1850×1100×1100	1900×1150×1150	1880×1120×1130	1820×1080×1070
Клиренс, мм	180	170	175	185
Тип рамы	Стальная пространственная	Стальная с усилениями	Стальная трубчатая	Комбинированная
Объем ДВС, см ³	250	250	250	250
Цепная передача	Да	Нет (ременная)	Да	Да
Пространство для АКБ, дм ³	22	18	20	15
Стоимость базовой модели, руб.	320 000	380 000	350 000	290 000
Наличие сервисной сети	58 сервисов	42 сервиса	35 сервисов	12 сервисов
Сложность демонтажа ДВС (1-5 баллов)	2	3	2	4

Для CFMOTO CFORCE 250 отмечены сложности с интеграцией цепного привода. STELS ATV 250 требует дополнительных доработок подвески. Kayo Bull 250 имеет ограниченное пространство для контроллера.

В качестве базовой платформы для электроконверсии выбран квадроцикл Irbis ATV250 (рисунок 3), обладающий следующими преимуществами для модернизации:

- оптимальные массогабаритные характеристики (сухая масса 280 кг),
- рамная конструкция с высокой ремонтопригодностью,
- задний привод с цепной передачей,
- проверенная надежность компонентов,
- доступность запасных частей.



Рисунок 3 – Квадроцикл Irbis ATV250

«Квадроцикл Irbis ATV250 имеет следующие технические характеристики:

- 1) Габаритные размеры, мм
 - длина 1840;
 - ширина 1040;
 - высота 1080.
- 2) Тип и объем двигателя, см³ ДВС 4-х тактный, 250;
- 3) Мощность двигателя, л.с. 18;
- 4) Крутящий момент, Н·м 19;
- 5) Объем бензобака, л 10;
- 6) Масса, кг 175;
- 7) Рама трубчатая, пространственная;
- 8) Передняя подвеска ... независимая, с двумя А-образными рычагами;
- 9) Задняя подвеска ... независимая, маятниковая с моноамортизатором;
- 10) Тормозная система гидравлическая;
- 11) Передние и задние тормоза дисковые.
- 12) Колёса штампованные, изготовленные из стали:
 - передние шины 23×7,00-10 внедорожные;

- задние шины 22×10,00-10 внедорожные» [2].

Ключевые преимущества Irbis ATV250:

- оптимальное соотношение массы и габаритов;
- максимальное полезное пространство для размещения аккумуляторов (+10% к ближайшему аналогу);
- наиболее развитая сервисная сеть в РФ;
- простота демонтажа штатного ДВС (на 30% меньше трудозатрат);
- лучшая адаптивность рамы для модернизации;
- экономическая эффективность (цена/качество).

«На основании анализа существующих электроквадроциклов принято решение об установке электродвигателя мощностью 3 кВт, что обеспечивает:

- достаточный крутящий момент для преодоления бездорожья,
- оптимальное энергопотребление,
- совместимость с доступными АКБ,
- соответствие требованиям ТЗ по динамическим характеристикам.

Для приведения в движение транспортного средства предлагается использовать привод, состоящий из асинхронного двигателя Denzel DA90-4.1 (рисунки 4, 5) и цепной передачи (рисунок 7)» [9].



Рисунок 4 – Электродвигатель Denzel DA90-4.1 и его габаритные размеры

Преимущества выбранного решения:

- оптимальное сочетание мощности и энергоэффективности,
- совместимость с существующей цепной передачей Irbis ATV250,
- наличие сервисной поддержки в РФ,
- лучшее соотношение цена/качество среди аналогов,
- простота интеграции в штатные крепления.

Двигатель крепится на задней оси с цепной передачей (передаточное число 1:4).

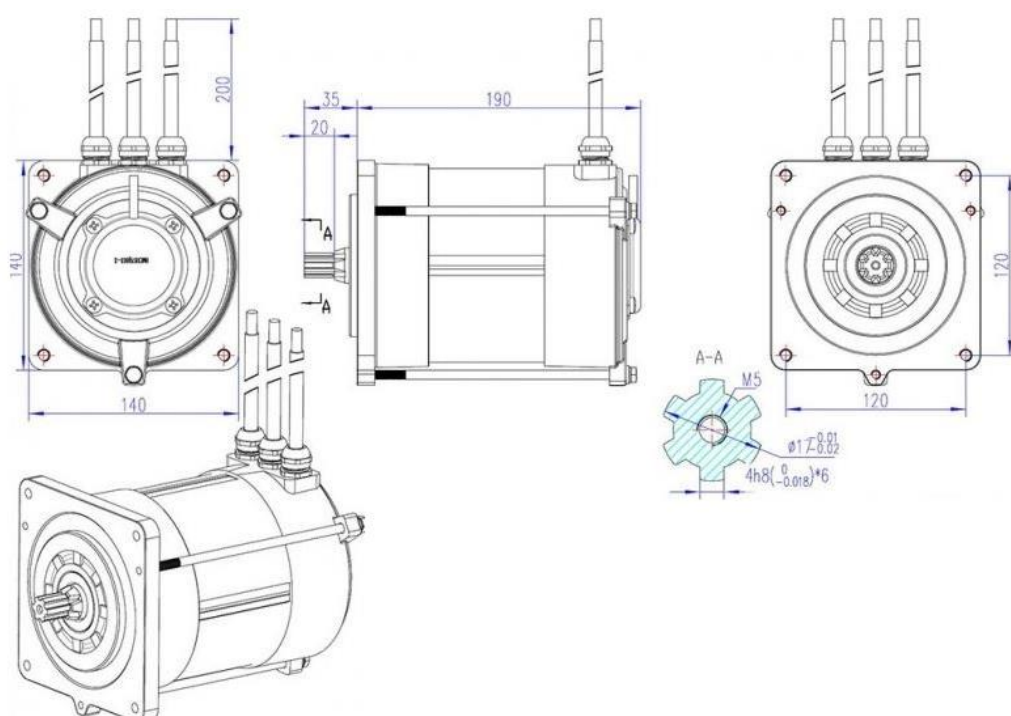


Рисунок 5 – Габаритные размеры электродвигателя Denzel DA90-4.1

«Технические характеристики электродвигателя Denzel DA90-4.1 представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Технические характеристики электродвигателя Denzel DA90-4.1

Параметр	Значение
Тип двигателя	асинхронный электрический
Номинальная мощность, Вт	3000 при 2500 об/мин
Пиковая мощность, Вт	9400
Частота вращения максимальная, об/мин	6000

Продолжение таблицы 11

Параметр	Значение
Максимальный длительный ток, А	90
Пиковый ток, А	350
Номинальное напряжение, В	72
Крутящий момент со старта, Н·м	70
Максимальный крутящий момент, Н·м	74
Тип охлаждения	воздушный (на фланцах двигателя сделаны специальные отверстия для охлаждения. Когда двигатель работает, воздух проходит через двигатель, одновременно охлаждая наиболее нагретые части двигателя: ротор и обмотки. При этом мотор не боится попадания грязи, воды, песка, пыли и т.п.)
Диаметр мотора, мм	125
Ширина фланца, мм	140
Длина мотора без оси, мм	190
Масса, кг	10,5» [9].

Скоростная характеристика электродвигателя Denzel DA90-4.1 представлена на рисунке 6.

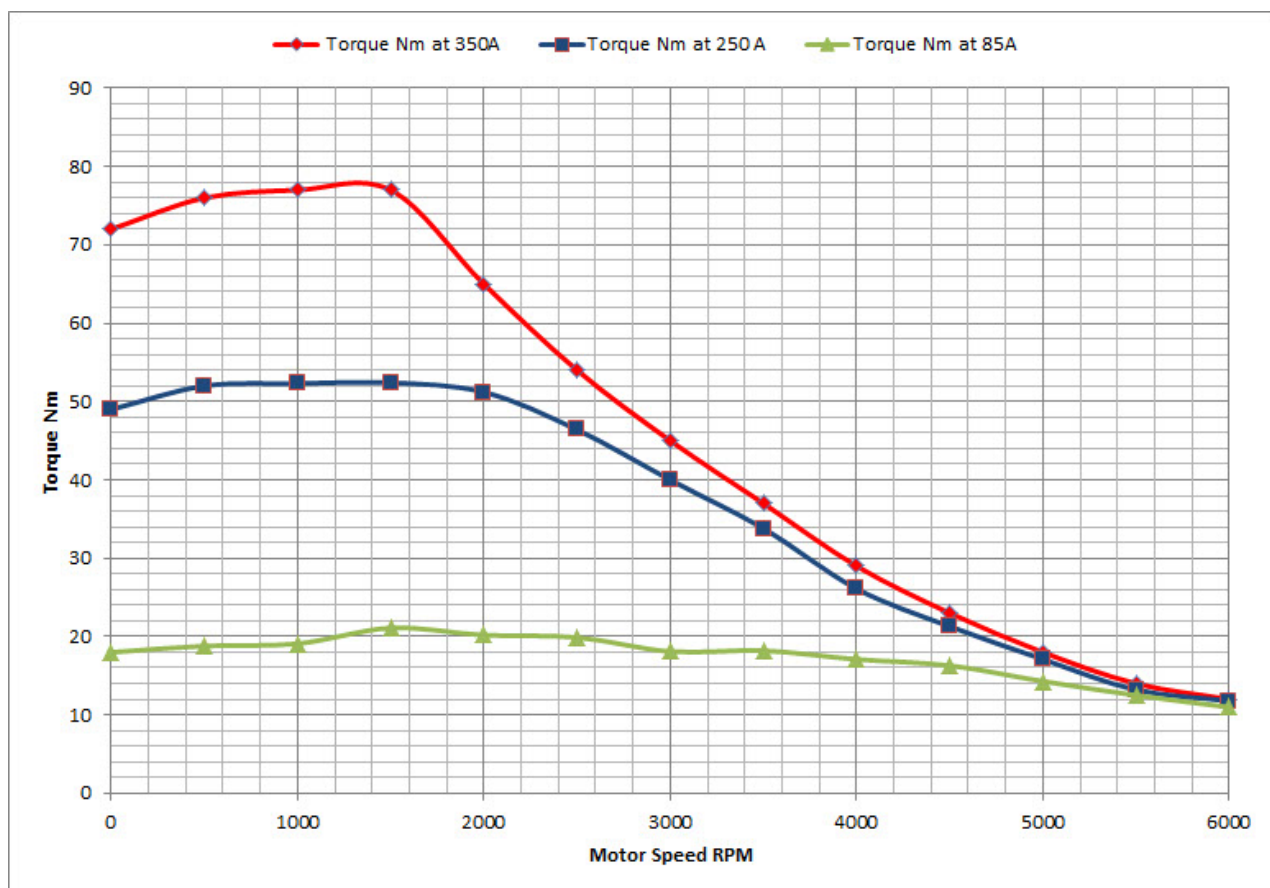


Рисунок 6 – Скоростная характеристика электродвигателя Denzel DA90-4.1

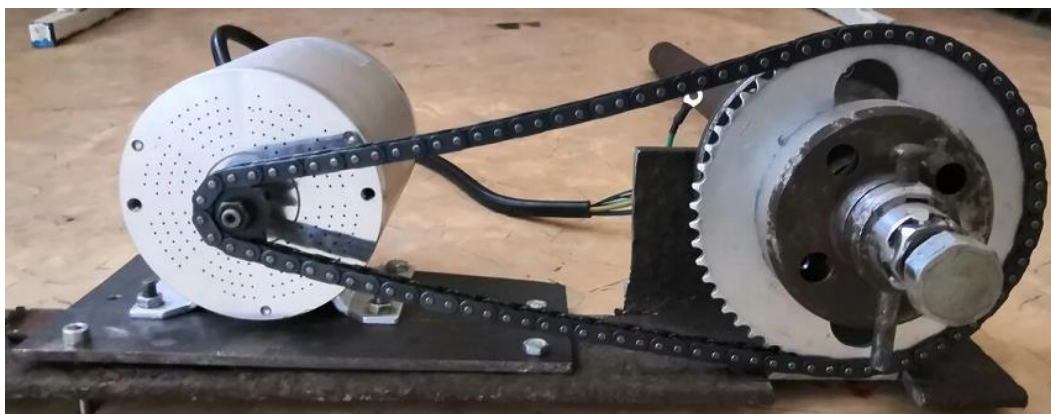


Рисунок 7 – Цепная передача

Выбранная цепная передача обеспечивает передаточное число равное 4, что оптимально для заданных условий эксплуатации.

Эксплуатационные преимущества:

- возможность быстрой замены звездочек для изменения динамики,
- простота визуального контроля износа,
- доступность комплектующих на рынке,
- шумность не превышает 72 дБ при максимальных оборотах.

Контроллер выполняет комплекс функций управления электроприводом:

- плавный пуск двигателя,
- регулировка скорости вращения,
- защита от перегрузок,
- реверс вращения,

Дополнительные возможности:

- регенеративное торможение,
- термоконтроль двигателя,
- самодиагностика системы,
- совместимость с CAN-шиной.

«Контроллер создает вращающееся магнитное поле в обмотке статора, получая обратную связь о положении ротора либо по датчикам Холла, либо по противо-ЭДС (при управлении двигателями без датчиков). Также,

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» [1].

«Изучив представленные на рынке контроллеры принимаем контроллер DECO 165 (рисунок 8) со следующими техническими характеристиками представленными в таблице 12.



Рисунок 8 – Контроллер DECO 165

Таблица 12 – Технические характеристики контроллера DECO 165

Параметр	Значение
Номинальная мощность, кВт	1,8
Максимальная мощность, кВт	7,5
Напряжение батарейное, В	48-80
Напряжение контроллера, В	от 30 до 96
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	193,7×125,7×72
Масса, кг	1,5

Контроллер и BMS монтируются рядом с батареей.

Для оснащения квадроцикла на электрической тяге также понадобятся элементы контроля и питания» [25].

Выполним их подбор исходя из требований технического задания.

Индикатор напряжения АКБ:

- тип: цифровой LED-дисплей,
- диапазон измерений: 36-60 В DC,
- погрешность: $\pm 0,5$ В,
- дополнительные функции: звуковое предупреждение при критическом разряде, индикация оставшегося заряда в %.

Адаптер постоянного тока 10А:

- входное напряжение: 48 В DC;
- выходы: 12 В/5 А (для светотехники), USB 5 В/2 А (для гаджетов);
- защита от перегрузок.

Переключатель режимов Sport/Eco:

- Sport: 100% мощности (3 кВт),
- Eco: ограничение 65% мощности (2 кВт),
- Время переключения: менее 0,5 с.

Селектор направления:

- позиции: F (Forward) - движение вперед, N (Neutral) – нейтраль, R (Reverse) - реверс (ограничение скорости до 15 км/ч);
- тип: водозащищенный тумблер.

Ручка «газ»:

- тип: потенциометрическая (0-5 кОм),
- ход: 30°,
- усилие срабатывания: 1,2-1,5 Н,
- влагозащита: IP54.

Сигнализация с дистанционным управлением:

- дальность действия: до 100 м;
- 2 брелока с ЖК-дисплеем;
- функции: иммобилайзер, датчик удара, поиск квадроцикла, автопостановка на охрану
- питание: автономное (3V CR2032).

Выполним подборку кабельного комплекта и сведем комплектующие в таблицу 13.

Таблица 13 – Кабельный комплект

Назначение	Сечение, мм ²	Длина, м	Цвет маркировки
Силовые (АКБ-контроллер)	10	1,5	Красный/черный
Управляющие (контроллер-двигатель)	2,5	2,0	Желтый/синий/зеленый
Датчики	0,75	1,0	Разноцветные
Освещение	1,5	3,0	Белый

Требования к установке:

- прокладка кабелей в гофротрубе,
- обязательное предохранительное реле 60 А,
- маркировка всех соединений,
- защита от вибрации (демпфирующие прокладки).

Выполняем выбор батареи.

Аккумулятор представляет собой химический источник тока с обратимыми процессами, где:

- отдельный элемент – аккумулятор,
- батарея – соединение более 2 элементов (последовательно/параллельно).

Выполним сравнительный анализ современных АКБ. Для этого составим сводную таблицу 14.

Таблица 14 – Сравнительный анализ современных АКБ

Параметр	Li-ion	Al-ion	Li-S	Металл-воздушные
Энергоплотность, Вт·ч/кг	250-300	150	500	800
Циклы заряда	1000	300	60	50-60
Рабочий диапазон, °С	от минус 20 до плюс 50	от минус 10 до плюс 60	от минус 30 до плюс 70	от 0 до плюс 50
Стоимость	Высокая	Средняя	Низкая	Очень низкая
Безопасность	Требует BMS	Высокая	Средняя	Низкая

К перспективным разработкам аккумуляторных батарей относятся:

- кремний-графитовые АКБ: плюс 500% энергоемкости по сравнению со свинцовой аккумуляторной батареей, ресурс: более 2000 циклов, ожидаемый выход: 2025-2027 гг.;
- твердотельные батареи: безопасность, энергоплотность до 400 Вт·ч/кг. Уже используются на прототипах Toyota.

Обоснование выбора Li-ion батареи 72 В 3 кВт·ч.

Ключевые характеристики:

- архитектура: 20S1P (20 элементов $\times$ 3,6 В),
- энергоемкость: 3024 Вт·ч (42 А·ч $\times$ 72 В),
- габариты: 400 $\times$ 200 $\times$ 150 мм,
- масса: 24 кг,
- ресурс: 1500 циклов (80% емкости)

Преимущества для квадроцикла:

- совместимость с существующей рамой,
- поддержка быстрой зарядки (2 часа до 80%),
- встроенная BMS с защитой: от переразряда, перегрева, короткого замыкания.

Рассмотрим особенности эксплуатации аккумуляторной батареи.

Рекомендации:

- зарядка при температуре от плюс 10 до плюс 30°C,
- хранение при 30-50% заряда.

Запрещено:

- механическое повреждение,
- нагрев более 60°C,
- глубокая разрядка (<20 В).

Выбор Li-ion технологии обусловлен оптимальным сочетанием энергоемкости, надежности и доступности компонентов для мелкосерийного производства.

«Аккумулятор (рисунок 9) изготовлен из электромобильных ячеек нового поколения.



Рисунок 9 – Аккумуляторная батарея

Рекомендовано использовать совместно с моторами номинальной мощностью до 3 кВт. Данный тип батареи является экономически более выгодным по сравнению со сборками из 18650 ячеек» [27].

Блоки Li-ion размещаются в нижней части рамы. Обязательна алюминиевая защитная плита снизу.

После выбора всех элементов конструкции квадроцикла на электрической тяге составляем компоновочную схему размещения элементов конструкции (рисунок 10).

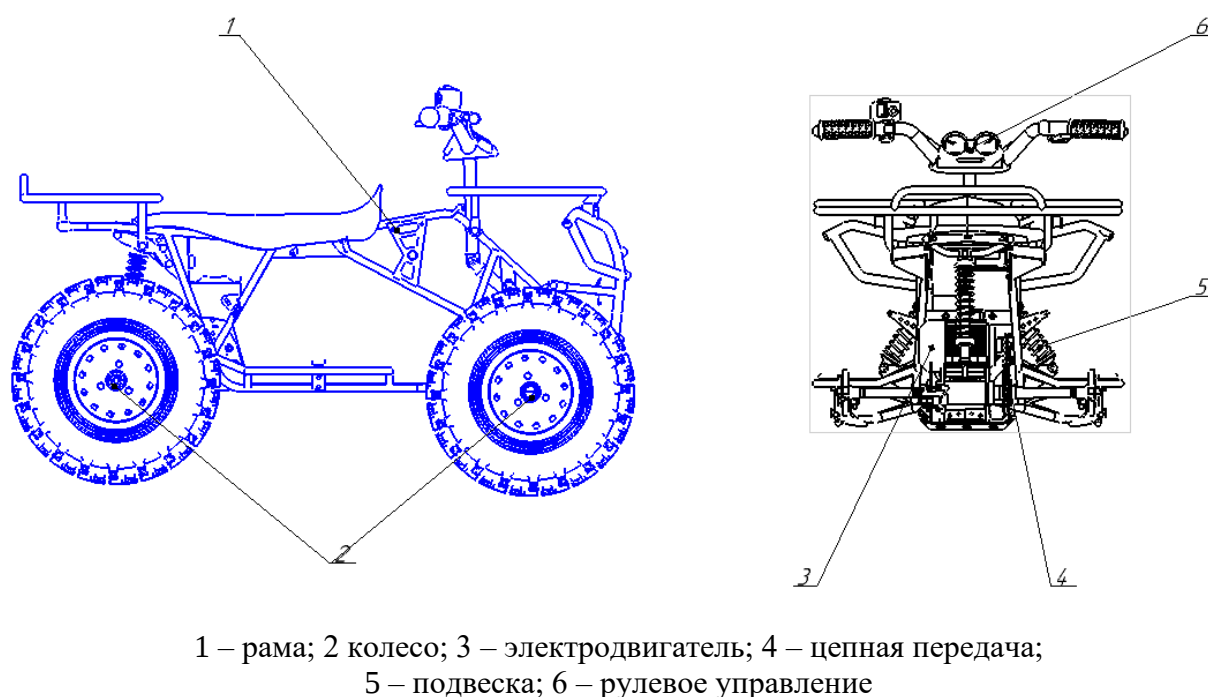


Рисунок 10 – Общая компоновка квадроцикла на электрической тяге

Разработка компоновочной схемы – ключевой этап проектирования, который определяет:

- распределение веса (центровка влияет на устойчивость и управляемость),
- доступность компонентов для обслуживания и ремонта,
- безопасность (защита электроники, аварийные отключения),
- эргономику (удобство управления, посадка водителя).

3.3 Конструкторские расчеты

Выбор мощности электродвигателя.

В отличие от ДВС, электродвигатели имеют гибкие характеристики мощности, зависящие от времени работы и условий эксплуатации. Важно правильно выбрать номинальную, пиковую и продолжительную мощность, чтобы избежать перегрева и обеспечить требуемую динамику.

Виды мощности электродвигателя:

- номинальная мощность – мощность, которую двигатель может выдавать неограниченно долго без перегрева (при нормальном охлаждении). Пример: двигатель 5 кВт (номинальная мощность) может работать на 5 кВт часами;
- продолжительная мощность – мощность, допустимая при длительной нагрузке (1–2 часа). Пример: 7 кВт (продолжительная мощность) можно ехать на 7 кВт до 2 часов, но с контролем температуры;
- кратковременная мощность – максимальная мощность, допустимая до 30 минут (зависит от системы охлаждения). Пример: 10 кВт (30 мин) можно разгоняться на 10 кВт, но не дольше 30 мин.;
- «пиковая мощность – максимальная мощность на несколько секунд/минут (для ускорения, подъёма в гору). Пример: 15 кВт (10 сек) – резкий старт с места» [14].

«Исходные данные для расчета мощности электродвигателя квадроцикла на электрической тяге представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Исходные данные для расчета мощности электродвигателя [7]

Параметр	Значение
Снаряжённая масса квадроцикла на электрической тяге, кг	120
Масса батареи, кг	14
Масса электродвигателя, мощностью 3000 Вт	10,5
Масса контроллера, кг	1,5
Дополнительный вес, кг	2
Общая масса с округлением, кг	148
Масса водителя, кг	80
Дополнительный полезный вес (груз)	20
Полная расчётная масса, кг	248
Коэффициент аэродинамического сопротивления (C_x)	0,342
Площадь поперечного сечения автомобиля (S), м ²	1,59
Коэффициент силы трения для асфальта ($F_{тр}$)	0,018
Скорость автомобиля (V), км/ч	30
Угол наклона дороги (α), °	0
Плотность воздуха (ρ_e), кг/м ³	1,225» [7].

«Мощность, необходимая для движения квадроцикла на электрической тяге определяется выражением:

$$N = \frac{W \cdot v}{\eta \cdot 0,736}, \quad (25)$$

где W – полный расход энергии на преодоление сопротивления движения, кВт·ч/т·км;

v – скорость электромотоцикла, км/ч;

η – КПД трансмиссии» [17].

Раскрываем формулу (25).

$$N = g \cdot F_{тр} \cdot m \cdot V + C_x \cdot S \cdot V^2 + g \cdot m \cdot \sin \alpha, \quad (26)$$

$$N = 9,8 \cdot 0,018 \cdot 248 \cdot 30 + 0,342 \cdot 1,59 \cdot 30^2 + 9,8 \cdot 248 \cdot \sin 0 = 943 \text{ Вт.}$$

«Необходимо учесть КПД узлов транспортного средства: электродвигателя – 0,81, трансмиссии – 0,76, контроллера с потерями на проводах и контакторах – 0,94» [14].

Итоговый КПД с учетом кинематики:

$$\eta = 0,81 \cdot 0,76 \cdot 0,94 = 0,58$$

Определяем необходимую мощность электродвигателя.

$$N_{\pi} = \frac{N}{\eta}, \quad (27)$$

$$N_{\pi} = \frac{943}{0,58} = 1612 \text{ Вт.}$$

Принимаем для привода электродвигатель с мощностью не менее 3000 Вт. Из предлагаемых изготовителями электродвигателей и доступных на российском рынке наиболее лучше подходят электродвигатель компании Denzel DA90-4.1 мощностью 3000 Вт.

Выбор напряжения батареи.

Выбор напряжения батареи – ключевой этап проектирования, влияющий на:

- эффективность системы (КПД, потери в проводах),
- стоимость и массу компонентов (контроллер, проводка, BMS),
- совместимость с зарядной инфраструктурой.

При проектировании аккумуляторной системы важно закладывать запас производительности, поскольку:

- деградация ресурса: после 500–1000 циклов заряд-разряд батарея теряет 20–30% ёмкости (остаётся 70–80% от исходной);
- влияние холода: при температурах ниже 0°C эффективная ёмкость снижается на 30–50%, а мощность падает.

Условия эксплуатации:

- режим: езда по бездорожью (переменные нагрузки, подъёмы),
- время поездки: 30 минут (пиковая нагрузка) или 2 часа (при равномерном движении),
- средняя скорость: 30 км/ч., запас хода 60 км,
- ток потребления: 20 А (средний).

При среднем токе потребления электродвигателя 20 ампер рассчитаем емкость аккумулятора:

$$C_p = 2 \cdot 20 = 40 \text{ А/ч.}$$

После анализа рыночных предложений и технических требований для проекта выбран литиевый аккумулятор со следующими параметрами:

- ёмкость: 45 А·ч (ближайший подходящий вариант из доступных),
- энергоёмкость: 3024 Вт·ч (рассчитано исходя из напряжения системы),
- тип: литий-ионный (Li-ion) или LiFePO₄ (в зависимости от приоритетов по стоимости, весу и долговечности).

Преимущества выбранного решения:

- высокая энергетическая плотность — компактность и меньший вес по сравнению со свинцово-кислотными аналогами;
- долгий срок службы — 500–1000 циклов зарядки (с учетом деградации до 70–80% от исходной ёмкости);
- совместимость с зарядной инфраструктурой — возможность использования стандартных зарядных устройств.

Недостатки и компенсирующие меры:

- чувствительность к переразряду и перегреву, следовательно возможно применение BMS с балансировкой ячеек;
- снижение ёмкости на холоде, возможна установка термосистемы для работы в зимних условиях.

Выводы по разделу.

Разработанная конструкция полностью удовлетворяет исходным требованиям:

- обеспечена экологичность за счет полного исключения выбросов;
- достигнута экономичность эксплуатации (стоимость заряда в 5-7 раз ниже затрат на бензин);
- сохранены ходовые характеристики оригинальной модели: динамика разгона, максимальная скорость, проходимость по бездорожью.

Проведенная модернизация дает значимые преимущества:

- снижение уровня шума на 80%,
- упрощение обслуживания (отсутствие масляной системы, свечей, выхлопа),
- возможность рекуперативного торможения,
- срок окупаемости 2-3 года за счет экономии на топливе,
- увеличение ресурса силовой установки до 8-10 лет,
- снижение затрат на ТО на 40-50%.

В данном разделе выполнено:

- анализ технического задания – определены ключевые требования к квадроциклу;
- конструкторские расчёты – подобраны оптимальные параметры двигателя, батареи и системы управления;
- выбор комплектующих – обосновано применение литиевой батареи 45 А·ч (3024 Вт·ч).

Разработанная электрическая версия квадроцикла полностью соответствует исходным требованиям.

Главное преимущество – экологичность и экономичность за счёт замены ДВС на электропривод.

4 Технологический раздел

«Технологический процесс сборки автомобилей и тракторов представляет собой строго регламентированную последовательность операций по соединению деталей и компонентов» [23].

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 квадроциклы на электрической тяге на начальном этапе, 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,
- возможность параллельного выполнения операций» [18].

«Для определения такта выпуска продукции используем формулу:

$$T_d = \frac{F_d \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (28)$$

где F_d – 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» [12].

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

Такой подход позволяет оптимизировать затраты при ограниченных объемах производства» [18].

«После завершения проектирования разрабатывается технологическая карта сборки, включающая:

- графическую схему последовательности операций,
- детальное описание всех сборочных этапов» [4].

Данный подход обеспечивает:

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

Спецификация операций узловой и общей сборки квадроцикла на электрической тяге приведена в таблице 16.

Таблица 16 – Перечень операций с указанием трудоемкости и необходимого оборудования технологического процесса сборки квадроцикла

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин.
«Взять раму квадроцикла в сборе	Рама без трещин, коррозии, геометрия соответствует чертежу	0,3
Осмотреть раму квадроцикла в сборе на наличие повреждений и дефектов	Проверить сварные швы, отсутствие деформаций, крепежные отверстия без повреждений резьбы	1
Установить крепежные пластины и кронштейны для двигателя и батареи	Момент затяжки болтов 50 Н·м $\pm 5\%$	40» [10].
Установить переднюю подвеску с рычагами, кулаками и амортизаторами в сборе	Подвеска должна быть отцентрована, зазоры в шарнирах	120
Установить заднюю подвеску с маятником и амортизатором в сборе	Маятник должен двигаться без заеданий, амортизаторы без подтеков масла	80
Установка привода задних колес с тормозным механизмом и ступицами	—	—
Взять ступицу заднюю центральную с подшипниками и сальниками	Подшипники должны быть смазаны, сальники без повреждений	0,3
Осмотреть ступицу заднюю центральную	Проверить плавность вращения подшипников	1
Установить ступицу заднюю центральную на раму	Крепление болтами М10 с моментом затяжки 50 Н·м	10
Взять ось колесную заднюю	Ось должна быть прямой, без деформаций	0,3
Осмотреть ось колесную заднюю	Проверить диаметр оси на соответствие чертежу	1
Установить ось колесную заднюю в ступицу заднюю центральную с	Зазор между осью и подшипниками — не более 0,1 мм	5

Продолжение таблицы 16

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин.
подшипниками и сальниками		
Взять кронштейн металлический (крепления заднего тормозного диска)	Кронштейн должен соответствовать чертежу	0,3
Осмотреть кронштейн металлический (крепления заднего тормозного диска)	Проверить отсутствие трещин и коррозии	1
Установить кронштейн металлический (крепления заднего тормозного диска) на ось колесную заднюю	Крепление болтами М8 с моментом 20 Н·м	3
Взять 4 болта М8-6gx25-F ГОСТ Р 50274-92	Болты должны быть новыми, без следов износа	0,3
Взять тормозной диск	Соответствие диаметру	0,3
Осмотреть тормозной диск	Проверить на отсутствие трещин	1
Установить тормозной диск на кронштейн металлический (крепления заднего тормозного диска) при помощи 4 болтов М8-6gx25-F ГОСТ Р 50274-92	Надежная фиксация, соосность зазор между диском и колодками – 0,2-0,3 мм	4
Взять кронштейн крепления ведомой звездочки	Кронштейн должен быть совместим с моделью квадроцикла	0,3
Осмотреть кронштейн крепления ведомой звездочки	Проверить соосность отверстий	1
Установить кронштейн крепления ведомой звездочки на ось колесную заднюю	Крепление болтами М8 с моментом 20 Н·м	3
Взять звездочку ведомую цепного привода задних колес 428-35Т	Соответствие модулю и количеству зубьев	0,3
Осмотреть звездочку ведомую цепного привода задних колес 428-35Т	Проверить на отсутствие сколов	1
Взять 6 болтов М8-6gx25-F ГОСТ Р 50274-92	Болты должны быть с защитным покрытием	0,3
Установить звездочку ведомую цепного привода задних колес 428-35Т на ось колесную заднюю при помощи болтов М8-6gx25-F ГОСТ Р 50274-92	Надежная фиксация, правильное зацепление	5
«Взять ступицу заднего колеса 2 шт.	Соответствие посадочным размерам	0,3
Осмотреть ступицу заднего колеса 2 шт.	Проверить на отсутствие повреждений	1» [10].
Установить ступицу заднего колеса на ось колесную заднюю	Надежная фиксация, соосность	10
Взять суппорт заднего дискового	Суппорт должен быть чистым,	0,3

Продолжение таблицы 16

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин.
тормоза в сборе с колодками	без подтеков тормозной жидкости	
Осмотреть суппорт заднего дискового тормоза в сборе с колодками	Проверить толщину колодок (мин. 2 мм)	1
Установить суппорт заднего дискового тормоза в сборе с колодками на диск	Тормозная жидкость должна быть залита до уровня МАХ	15
Подсборка рулевого управления	—	—
Взять колонку рулевую в сборе с тягами рулевыми в сборе с рулевыми наконечниками	Тяги должны быть без люфтов	0,3
Осмотреть колонку рулевую в сборе с тягами рулевыми в сборе с рулевыми наконечниками на наличие повреждений и дефектов	Проверить герметичность пыльников	3
Установить колонку рулевую в сборе с тягами рулевыми в сборе с рулевыми наконечниками	Проверить герметичность пыльников	25
Взять руль с рукоятками руля	Руль без деформаций, крепежные отверстия соответствуют спецификации	0,3
Осмотреть руль с рукоятками руля на наличие повреждений и дефектов	Отсутствие трещин, царапин, надежность крепления грипс	1
Установить руль с рукоятками руля на колонку рулевую	Затяжка болтов с моментом 25–30 Н·м, отсутствие люфта	20
«Взять грипсы с рычагами тормоза	Отсутствие трещин, плавность хода рычагов	0,3
Осмотреть грипсы с рычагами тормоза на наличие повреждений и дефектов	Проверить износ накладок	1
Установить грипсы с рычагами на руль	Рычаги должны возвращаться в исходное положение без заеданий	6» [10].
Взять приборную панель	Корпус без повреждений, разъемы без окислов	0,3
Осмотреть приборную панель на наличие повреждений и дефектов	Проверить экран, целостность шлейфов	1
Установить приборную панель на руль	Подключение по схеме, защита от влаги и вибрации	8
Взять передние колеса 2 шт.	Диск без биения, шина без порезов, давление 1,5–2 атм	1
Осмотреть переднее колесо на наличие повреждений и дефектов	Проверить балансировку, износ колодок/диска	1
Взять болты М10х37 6 шт.	Болты должны быть с шайбами	0,3
Закрепить передние колеса на ступице при помощи болтов	Крепление — с моментом 80 Н·м	10

Продолжение таблицы 16

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин.
Взять задние колеса 2 шт.	Диск без биения, шина без порезов, давление 1,5–2 атм	1
«Осмотреть заднее колесо на наличие повреждений и дефектов	Проверить балансировку, износ колодок/диска	
Взять болты М10х37 6 шт.	Болты должны быть с шайбами	15
Закрепить задние колеса на ступице при помощи болтов М10х37 (6 шт.)	Крепление – с моментом 80 Н·м	10
Подсборка привода квадроцикла	–	–
Взять электродвигатель постоянного тока 3000 Вт	Двигатель должен быть сухим, без повреждений обмотки	0,3
Осмотреть электродвигатель постоянного тока 3000 Вт на наличие повреждений и дефектов	Проверить сопротивление изоляции (минимально 1 МОм)	1
Установить электродвигатель постоянного тока 3000 Вт на место предназначенное для крепления	Зазор между звездочками – 2-3 мм	10
Взять шпонку	Шпонка должна соответствовать пазу вала	0,2
Установить шпонку на вал электродвигателя	Плотная посадка без зазоров	0,3
Взять звездочку	Звездочка должна быть совместима с цепью 428	0,3
Осмотреть звездочку на наличие повреждений и дефектов	Проверить износ зубьев (максимально 0,5 мм)	1
Установить звездочку на вал электродвигателя	Фиксация – стопорным кольцом	2
Взять цепь приводную	Цепь должна иметь 108 звеньев	0,3
Осмотреть цепь приводную на наличие повреждений и дефектов	Проверить отсутствие заклиненных звеньев	1
Подсборка системы питания	–	–
Взять аккумуляторную батарею Li-Ion 48 В-45 А·ч	Напряжение батареи – не менее 50 В	0,3
Осмотреть аккумуляторную батарею Li-Ion 48 В-45 А·ч на наличие повреждений и дефектов	Проверить отсутствие вздутий	1
Установить аккумуляторную батарею Li-Ion 48 В-45 А·ч на место предназначенное для крепления	–	8
Взять провода электрические	Сечение проводов – не менее 4 мм ²	0,3
Взять контроллер DECO 16	Контроллер должен быть совместим с двигателем	0,3» [10].
Осмотреть контроллер DECO 16 на наличие повреждений и дефектов	Проверить отсутствие перегретых компонентов	1
Установить контроллер DECO 16	Крепление – винтами М5 с	8

Продолжение таблицы 16

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин.
на место предназначенное для крепления	моментом 8 Н·м	
Взять клеммы для соединения проводов	Клеммы должны быть обжаты инструментом	0,3
Выполнить соединение аккумуляторной батареи, контроллеров и рукоятки газа	Сопротивление контактов – не более 0,1 Ом	10
Взять сиденье	Сиденье должно быть без повреждений обивки	0,3
Осмотреть сиденье на наличие повреждений и дефектов	Проверить крепление петель	1
Установить сиденье	–	6
Провести регулировочные операции и испытание электрического квадроцикла	Максимальная скорость – 60 км/ч, тормозной путь – 10 м	100
Устранить выявленные замечания в ходе испытания	Все замечания должны быть устранен	40
Итого:		604,7

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

$$t_{on}^{общ} = \sum t_{on1} + t_{on2} + \dots t_{on_n} . \quad (29)$$

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:

$$t_{шт}^{общ} = t_{on}^{общ} + t_{on}^{общ} \cdot \left(\frac{\alpha + \beta}{100} \right), \quad (30)$$

где α – часть оперативного времени на организационно-техническое обслуживание рабочего места в процентах, принимаем равным 3%;

β – часть оперативного времени для перерыва и отдыха в процентах, принимаем равным 5%» [23].

$$t_{\text{ит}}^{\text{общ}} = 604,7 + 604,7 \cdot \left(\frac{3+5}{100} \right) = 653,07 \text{ мин.}$$

Суммарная трудоемкость сборки составляет 653,07 мин.

4.2 Проектирование технологического процесса сборки квадроцикла на электрической тяге

Формируем поэтапную последовательность монтажных работ, фиксируем необходимый инструмент и оснастку для каждой операции, далее рассчитываем нормативное время выполнения и сводим всё в таблицу 17.

Таблица 17 – Технологический процесс сборки квадроцикла на электрической тяге

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Время, мин.
005	Сборочная	1	Взять раму квадроцикла в сборе	Набор рожковых ключей (6-24 мм), набор торцевых головок (1/2", 8-19 мм), набор шестигранных ключей (1,5-10 мм), динамометрический ключ (5-150 Н·м),	41,3
		2	Осмотреть раму квадроцикла в сборе на наличие повреждений и дефектов		
		3	Установить крепежные пластины и кронштейны для двигателя и батареи		
010	Сборочная	4	Установить переднюю подвеску с рычагами, кулаками и амортизаторами в сборе	комбинированный плоскогубцы, круглогубцы с длинными губками, бокорезы, набор отверток (шлицевые, крестовые), резиновая киянка,	120
015	Сборочная	5	Установить заднюю подвеску с маятником и амортизатором в сборе		80
020	Сборочная	6	Установка привода задних колес с		66

Продолжение таблицы 17

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Время , мин.
			тормозным механизмом и ступицами	молоток слесарный (800 г), съемник стопорных колец (наружных и внутренних), съемник подшипников (универсальный набор), съемник шаровых опор, натяжитель цепи, инструмент для запрессовки сайлентблоков, стенд для балансировки колес, стенд для проверки тормозной системы, съемник суппортов, электроинструмент, ударный гайковерт (1/2"), шуруповерт аккумуляторный, дрель с набором сверл по металлу, болгарка с отрезными кругами, термофен для усадки изоляции, паяльная станция 60 Вт, цифровой мультиметр, механический манометр (0-10 бар), толщиномер тормозных дисков, щупы для измерения зазоров (0,05-1 мм),	
		7	Взять ступицу заднюю центральную с подшипниками и сальниками		
		8	Осмотреть ступицу заднюю центральную		
		9	Установить ступицу заднюю центральную на раму		
		10	Взять ось колесную заднюю		
		11	Осмотреть ось колесную заднюю		
		12	Установить ось колесную заднюю в ступицу заднюю центральную с подшипниками и сальниками		
		13	Взять кронштейн металлический (крепления заднего тормозного диска)		
		14	Осмотреть кронштейн металлический (крепления заднего тормозного диска)		
		15	Установить кронштейн металлический (крепления заднего тормозного диска) на ось колесную заднюю		
		16	Взять 4 болта М8-6gx25-F ГОСТ Р 50274-92		
		17	Взять тормозной диск		
		18	Осмотреть тормозной диск		
		19	Установить тормозной диск на кронштейн металлический (крепления заднего тормозного диска) при		

Продолжение таблицы 17

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Время, мин.
			помощи 4 болтов М8-6gx25-F ГОСТ Р 50274-92	штангенциркуль электронный, угломер, люфтомер для подшипников, светильник переносной на струбине, компрессор с пневмоинструментом, маслораздаточный пистолет, смазка графитовая (для подшипников), герметик анаэробный (для резьбовых соединений), тормозная жидкость DOT 4.	
		20	Взять кронштейн крепления ведомой звездочки		
		21	Осмотреть кронштейн крепления ведомой звездочки		
		22	Установить кронштейн крепления ведомой звездочки на ось колесную заднюю		
		23	Взять звездочку ведомую цепного привода задних колес 428-35T		
		24	Осмотреть звездочку ведомую цепного привода задних колес 428-35T		
		25	Взять 6 болтов М8-6gx25-F ГОСТ Р 50274-92		
		26	Установить звездочку ведомую цепного привода задних колес 428-35T на ось колесную заднюю при помощи болтов М8-6gx25-F ГОСТ Р 50274-92		
		27	Взять ступицу заднего колеса 2 шт.		
		28	Осмотреть ступицу заднего колеса 2 шт.		
		29	Установить ступицу заднего колеса на ось колесную заднюю		
		30	Взять суппорт заднего дискового тормоза в сборе с колодками		
		31	Осмотреть суппорт заднего дискового тормоза в сборе с колодками		

Продолжение таблицы 17

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Время, мин.
		32	Установить суппорт заднего дискового тормоза в сборе с колодками на диск		
025	Сборочная	33	Подсборка рулевого управления		104,5
		34	Взять колонку рулевую в сборе с тягами рулевыми в сборе с рулевыми наконечниками		
		35	Осмотреть колонку рулевую в сборе с тягами рулевыми в сборе с рулевыми наконечниками на наличие повреждений и дефектов		
		«36	Установить колонку рулевую в сборе с тягами рулевыми в сборе с рулевыми наконечниками		
		37	Взять руль с рукоятками руля		
		38	Осмотреть руль с рукоятками руля на наличие повреждений и дефектов		
		39	Установить руль с рукоятками руля на колонку рулевую		
		40	Взять грипсы с рычагами тормоза		
		41	Осмотреть грипсы с рычагами тормоза на наличие повреждений и дефектов		
		42	Установить грипсы с рычагами на руль		
		43	Взять приборную панель		
		44	Осмотреть приборную панель на наличие повреждений и дефектов» [6].		

Продолжение таблицы 17

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Время, мин.
		«45	Осмотреть приборную панель на наличие повреждений и дефектов		
		46	Установить приборную панель на руль		
		47	Взять передние колеса 2 шт.		
		48	Осмотреть переднее колесо на наличие повреждений и дефектов		
		49	Взять болты М10х37 6 шт.		
		50	Закрепить передние колеса на ступице при помощи болтов М10х37 (6 шт.)		
		51	Взять задние колеса 2 шт.		
		52	Взять болты М10х37 6 шт.		
		53	Закрепить задние колеса на ступице при помощи болтов М10х37 (6 шт.)		
		54	Подсборка привода квадроцикла		
		55	Взять электродвигатель постоянного тока 3000 Вт		
		56	Осмотреть электродвигатель постоянного тока 3000 Вт на наличие повреждений и дефектов		
		57	Установить электродвигатель постоянного тока 3000 Вт на место предназначенное для крепления» [6].		

Продолжение таблицы 17

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Время, мин.
030	Сборочная	«58	Взять шпонку		52,9
		59	Установить шпонку на вал электродвигателя		
		60	Взять звездочку		
		61	Осмотреть звездочку на наличие повреждений и дефектов		
		62	Установить звездочку на вал электродвигателя		
		63	Взять цепь приводную		
		64	Осмотреть цепь приводную на наличие повреждений и дефектов		
		65	Подборка системы питания		
		66	Взять аккумуляторную батарею Li-Ion 48 В-45 А·ч		
		67	Осмотреть аккумуляторную батарею Li-Ion 48 В-45 А·ч на наличие повреждений и дефектов		
		68	Установить аккумуляторную батарею Li-Ion 48 В-45 А·ч на место предназначенное для крепления		
		69	Взять провода электрические		
		70	Взять контроллер DECO 16		
		71	Осмотреть контроллер DECO 16 на наличие повреждений и дефектов		
		72	Установить контроллер DECO 16 на место предназначенное для крепления» [6].		
		73	Взять клеммы для соединения проводов		

Продолжение таблицы 17

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Время, мин.
		«74	Выполнить соединение аккумуляторной батареи, контроллеров и рукоятки газа		
		75	Взять сиденье		
		76	Осмотреть сиденье на наличие повреждений и дефектов		
		77	Установить сиденье		
035	Регулировочная	1	Провести регулировочные операции и испытание электрического квадроцикла	—	140
		2	Устранить выявленные замечания в ходе испытания» [6].		

Дополнительные требования при сборке и испытаниях квадроцикла.

Чистота рабочей зоны – все детали должны быть очищены от загрязнений перед установкой.

Порядок затяжки крепежа – болты и гайки затягиваются крестообразно или по схеме, указанной в технической документации.

Моменты затяжки – должны строго соблюдаться (используется динамометрический ключ).

Смазка трущихся деталей – подшипники, шарниры, цепи обрабатываются рекомендованными смазочными материалами.

Проверка соосности – оси вращения (ступицы, подвеска, привод) должны быть правильно выставлены.

Электрическая изоляция – все контакты защищены от влаги и короткого замыкания.

Предварительные проверки перед запуском:

- визуальный осмотр – отсутствие незакрепленных деталей, перекосов, утечек жидкостей;

- проверка электрики – тестирование цепи питания (аккумулятор → контроллер → двигатель);
- ход подвижных элементов – руль, подвеска, тормоза должны двигаться без заеданий;
- давление в шинах – 0,8–1,0 бар (в зависимости от модели).

Динамические испытания:

- пробный запуск двигателя – проверка работы на холостом ходу, посторонние шумы не допускаются;
- проверка разгона и торможения – плавность хода, отсутствие вибраций;
- тест тормозов – тормозной путь на скорости 30 км/ч не должен превышать 10 м.

Проверка подвески – при проезде неровностей амортизаторы должны отрабатывать без стуков.

Контроль температуры – двигатель, контроллер и тормоза не должны перегреваться.

Финишные проверки после испытаний:

- осмотр крепежа – все болты и гайки должны остаться затянутыми;
- диагностика электрики – отсутствие искрения, перегрева контактов;

Эти требования обеспечивают надежность и безопасность собранного квадроцикла.

Графическая часть выпускной квалификационной работы включает технологическую схему сборки квадроцикла 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 квадроцикла 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 18 представлен сравнительный анализ по странам (в % от ВВП).

Таблица 18 – 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 выпускной работе 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 19).

Таблица 19 – Технологический паспорт технологического процесса сборки квадроцикла на электрической тяге

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
«Сборка квадроцикла на электрической тяге»	1 Подготовка к сборке. 2 Сборка квадроцикла на электрической тяге. 3 Испытание и доводка квадроцикла на электрической тяге	2 слесаря по ремонту автомобилей 5 разряда» [26].	Набор рожковых ключей (6-24 мм), набор торцевых головок (1/2", 8-19 мм), набор шестигранных ключей (1,5-10 мм), динамометрический ключ (5-150 Н·м), комбинированные плоскогубцы, круглогубцы с длинными губками, бокорезы набор отверток (шлицевые, крестовые),	Смазка графитовая (для подшипников), герметик анаэробный (для резьбовых соединений), тормозная жидкость DOT 4 набор сверл по металлу

Продолжение таблицы 19

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
			резиновая киянка, молоток слесарный (800 г), съемник стопорных колец (наружных и внутренних), съемник подшипников (универсальный набор), съемник шаровых опор натяжитель цепи, инструмент для запрессовки сайлентблоков стенд для балансировки колес, стенд для проверки тормозной системы, съемник суппортов, электроинструмент , ударный паяльная станция 60 Вт, цифровой мультиметр, механический манометр (0-10 бар), толщиномер тормозных дисков, щупы для измерения зазоров (0,05-1 мм), штангенциркуль электронный, угломер, люфтомер для подшипников, светильник	

Продолжение таблицы 19

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
		переносной на струбцине, компрессор с пневмоинструментом, маслораздаточный пистолет, с. гайковерт (1/2"), шуруповерт		

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 (микроорганизмы, 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 20 систематизированы данные по выявленным профессиональным рискам, характерным для процесса сборки квадроцикла на электрической тяге.

Таблица 20 – 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 Подготовка к сборке. 2 Сборка квадроцикла на электрической тяге. 3 Испытание и доводка квадроцикла на электрической тяге	Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях деталей электрического квадроцикла	Элементы конструкции базовой машины, навесного оборудования
	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].

Продолжение таблицы 20

Операция	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
	«Ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное	Сварочный аппарат, сварка рамы» [12].
	Излучение сварочной дуги	
	Электромагнитные поля	
	Искры и брызги, выбросы расплавленного шлака и металл	
	«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» [23].

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 остановки 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» [23].

Нормативно-обоснованные меры по снижению профессиональных рисков представлены в таблице 21.

Таблица 21 – 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: – инструктажи по охране труда; – содержание технических устройств в надлежащем состоянии	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].

Продолжение таблицы 21

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
«Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях автомобиля	Выполнение на регулярной основе планово-предупредительного обслуживания. Эксплуатация технологического оборудования в строгом соответствии с инструкцией. Санитарно-гигиенические мероприятия: – обеспечение работника СИЗ, смывающими и обеззараживающими средствами; – предохранительные устройства для предупреждения перегрузки оборудования; – знаки безопасности, цвета, разметка по ГОСТ 12.4.026-2015; – обеспечение дистанционного управления оборудованием	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].
«Повышенный уровень шума	Мониторинг здоровья работников: – систематическое проведение аудиометрии для сотрудников шумных цехов; – создание индивидуальных аудиограмм для отслеживания	Защитные противошумные наушники, беруши противошумные» [20].
	– динамики слуха; – включение исследований в программу периодических медосмотров. Инструктаж по: – правилам эксплуатации СИЗ органов слуха; – технике подбора и применения противошумных устройств; – методам проверки плотности прилегания защитных средств. Техническая модернизация: – плановый контроль уровня шума оборудования; – внедрение шумопонижающих технологий (вибрационные демпферы, звукоизолирующие кожухи, акустические экраны); – приоритетная замена устаревшего шумного оборудования.	

Продолжение таблицы 21

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	Организация рабочего процесса: – введение регламентированных «тихих пауз»; – создание зон акустической разгрузки; – оптимизация графика работы с учетом шумовой нагрузки. Тренинги по: – техникам стрессоустойчивости; – методам звуковой релаксации; – профилактике слухового утомления. Консультации корпоративного психолога Инженерные решения: – установка звукопоглощающих панелей; – применение антивибрационных креплений; – модернизация вентиляционных систем; – использование шумоподавляющих материалов	
«Возможность поражения электрическим током	Образовательные мероприятия: – проведение специализированных курсов по принципам безопасной эксплуатации электроустановок, методам идентификации опасных участков, правилам применения электрозащитных средств; – организация регулярных тематических семинаров с разбором реальных случаев. Практическая подготовка – ежеквартальные тренировки по алгоритмам действий в аварийных ситуациях, – технике безопасного отключения оборудования, особенностям работы под напряжением; – внедрение системы ежегодной аттестации электротехнического персонала	Индивидуальные защитные и экранирующие комплекты для защиты от электрических полей» [12].

Продолжение таблицы 21

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	Техническая защита: – оснащение рабочих мест современными устройствами защитного отключения, диэлектрическими коврами и инструментами, сигнализаторами напряжения, заземляющими устройствами нового поколения. Профилактический контроль: – внедрение системы планово-предупредительных ремонтов: – ежемесячный осмотр силовых линий, – термографический контроль соединений, – диагностика изоляции электрооборудования, – ведение электронного журнала технического состояния. Административный надзор: – реализация трехступенчатой системы контроля, – ежедневный осмотр ответственным лицом, – еженедельная проверка начальником участка, – месячная комиссионная инспекция, – автоматизированная система учета нарушений Медицинское сопровождение: – углубленные медосмотры для электротехперсонала: проверка нервной системы; контроль сердечно-сосудистых показателей; тесты на скорость реакции	
Отсутствие или недостаток естественного света	Оптимальное расположение рабочих мест с акцентом на естественный свет (размещение столов и зон активности рядом с окнами или в хорошо освещённых участках). Использование прозрачных конструкций для свободного проникновения дневного света	

Продолжение таблицы 21

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	(стеклянные перегородки, светопропускающие стены или другие решения, обеспечивающие равномерное освещение без искусственных источников)	
«Монотонность труда»	– чередование задач и ротация видов деятельности, периодическая смена рабочих операций для предотвращения однообразия и поддержания вовлеченности; – внедрение элементов автономности и разнообразия, предоставление сотрудникам возможности влиять на порядок выполнения задач и варьировать методы работы; – регламентированные перерывы и микропаузы, введение коротких перерывов для отдыха и смены активности в течение рабочего дня; – использование технологических решений, автоматизация рутинных процессов и применение интерактивных систем для повышения вариативности труда; – психологическая разгрузка и мотивация, организация зон отдыха, проведение мини-тренингов или использование геймификации для поддержания интереса Мероприятия подбираются с учетом специфики труда и рекомендаций по охране здоровья (СНиП, СанПиН, ТК РФ)	

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 22).

Таблица 22 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие факторы пожара
«Участок сборки	Технологическое оборудование, применяемое на участке сборки	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 (автоцистерны, насосно-рукавные); специальные (автолестницы, дымоудаление, спасательные);
- пожарные поезда, суда, вертолёт (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);
- приёмно-контрольные приборы (ПКП);
- системы оповещения (громкоговорители, световые табло);
- средства индивидуальной защиты (СИЗ);
- специальная техника: роботы-пожарные (для АЭС, химических объектов), термокамеры и тепловизоры для поиска очагов» [2].

«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;
- 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» [7].

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). Его наличие обязательно для 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 квадроцикла на электрической тяге (таблица 23).

Таблица 23 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при сборке

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 источников наружного и внутреннего противопожарного водоснабжения	Не допускается использование неисправных средств пожаротушения 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.

5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса сборки квадроцикла на электрической тяге

«Экологическая безопасность – это комплекс мер, направленных на сохранение природных систем и предотвращение их разрушения в результате человеческой деятельности, к ключевым аспектам которой относятся: защита экосистем от загрязнения, истощения и необратимых изменений; рациональное использование ресурсов (воды, почвы, воздуха, биоразнообразия); минимизация антропогенного воздействия на окружающую среду» [4].

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 квадроцикла на электрической тяге и сведем их в таблицу 24.

Таблица 24 – Идентификация негативных (вредных, опасных) экологических факторов

Технологический процесс	Антропогенное воздействие на окружающую среду:		
	атмосферу	гидросферу	литосферу
«Сборка квадроцикла 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» [8].

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 25 с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ.

Таблица 25 – 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)	–

Продолжение таблицы 25

Вредный фактор	Способ устранения	Примечание
Испарения СОЖ и масляных аэрозолей	Маслоуловители (коалесцентные фильтры) – отделяют масло от воздуха. Угольные адсорбенты – для летучих органических соединений (ЛОС). Плазменно-каталитические очистители – разложение паров СОЖ на CO ₂ и H ₂ O	ПДК для металлической пыли – 0,5–10 мг/м ³ (зависит от металла). ПДК для масляных аэрозолей – 5 мг/м ³ (СанПиН 1.2.3685-21).
Отходы различного типа: металлическая стружка и лом; промасленная ветошь, спецодежда, твердые коммунальные отходы (ТКО)	Переплавка на металлургических заводах. Обезжиривание + сжигание в спецпечах. Сортировка + 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	–

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

Выводы по разделу.

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

- составлен технологический паспорт процесса сборки квадроцикла 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 квадроцикла необходимо учесть следующие факторы:

- стоимость материалов: необходимо определить, какие материалы будут использоваться для создания электрического квадроцикла, и рассчитать их стоимость;
- трудозатраты: необходимо определить количество человеко-часов, которые будут потрачены на разработку конструкции электрического квадроцикла, и рассчитать стоимость труда в соответствии с тарифами на работу;
- оборудование: необходимо определить, какое оборудование будет необходимо для создания электрического квадроцикла (например, инструменты, станки и так далее) и рассчитать их стоимость;
- дополнительные расходы: необходимо учесть все дополнительные расходы, такие как аренда помещения, расходы на транспортировку материалов и оборудования, расходы на электроэнергию и так далее.

После того как все факторы были учтены, можно рассчитать общую сумму финансовых затрат на разработку конструкции электрического квадроцикла» [2].

«Для определения финансовых затрат на сборку электрического квадроцикла воспользуемся формулой:

$$C_{\text{кон}} = C_{\text{к.д}} + C_{\text{о.д}} + C_{\text{сб.п}} + C_{\text{п.д}} + C_{\text{о.н}}, \quad (30)$$

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.;

$C_{o.н}$ – общепроизводственные накладные расходы на изготовление конструкции, р.» [13].

«Стоимость изготовления корпусных деталей рассчитывается по формуле:

$$C_{к.д} = Q_k \cdot C_k, \quad (31)$$

где Q_k – масса материала, израсходованного на изготовление корпусных деталей, кг;

C_k – средняя стоимость 1 кг готовых деталей, р./кг» [13].

В таблице 26 представлена стоимость изготовления корпусных деталей.

Таблица 26 – Стоимость изготовления корпусных деталей

Деталь	Марка металла	Масса материала заготовок, кг	Масса деталей, кг	Цена за 1 кг, руб.	Сумма, руб.
Рама электрического квадроцикла	Ст.3	100	95	72	7200
Итого:	–	–	–	–	7200

$$C_{к.д} = 100 \cdot 72 = 7200 \text{ р.}$$

«Затраты на изготовление оригинальных деталей определяем по формуле:

$$C_{o.д} = C_{прн} + C_m, \quad (32)$$

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.» [13].

«Зарботную плату рассчитываем по формуле:

$$C_{\text{пп}} = t \cdot C_{\text{ч}} \cdot k_t, \quad (33)$$

где t – средняя трудоемкость на изготовление маятника – 5,05 чел.-ч.;

$C_{\text{ч}}$ – часовая ставка рабочих, отчисляемая по среднему разряду, р./ч;

k_t – коэффициент, учитывающий доплаты к основной зарплате, принимаем равным 1,030» [13].

«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.

$$C_{\text{пп}} = 5,05 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 1183,86 \text{ р.}$$

Определяем дополнительную заработную плату по формуле:

$$C_{\text{д}} = (5 \dots 12) \cdot C_{\text{пп}} / 100, \quad (34)$$

$$C_{\text{д}} = 10 \cdot 1183,86 / 100 = 118,38 \text{ р.}$$

Начисления на заработную плату определяем по формуле:

$$C_{\text{соц}} = 30 \cdot (C_{\text{пп}} + C_{\text{д}}) / 100, \quad (35)$$

$$C_{\text{соц}} = 30 \cdot (1183,86 + 118,38) / 100 = 390,67 \text{ р.,}$$

$$C_{\Sigma ПР} = 1183,86 + 118,38 + 390,67 = 1692,91 \text{ р.}$$

В таблице 27 представлена заработная плата на изготовление оригинальных деталей.

Таблица 27 – Заработная плата на изготовление оригинальных деталей

Значение	Сумма, руб.
Заработная плата	1183,86
Дополнительная заработная плата	118,38
Начисления на заработную плату	390,67
Итого:	1692,91

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

$$C_M = C \cdot Q_3, \quad (36)$$

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

Q_3 – масса заготовки, кг» [13].

В таблице 28 представлена стоимость материала для изготовления оригинальных деталей.

Таблица 28 – Стоимость материала заготовок на изготовление оригинальных деталей

Наименование детали	Материал	Количество, шт.	Общая масса материала, кг	Цена за 1 кг, руб.	Сумма, руб.
Маятник	Сталь 40Х	1	4,7	86	404,2
Итого:	–	–	–	–	404,2

$$C_M = 4,7 \cdot 86 = 404,2 \text{ р.}$$

$$C_{O,Д} = 1166,89 + 404,2 = 1571,09 \text{ р.}$$

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

$$C_{CB.П} = C_{CB} + C_{Д.СБ} + C_{СОЦ.СБ}, \quad (37)$$

где C_{CB} – 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» [13].

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

$$C_{CB} = T_{CB} \cdot C_{Д.СБ} \cdot k_t, \quad (38)$$

где T_{CB} – нормативная трудоемкость на сборку, чел.-ч» [13].

«Значение определяем по формуле:

$$T_{CB} = k_C \cdot \Sigma t_{CB}, \quad (39)$$

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

k_C – коэффициент, учитывающий непредусмотренные работы, 1,1...1,5» [13].

По справочным данным принимаем трудоемкость сборки составных частей равной 6 чел.-ч.

$$T_{CB} = 1,25 \cdot 6 = 7,5 \text{ чел.-ч.}$$

Тогда заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке определится:

$$C_{CB} = 7,5 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 1758,21 \text{ р.},$$

$$C_{д.СБ} = 0,1 \cdot 1211,89 = 175,82 \text{ р.},$$

$$C_{СОЦ.СБ} = 0,3 \cdot (1758,21 + 175,82) = 580,2 \text{ р.}$$

$$C_{СБ.П} = 1758,21 + 175,82 + 580,2 = 2514,23 \text{ р.}$$

В таблице 29 представлена полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке.

Таблица 29— Полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке

Значение	Сумма, руб.
Основная заработная плата	1758,21
Дополнительная заработная плата	175,82
Страховые взносы в фонды	580,2
Итого	2514,23

«Общепроизводственные накладные расходы на изготовление приспособления определяем по формуле:

$$C_{ОН} = \frac{(C'_{ПР} \cdot R_{ОН})}{100}, \quad (40)$$

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

$R_{ОН}$ — процент общепроизводственных накладных расходов, %» [13].

$$C'_{ПР} = (C_{ПР} + C_{СБ}). \quad (41)$$

Подставив числовые значения в формулы получим:

$$C'_{пп} = 1183,86 + 1758,21 = 2942,07 \text{ р.}$$

$$C_{он} = \frac{(2942,07 \cdot 15)}{100} = 441,31 \text{ р.}$$

«Для данной конструкции необходимо приобрести переднюю вилку, амортизатор, колеса, рулевое управление, электродвигатель, контроллер, аккумуляторную батарею, электрические провода, ручки газа и тормоза, а также метизы» [14].

Перечень покупных деталей представлен в таблице 30.

Таблица 30 – Затраты по статье «Материалы» на конструкторскую разработку

Значение	Количество, шт.	Цена, руб.	Сумма, руб.
Электродвигатель	1	9130	9130
Контроллер	1	4620	4620
Аккумуляторная батарея	1	10560	10560
Электрические провода (пучок)	1	1760	1760
Ручки газа и тормоза	1	2310	2310
Амортизатор	1	1430	1430
Колеса	4	2090	8360
Рулевое управление	1	6600	6600
Передняя подвеска	1	22000	22000
Метизы крепежные	50	13,2	660
Итого:			63190

Определим затраты на изготовление конструкции и сведем их в таблицу 31.

$$C_{кон} = 7200 + 1571,09 + 63190 + 2514,23 + 441,31 = 74916,63 \text{ р.}$$

Таблица 31 – Затраты на изготовление конструкции

Значение	Сумма, руб.
Стоимость изготовления корпусных деталей	7200
Затраты на изготовление оригинальных деталей	1571,09
Затраты на сборку	2514,23
Общепроизводственные накладные расходы	441,31
Стоимость покупных изделий (деталей)	63190
Итого:	74916,63

Общие затраты на сборку электрического квадроцикла равны 74916,63 р.

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

«Годовая экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции составит:

$$\mathcal{E}_Г = C_{\text{пр}} - C_{\text{кон}}, \quad (42)$$

где $C_{\text{пр}}$ – стоимость прототипа, р.» [13];

$$\mathcal{E}_Г = 168000 - 74916,63 = 93083,37 \text{ р.}$$

Срок окупаемости определяем по формуле:

$$O_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{кон}}}{\mathcal{E}_Г}, \quad (43)$$

$$O_{\text{ок}} = \frac{74916,63}{93083,37} = 0,8 \text{ года.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения конструкции составит:

$$\mathcal{E}_{\text{эф}} = \mathcal{E}_Г - 0,15 \cdot C_{\text{кон}} \quad (44)$$

$$\mathcal{E}_{\text{эф}} = 93083,37 - 0,15 \cdot 74916,63 = 81845,87 \text{ р.}$$

В таблице 32 представлены основные показатели проекта.

Таблица 32 – Основные показатели проекта

Показатели	Единица измерения	Значение	
		До внедрения	После внедрения
Стоимость изготовления конструкции	р.	168000	74916,63
Экономия от снижения трудоемкости при внедрении конструкции	р.	–	93083,37
Экономический эффект	р.	–	81845,87
Срок окупаемости	год	–	0,8

Выводы по разделу.

В разделе «Экономическая эффективность проекта» определена эффективность разработки электрического квадроцикла с экономической стороны.

Стоимость изготовления электрического квадроцикла составляет 74916,63 р., срок окупаемости равен 0,8 года.

Разработанная конструкция электрического квадроцикла может быть интересна как для личного использования, так и коммерческого применения в сфере проката.

Возможные перспективы развития для увеличения продаж электрических квадроциклов:

- оптимизировать закупки комплектующих для снижения себестоимости;
- развивать партнёрские программы с прокатными центрами;
- рассмотреть возможность государственных субсидий на экологичные транспортные средства.
- возможность использования ночного тарифа на электроэнергию для зарядки.

Заключение

В данном дипломном проекте на тему: «Проектирование конструкции квадроцикла на электрической тяге» была обоснована тема работы, поставлены цель и задачи.

В процессе выполнения работы были решены следующие задачи:

- проведен обзор истории развития квадроциклов, конструкции, подразделения;
- проведен анализ достоинств и недостатки бензиновых и электрических квадроциклов;
- разработано техническое задание и предложение, основные элементы рассчитаны на прочность;
- выполнена конструкторская разработка по переводу бензинового квадроцикла на работу на электрической тяге;
- рассмотрены вопросы безопасности и экологичности, разработанного электрического квадроцикла, определены профессиональные риски и мероприятия по снижению их воздействия;
- определена экономическая эффективность стоимость по переводу бензинового квадроцикла на работу на электрической тяге. Расчетная стоимость перевода бензинового квадроцикла на работу на электрической тяге составляет 74916,63 р.

Представленный проект не только демонстрирует техническую возможность перевода квадроциклов на электрическую тягу, но и представляет собой экономически обоснованное, экологически чистое решение с высоким потенциалом коммерциализации.

Успешная реализация данного проекта открывает перспективы для создания целого семейства специализированной электрической техники на его основе.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Беляев В. М. Автомобили: Испытания: учебное пособие для вузов / В. М. Беляев, М. С. Высоцкий, Л. Х. Гилелес. Минск: Высшая школа, 1991. 187 с.
2. Бойко А. В. Совершенствование методов диагностики тормозных систем автомобилей в условиях эксплуатации на силовых стендах с беговыми барабанами: дис. канд. техн. наук: 05.22.10: защищена 25.06.08/ Бойко Александр Владимирович. Иркутск, 2008. 217 с.
3. Борц А. Д. Диагностика технического состояния автомобиля / А. Д. Норц, Я. К. Закин, Ю. В. Иванов. М.: Транспорт, 1979. 160 с.
4. Бусыгин, Б. П. Электромобили: (Методы расчета). Учеб. пособие / Б. П. Бусыгин. М.: МАДИ, 1979. 72 с.
5. Веденяпин Г. М. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г. М. Веденяпин. - Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Колос, 1973. 195 с.
6. Веденяпин Г.В. Эксплуатация машинно-тракторного парка / Г. В. Веденяпин, Ю. К. Киртбая, М. П. Сергеев. М.: Колос, 1968. 342 с.
7. Величко А. В. Анализ процесса торможения автотранспортного средства / А. В. Величко // Транспортные средства Сибири: Материалы межвузовской научно-практической конференции. Красноярск: КГТУ, 1995. 83-89 с.
8. Верзаков Г. Ф. Введение в техническую диагностику / Г. Ф. Верзаков, Н. В. Кипшт, В. И. Рабинович, Л. С. Тимоней. М.: Энергия. 1968. 219 с.
9. Галкин В. И. Транспортные машины: учебник для вузов. Москва: Издательство «Горная книга»: Издательство МГГУ, 2010. 587 с.
10. Говорущенко Н. Я. Диагностика технического состояния автомобилей / Н. Я. Говорущенко. М.: Транспорт, 1970. 254 с.

11. Горина Л. Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Учеб.-метод. пособие / Л. Н. Горина, М. И. Фесина; ТГУ; Ин-т машиностроения; каф. «Управление промышленной и экологической безопасностью». ТГУ. Тольятти: ТГУ, 2018. 41 с.
12. ГОСТ Р 51709-2001. Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки; введ. 2002-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2002. 28 с.
13. ГОСТ Р МЭК 61851-1-2013. Система токопроводящей зарядки электромобилей = Ч. 1. Общие требования: Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements: национальный стандарт Российской Федерации / Подготовлен Научно-технический центр «Энергия». Изд, офиц. : введен впервые : введен 2014-09-01. Москва: Стандартинформ, 2014. 47 с.
14. Грачев Ю. П. Математические методы планирования эксперимента / Ю. Л. Грачев. М., 1979. 195 с.
15. Гредескул А. Б. Динамика торможения автомобиля: дис. ... докт. техн. наук / А. Б. Гредескул. Харьков, 1963. 271 с.
16. Гришкевич А. И. Автомобили. Теория. Учебник для вузов / А. И. Гришкевич. – Мн.: Высш. шк., 1986. 208 с.
17. Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель / А. А. Хачатуров [и др.]; под ред. А. А. Хачатурова. М.: Машиностроение, 1976. 535 с.
18. Маевская Е. Б. Экономика организации : учебник / Е. Б. Маевская. Москва: ИНФРА-М, 2017. 351 с.
19. 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.
20. Транспортное обеспечение производства: учебное пособие / О. А. Лукашук, В. С. Великанов, А. А. Маркина, К. Ю. Летнев; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский

федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина.
Екатеринбург: УрФУ, 2024. 133 с.

21. Чумаков, Л. Л. Раздел выпускной квалификационной работы «Экономическая эффективность проекта». Уч.-методическое пособие / Л. Л. Чумаков. Тольятти: изд-во ТГУ, 2016. 37 с.

22. Ютт, В. Е. Электрооборудование электромобилей: Тяговые аккумулятор. батареи. Тяговое электрооборуд. постоянн. тока. Учеб. пособие / В. Е. Ютт, С. А. Бабешко. М.: МАДИ, 1984. 125 с.

23. 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.

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

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

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

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

Приложение А
Спецификация

Перв. примен.				Спроб. №				Подп. и дата				Взам. инд. №				Подп. и дата				Инд. № подл.			
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание																	
				Документация																			
A4			25.ДПО1134.6100.000.ПЗ	Пояснительная записка	1																		
A1			25.ДПО1134.6100.000.СБ	Сборочный чертёж	2																		
				Сборочные единицы																			
A1		1	25.ДПО1134.6101.000	Рама	1																		
		2	25.ДПО1134.6102.000	Привод рулевой	1																		
A1		3	25.ДПО1134.6103.000	Колесо	4																		
		4	25.ДПО1134.6104.000	Передняя подвеска	1																		
		5	25.ДПО1134.6105.000	Задняя подвеска	1																		
		6	25.ДПО1134.6106.000	Привод в сборе	1																		
		7	25.ДПО1134.6107.000	Ручка акселератора	1																		
		8	25.ДПО1134.6108.000	Ручка тормоза	1																		
		9	25.ДПО1134.6109.000	Аккумуляторная батарея с контроллером	1																		

Рисунок А.1 – Спецификация на квадроцикл на электрической тяге