

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 электромобиля типа гольф-кар с питанием  
от солнечной энергии

Обучающийся

В.С. Мартемьянов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент Л.А. Черепанов

(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)

## Аннотация

Дипломный проект выполнен на тему: «Проектирование конструкции электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии».

Цель работы: разработка экологически чистого и энергоэффективного гольф-кара на солнечных батареях, обеспечивающего автономность работы и снижение эксплуатационных затрат по сравнению с традиционными моделями.

Задачи работы:

- анализ конструкций автомобилей, работающих на солнечной энергии;
- определение оптимальных параметров силовой установки и солнечных панелей;
- проектирование легкой и прочной рамы с учетом размещения фотоэлектрических модулей;
- оценка экономической эффективности проекта.

Методы исследования:

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

Основные результаты: разработана конструкция гольф-кара с интегрированными солнечными панелями площадью 0,78 м<sup>2</sup>.

Разработанный электромобиль может быть использован для:

- экологичного транспорта гольф-клубов,
- передвижения по территориям курортов и бизнес-парков,
- учебных целей в рамках программ «зеленой» энергетики.

Проект отличается низкой себестоимостью эксплуатации (в 3-4 раза дешевле бензиновых аналогов) и полным отсутствием вредных выбросов.

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

В первом разделе представлен историко-технический анализ развития солнечного транспорта, сравнительный анализ конструктивных особенностей солнечных автомобилей различных поколений.

Во втором разделе проведен анализ динамических характеристик электромобиля типа гольф-кар, представлены расчёты, определяющие тяговые возможности и динамику транспортного средства при различных режимах движения.

В третьем разделе проведена конструкторская разработка электромобиля типа гольф-кар.

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

## **Abstract**

The title of the graduation work is: «The construction development of a solar-powered pleasure car».

The aim of the work is to develop the design of a solar-powered pleasure car.

The graduation work consists of an explanatory note on 112 pages, which includes 6 parts, introduction, conclusion, list of references, and attachments.

The graphic part is on 11 A1 sheets, which performed in the automated system for the development and execution of design and project documentation «KOMPAS-Graph». The graduation project fully complies with the approved assignment.

In the first part the history of the creation of solar-powered vehicles is considered. The solar-powered car designs are studied.

The second part presents the calculation of traction-dynamic properties of the solar-powered pleasure car.

In the third part we prepare the terms of reference and the technical proposal for the development of the solar-powered pleasure car. We also select the electrical equipment.

In the fourth part we establish the selection of the technological process, determine the labor intensity of the assembly, and develop the technological process for assembling the solar-powered pleasure car.

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

Finally, we calculate the economic efficiency of the project.

## Содержание

Введение.....	6
1 Состояние вопроса .....	10
1.1 История создания автомобилей на солнечной энергии .....	10
1.2 Конструкция автомобилей на солнечной энергии.....	12
2 Тягово-динамический расчет автомобиля .....	26
3 Конструкторская часть .....	35
3.1 Техническое задание на разработку конструкции электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии .....	35
3.2 Техническое предложение на разработку конструкции электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии .....	38
3.3 Подбор электрооборудования.....	46
4 Технологический раздел.....	58
4.1 Обоснование выбора технологического процесса.....	59
4.2 Определение трудоемкости сборки.....	66
4.3 Составление технологического процесса сборки электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии .....	67
5 Безопасность и экологичность проекта .....	74
5.1 Структурно-функциональный анализ .....	76
5.2 Идентификация профессиональных рисков.....	79
5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков .....	82
5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта .....	88
5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса сборки электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии .....	93
6 Экономическая эффективность проекта.....	96
Заключение .....	105
Список используемой литературы и используемых источников.....	106
Приложение А. Спецификация.....	112

## Введение

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

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

Ключевыми документами по развитию электротранспорта в Российской Федерации являются:

- Стратегия развития автотранспорта до 2035 года (акцент на экологизацию);
- Паспорт федерального проекта «Электротранспорт» (инвестиции ориентировочно 120 млрд руб.).

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

Основные причины медленного роста:

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

Однако начиная с 2022 года наметились положительные изменения:

- рост интереса к электромобилям из-за подорожания бензина;
- локализация производства (запуск новых моделей под российскими брендами);

- государственная поддержка (льготные кредиты, сниженные транспортные налоги).

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

Таблица 1 – Ключевые российские проекты по производству электромобилей

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

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

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

Несмотря на активность, российское автомобилестроение сталкивается с рядом сложностей, такими как:

- зависимость от импорта (аккумуляторы, электроника, редкоземельные металлы);
- недостаток инфраструктуры (особенно в регионах);
- высокие цены из-за малых объёмов производства;
- конкуренция с Китаем (китайские бренды дешевле и технологичнее).

Электрические автомобили с солнечными батареями представляют собой инновационный вид транспорта, сочетающий преимущества электромобилей с возможностью автономной подзарядки за счёт солнечной энергии.

Рассмотрим их основные особенности.

Гибридная энергосистема:

- основной источник энергии – литий-ионные аккумуляторы (как у обычных электромобилей);
- дополнительная подзарядка – встроенные солнечные панели (на крыше, капоте, дверях).

Автономность и экологичность:

- могут увеличивать запас хода без подключения к розетке (до 50–100 км в солнечный день);
- нулевые выбросы как при движении, так и при зарядке.

Ограничения:

- зависимость от погоды и широты (в облачном климате эффективность падает);
- высокая стоимость солнечных элементов с высоким КПД (больше 25%).

Специалисты считают, что для массового перехода на солнечный транспорт (электромобили, велосипеды, лодки и др.) необходимо достижение двух ключевых условий:

- эффективность солнечных панелей – не менее 30–40% при доступной цене;
- стоимость производства – сопоставимая с традиционными Li-ion аккумуляторами.

К преимуществам электрических автомобилей с солнечными батареями относят:

- снижение зависимости от зарядных станций,
- экономия на электричестве (особенно в южных регионах),

- полная экологичность (чистая энергия).

Недостатки:

- высокая цена (на 20–30% дороже обычных электромобилей),
- ограниченная площадь для панелей (нельзя полностью заменить розетку),
- медленная зарядка (по сравнению с быстрыми ЗУ).

К 2030 году ожидается рост КПД солнечных панелей до 30–40%, что сделает такие авто более практичными.

Развитие перовскитных элементов и гибких плёнок позволит интегрировать панели в стёкла и кузов.

В регионах с 300+ солнечными днями в году (ОАЭ, Австралия, Калифорния) солнечные электромобили могут стать массовыми

Солнечный транспорт уже сейчас экономически оправдан в отдельных сегментах (туристические гольф-кары, яхты, велосипеды). Однако для конкуренции с обычными электромобилями необходимо:

- прорыв в tandemных элементах (кремний + перовскит) с КПД более 30% и ценой меньше 50 р./Вт;
- интеграция панелей в кузов без потери прочности (разработки Tesla, Sono Motors);
- снижение веса батарей – чтобы избыток солнечной энергии не «съедался» массой аккумуляторов.

Если эти условия выполняются, к 2035 году появятся первые массовые солнечные электромобили с запасом хода 500+ км, где 20–30% энергии будет давать солнце.

## **1 Состояние вопроса**

### **1.1 История создания автомобилей на солнечной энергии**

Идея автомобилей, работающих на солнечной энергии, появилась задолго до массового распространения электромобилей. Первые эксперименты были скромными, но с развитием технологий солнечные машины превратились из футуристических концептов в реальные транспортные средства.

Начало развития солнечного транспорта относится к середине XX века. В 1955 году компания General Motors представила Sunmobile - первую в мире демонстрационную модель автомобиля на солнечных батареях. Это была миниатюрная машинка длиной около 40 см, оснащенная селеновыми фотоэлементами мощностью всего 1 Вт. Несмотря на скромные характеристики, Sunmobile имел важное историческое значение, ознаменовав начало эры солнцемобилей.

В 1962 году появился Solar King (США) – первый полноразмерный прототип, хотя и не способный к самостоятельному передвижению (использовалась буксировка). Разработка инженера Уильяма Кобба была представлена на выставке Chicago Powerama.

Знаковым событием, стимулировавшим развитие альтернативной энергетики, стал нефтяной кризис 1973 года. Это привело к резкому росту интереса к солнечным технологиям, хотя уровень развития техники в 1970-е годы еще не позволял создать практичные образцы транспорта.

1980-е годы стали периодом значительных достижений в области солнечного транспорта. В 1982 году австралийские изобретатели Ханс Толstrup и Ларри Перкинс создали Quiet Achiever – первый солнцемобиль, совершивший трансконтинентальный пробег (4000 км от Перта до Сиднея) со средней скоростью 20 км/ч.

Важнейшим событием стало проведение в 1987 году первого World Solar Challenge – гонки солнцемобилей через всю Австралию (3000 км). Победителем стал GM Sunracer (разработка General Motors и AeroVironment), установивший рекорд скорости 109 км/ч.

В 1990-х годах продолжилось совершенствование технологий:

- Honda Dream (1990) с КПД панелей около 21%;
- экспериментальный Mazda HR-X2 (1996) с комбинированной водородно-солнечной системой

Начало XXI века ознаменовалось появлением более практичных разработок:

- Ford Reflex Concept (2004) - гибрид с солнечными панелями на крыше;
- Venturi Astrolab (2008) - первый сертифицированный солнцемобиль;
- Stella (2010) от Solar Team Eindhoven - 4-местный семейный автомобиль.

Последнее десятилетие характеризуется выходом солнечных электромобилей на рынок:

- Lightyear One (2017) - серийная модель с 5 м<sup>2</sup> панелей;
- Sono Sion (2019) - городской электрокар с 248 солнечными элементами;
- Aptera (2020) - рекордный запас хода 1600 км;
- Tesla Cybertruck Solar Option (2023) - опциональная солнечная крыша.

Ожидается, что массовое распространение солнечных электромобилей станет возможным благодаря:

- тандемным элементам с КПД более 35%,
- прозрачным и гибким солнечным панелям,
- снижению стоимости до 2,5 млн. р.,
- достижению КПД солнечных элементов более 30%.

Анализ исторического развития показывает устойчивую тенденцию перехода от экспериментальных моделей к коммерчески жизнеспособным продуктам, что подтверждает перспективность данного направления.

## **1.2 Конструкция автомобилей на солнечной энергии**

«Инженерные коллективы по всему миру активно работают над созданием оптимальной конструкции солнцемобилей будущего. Японская корпорация Sanyo представила экспериментальную серию компактных одноместных транспортных средств, оснащенных солнечными панелями площадью 0,6 м<sup>2</sup>» [30].

Особенностью разработки является возможность полной зарядки никель-кадмиевых аккумуляторов за 6 часов солнечной инсоляции. Трехколесная конструкция массой всего 50 кг демонстрирует практическую дальность хода 36 км при максимальной скорости движения 24 км/ч.

«Другой перспективной разработкой стал солнцемобиль Феникс от компании Hokuriku Electric, оснащенный фотоэлектрической системой мощностью 750 Вт. Данная модель способна развивать скорость до 40 км/ч, что делает ее пригодной для городского использования» [30].

Особого внимания заслуживают скоростные характеристики современных солнцемобилей. Рекордные показатели продемонстрировал двухместный концепт «Мечта» (рисунок 1) во время трансавстралийского ралли 1996 года. На дистанции 3000 км аппарат показал среднюю скорость около 90 км/ч, а на прямых участках трассы разогнался до 135 км/ч, что свидетельствует о значительном технологическом прогрессе в данной области.

«Эти примеры наглядно демонстрируют, что современные солнцемобили уже преодолели стадию экспериментальных образцов и постепенно приближаются к характеристикам, позволяющим рассматривать их как практическую альтернативу традиционному транспорту» [30].



Рисунок 1 – Солнцемобиль-рекордсмен «Мечта»

«У солнцемобилей достигнут минимальный для наземных экипажей коэффициент аэродинамического сопротивления (0,1). Опыт концерна General Motors при разработке рекордного солнцемобиля Sunracer (рисунок 2) использован в проектировании электромобиля Impact, серийное производство которого началось в 1996 г. Его скорость достигает 130 км/ч, до 100 км/ч он разгоняется за 9 секунд и на обычных свинцово-кислотных аккумуляторах проходит 100 км» [25].

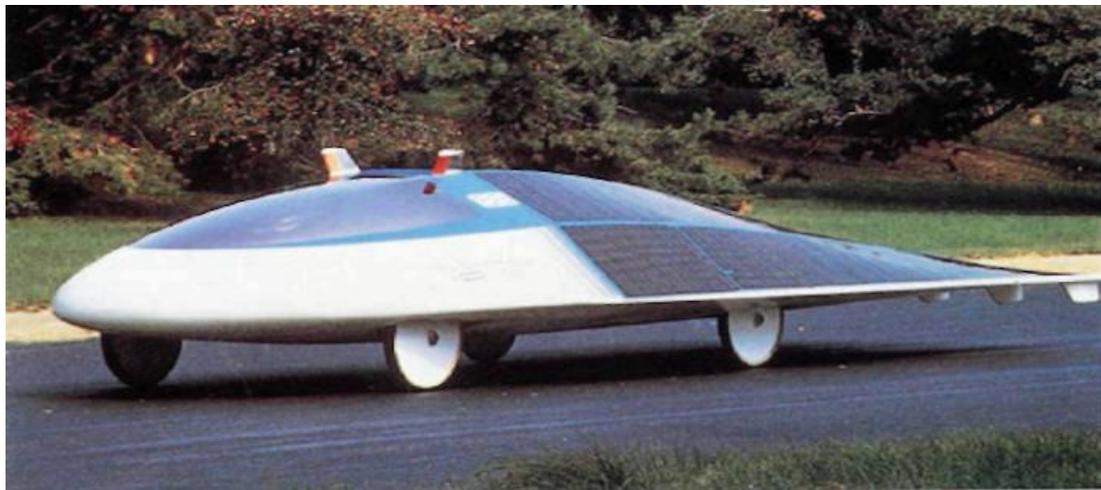


Рисунок 2 – Солнцемобиль Sunracer

«Автомобили, работающие на солнечной энергии, все еще находятся в стадии разработки, поэтому сильно отличаются друг от друга по внешнему виду, конструкции и основным параметрам. Главная общая закономерность – это наличие солнечных собирающих панелей, которые поглощают солнечный свет и преобразуют его в электричество.

В большинстве моделей это электричество накапливается в аккумуляторах, откуда оно поступает в электродвигатель, а тот вращает колеса. Конструкторы стремятся сделать солнечные автомобили такими, чтобы они могли с большей эффективностью использовать свои запасы энергии. Поэтому большинство подобных автомобилей изготовлено из легких материалов и имеют обтекаемую форму, чтобы уменьшить сопротивление ветра.

Теоретически солнечный автомобиль способен работать бесконечно долго, ведь ему не требуется иного топлива, кроме солнечного света. К тому же он не производит никаких выбросов, то есть не портит природу. Однако у него есть большой недостаток: такой автомобиль не может двигаться ночью и при сплошной облачности. Сейчас специалисты работают над тем, чтобы преодолеть подобные ограничения» [27].

Рассмотрим компоновочную схему оборудования солнечного автомобиля (рисунок 3).

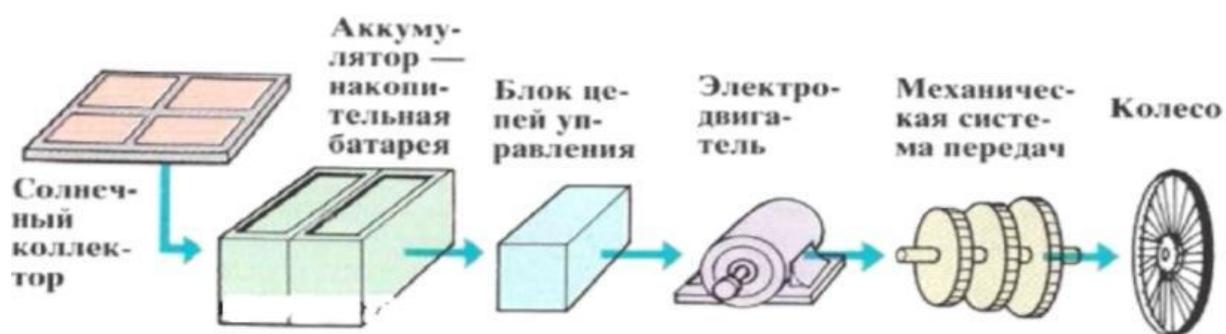


Рисунок 3 – Компоновочная схема оборудования

«Электричество, получаемое в панелях солнечных коллекторов, передается по проводам в накопительную батарею, то есть в аккумулятор. Аккумулятор питает электродвигатель, который вращает колесный вал и колеса. Специальная система механической передачи, имеющая 12 скоростей, позволяет эффективно использовать энергию в разных дорожных условиях» [26].

«Стандартная машина на солнечной батарее включает в себя следующие составные части и компоненты (рисунок 4) солнечные панели с фотоэлементами; аккумулятор, накапливающий энергию, которая расходуется при слабом солнечном свете и в темное время суток; электрический двигатель, соединяющийся с ведущими колесами.

Уменьшение трансмиссионных компонентов позволяет максимально снизить потери мощности в промежуточных звеньях.

Как правило, в электромобилях используются агрегаты постоянного тока с низкими оборотами и КПД до 98%. Блок управления, перераспределяющий электричество, полученное от действия солнечной энергии. Часть тока затрачивается на движение, а другая часть поступает в аккумуляторную батарею и накапливается в ней» [28].

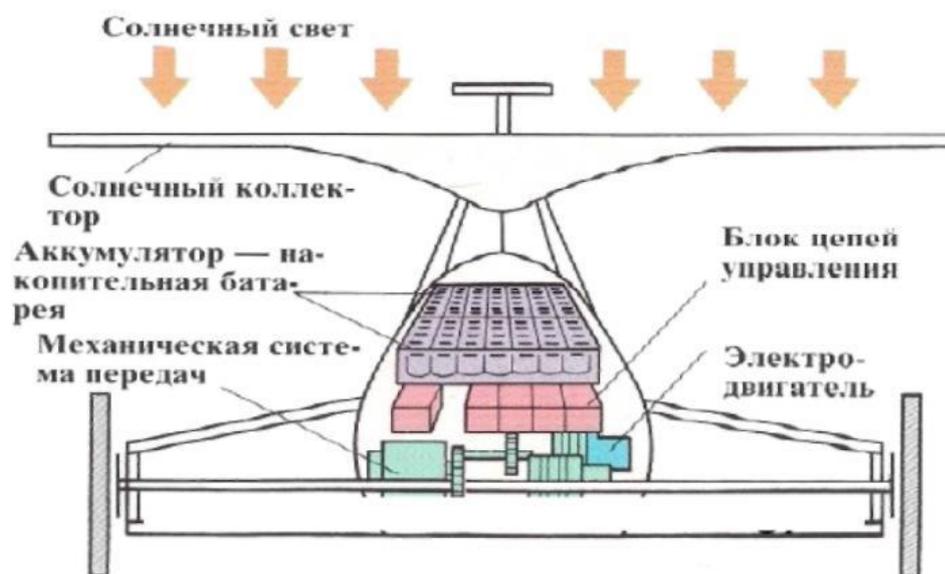


Рисунок 4 – Компоновка солнечного автомобиля

«Кроме того, данный блок регулирует сами панели, их параметры и функциональность, ориентирует относительно солнца, обеспечивает своевременное охлаждение. Современное шасси включает в себя инновационные колеса с минимальным коэффициентом сопротивления качению.

Каждый солнечный элемент солнечной батареи (рисунок 5) состоит из двух слоев кремния:

- Р-типа, то есть позитивный или положительный,
- N-типа, то есть негативный или отрицательный.

Когда свет попадает на такой элемент, он освобождает электроны в слое Р-типа, которые сами переходят в слой N-типа» [28].

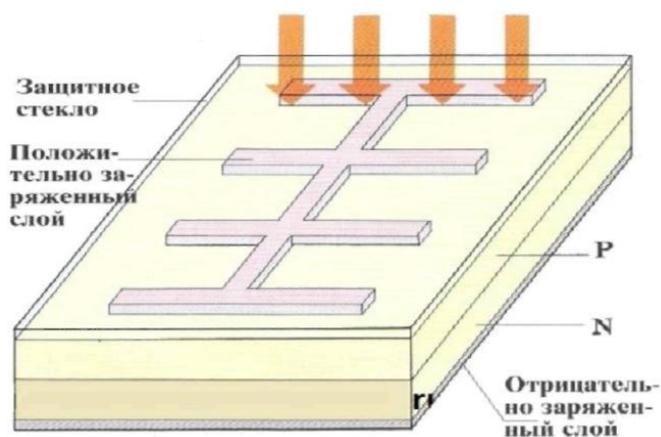


Рисунок 5 – Схема солнечной батареи

«Солнечные батареи небольшой мощности на обычных автомобилях кондиционируют воздух в салонах и подзаряжают пусковые аккумуляторы на стоянках, питают радио- и телеаппаратуру, например, Coleman Solar Battery Charger (рисунок 6) как раз и предназначена для подзарядки аккумуляторной батареи.



Рисунок 6 – Солнечная батарея Colema Solar Battery Charger

Это является простым и недорогим способом постоянно держать автомобильный аккумулятор на подзарядке. Для работы достаточно положить устройство на приборную панель или в другое место, освещенное солнцем, и подключить его к прикуривателю. После этого можно не бояться разрядки аккумулятора от, например, работающих часов, радио или сигнализации при выключенном зажигании. Цена этого полезного для автомобилистов устройства – всего 30 долларов» [29].

«В 2010 году создан фотоэлемент (рисунок 7), который можно установить на любые поверхности – окна, стёкла автомобилей.

Эта технология даёт возможность по-новому использовать кремний в устройствах для преобразования солнечной энергии в электрическую. Можно будет, например, тонировать автомобильные стекла. Этого устройства вполне достаточно и для работы GPS-навигатора или кондиционера автомобиля» [28].



Рисунок 7 – Солнечные батареи-наклейки на автомобильные стёкла

«В настоящее время имеется большое количество разнообразных батарей на основе солнечных элементов, в том числе появились в производстве элементы на гибкой пленочной основе (рисунок 8), что позволяет их размещать на поверхности, отличной от ровной, имеющей небольшую степень кривизны и малую массу и габариты. Коэффициент полезного действия таких элементов составляет около 17 %.

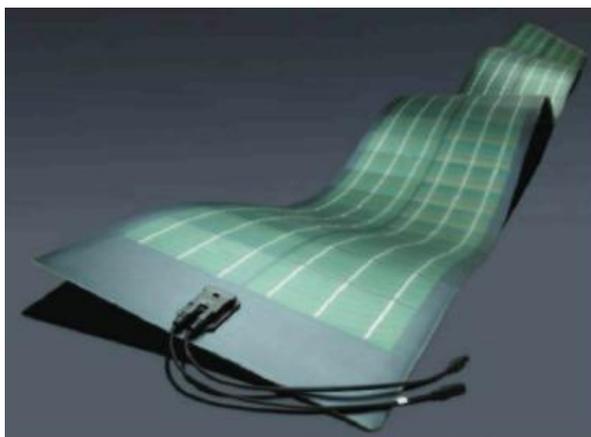


Рисунок 8 – Солнечный элемент на пленочной гибкой основе

Размещение таких элементов удобнее всего на крыше автомобиля (рисунок 9)» [28].

«Площадь крыши легкового автомобиля типа седан составляет в среднем  $1,5 \text{ м}^2$ . Размещая солнечные элементы такой площади, можно получать около 200 Вт. Средняя потребляемая мощность кондиционера 230 Вт. Получаемая мощность является недостаточной для полностью автономного питания кондиционера, но достаточной для поддержания необходимого температурного режима в салоне автомобиля во время стоянки и позволит дополнительно обеспечивать электроэнергией автомобиль во время движения, обеспечивая экономию топлива минимум на 8%» [25].

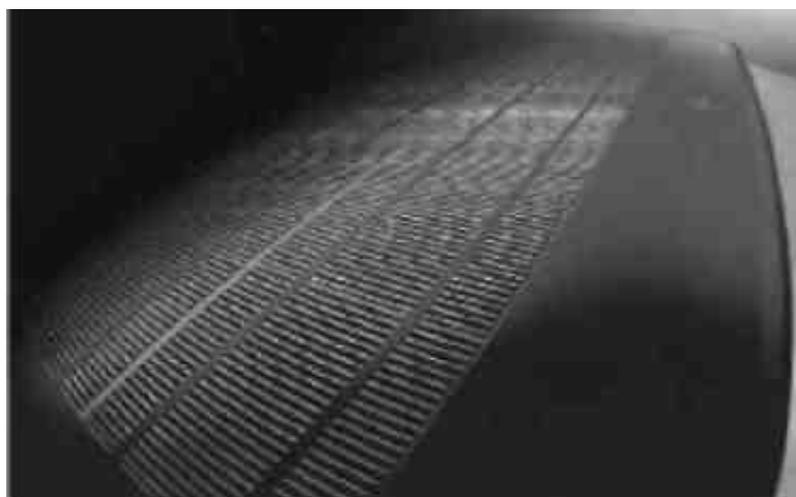


Рисунок 9 – Размещение элементов на гибкой пленочной основе на крыше автомобиля

«Ориентировочная стоимость устанавливаемого оборудования составит 60000 р. С учетом экономии 8% мощности двигателя или 0,8 л бензина на 100 км, средний пробег окупаемости составит 150 тыс. км (для сравнения – ресурс 1 млн. км для двигателя уже давно никого не удивляет). К тому же надо сказать, что уже сегодня некоторые модели Mercedes-Benz обзавелись опцией – люком в крыше, в который встроены солнечные батареи. Энергия, генерируемая ими, предназначена приводить в действие вентилятор, создающий прохладу в салоне при длительной стоянке автомобиля на солнцепеке. Аналогичная система разработана BMW. Она состоит из 24 солнечных элементов, вырабатывающих 18 Вт электроэнергии. Этого достаточно для эффективной работы шести вентиляторов. Как показали испытания, принудительная вентиляция салона позволяет в жаркий день снизить температуру на 15 градусов, не используя энергию штатного аккумулятора» [30].

«Прогнозируется, что к 2050 году половина потребляемой в мире энергии будет добываться из альтернативных источников. Солнце – один из них. Еще в 1998 году в ходе работ над проектом гибридного автомобиля Duo компания Audi доказала, что на 4000 км ежегодного пробега эту машину способна обеспечить энергетическая установка, состоящая из 21 модуля солнечных батарей общей площадью 10 м<sup>2</sup>, смонтированная на крыше гаража. Днем установка вырабатывает и накапливает энергию, а ночью идет зарядка батарей оставленного в гараже электромобиля» [28].

Несмотря на сохраняющийся скептицизм, отношение экспертов к интеграции солнечных панелей в электромобили становится более взвешенным. Однако активную разработку в этом направлении ведут лишь несколько крупных автопроизводителей, включая Toyota и Hyundai, а также узкоспециализированные стартапы - Sono Motors, Lightyear и K-car. Такая ситуация обусловлена двумя ключевыми факторами:

- значительным удорожанием конечного продукта,
- ограниченной эффективностью солнечной генерации энергии.

Парадоксально, но параллельно наблюдается устойчивая тенденция к снижению себестоимости фотоэлектрических элементов, что открывает новые перспективы для развития технологии.

Ярким примером современного солнцемобиля является модель Astrolab (рисунок 10) от компании Venturi.

Технические характеристики транспортного средства включают:

- максимальная скорость: 120 км/ч,
- запас хода: 110 км,
- фотоэлектрическая система: 3,6 м<sup>2</sup> высокоэффективных панелей,
- стоимость: свыше 90000 евро.

Как отмечают разработчики [30], выдающиеся показатели достигнуты благодаря инновационному дизайну кузова, вдохновленному гоночными болидами. Особого внимания заслуживает монококковая карбоновая конструкция салона, обеспечивающая повышенную безопасность водителя и пассажиров.

«Такие решения демонстрируют, что даже при текущих технологических ограничениях возможно создание практичных солнечных электромобилей, хотя их рыночная ниша пока остается узкой и ориентированной на премиум-сегмент» [30].



Рисунок 10 – Электромобиль Astrolab

«Ecletic (рисунок 11) является ещё одним гелиомобилем от Venturi. Мощность двигателя этого авто составляет 22 лошадиные силы. Для

сравнения, у других авто на солнечных батареях мощность в среднем составляет одну лошадиная сила с двух квадратных метров панелей.



Рисунок 11 – Электромобиль Ecletic

Конструкторы утверждают, что их творение пробегает на скорости 50 км/ч до 50 км. Если на улице непогода, то авто заряжается от электрической сети примерно за 5 ч» [30].

«Конструкторы из голландского технического университета Эйндховена называют концепт-кар Stella (рисунок 12) первым семейным гелиомобилем. В нём могут перемещаться до 4 человек. Салон комфортный и ездить в нём можно с удобством. В «Стелле» также есть довольно объёмный багажник. Кузов автомобиля выполнен из алюминия и углеволокна. Масса всего 380 кг при габаритах 4,5 на 1,65 м» [26].



Рисунок 12 – Электромобиль Stella

Современные автомобили с солнечными панелями демонстрируют впечатляющие технические характеристики.

Голландский солнцемобиль Stella оснащен фотоэлектрическими модулями, интегрированными в крышу. Особенностью модели является продвинутая система управления, включающая «умный руль» и сенсорную панель контроля. Транспортное средство способно развивать скорость до 110 км/ч, а его аккумуляторная батарея обеспечивает запас хода до 600 км в ночное время.

Значительным прорывом стал электрический кроссовер Hyundai Ioniq 5 (рисунок 13), предлагающий опциональную солнечную панель на крыше для пассивной подзарядки. Модель обладает рядом технологических преимуществ:

- запас хода до 480 км на одном заряде,
- ультрабыстрая зарядка (10-80% за 18 минут при мощности 350 кВт),
- поддержка как 400-вольтных, так и 800-вольтных зарядных станций,
- возможность зарядки других электромобилей и питания бытовых устройств (мощность 3,6 кВт)



Рисунок 13 – Электромобиль Hyundai Ioniq 5

Особого внимания заслуживает система двунаправленной зарядки Vehicle-to-Load (V2L), позволяющая использовать автомобиль в качестве мобильного источника энергии. Всего за 5 минут зарядки кроссовер получает энергию, достаточную для преодоления 100 км по стандарту WLTP. Эти характеристики делают Hyundai Ioniq 5 одним из самых технологичных представителей нового поколения солнечно-электрического транспорта.

«Нидерландский стартап Squad Mobility представил солнечный двухместный электромобиль с одноименным названием (рисунок 14), который уже доступен для предварительного заказа со стартовой ценой от 520000 р.

Солнечный электромобиль Squad Mobility размером с гольф-кар. Электромобиль сертифицирован в классе легких четырехколесных транспортных средств L6e и поэтому не относится к обычным легковым автомобилям» [30].



Рисунок 14 – Электромобиль Squad Mobility

«Технические характеристики солнечного электромобиля Squad Mobility представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики солнечного электромобиля Squad Mobility [30].

Параметр	Значение
Габариты (Д×Ш×В), мм	2000×1200×1600
Максимальная скорость, км/ч	45
Подвеска	независимая
Мотор	2 в передних колесах
Мощность	4 кВт (2×2 кВт) (L6)
Батарея	4-х портативный, сменный литий-ионный аккумулятор
Зарядка	солнечная энергия и 220 В
Дальность хода, км	100 +дополнительный пробег за счет солнечной батареи 20 км (летом в Европе)
Рекуперация	есть

Стандартная скорость электрокара ограничена на 45 км/ч, но в зависимости от спроса и регионального законодательства, также доступна версия со скоростью 80 км/ч.

В салоне 2 пассажира сидят рядом друг с другом, а сам кузов модели немного напоминает гольф-кар. Сзади есть полка и два аварийных сиденья, на которых могут сидеть двое детей ростом до 1,25 м спиной к направлению движения. Заторы и парковка в городах – это растущая проблема во всем мире. Средний автомобиль имеет стационарную площадь около 10 м<sup>2</sup>, что очень неэффективно использует скудное пространство в городских центрах. Площадь Squad Mobility составляет всего 2 м<sup>2</sup>, или 1 м<sup>2</sup> на человека. 4 электромобиля могут легко припарковаться на 1 парковочном месте.

Солнечные элементы в крыше автомобиля способны генерировать электроэнергии для 9000 км в год.

В дополнение к 2-местной версии, Squad также разработал версии Cargo и Deliver для перевозки грузов в задней части автомобиля» [30].

Выводы по разделу.

Историческая ретроспектива демонстрирует устойчивую эволюцию технологии - от экспериментальных моделей 1950-х годов до коммерческих образцов последнего десятилетия.

Ключевыми вехами стали:

- создание первых демонстрационных прототипов (GM Sunmobile 1955),
- рекордные заезды 1980-90-х (World Solar Challenge),
- переход к серийному производству (Lightyear One, Sono Sion).

Современные конструктивные решения (п.1.2) характеризуются:

- интеграцией фотоэлектрических элементов в кузовные панели,
- применением композитных материалов для снижения массы,
- сочетанием солнечной генерации с традиционными системами зарядки,
- внедрением двунаправленных зарядных систем (V2L).

Технология находится на переходном этапе:

- сохраняются ограничения по эффективности и стоимости,
- наблюдается консолидация рынка вокруг нескольких ключевых игроков,
- прослеживается устойчивый тренд снижения себестоимости компонентов.

Таким образом, несмотря на существующие технологические барьеры, солнечный транспорт постепенно трансформируется из концептуальных разработок в коммерчески жизнеспособные продукты, что подтверждается появлением серийных моделей и расширением их функциональных возможностей.

## 2 Тягово-динамический расчет автомобиля

«Для выбора комплектующих тяговой системы электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии, в целях обеспечения достаточной динамики и безопасности, выполним тягово-динамический расчет данного электромобиля» [3].

«За базовые параметры электромобиля принимаем данные электромобиля Squad Mobility (таблица 3).

Таблица 3 – Базовые параметры электромобиля Squad Mobility [9].

Параметр	Значение
«Тип автомобиля	заднеприводный легковой автомобиль
Колесная формула	4×2
Количество человек	2
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	1715×965×2005
Снаряженная масса, кг	400
Размерность шин	175/65R 13
Коэффициент сопротивления воздуха, $C_x$	0,3
Коэффициент сопротивления качению, $f_0$	0,013
Коэффициент, зависящий от уклона дороги, $\alpha_{max}$	0,25
Максимальная скорость, $V_{max}$ , км/ч	50
Максимальная частота вращения вала электродвигателя, $\omega_{emax}$ , с <sup>-1</sup>	398
КПД трансмиссии, $\eta_{mp}$	0,65» [9].

Приступаем к определению полной массы электромобиля:

«Определяем полную массу автомобиля по формуле:

$$M_a = M_0 + (M_{\text{ч}} \cdot n) + M_{\text{г}} \cdot n, \quad (1)$$

где  $M_0$  – снаряженная масса автомобиля, принимаем 400 кг;

$M_{\text{ч}}$  – масса человека, принимаем 80 кг;

$M_{\text{г}}$  – масса груза на одного человека, 10 кг;

$n$  – количество людей в электромобиле» [25].

$$M_a = 400 + (80 \cdot 2) + (10 \cdot 2) = 580 \text{ кг}.$$

«Определяем статический радиус колеса по формуле:

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

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

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

$H$  – высота профиля шины, принимаем 0,114 м» [25].

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

$$r_{\text{ст}} \approx r_d \approx r_k = 0,233 \text{ м}.$$

«Определяем коэффициент обтекаемости по формуле:

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

где  $\rho$  – плотность воздуха, принимаем 1,293 кг/м<sup>3</sup>» [25].

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

Определяем лобовую площадь автомобиля по формуле:

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

$$F = 0,8 \cdot 0,965 \cdot 2,005 = 1,55 \text{ м}^2.$$

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 автомобиля 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  $G_a$  – полный вес автомобиля;

$\psi_V$  – коэффициент сопротивления дороги при максимальной скорости автомобиля. Для легких автомобилей коэффициент сопротивления дороги принимают равным коэффициенту качения при максимальной скорости и равен 0,0131» [25].

$$N_V = \frac{1}{0,65} \cdot \left( 580 \cdot 9,81 \cdot 0,0131 \cdot 13,89 + 0,15 \cdot 1,544 \cdot 13,89^3 \right) = 2830,5 \text{ Вт.}$$

«На основании полученной мощности электродвигателя при наивысшей скорости автомобиля с учетом КПД трансмиссии можно подобрать электрический двигатель» [25].

«Наиболее распространенным электрическим двигателем, используемым на небольших автомобилях типа гольф-кар является бесколлекторный, бесщёточный электродвигатель постоянного тока (BLDC) модели НРМ3000В, с максимальной мощностью 3 кВт» [6].

Одного двигателя будет не достаточно, а если использовать два таких электродвигателя, то динамичность автомобиля будет достаточно высокой.

«На рисунке 15 представлены характеристики электрического двигателя НРМ3000В.

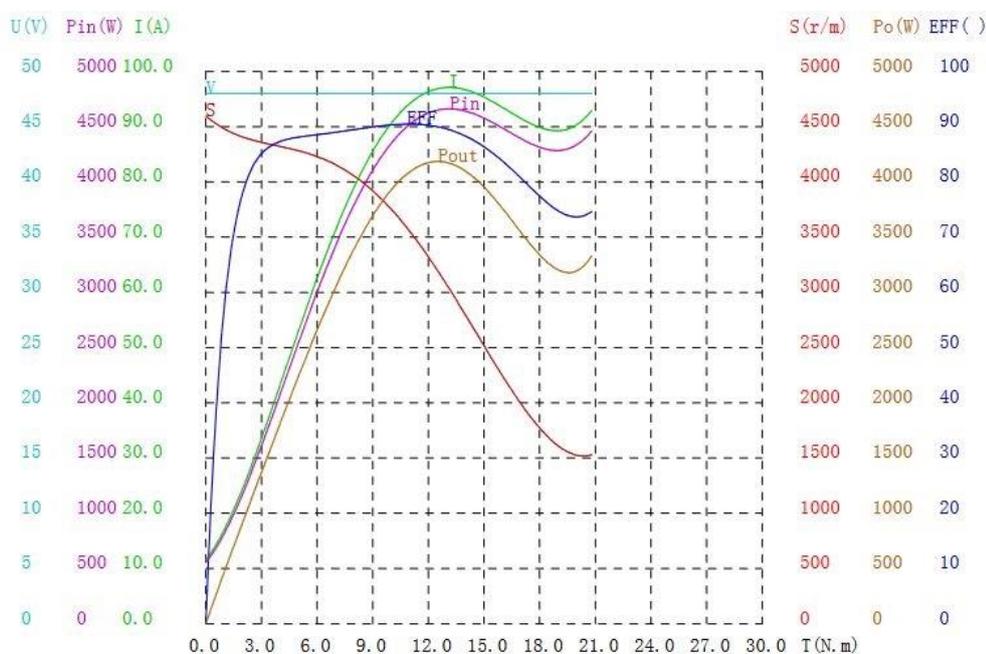


Рисунок 15 – Характеристика электрического двигателя НРМ3000В» [6].

«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 электромобиле не будет коробки передач передаточное число равняется 1» [25].

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

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

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

где  $\phi$  – сцепной вес автомобиля, определяется по формуле:

$$G_{cц} = \lambda_k \cdot G_{с0}, \quad (9)$$

где  $\lambda_k$  – коэффициент сцепления шин ведущих колес с дорожным покрытием, равняется 0,8 для сухого асфальтобетонного покрытия в хорошем состоянии» [25].

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

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

Выполняем анализ тяговой динамики.

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

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

Определяем суммарную силу сопротивления движению автомобиля по формуле:

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

Сводим результаты расчетов в таблицы 4 и 5» [25].

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, Н	Сила сопротивления, Н		
		$P_{\epsilon}$	$P_{\delta}$	$P_{\Sigma}$
1529	390,75	1,70	42,05	43,75
2000	316,32	6,77	47,68	54,46
2500	279,11	15,26	48,37	63,63
3000	241,89	27,10	49,52	76,62
3500	204,68	42,37	51,13	93,50
4000	163,74	60,97	53,21	114,18
4500	13,03	83,03	55,74	138,77

Таблица 5 – Зависимость сопротивления воздуха от скорости электромобиля

Скорость, м/с	$P_{\epsilon}$ , 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 5.

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

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

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» [25].

«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» [25].

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

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

где  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  – коэффициент учета вращающихся масс колес и электродвигателя. Принимаем значения коэффициентов от 0,03 до 0,05» [25].

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 <sup>2</sup>	Величина, обратная ускорению на передаче, с <sup>2</sup> /м
1529	1,5455	0,647
2000	1,5321	0,6527
2500	1,5097	0,6624
3000	1,4784	0,6764
3500	1,4381	0,6954
4000	1,5549	0,6431
4500	1,5299	0,6536

«Путь и время разгона автомобиля 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» [25].

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/J <sub>cp</sub>	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 автомобиля.

«Определяем мощность, передаваемую ведущим колесам 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 колес;

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

$N_B$  – мощность, затрачиваемая на сопротивление воздуха;

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

$N_D$  – мощность, затрачиваемая на преодоление подъема» [25].

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

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

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

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

$$N_D = P_D \cdot V. \quad (24)$$

Для удобства все вычисления производились в программной среде Microsoft Excel, а уже после этого производилось построение графиков тягово-динамических характеристик в Компас-3D.

Выводы по разделу.

Проведенный тягово-динамический расчет показал, что разработанная конструкция гольф-кара, оснащенного электродвигателем мощностью 3 кВт и питающегося от солнечных панелей, обладает приемлемыми динамическими характеристиками. Несмотря на небольшую мощность силовой установки, транспортное средство способно развивать достаточную скорость для эксплуатации на закрытых территориях (около 25 м/с), обеспечивая плавный разгон и комфортное движение.

### **3 Конструкторская часть**

#### **3.1 Техническое задание на разработку конструкции электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии**

«Конструкторская разработка относится к области электротранспорта, а именно электромобилей типа гольф-кар, и может быть использована для разработки транспортного средства для проведения прогулок на территориях парковых комплексов, общественных пространств набережных, парков, скверов.

Электромобиль типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии представляет собой рамное четырехколесное транспортное средство типа гольф-кар, с полукрытым двухместным кузовом с лобовым стеклом, оснащенное подвеской, в передней части расположен рулевой механизм с двумя неприводными колесами, в задней части расположены два отдельных электрических двигателя, приводящих задние колеса, электрооборудование, на полу размещена сборка аккумуляторных батарей, на крыше размещена солнечная батарея. Электромобиль типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии предназначен для передвижения по обычным дорогам, в летнее время года» [11].

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

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

Наименование и условное обозначение темы разработки не имеет.

«Электромобиль типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии должен состоять из металлической рамы, руля поворота передних колес, подвески, двух электродвигателей, расположенных в задней части, набора

аккумуляторных батарей, электрооборудования, солнечной панели на крыше» [3].

«К конструкции электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии предъявляются следующие требования:

- должно быть предназначено для перевозки двух человек;
- должно отвечать требованиям правил эксплуатации и быть безопасным при эксплуатации в различных погодных условиях;
- конструкция рамы должна обладать достаточной жёсткостью и прочностью;
- для оснащения транспортного средства должны максимально использоваться механические узлы, электрические и электронные элементы, агрегаты и отдельные элементы автомобильной промышленности, отвечающие современным и перспективным международным и российским требованиям» [8];
- «в передней части должен быть выполнен рулевой механизм для поворота передних колес;
- транспортное средство должно быть выполнено с отдельным электрическим приводом на задние колеса, путем установки двух электродвигателей» [6];
- «предусмотреть наличие систем управления электрооборудованием;
- на крыше транспортного средства должна быть расположена солнечная панель;
- дизайн транспортного средства должен быть современным, иметь красивый и эстетичный вид» [17];
- «посадка и высадка водителя и пассажира должна быть максимально удобной;
- в процессе эксплуатации транспортное средство не должно требовать частых профилактических работ и особого ухода. При проведении технического обслуживания необходимо использовать только

эксплуатационные материалы, выпускающиеся серийно, не требующие использования специальных инструментов;

- разработку конструкции выполнить в универсальной системе автоматизированного проектирования» [1].

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

- габаритные размеры:
  - 1) длина, не более мм ..... 2000;
  - 2) ширина, не более мм ..... 1000;
  - 3) высота, не более мм ..... 2100.
- тип привода ..... задний, электрический, BLDC электродвигатель;
- количество двигателей, не более шт. .... 2;
- мощность двигателя, не более Вт ..... 3000;
- запас хода, не менее км ..... 40;
- масса, не более кг ..... 400» [1].

«Электромобиль типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии изготовить в 1 экземпляре. Поскольку серийное производство не предусмотрено, то поиск на патентную чистоту не обязателен.

Использовать электромобиль типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии должны люди, прошедшие специальный инструктаж по технике безопасности и изучившие правила эксплуатации.

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

Транспортировка осуществляется в разобранном виде, все части устройства должны быть упакованы в деревянные ящики, которые маркируются соответственным образом. Хранить устройство в собранном или разобранном виде в сухом помещении.

При выполнении задания предусмотреть разработку технического предложения с эскизным проектом.

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

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

Изготовление опытного образца не предусматривается.

Возможность экспорта разрабатываемой установки в зарубежные страны не предусмотрена» [18].

### **3.2 Техническое предложение на разработку конструкции электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии**

В соответствии с техническим заданием необходимо разработать конструкцию электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии.

«Электромобиль типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии представляет собой рамное четырехколесное транспортное средство типа гольф-кар, с полуоткрытым двухместным кузовом с лобовым стеклом, оснащенное подвеской, в передней части расположен рулевой механизм с двумя неприводными колесами, в задней части расположены два отдельных электрических двигателя, приводящих задние колеса, электрооборудование, на полу размещена сборка аккумуляторных батарей, на крыше размещена солнечная батарея» [11].

«Электромобиль типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии должен иметь следующие технические показатели:

– габаритные размеры:

- 1) длина, не более мм ..... 2000;
- 2) ширина, не более мм ..... 1000;

- 3) высота, не более мм ..... 2100.
- тип привода ..... задний, электрический, BLDC электродвигатель;
- количество двигателей, не более шт. .... 2;
- мощность двигателя, не более Вт ..... 3000;
- запас хода, не менее км ..... 40;
- масса, не более кг ..... 400» [1].

Проведенный поиск аналогов показал, что распространены конструкции четырехколесных транспортных средств, типа гольф-кар с электрическим приводом. Использование солнечной панели для зарядки аккумуляторов не найдено. Следовательно, конструкций, подпадающих под заданные технические требования не имеется.

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

«Техническим заданием рекомендовано обратить внимание на представленные источники информации: российские и зарубежные интернет-форумы, журналы на техническую тематику, техническую литературу» [4];

«Основными частями электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии являются:

- рама,
- подвеска,
- рулевое управление,
- электродвигатели,
- сборка аккумуляторных батарей,
- система управления электрооборудованием,
- солнечные панели» [11].

Предлагаются следующие варианты исполнения элементов транспортного средства.

В первую очередь необходимо определиться с рамой электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии, так как она должна обеспечивать требуемую прочность, надёжность крепления элементов.

«Рама может быть изготовлена из профиля прямоугольного сечения (рисунок 16, а) или профиля круглого сечения (рисунок 16, б).

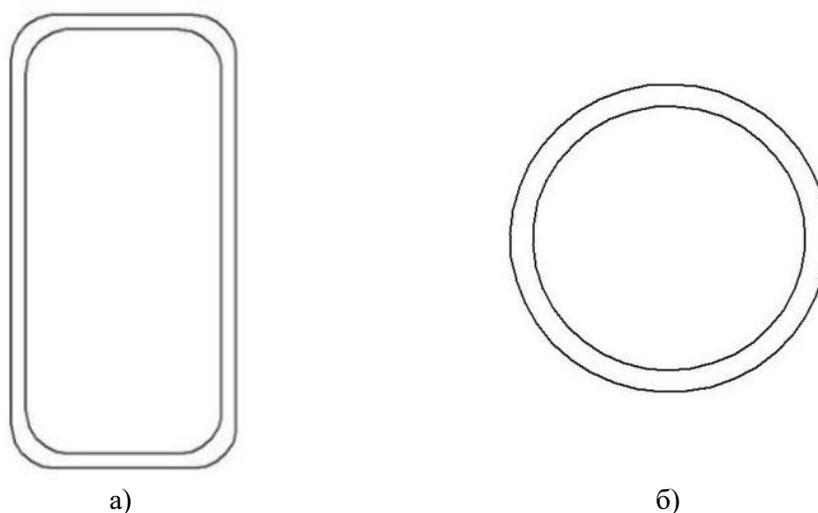


Рисунок 16 – Виды профиля для рамы

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

Недостатками профильной прямоугольной трубы является:

- высокая себестоимость – труба весит на 30% больше аналогичной круглой, а стоит примерно на 35% дороже;
- наличие сварного шва. Трубы квадратного (прямоугольного) сечения производятся только по сварной технологии. По одной из сторон идет сварной шов на всю длину трубы. Труба начинает активно корродировать, причем окраска практически не предотвращает возникновение коррозии по сварному шву» [13].

Принимаем форму рамы, представленную на рисунке 17.

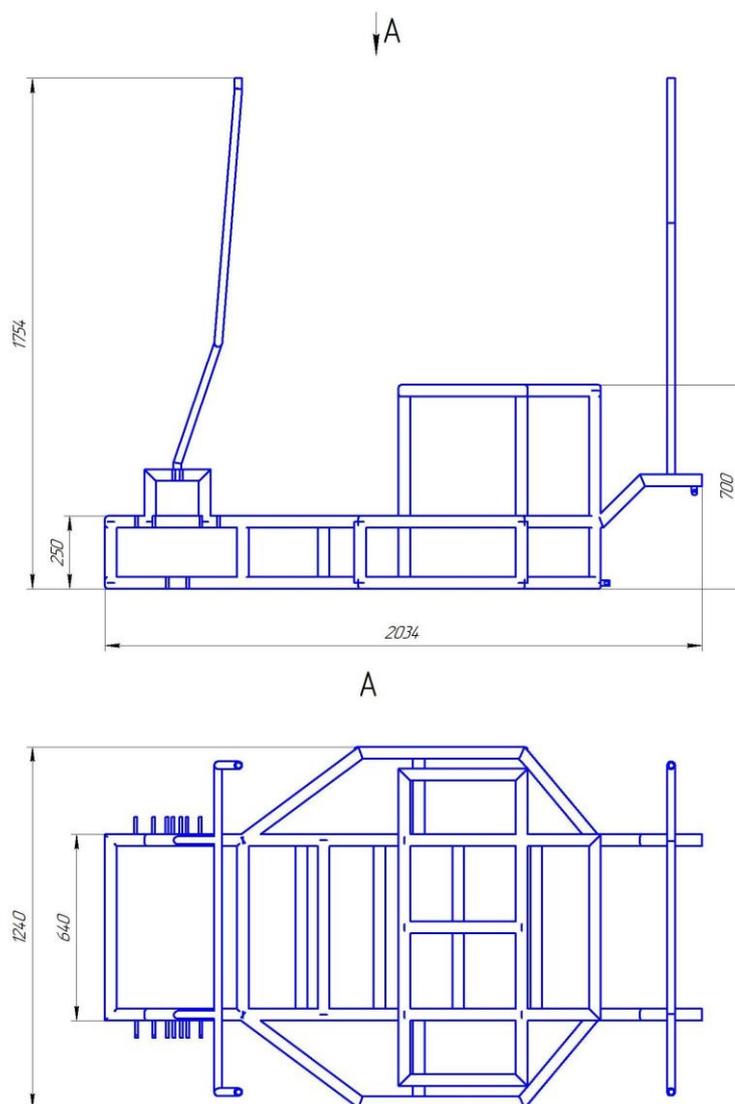


Рисунок 17 – Конструкция рамы

Для обеспечения поворота передних колес предусматриваем рулевое управление с реечным механизмом поворота колес (рисунок 18), Управляющее воздействие передается путем поворота руля и далее через карданную передачу затем на редуктор и далее на шестерню рулевой рейки, которая в свою очередь перемещает рейку и поворачивает колеса. Для обеспечения торможения транспортного средства на передних колесах предусмотрены гидравлические дисковые тормозные механизмы. Педальный узел транспортного средства состоит из двух педалей: «тормоза» и «акселератора».

В целях обеспечения удобства и комфорта при перевозке предусматриваем подвеску с четырьмя амортизаторами.

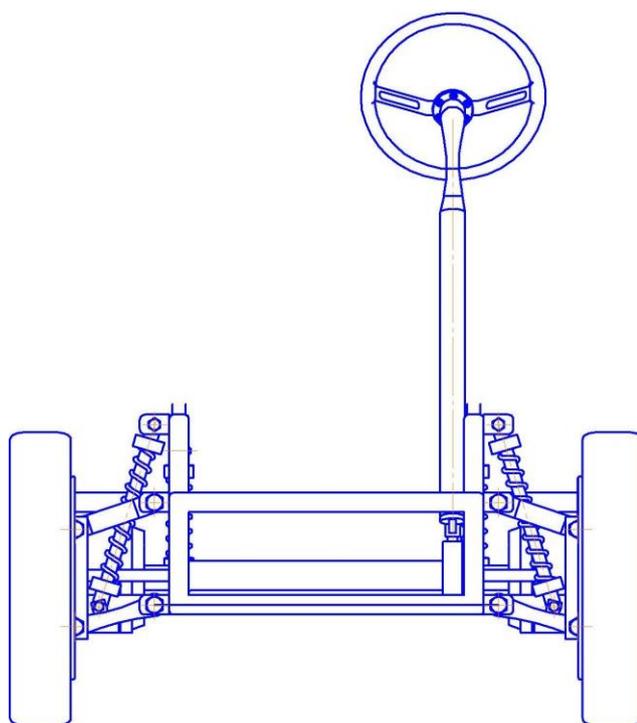


Рисунок 18 – Конструкция подвески и рулевого привода

Изучив, установленные на аналогичных конструкциях электромобилей электродвигатели, принимаем для нашей конструкции вариант привода с двумя электродвигателями на задние колеса (рисунок 19).

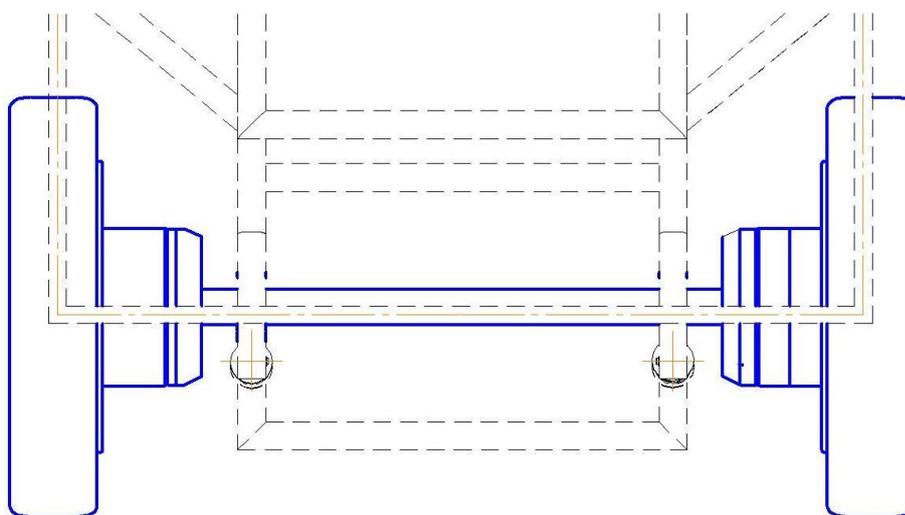


Рисунок 19 – Конструкция привода задних колес

Подбор электродвигателя будет выполнен в следующем подразделе пояснительной записки.

«Для питания электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии необходимо предусмотреть тяговую аккумуляторную батарею, обеспечивающую питание электродвигателей» [2].

Принято решение разместить сборку аккумуляторных батарей на полу транспортного средства.

Подбор аккумуляторных батарей будет выполнен в следующем подразделе пояснительной записки.

«Электромобили обычно приводятся в движение с использованием заряда, хранящегося в аккумуляторе, при этом аккумулятор заряжается от сетевой розетки переменного тока» [2].

«Для подзарядки аккумуляторных батарей необходимо использовать экологически чистые и относительно дешевые источники энергии.

Одним из таких источников питания батареи может являться солнечная энергия, которая может заряжать аккумулятор автомобиля, как во время движения, так и во время стоянки» [4].

На крыше транспортного средства разместим солнечные панели (рисунок 20).

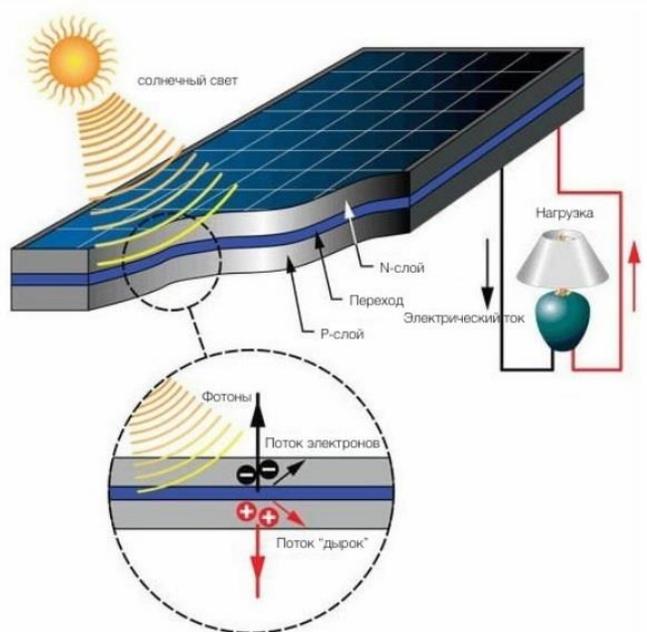


Рисунок 20 – Устройство солнечной панели

«Солнечные панели представлены в виде модульных блоков, которые заменяют крышу транспортного средства (рисунок 21). Их легко ремонтировать и проводить замену» [4].



Рисунок 21 – Размещение солнечной панели на крыше автомобиля

«Солнечные панели могут быть изготовлены из отдельных фотогальванических элементов (PVC), изготовленных из таких материалов, как кремний, арсенид галлия, медный сплав или аналогичный материал для солнечных элементов, электрически соединенных друг с другом для образования солнечной панели по желанию для зарядки аккумуляторной батареи электромобиля. Солнечная панель может быть жесткой или гибкой и может быть изготовлена из легкого тонкопленочного материала, известного в данной области техники» [7].

«Для защиты солнечных элементов может быть предусмотрен защитный прозрачный покровный материал, такой как стекло, плексиглас или другой прозрачный полимер. В некоторых вариантах используется герметик для герметизации солнечных элементов между прозрачным слоем материала и другим слоем материала для водонепроницаемости солнечных элементов.

Хотя солнечные панели могут производить более низкое напряжение, чем обычно требуется для зарядки высоковольтной аккумуляторной батареи транспортного средства, предусмотрены системы зарядки, позволяющие низковольтной солнечной панели заряжать высоковольтную аккумуляторную батарею. Типичные солнечные элементы, доступные в настоящее время, включают солнечные элементы примерно на 0,5 вольта и несколько миллиампер на квадратный элемент 1 см. Солнечные элементы соединены последовательно, так что напряжения складываются вместе, чтобы сформировать систему от 6 до 12 вольт или, возможно, большее напряжение, если есть место для размещения солнечных элементов» [9].

На рисунке 22 представлена схема подключения электроснабжения транспортного средства используя солнечные панели.

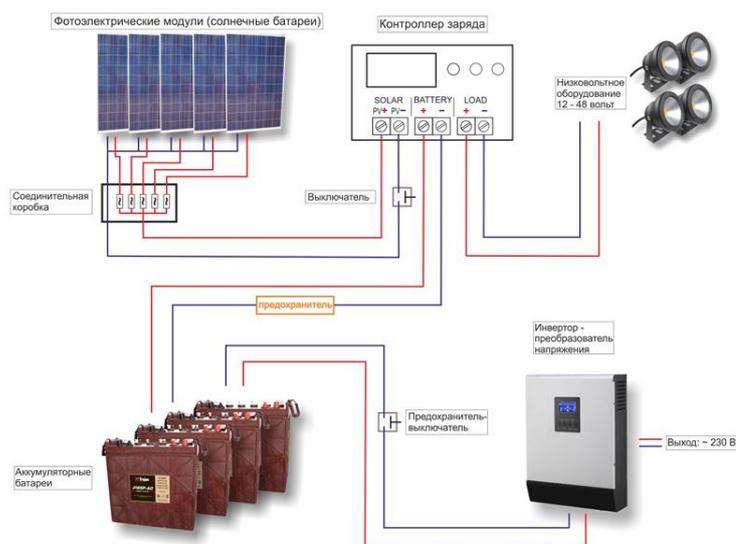


Рисунок 22 – Схема подключения электроснабжения с использованием солнечных панелей

«Подбор солнечных панелей и сопутствующего электрооборудования и материалов будет выполнен в следующем подразделе пояснительной записки.

После выбора всех элементов конструкции электромотоцикла типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии составляем компоновочную схему размещения элементов конструкции (рисунок 23)» [9].

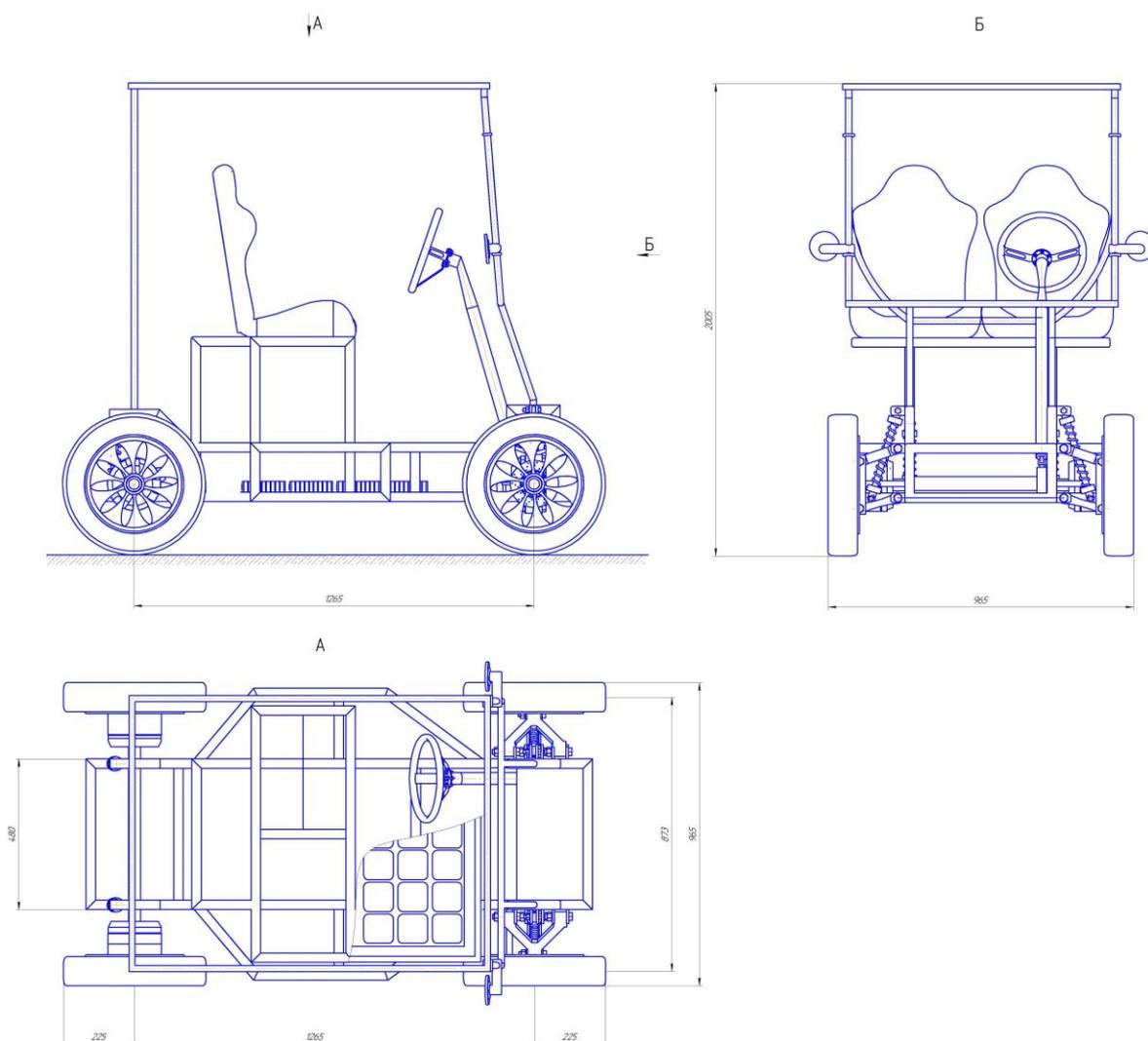


Рисунок 23 – Общая компоновка электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии

Спецификация на электромобиль типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии представлена в Приложение А (рисунок А.1).

### 3.3 Подбор электрооборудования

#### 3.3.1 Выбор тягового электродвигателя

Изучив конструкции электрических автомобилей, использующих солнечные панели для пополнения заряда аккумулятора, выбираем наиболее оптимальную компоновочную схему.

«Компоновка с одним электромотором обладает простой конструкцией, простым алгоритмом управления. Недостатком данной компоновки является то, что потребуется использование дифференциала для распределения

мощности между ведущими колесами, это приведет к увеличению массы элементов трансмиссии, возможное пробуксовывание колес при прохождении поворотов» [16].

«При грамотном расчете и правильном подборе комплектующих, компоновка с четырьмя электродвигателями имеет хорошие динамические характеристики, отличную управляемость. Недостатками такой компоновки является высокая сложность изготовления конструкции, чтобы реализовать все возможности такой компоновки требуется разработать и реализовать сложную систему управления электродвигателями, стоимость изготовления такого электромобиля будет высокой» [19].

Компоновка с двумя электродвигателями принимается наиболее подходящей для электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии.

«Существенными факторами, влияющими на выбор тяговых электродвигателей для электромобилей, являются:

- масса электродвигателя;
- высокий коэффициент полезного действия;
- соответствие механической характеристики, то есть зависимости момента от частоты вращения, условиям электрической тяги (снижение момента по мере повышения частоты вращения);
- минимальное обслуживание в эксплуатации;
- высокая перегрузочная способность электродвигателя для получения высоких пусковых ускорений;
- стоимость» [10].

«На практике в конструкциях электромобилей применяются электрические приводы следующих типов: вентильные, асинхронные частотно-управляемые, постоянного тока с независимым возбуждением и постоянного тока с последовательным возбуждением» [20].

«С учетом специфики электромобиля рассмотрим варианты электродвигателей, для этого их характеристики сведем в таблицу 10.

Таблица 10 – Технические характеристики тяговых электродвигателей

Внешний вид				
Наименование электродвигателя	HPM-10 KW-Fan-Cooling	Agni 95 RDC Motor	Perm-Motor PMG-132	Golden Motor HPM3000B
Максимальная мощность, кВт	20	16	14,5	3
Максимальный крутящий момент, Н·м	60	53	38,5	25
Частота вращения, об/мин	6000	4000	3480	4200
Напряжение питания, В.	48-120	12-72	12-72	48-96
КПД, %	91	92	90	91
Масса, кг	17	11	11	8
Ориентировочная стоимость, руб.	123400	160000	96000	49300

HPM-10 KW-Fan-Cooling – бесщёточный, бесколлекторный электродвигатель постоянного тока (BLDC) 10 кВт с воздушным охлаждением. Применяется для оснащения электротранспорта: автомобилей, мотоциклов, квадроциклов, лодок и так далее. Данный электродвигатель обладает высокими техническими характеристиками.

Agni 95 RDC Motor – коллекторный двигатель постоянного тока. Применяется для оснащения электромобилей, электромотоциклов, обладает лучшим соотношением мощность/масса среди рассматриваемых электродвигателей, обладает высокой перегрузочной способностью [14].

Электродвигатель Perm-Motor PMG-132 – коллекторный двигатель постоянного тока. Может использоваться для рекуперативного торможения в режиме генератора. Применяется для оснащения скутеров, моторных лодок, легких электромобилей, картов, электроподъемников, ветрогенераторов. Двигатель обладает хорошим соотношением мощность/масса, обладает высокой перегрузочной способностью.

Электродвигатель НРМ3000В – бесщёточный, бесколлекторный электродвигатель постоянного тока (BLDC) 3 кВт с воздушным охлаждением. Применяется для оснащения электротранспорта: автомобилей, мотоциклов, квадроциклов, лодок. Данный электродвигатель обладает высокими техническими характеристиками и наименьшей ценой» [9].

Выбираем этот электродвигатель для нашего электромобиля. Как описывалось выше, используем 2 электродвигателя.

### 3.3.2 Выбор тягового аккумулятора

«Так как никель-металлогидридный и никель-кадмиевый аккумуляторы имеют значительно меньшую плотность энергии на единицу массы, чем литий-ионный и литий-железо-фосфатный аккумуляторы, их в процессе подбора не рассматриваем. При средней скорости 25 км/час и дальности хода 40 км требуемое время хода 1,6 ч. чистого времени» [23].

Определяем затрачиваемую энергию на движение по формуле:

$$Q = N_{II} \cdot t, \quad (25)$$

$$Q = 2830,5 \cdot 1,6 = 4528,8 \text{ Дж.}$$

Определяем ток отдачи батареи по формуле:

$$I_{отд} = \frac{N_{II}}{U}, \quad (26)$$

$$I_{отд} = \frac{2830,5}{48} = 58,96 \text{ А.}$$

Определяем минимальную емкость аккумуляторной батареи по формуле:

$$C = \frac{Q}{U}, \quad (27)$$

$$C = \frac{4528,8}{48} = 94,35 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Исходя из рассчитанных характеристик, с учетом достоинств и недостатков конструкций батарей, принимаем сборку из аккумуляторных батарей Winston WB-LYP100АНА-А (рисунок 24).

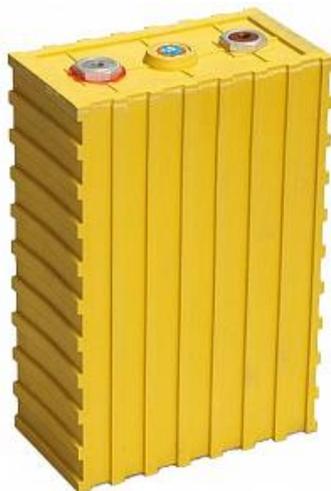


Рисунок 24 – Аккумуляторная батарея Winston WB-LYP100АНА-А

Сведем в таблицу 11 количество аккумуляторных батарей необходимое для достижения необходимого напряжения, массу полученных сборок и стоимость.

Таблица 11 – Сборка тяговых аккумуляторных батарей

Напряжение, В	3
Необходимое количество, шт.	16
Масса сборки, кг	52,8
Стоимость необходимого количества, руб.	230400

«Сборка из аккумуляторных батарей Winston WB-LYP100АНА-А позволит в полной мере реализовать потенциал электродвигателей и динамика автомобиля будет на высоте. Самый безопасный аккумулятор из всех литиевых АКБ. В отличие от свинцовых батарей срок эксплуатации больше до 25 раз, и в 10 раз выше срок эксплуатации обычных Li-ion АКБ. Высокая токоотдача, позволяющая выдавать большую мощность. Не самовоспламеняется, в отличие от литий-ионных батарей» [10].

Лучший вариант для разрабатываемого электромобиля.

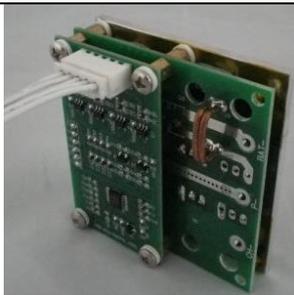
### 3.3.3 Выбор системы управления аккумулятором

«В целях обеспечения долговечности и безопасности при эксплуатации аккумуляторной сборки необходимо применять систему управления аккумулятором – Battery Management System» [13].

Рассмотрев возможные варианты системы управления аккумуляторной сборки, было выбрано 2 варианта: BMS-LBSJ4S200200LA180, PCB-FH4S40A.

«В таблице 12 приведены технические характеристики систем управления аккумулятором.

Таблица 12 – Технические характеристики систем управления аккумулятором [7]

«Модуль BMS	№1	№2
Маркировка модуля BMS	BMS-LBS J4S200200LF180	PCB-FH4S40A
Внешний вид модулей BMS		
Число ячеек	4	4
Максимальный ток нагрузки, А	350	100
Защита от глубокого разряда, В	2,0±0,25	2,0±0,3
Защита от перенапряжения, В	3,65±0,25	3,9±0,1
Функция балансировки	нет	есть
Отслеживание температуры ячеек	нет	есть
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	180×65×13	60×56×28
Масса, кг	0,09	0,08
Стоимость, руб.	5300	4670» [19]

Модуль BMS PCB-FH4S40A имеет приемлемые характеристики, имеется функция балансировки и имеется функция отслеживания температуры аккумуляторных ячеек. Для сборки из 16 аккумуляторных батарей Winston WB-LYP100АНА-А потребуется 8 модулей BMS PCB-FH4S40A» [7].

### 3.3.4 Выбор блока управления электродвигателями

Так как в данной конструкции используется два электродвигателя необходимо два блока управления электродвигателями. Зная требуемые величины токов и напряжений подберём подходящие блоки управления.

«Рассмотрев возможные варианты блоков управления электродвигателями, был выбран оптимальный вариант – синусный контроллер VEC200 (рисунок 25) с техническими характеристиками, представленными в таблице 13.

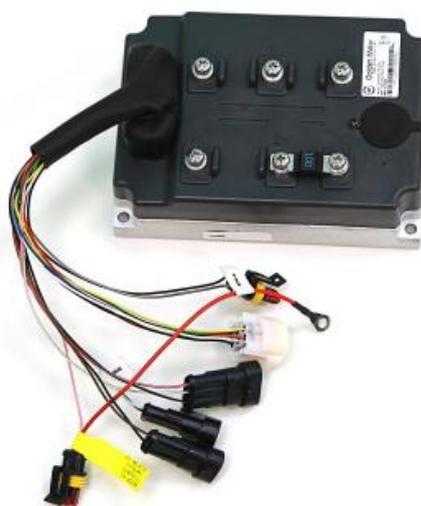


Рисунок 25 – Синусный контроллер VEC200

Таблица 13 – Технические характеристики синусного контроллера [14]

Параметр	Значение
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	170×120×50
Напряжение, В	48, 60, 72
Постоянный ток, А	до 80
Номинальная мощность, кВт	3,8-5,4
Пиковая мощность, кВт	9,6-14
Режим работы контроллера	управление моментом
Масса, кг	1,9
Стоимость, руб.	37200

Данная модель предназначена для управления работой BLDC двигателя, или бесщеточного электромотора мощностью 3 кВт. Он оснащен надежной защитой от влаги, перегрузок и перегрева. Устанавливается

практически на любой вид электротранспорта: велосипеды, мотоциклы, автомобили, лодки, тележки для гольфа и даже трехколесные велосипеды. Векторный контроллер VEC200 позволяет отслеживать и регулировать все параметры работы электродвигателя: выбор и переключение режима эксплуатации; получение и обработка данных с сенсоров и датчиков; вывод всех необходимых данных на дисплей; оценка уровня заряда аккумулятора.

Данная модель имеет большой запас прочности, благодаря широкому диапазону рабочего напряжения и тока. Контроллер имеет влагозащищенный прочный корпус и многоуровневую систему защиты от перегрузок.

Программирование производится через USB-порт, посредством специального USB кабеля для контроллеров VEC.

Батарея заряжается в момент торможения» [14].

### 3.3.5 Выбор плавких предохранителей

«После аккумулятора и системы управления аккумуляторами в цепи должны располагаться плавкие предохранители, они должны быть быстродействующими потому что, большие токи могут вывести из строя силовую электронику или ячейки аккумулятора» [21].

«В качестве плавких предохранителей принимаем предохранитель ЕТІ BS17UQ/41/180A/240V aR (100 kA) (рисунок 26) со следующими техническими характеристикам, представленными в таблице 14.

Таблица 14 – Технические характеристики предохранителя [16]

Параметр	Значение
Номинальное напряжение dc, В	120
Номинальный ток, А	180
Тип	BS
Типоразмер	BS17
Номинальное напряжение ac, В	240
Отключающая способность ac, кА	100
Отключающая способность dc, кА	100
Масса, кг	0,048



Рисунок 26 – Предохранитель BS17UQ/41/180A/240V aR» [16]

К преимуществам можно отнести:

- высокую отключающую способность, которая обеспечивает надежную защиту даже при значительных нагрузках сети.
- быстродействие, которое позволяет быстро отключить цепь при возникновении аварийной ситуации, минимизируя риск повреждения дорогостоящего оборудования.
- устойчивость к механическим воздействиям благодаря прочному корпусу

### **3.3.6 Выбор провода тяговой системы**

«Сечение провода выбираем исходя из величины тока, согласно значений допустимого длительного тока для проводов с медными жилами с резиновой изоляцией для электрифицированного транспорта 1, 3 и 4 кВ.

Выбираем сечение провода равное  $50 \text{ мм}^2$ , так как средний ток в тяговой системе будет около 200 А. Внешний диаметр провода составит  $14,9 \pm 0,3 \text{ мм}$ » [23].

### **3.3.7 Выбор солнечных панелей**

«Существуют следующие основные виды солнечных батарей:

- состоящие из монокристаллических модулей;
- состоящие из поликристаллических модулей;
- состоящие из тонкопленочных модулей.

Существуют и другие технологии, например органические модули, многослойные переходные солнечные элементы, концентрирующие и так далее. Но выбирая по критериям цена, качество, доступность, простота в эксплуатации и надежность, нужно выбирать из трёх вышеуказанных видов.

Первые два вида, это солнечные батареи, состоящие из монокристаллических и поликристаллических модулей. Они используются чаще всего, а те, которые доступны на рынке имеют схожие параметры эффективности 16-18%» [16].

«По размеру, чтобы получить 1 кВт/ч электроэнергии из солнечных батарей данного вида (моно или поликристаллические) необходимо застелить ими 6,5 м<sup>2</sup> - это чистая площадь солнечных батарей.

Средний рабочий вольтаж от одной панели колеблется в пределах 18-45 В, а ток 1-10 А, что позволяет применять этот вид панелей практически в любой системе и не требует больших дополнительных вложений» [19].

«В конструкции батареи, для защиты модулей, применяется специальное закалённое стекло и алюминиевый каркас, что делает их довольно прочными и способными выдержать удар стихии, будь то огромный град, горы снега или сильный ветер.

Данный вид солнечных батарей самый распространенный в мире, и он доказал свою надёжность и долговечность.

Преимуществом солнечных батарей состоящих из тонкопленочных модулей читается лучшая работа в пасмурные дни (из за размера) и лучшая работа в затененных условиях, но их размер в два, в три раза больше чем моно- или полимодулей. то есть чтобы получить 1 кВт/ч электроэнергии из солнечных батарей данного вида необходимо застелить ими 15,8 м<sup>2</sup> – это чистая площадь солнечных батарей» [18].

«Рассмотрев возможные варианты солнечных батарей, было выбрано 4 варианта. В таблице 15 приведены технические характеристики солнечных батарей.

Таблица 15 – Технические характеристики солнечных батарей

«Маркировка	YSP-5M	YSP-10M	SE-M-36-20	SE-M-36-30
Внешний вид				
Максимальная мощность, Вт	5	10	20	30
Напряжение холостого хода, В	21,5	22,32	22,1	22,1
Максимальное напряжение, В	17,5	18	17,6	17,6
Ток короткого замыкания, А	0,32	0,57	1,86	2,79
Габаритные размеры, мм	245×193×18	310×280×18	530×300×25	540×450×25
Масса, кг	0,8	1,1	2,1	3,2
Эффективность элемента, %	до 17	до 17	до 17	17
Стоимость, руб.	2250	2700	5400	6300» [19]

Принимаем солнечную батарею YSP-10M. На крышу транспортного средства поместятся солнечные батареи в количестве 9 штук, соединяем их параллельно. Общая площадь элементов солнечной батареи составит 0,78 м<sup>2</sup>, максимальная мощность 90 Вт» [17].

### 3.3.8 Выбор контроллера заряда для солнечных батарей

Контроллер заряда представляет собой критически важный компонент автономной энергосистемы, выполняющий ключевые функции: регулирование процесса заряда аккумуляторов, оптимизация использования солнечной энергии, защита аккумуляторных батарей от перезаряда/перезаряда, максимизация срока службы элементов системы.

Выполним сравнительный анализ типов контроллеров.

ON-OFF контроллеры (простейший тип) – бинарное включение/выключение заряда.

Основные недостатки: отсутствие регулировки зарядного тока и напряжения, снижение ресурса аккумуляторов на 20-30%, эффективность использования солнечной энергии не превышает 60-65%.

ШИМ (PWM) контроллеры реализуют широтно-импульсную модуляцию.

Ключевые особенности: постепенное снижение напряжения до требуемого уровня, поддержка многостадийного заряда (наполнение, насыщение, поддержка), ограничение максимального тока номиналом солнечных панелей, эффективность на уровне 70-75%.

MPPT контроллеры (наиболее совершенный тип) используют технологию отслеживания точки максимальной мощности.

Преимущества: повышение эффективности до 99%, автоматическая адаптация к изменяющимся условиям освещенности, увеличение тока заряда на 15-30% за счет оптимального преобразования напряжения, поддержка всех стадий заряда с интеллектуальным управлением параметрами.

Для проектируемого солнечного электромобиля выбран MPPT контроллер по следующим причинам:

- максимальная эффективность использования солнечной энергии (до 30% больше по сравнению с PWM),
- адаптивность к изменяющимся условиям эксплуатации,
- продление срока службы аккумуляторного банка за счет оптимального управления зарядом,
- компенсация потерь при частичном затемнении солнечных панелей,
- возможность работы с повышенными напряжениями от фотоэлектрических модулей.

Применение MPPT технологии обеспечит: увеличение суточного пробега на 15-20%, снижение нагрузки на аккумуляторную батарею, оптимальное использование площади солнечных панелей, стабильность работы системы в различных погодных условиях.

Выводы по разделу.

В разделе «Конструкторская часть» составлены техническое задание и предложение на разработку конструкции электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии, выполнен подбор электрооборудования.

## 4 Технологический раздел

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

В ходе данного процесса осуществляется:

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

Все операции выполняются в соответствии с:

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

Ключевыми характеристиками процесса являются:

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

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

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

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

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

Габаритные характеристики изделия являются определяющим параметром при проектировании процесса сборки:

- для крупногабаритных конструкций (корпуса машин, рамы) требуются: подъемно-транспортное оборудование (мостовые краны, тельферы), специализированные сборочные стенды, позиционная организация работ;

мелкие узлы и компоненты позволяют применять: роботизированные сборочные комплексы, конвейерные линии, высокую степень автоматизации.

#### **4.1 Обоснование выбора технологического процесса**

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 модернизированный задний мост карьерного самосвала грузоподъёмностью 60 тонн, 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.

«Для определения такта выпуска продукции используем формулу:

$$T_{д} = \frac{F_{д} \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (28)$$

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

$m$  – количество смен, принимается равным  $m = 1$ ;

$N$  – годовой объем выпуска, принимается равным 100» [11].

$$T_{д} = \frac{2070 \cdot 60 \cdot 1}{100} = 1242 \text{ мин.}$$

Такт выпуска равен 1242 мин.

«Такой подход позволяет оптимизировать затраты при ограниченных объемах производства

После завершения проектирования разрабатывается технологическая карта сборки, включающая:

- графическую схему последовательности операций,
- детальное описание всех сборочных этапов» [12].

Данный подход обеспечивает:

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

Спецификация операций узловой и общей сборки электрического гольф-кара с питанием от солнечной энергии приведена в таблице 16.

Таблица 16 – Перечень операций с указанием трудоемкости и необходимого оборудования технологического процесса сборки электрического гольф-кара

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время, мин
«Установить раму электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии на стапель	Рама должна быть зафиксирована без перекосов, крепление к стапелю – 4 болта М12 с моментом затяжки 50–60 Н·м	10» [18].
Взять аккумуляторную батарею 16 шт.	Батареи LiFePO <sub>4</sub> , 48В, 100А·ч. Проверить отсутствие повреждений корпуса и клемм	8
Осмотреть аккумуляторную батарею 16 шт.	Убедиться в отсутствии вмятин, коррозии клемм и утечек электролита	4
Установить аккумуляторную батарею 16 шт. на кронштейн	Кронштейн должен обеспечивать вентиляцию, зазор между батареями – не менее 5 мм. Крепление – болты М8 (16 шт.) с моментом 15–20 Н·м	20
Взять синусный контроллер	Контроллер 48В/3000Вт, входное напряжение до 60В	0,4
Осмотреть синусный контроллер	Проверить целостность корпуса, разъемов и отсутствие следов перегрева	0,3
Установить синусный контроллер	Монтаж на алюминиевый радиатор, зазор от других компонентов – не менее 5 см для вентиляции	3
Взять тяговые провода	Медные провода сечением 6 мм <sup>2</sup> , изоляция термостойкая (до 105°С)	0,3
Осмотреть тяговые провод	Проверить отсутствие повреждений изоляции и окисления контактов	0,4
Выполнить подключение тяговых проводов к сборке аккумуляторных батарей и синусному контроллеру	Затяжка клемм моментом 10–12 Н·м, соединения защищены термоусадкой	25
Взять плавкий предохранитель	Номинал 250А, быстродействующий	0,3
Осмотреть плавкий предохранитель	Проверить целостность и отсутствие деформации	0,2

Продолжение таблицы 16

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время, мин
«Выполнить подключение плавкого предохранителя после синусного контроллера	Установить в разрыв «+» цепи, закрепить в держателе с защелкой	3
Взять контроллер заряда для солнечных батарей	MPPT-контроллер, вход до 150В, выход 48В/30А	0,3
Осмотреть контроллер заряда для солнечных батарей	Проверить отсутствие повреждений и состояние разъемов	0,3» [18].
Установить контроллер заряда для солнечных батарей	Крепление на DIN-рейку, расстояние от синусного контроллера – не менее 10 см	6
Взять солнечную панель 9 шт.	Мощность 300Вт/36В, габариты 1700×1000 мм	4
Осмотреть солнечную панель 9 шт.	Проверить целостность стекла, отсутствие трещин и повреждений контактов	2
Взять болт 20 шт.	Болты М8×25, класс прочности 8.8	0,6
Наживить болт 20 шт. на верхнюю часть рамы	Предварительная фиксация без затяжки	2
Установить солнечную панель 9 шт. на крыше электромобиля типа гольф-кар	Зазор между панелями 2–3 мм, крепление – болты с герметиком (момент 8–10 Н·м)	60
Взять шайбу 20 шт.	Пружинные шайбы (гровер) М8.	0,6
Установить шайбу 20 шт. на болт 20 шт.	Шайба должна быть под головкой болта	1,5
Взять гайку 20 шт.	Гайки М8, класс прочности 8	0,6
«Наживить гайку 20 шт.	Предварительная затяжка вручную	2
Завернуть гайку 20 шт.	Окончательная затяжка моментом 20–25 Н·м	4
Взять электрические провода	Сечение 4 мм <sup>2</sup> , термостойкая изоляция	0,3
Осмотреть электрические провода	Проверить отсутствие повреждений	0,3
Проложить электрические провода от солнечных панелей	Фиксация кабель-каналами с шагом 30 см, избегать перегибов	45
Выполнить соединение солнечных панелей и контроллера заряда для солнечных батарей	Полярность строго соблюдена, соединения герметичны (использовать термоусадку)	30
Взять подшипниковые опоры 2 шт.	Подшипники 6205, закрытого типа	0,3
Осмотреть подшипниковые опоры 2 шт.	Проверить плавность вращения, отсутствие люфта	0,3
Установить подшипниковые опоры 2 шт. на раму	Крепление болтами М10, момент затяжки 30–35 Н·м	6
Взять вал	Сталь 40Х, диаметр 30 мм, шлифованная поверхность	0,3
Осмотреть вал	Проверить отсутствие деформаций и заусенцев	0,3» [18].

Продолжение таблицы 16

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время, мин
«Установить вал на подшипниковые опоры 2 шт.	Осевой люфт не более 0,1 мм	3
Взять BLDC электродвигатель 2 шт.	–	0,4
Осмотреть BLDC электродвигатель 2 шт.	Проверить целостность корпуса и разъемов	0,3» [18].
Установить BLDC электродвигатель 2 шт. на вал	Соосность вала и двигателя $\pm 0,2$ мм, крепление – 4 болта М8 (момент 15 Н·м)	35
Взять рулевой вал	Диаметр 25 мм, длина 1200 мм, сталь 45	0,6
Осмотреть рулевой вал	Проверить отсутствие деформаций	0,3
Установить рулевой вал	Закрепить через карданные шарниры, люфт не более 1°	19
Взять рулевую рейку	Передаточное отношение 1:18, люфт $\leq 0,5$ мм	0,4
Осмотреть рулевую рейку	Проверить плавность хода	0,3
Установить рулевую рейку	Крепление к раме – 4 болта М10 (момент 40 Н·м)	26
«Взять регулировочную гайку	Гайка М12, класс прочности 8	0,2
Завернуть регулировочную гайку с моментом 70-90 Н·м	Контроль момента динамометрическим ключом	1
Взять рулевую тягу с шарниром	Шарнир шаровый, без люфта	0,4
Осмотреть рулевую тягу с шарниром	Проверить отсутствие повреждений пыльника	0,3
Установить рулевую тягу с шарниром	Затяжка контргайки моментом 50 Н·м	12
Взять рулевую сошку	Литая сталь, крепление под болт М12	0,4
Осмотреть рулевую сошку	Проверить отсутствие трещин	0,3
Установить рулевую сошку	Крепление моментом 60 Н·м	6
Взять гайку шестигранную 4 шт.	Гайки М10, класс прочности 8	0,3
Наживить гайку шестигранную 4 шт.	Предварительная затяжка	0,7
Завернуть гайку шестигранную 4 шт.	Гайка М12, класс прочности 8	1
Взять поворотный кулак левый	Контроль момента динамометрическим ключом	0,2
Осмотреть поворотный кулак левый	Шарнир шаровый, без люфта	0,3
Установить поворотный кулак левый	Проверить отсутствие повреждений пыльника	10
Взять поворотный кулак правый	Затяжка контргайки моментом 50 Н·м	0,2
Осмотреть поворотный кулак правый	Литая сталь, крепление под болт М12	0,3» [18].
Установить поворотный кулак правый	Проверить отсутствие трещин.	10
Взять болт шестигранный 4 шт.	Крепление моментом 60 Н·м	0,3
Вставить болт шестигранный 4 шт.	Гайки М10, класс прочности 8	0,3
Взять гайку шестигранную 4 шт.	Предварительная затяжка	0,3

Продолжение таблицы 16

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время, мин
Наживить гайку шестигранную 4 шт.	Гайка М12, класс прочности 8	0,7
Завернуть гайку шестигранную 4 шт.	Окончательная затяжка моментом 45 Н·м	1
Взять сиденье 2 шт.	Каркас – сталь, обивка – влагостойкая ткань	0,8
Осмотреть сиденье 2 шт.	Проверить отсутствие повреждений	0,3
Установить сиденье 2 шт.	Крепление болтами М8 (момент 20 Н·м), регулировка по длине	18
«Взять зеркало заднего вида 2 шт.	Стекло без трещин, регулируемое крепление	0,4
Осмотреть зеркало заднего вида 2 шт.	Проверить четкость отражения	0,3
Установить зеркало заднего вида 2 шт.	Крепление моментом 8–10 Н·м, угол обзора $\geq 120^\circ$	8
Взять заднюю подвеску в сборе	Амортизаторы масляные, ход 100 мм	0,8
Осмотреть заднюю подвеску в сборе	Проверить отсутствие течи масла	0,5
Установить заднюю подвеску в сборе	Крепление болтами М12 (момент 70 Н·м), соосность колес	60
Взять переднюю подвеску в сборе	Аналогично задней	0,8
Осмотреть переднюю подвеску в сборе	Проверить состояние сайлент-блоков	0,5
Установить переднюю подвеску в сборе	Крепление болтами М12 (момент 70 Н·м), угол развала $0,5^\circ$	60
Взять тормозной диск 2 шт.	Диаметр 240 мм, толщина 5 мм	0,5
Осмотреть тормозной диск 2 шт.	Проверить отсутствие биения и трещин	0,3
Установить тормозной диск 2 шт. на поворотный кулак левый/правый	Крепление болтами М6 (момент 12 Н·м), биение $\leq 0,1$ мм	14
Взять суппорт 2 шт.	2-поршневой, крепление под болт М8	0,4
Осмотреть суппорт 2 шт.	Проверить отсутствие течи тормозной жидкости	0,3» [18].
Установить суппорт 2 шт. на тормозной диск 2 шт.	Зазор колодок 0,3–0,5 мм, крепление моментом 25 Н·м	12
«Взять тормозные колодки 2 шт.	Материал – керамика, толщина $\geq 8$ мм	0,3
Осмотреть тормозные колодки 2 шт.	Проверить отсутствие износа ниже минимальной отметки	0,2
Установить тормозные колодки 2 шт. на суппорт 2 шт.	Фиксация пружинными клипсами	8
Взять бачок для тормозной жидкости	Объем 200 мл, с датчиком уровня	0,2» [18].
Осмотреть бачок для тормозной жидкости	Проверить герметичность	0,2
Установить бачок для тормозной жидкости на раме	Крепление пластиковыми хомутами, уровень жидкости – между минимум и максимумом	6

## Продолжение таблицы 16

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время, мин
Взять тормозные шланги 2 шт.	Длина 600 мм, давление до 100 бар	0,3
«Осмотреть тормозные шланги 2 шт.	Проверить отсутствие трещин.	0,2
Подключить тормозные шланги к тормозному суппорту 2 шт.	Затяжка моментом 35 Н·м, прокачать систему	11
Взять колеса 4 шт.	Диаметр 16", ширина 5", давление 2,2 атм	2
Осмотреть колеса 4 шт.	Проверить отсутствие повреждений дисков и покрышек	0,8
Установить колеса 4 шт.	Крепление болтами М12×1,5 (момент 90–100 Н·м)	10
Снять электромобиль типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии со стапеля	Проверить отсутствие помех при движении	6» [18].
Выполнить испытание электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии	Проверка: разгон до 30 км/ч, торможение, работа солнечной системы	120
Итого:		716,2

Технологическая схема сборки электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии представлена в графической части ВКР.

### 4.2 Определение трудоемкости сборки

«Определяем общее оперативное время на все виды работ по формуле:

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

Определяем суммарную трудоемкость сборки изделия по формуле:

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

где  $\alpha$  – часть оперативного времени на организационно-техническое обслуживание рабочего места в процентах 2-3%, принимаем 3%;

$\beta$  – часть оперативного времени для перерыва и отдыха в процентах  
 $\beta=4-6\%$ , принимаем  $\beta=5\%$ » [11].

$$t_{шт}^{общ} = 716,2 + 716,2 \cdot \left( \frac{3+5}{100} \right) = 773,5 \text{ мин.}$$

Суммарная трудоемкость сборки составляет 773,5 мин.

### 4.3 Составление технологического процесса сборки электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии

Последовательность технологических операций с указанием приспособлений и затрачиваемого на выполнение операций времени заносим в таблицу 17.

Таблица 17 – Технологический процесс сборки электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время мин.
005	Сборочная	«1	Установить раму электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии на стапель	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), резиновая киянка,	596,2
		2	Взять аккумуляторную батарею 16 шт.		
		3	Осмотреть аккумуляторную батарею 16 шт.		
		4	Установить аккумуляторную батарею 16 шт. на кронштейн		
		5	Взять синусный контроллер» [18].		

Продолжение таблицы 17

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время мин.
		«6	Осмотреть синусный контроллер	сварочный аппарат, оправка, плоскогубцы, кусачки, молоток слесарный (800 г), съемник стопорных колец (наружных и внутренних), съемник подшипников (универсальный набор), съемник шаровых опор натяжитель цепи, инструмент для запрессовки сайлентблоков, съемник суппортов, электроинструмент, ударный гайковерт (1/2"), шуруповерт аккумуляторный, дрель с набором сверл по металлу, болгарка с отрезными кругами, термофен для усадки изоляции,	
		7	Установить синусный контроллер		
		8	Взять тяговые провода		
		9	Осмотреть тяговые провод		
		10	Выполнить подключение тяговых проводов к сборке аккумуляторных батарей и синусному контроллеру		
		11	Взять плавкий предохранитель		
		12	Осмотреть плавкий предохранитель		
		13	Выполнить подключение плавкого предохранителя после синусного контроллера		
		14	Взять контроллер заряда для солнечных батарей		
		15	Осмотреть контроллер заряда для солнечных батарей		
		16	Установить контроллер заряда для солнечных батарей		
		17	Взять солнечную панель 9 шт.		
		18	Осмотреть солнечную панель 9 шт.		
		19	Взять болт 20 шт.		
		20	Наживить болт 20 шт. на верхнюю часть рамы		
		21	Установить солнечную панель 9 шт. на крыше автомобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии		
		22	Взять шайбу 20 шт.		
		23	Установить шайбу 20 шт. на болт 20 шт.		
		24	Взять гайку 20 шт» [12].		

Продолжение таблицы 17

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время мин.
		«25	Наживить гайку 20 шт.		
		26	Завернуть гайку 20 шт.		
		27	Взять электрические провода		
		28	Осмотреть электрические провода		
		29	Проложить электрические провода от солнечных панелей		
		30	Выполнить соединение солнечных панелей и контроллера заряда для солнечных батарей		
		31	Взять подшипниковые опоры 2 шт.		
		32	Осмотреть подшипниковые опоры 2 шт.		
		33	Установить подшипниковые опоры 2 шт. на раму		
		34	Взять вал		
		35	Осмотреть вал		
		36	Установить вал на подшипниковые опоры 2 шт.		
		37	Взять BLDC электродвигатель 2 шт.		
		38	Осмотреть BLDC электродвигатель 2 шт.		
		39	Установить BLDC электродвигатель 2 шт. на вал		
		40	Взять рулевой вал		
		41	Установить рулевой вал		
		42	Взять рулевую рейку		
		43	Осмотреть рулевую рейку		
		44	Установить рулевую рейку		
		45	Взять регулировочную гайку» [18].		

Продолжение таблицы 17

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время, мин.
		«46	Завернуть регулировочную гайку с моментом 70-90 Н·м		
		47	Взять рулевую тягу с шарниром		
		48	Осмотреть рулевую тягу с шарниром		
		49	Установить рулевую тягу с шарниром		
		50	Взять рулевую сошку		
		51	Осмотреть рулевую сошку		
		52	Установить рулевую сошку		
		53	Взять гайку шестигранную 4 шт.		
		54	Наживить гайку шестигранную 4 шт.		
		55	Завернуть гайку шестигранную 4 шт.		
		56	Взять поворотный кулак левый		
		57	Осмотреть поворотный кулак левый		
		58	Установить поворотный кулак левый		
		59	Взять поворотный кулак правый		
		60	Осмотреть поворотный кулак правый		
		61	Установить поворотный кулак правый		
		62	Взять болт шестигранный 4 шт.		
		63	Вставить болт шестигранный 4 шт.		
		64	Взять гайку шестигранную 4 шт.		
		65	Наживить гайку шестигранную 4 шт.		
		66	Завернуть гайку шестигранную» [12].		

Продолжение таблицы 17

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время мин.
		«67	Взять сиденье 2 шт.		
		68	Осмотреть сиденье 2 шт.		
		69	Установить сиденье 2 шт.		
		70	Взять зеркало заднего вида 2 шт.		
		71	Осмотреть зеркало заднего вида 2 шт.		
		72	Установить зеркало заднего вида 2 шт.		
		73	Взять заднюю подвеску в сборе		
		74	Осмотреть заднюю подвеску в сборе		
		75	Установить заднюю подвеску в сборе		
		76	Взять переднюю подвеску в сборе		
		77	Осмотреть переднюю подвеску в сборе		
		78	Установить переднюю подвеску в сборе		
		79	Взять тормозной диск 2 шт.		
		80	Осмотреть тормозной диск 2 шт.		
		81	Установить тормозной диск 2 шт. на поворотный кулак левый/правый		
		82	Взять суппорт 2 шт.		
		83	Осмотреть суппорт 2 шт.		
		84	Установить суппорт 2 шт. на тормозной диск 2 шт.		
		85	Взять тормозные колодки 2 шт.		
		86	Осмотреть тормозные колодки 2 шт.		
		87	Установить тормозные колодки 2 шт. на суппорт 2 шт.		
		88	Взять бачок для тормозной жидкости» [18].		

Продолжение таблицы 17

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время мин.
		«89	Осмотреть бачок для тормозной жидкости		
		90	Установить бачок для тормозной жидкости на раме		
		91	Взять тормозные шланги 2 шт.		
		92	Осмотреть тормозные шланги 2 шт.		
		93	Подключить тормозные шланги к тормозному суппорту 2 шт.		
		94	Взять колеса 4 шт.		
		95	Осмотреть колеса 4 шт.		
		96	Установить колеса 4 шт.		
		97	Снять электромобиль типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии со стапеля» [18].		
«010	Регулировочная	1	Выполнить испытание электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии	Мультиметр	120» [18].

Дополнительные требования при сборке и испытаниях электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии.

Сборка должна проводиться в помещении с минимальным количеством пыли и влажности (оптимально: влажность  $\leq 60\%$ , температура  $+15\dots+25^{\circ}\text{C}$ ).

Перед установкой электронных компонентов (контроллеры, аккумуляторы) рабочая поверхность должна быть очищена от металлической стружки и статически нейтрализована.

Использовать только исправный инструмент с калиброванным моментом затяжки.

Все резьбовые соединения должны быть обработаны антикоррозийной смазкой (например, Loctite 243).

Болты и гайки, подверженные вибрации (подвеска, рулевое управление), должны фиксироваться контргайками или стопорными шайбами.

Перед подключением проводов убедиться, что система обесточена (аккумуляторы отключены, солнечные панели закрыты).

Все высоковольтные соединения ( $\geq 48\text{В}$ ) должны быть изолированы двойным слоем термоусадки или защищены корпусом.

Запрещается использовать поврежденные провода или компоненты с признаками перегрева.

Требования к установке солнечной системы.

Угол наклона панелей должен соответствовать широте местности ( $\pm 15^\circ$  для оптимального КПД).

Зазор между панелями – не менее 5 мм для компенсации температурного расширения.

Крепежные элементы должны быть устойчивы к ультрафиолету (нержавеющая сталь или анодированный алюминий).

Кабели от панелей к контроллеру должны быть проложены в гофре или кабель-канале, без перегибов под острым углом.

Настройки контроллера должны соответствовать типу аккумулятора.

При первом включении проверить: напряжение холостого хода солнечных панелей (должно быть в пределах паспортных значений); корректность работы MPPT-алгоритма (если предусмотрено).

Выводы по разделу.

В разделе «Технологический раздел» выполнено обоснование выбора технологического процесса, определена трудоемкость сборки, составлен технологический процесс сборки электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии.

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

Рассмотрим особенности производственной и экологической безопасности в автомобилестроении.

Технологические риски:

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

К мерам обеспечения безопасности относятся:

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

Основные источники воздействия на экологическую безопасность:

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

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

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

### 5.1 Структурно-функциональный анализ

Для детального исследования сборочного цикла, либо технологического процесса обслуживания, включая его конструктивные параметры и организационно-технические условия, необходимо разработать технологический паспорт (таблица 19).

Таблица 19 – Технологический паспорт технологического процесса сборки электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
«Сборка электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии»	1 Сборка рамы. 2 Покраска рамы. 3 Сборка электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии. 4 Испытание электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии	2 слесаря по ремонту автомобилей пятого разряда» [21].	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
			<p>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</p>	

Продолжение таблицы 19

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
			электронный, угломер, люфтомер для подшипников, светильник переносной на струбине, компрессор с пневмоинструментом, 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 (микробактерии, вирусы, аллергены), психофизиологических нагрузок (стресс, монотонность операций), эргономических проблем (неудобные позы, чрезмерные нагрузки);
- количественная и качественная оценка угроз: расчет вероятности возникновения опасных ситуаций, прогнозирование возможного ущерба здоровью сотрудников, ранжирование рисков по степени значимости;
- разработка защитных мер: внедрение многоуровневой системы защиты, включающей технические усовершенствования (модернизация оборудования), организационные изменения (оптимизация рабочих процессов), средства индивидуальной защиты; целевые программы обучения персонала, периодические контрольные проверки;

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

Практическая значимость систематической оценки производственных рисков заключается в создании безопасной рабочей среды, предупреждении профессиональных заболеваний, снижении экономических потерь от несчастных случаев, повышении производственной дисциплины, обеспечении соответствия требованиям регуляторных органов.

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

В представленной таблице 20 систематизированы данные по выявленным профессиональным рискам, характерным для процесса сборки электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии.

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 электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии. 3 Испытание и доводка электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии»	Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях деталей электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии	Элементы конструкции электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии.
	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 излучение сварочной дуги	Сварочный аппарат, сварка рамы.
	Электромагнитные поля	
	Искры и брызги, выбросы расплавленного шлака и металл	
	Возможность поражения электрическим током	Инструмент в зоне проведения технического обслуживания» [12].
	«Отсутствие или недостаток естественного света	Недостаточное количество окон, световых колодцев в помещении, где производится технологический процесс» [12].
	«Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой	Однообразно повторяющиеся технологические операции. Операции, требующие повышенного внимания и точности» [12]
	Напряжение зрительных анализаторов	
	Монотонность труда, вызывающая монотонию	

Оценка рисков проведена по методике ГОСТ 12.0.230-2007. Таблица позволяет наглядно сопоставить технологические операции с соответствующими рисками и разработать комплекс профилактических

мероприятий для минимизации профессиональных заболеваний и травматизма.

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

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

Технические решения:

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

Организационные мероприятия:

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

Средства индивидуальной защиты:

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

Инженерные разработки:

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

Профилактические программы:

- медицинские осмотры,

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

Особое внимание уделяется:

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

Реализация данных мер позволяет:

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

Эффективность применяемых методов регулярно оценивается через:

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

Для эффективного решения обозначенных проблем необходимо:

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

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

Таблица 21 – Мероприятия по снижению профессиональных рисков

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
«Движущиеся машины и механизмы,	Организационно-технические мероприятия: – инструктажи по охране труда;	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе

Продолжение таблицы 21

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

Продолжение таблицы 21

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– шума оборудования</li> <li>– внедрение шумопонижающих технологий (вибрационные демпферы, звукоизолирующие кожухи, акустические экраны); приоритетная замена устаревшего шумного оборудования.</li> </ul> <p>Организация рабочего процесса:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– введение регламентированных «тихих пауз»;</li> <li>– создание зон акустической разгрузки;</li> <li>– оптимизация графика работы с учетом шумовой нагрузки.</li> </ul> <p>Тренинги по:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– техникам стрессоустойчивости;</li> <li>– методам звуковой релаксации;</li> <li>– профилактике слухового утомления.</li> </ul> <p>Консультации корпоративного психолога</p> <p>Инженерные решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– установка звукопоглощающих панелей;</li> <li>– применение антивибрационных креплений;</li> <li>– модернизация вентиляционных систем;</li> <li>– использование шумоподавляющих материалов</li> </ul>	
«Возможность поражения электрическим током	<p>Образовательные мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– проведение специализированных курсов по принципам безопасной эксплуатации электроустановок, методам идентификации опасных участков, правилам применения электрозащитных средств;</li> <li>– организация регулярных тематических семинаров с разбором реальных случаев</li> </ul> <p>Практическая подготовка</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ежеквартальные тренировки по алгоритмам действий в аварийных ситуациях,</li> </ul>	Индивидуальные защитные и экранирующие комплекты для защиты от электрических полей» [12].

Продолжение таблицы 21

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– технике безопасного отключения оборудования, особенностям работы под напряжением;</li> <li>– внедрение системы ежегодной аттестации электротехнического персонала</li> </ul> <p>Техническая защита:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– оснащение рабочих мест современными устройствами защитного отключения, диэлектрическими коврами и инструментами, сигнализаторами напряжения, заземляющими устройствами нового поколения.</li> </ul> <p>Профилактический контроль:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– внедрение системы планово-предупредительных ремонтов:</li> <li>– ежемесячный осмотр силовых линий,</li> <li>– термографический контроль соединений,</li> <li>– диагностика изоляции электрооборудования,</li> <li>– ведение электронного журнала технического состояния.</li> </ul> <p>Административный надзор:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– реализация трехступенчатой системы контроля,</li> <li>– ежедневный осмотр ответственным лицом,</li> <li>– еженедельная проверка начальником участка,</li> <li>– месячная комиссия инспекция,</li> <li>– автоматизированная система учета нарушений</li> </ul> <p>Медицинское сопровождение:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– углубленные медосмотры для электротехперсонала: проверка нервной системы; контроль сердечно-сосудистых показателей; тесты на скорость реакции</li> </ul>	

Продолжение таблицы 21

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
Отсутствие или недостаток естественного света	<p>Оптимальное расположение рабочих мест с акцентом на естественный свет (размещение столов и зон активности рядом с окнами или в хорошо освещённых участках).</p> <p>Использование прозрачных конструкций для свободного проникновения дневного света (стеклянные перегородки, светопропускающие стены или другие решения, обеспечивающие равномерное освещение без искусственных источников)</p>	
«Монотонность труда	<ul style="list-style-type: none"> <li>– чередование задач и ротация видов деятельности, периодическая смена рабочих операций для предотвращения однообразия и поддержания вовлеченности;</li> <li>– внедрение элементов автономности и разнообразия, предоставление сотрудникам возможности влиять на порядок выполнения задач и варьировать методы работы;</li> <li>– регламентированные перерывы и микропаузы, введение коротких перерывов для отдыха и смены активности в течение рабочего дня;</li> <li>– использование технологических решений, автоматизация рутинных процессов и применение интерактивных систем для повышения вариативности труда;</li> <li>– психологическая разгрузка и мотивация, организация зон отдыха, проведение мини-тренингов или использование геймификации для поддержания интереса</li> </ul> <p>Мероприятия подбираются с учетом специфики труда и рекомендаций по охране здоровья (СНиП, СанПиН, ТК РФ)</p>	

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

#### 5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

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

Этот план должен быть доступен всем сотрудникам и регулярно пересматриваться.

План пожарной безопасности содержит:

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

Производим анализ потенциальных источников пожаров и определяем опасные факторы, способные их вызвать (таблица 22).

Таблица 22 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
«Участок сборки»	Технологическое оборудование, применяемое на участке сборки	В	Пламя и искры, повышенная температура окружающей среды, повышенная	Образующиеся в процессе пожара осколки, части разрушившихся строительных зданий,

Продолжение таблицы 22

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
			концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения	инженерных сооружений, оборудования, технологических установок» [17].

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

- первичные средства пожаротушения: огнетушители (пенные, порошковые, углекислотные, хладоновые); пожарные щиты и инвентарь (вёдра, лопаты, ящики с песком, кошмы (противопожарные полотна), багры, топоры, ломы);
- пожарные автомобили: основные (АЦ – автоцистерны, АНР – насосно-рукавные); специальные (автолестницы, дымоудаление, аварийно-спасательные);
- пожарные поезда, суда, вертолёты (для спецобъектов);
- мотопомпы (переносные насосы для воды).
- установки пожаротушения: автоматические системы (водяные (спринклерные, дренчерные), газовые, порошковые, аэрозольные);
- пожарные краны и рукава (в зданиях);
- пожарная сигнализация и связь (извещатели (дымовые, тепловые, ручные);
- приёмно-контрольные приборы (ПКП);
- системы оповещения (громкоговорители, световые табло);
- средства индивидуальной защиты (СИЗ) для пожарных: костюмы, каски, дыхательные аппараты (ДАСВ), теплоотражающие экраны; для эвакуируемых: противогазы, самоспасатели (например, «Феникс»);

- специальная техника: роботы-пожарные (для АЭС, химических объектов); термокамеры и тепловизоры для поиска очагов.

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

- первичные средства пожаротушения – внутренний пожарный кран, щит пожарный с песком и инвентарем (лом, багор пожарный, топор, комплект для резки электропроводов, лопата совковая, полотно асбестовое), универсальный огнетушитель порошковый ОП-10 – 1 шт., воздушно-пенный огнетушитель ОВП-12 – 1 шт.;
- мобильные средства пожаротушения предназначены для тушения пожаров с возможностью перемещения (мотопомпа для тушения возгораний);
- стационарные средства пожаротушения состоят из трубопроводов, в случае с наполнением из воды, пара или пены. Система трубопроводов соединяет автоматические устройства и оборудование. Приборы реагируют на повышенную температуру, сигнал передается на датчики. Затем происходит включение насосов, подающих воду» [16].

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

Цели разработки планов:

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

Рассмотрим основные виды планов по пожарной безопасности.

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

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

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

План противопожарных мероприятий содержит:

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

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

Разработка планов состоит из 5 этапов:

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

Разрабатываем планы соблюдения требований пожарной безопасности при сборке электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии (таблица 23).

Таблица 23 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при сборке электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии

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, которые касаются его личной защиты в ЧС.

### **5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса сборки электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии**

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

Ключевые аспекты:

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

Основные направления:

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

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

Выполняем идентификацию негативных (вредных, опасных) экологических факторов, возникающих при технологическом процессе

сборки электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии 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 электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии»	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» [5].

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 <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> O	ПДК для металлической пыли – 0,5–10 мг/м <sup>3</sup> (зависит от металла). ПДК для масляных аэрозолей – 5 мг/м <sup>3</sup> (СанПиН 1.2.3685-21).
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 автомобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии;
- 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 электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии воспользуемся формулой:

$$C_{\text{кон}} = C_{\text{к.д}} + C_{\text{о.д}} + C_{\text{сб.п}} + C_{\text{п.д}} + C_{\text{о.н}}, \quad (31)$$

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

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

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

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

$C_{\text{о.н}}$  – общепроизводственные накладные расходы на изготовление конструкции, р.» [12].

«Стоимость изготовления корпусных деталей рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{к.д}} = Q_{\text{к}} \cdot C_{\text{к}}, \quad (32)$$

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

$C_{\text{к}}$  – средняя стоимость 1 кг готовых деталей, р./кг» [12].

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 из стандартного проката	Ст3	120	120	78,8	9456
Итого:	–	–	–	–	9456

$$C_{К.д} = 120 \cdot 78,8 = 9456 \text{ р.}$$

«Затраты на изготовление оригинальных деталей определяем по формуле:

$$C_{О.д} = C_{ПРН} + C_M, \quad (33)$$

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.» [12].

«Заработную плату рассчитываем по формуле:

$$C_{ПР} = t \cdot C_q \cdot k_t, \quad (34)$$

где  $t$  – средняя трудоемкость на изготовление отдельных деталей: кронштейн крепления аккумуляторных батарей – 6 шт., задний вал – 1 шт., поворотный кулак – 2 шт. трудоёмкость на изготовление деталей: кронштейн крепления аккумуляторных батарей – 0,9 чел.-ч., задний вал – 1,8 чел.-ч., поворотный кулак – 2 чел.-ч.

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

$k_t$  – коэффициент, учитывающий доплаты к основной зарплате, принимаем равным 1,030» [12].

$$t = (6 \cdot t_{\text{кронштейн}} + 2 \cdot t_{\text{поворотный кулак}} + 1 \cdot t_{\text{вал}}),$$

$$t = 6 \cdot 0,9 + 1 \cdot 1,8 + 2 \cdot 2 = 11,2 \text{ чел.-ч.}$$

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

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

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

$$C_{\text{пр}} = 11,2 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 2625,59 \text{ р.}$$

Определяем дополнительную заработную плату по формуле:

$$C_{\text{д}} = (5 \dots 12) \cdot C_{\text{пр}} / 100, \quad (35)$$

$$C_{\text{д}} = 10 \cdot 2625,59 / 100 = 262,55 \text{ р.}$$

Начисления на заработную плату определяем по формуле:

$$C_{\text{соц}} = 30 \cdot (C_{\text{пр}} + C_{\text{д}}) / 100, \quad (36)$$

$$C_{\text{соц}} = 30 \cdot (2625,59 + 262,55) / 100 = 866,44 \text{ р.},$$

$$C_{\text{злп}} = 2625,59 + 262,55 + 866,44 = 3754,58 \text{ р.}$$

В таблице 27 представлена заработная плата на изготовление оригинальных деталей.

Таблица 27 – Заработная плата на изготовление оригинальных деталей

Значение	Сумма, руб.
Заработная плата	2625,59
Дополнительная заработная плата	262,55
Начисления на заработную плату	866,44
Итого:	3754,58

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

$$C_M = C \cdot Q_3, \quad (37)$$

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

$Q_3$  – масса заготовки, кг» [12].

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.
Кронштейн крепления аккумуляторных батарей	Сталь 45	6	6	86,9	521,4
Задний вал	Ст3	1	2,5	74,7	186,75
Поворотный кулак	Сталь 40	2	6	85,7	514,2
Итого:	–	–	–	–	1222,35

$$C_M = 6 \cdot 86,9 + 2,5 \cdot 74,7 + 6 \cdot 85,7 = 1222,35 \text{ р.}$$

$$C_{O,Д} = 3754,58 + 1222,35 = 4976,93 \text{ р.}$$

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

$$C_{CB.П} = C_{CB} + C_{Д.СБ} + C_{СОЦ.СБ}, \quad (38)$$

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» [12].

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

$$C_{CB} = T_{CB} \cdot C_{д.сб} \cdot k_i, \quad (39)$$

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

Значение определяем по формуле:

$$T_{CB} = k_C \cdot \Sigma t_{CB}, \quad (40)$$

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

$k_C$  – коэффициент, учитывающий непредусмотренные работы, 1,1...1,5» [12].

По справочным данным принимаем трудоемкость сборки составных частей равной 12 чел.-ч.

$$T_{CB} = 1,25 \cdot 12 = 15 \text{ чел.-ч.}$$

Тогда заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке определится:

$$C_{CB} = 15 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 3516,42 \text{ р.,}$$

$$C_{д.сб} = 0,1 \cdot 3516,42 = 351,64 \text{ р.,}$$

$$C_{соц.сб} = 0,3 \cdot (3516,42 + 351,64) = 1160,42 \text{ р.}$$

$$C_{сб.п} = 3516,42 + 351,64 + 1160,42 = 5028,48 \text{ р.}$$

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	3516,42
Дополнительная заработная плата	351,64
Страховые взносы в фонды	1160,42
Итого	5028,48

«Общепроизводственные накладные расходы на изготовление приспособления определяем по формуле:

$$C_{OH} = \frac{(C_{PP}' \cdot R_{OP})}{100}, \quad (41)$$

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

$R_{OP}$  – процент общепроизводственных накладных расходов» [12].

$$C_{PP}' = (C_{PP} + C_{CB}). \quad (42)$$

Подставив числовые значения в формулу 69 получим:

$$C_{PP}' = 2625,59 + 3516,42 = 6142,01 \text{ р.},$$

$$C_{OH} = \frac{(6142,01 \cdot 15)}{100} = 921,3 \text{ р.}$$

«Для данной конструкции необходимо приобрести следующие компоненты: солнечную панель – 9 шт., аккумуляторную батарею 16 – шт., тяговый электродвигатель – 2 шт., контроллер – 1 шт., педальный узел – 1 шт., амортизаторы – 4 шт., а также метизы. Перечень покупных деталей представлен в таблице 30» [12].

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

Значение	Количество, шт.	Цена, руб.	Сумма, руб.
Солнечная панель	9	7475	67275
Аккумуляторная батарея	16	16560	264960
Тяговый электродвигатель	2	56695	113390
Контроллер	1	42780	42780
Педальный узел	1	6440	6440
Амортизатор	4	2185	8740
Болт	28	4,83	135,24
Гайка	24	3,68	88,32
Шайба	20	2,415	48,3
Грунт-эмаль	1	1518	1518
Краска-эмаль по металлу	1	3358	3358
Разное	–	–	48500
Итого:			557232,86

$$C_{ИД} = 67275 + 264960 + 113390 + 42780 + 6440 + 8740 + 135,24 + 88,32 + 48,3 + 1518 + 3358 + 48500 = 557232,86 \text{ р.}$$

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

$$C_{КОН} = 9456 + 4976,93 + 3516,42 + 921,3 + 557232,86 = 576103,51 \text{ р.}$$

Таблица 31 – Затраты на изготовление конструкции

Значение	Сумма, руб.
Стоимость изготовления корпусных деталей	9456
Затраты на изготовление оригинальных деталей	4976,93
Затраты на сборку	3516,42
Общепроизводственные накладные расходы	921,3
Стоимость покупных изделий (деталей)	557232,86
Итого:	576103,51

Общие затраты на изготовление конструкции электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии равны 576103,51 р.

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

«Годовая экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции составит:

$$\mathcal{E}_Г = C_{ПР} - C_{КОН}, \quad (43)$$

где  $C_{ПР}$  – стоимость прототипа, р.» [12].

$$\mathcal{E}_Г = 905000 - 576103,51 = 328896,49 \text{ р.}$$

Срок окупаемости определяем по формуле:

$$O_{ОК} = \frac{C_{КОН}}{\mathcal{E}_Г}, \quad (44)$$

$$O_{ОК} = \frac{576103,51}{328896,49} = 1,75 \text{ лет.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения конструкции составит:

$$\mathcal{E}_{ЭФ} = \mathcal{E}_Г - 0,15 \cdot C_{КОН} \quad (45)$$

$$\mathcal{E}_{ЭФ} = 328896,49 - 0,15 \cdot 576103,51 = 242480,96 \text{ р.}$$

В таблице 32 представлены основные показатели проекта.

Таблица 32 – Основные показатели проекта

Показатели	Единица измерения	Значение	
		До внедрения	После внедрения
Стоимость изготовления конструкции	р.	905000	576103,51
Экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции	р.	–	328896,49
Экономический эффект	р.	–	242480,96
Срок окупаемости	год	–	1,75

Выводы по разделу.

Проект экономически обоснован, учитывая относительно низкие затраты на разработку и быструю окупаемость. Солнечный гольф-кар может быть перспективным решением с точки зрения экологичности и долгосрочной экономии на энергоносителях.

Разработка электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии может быть интересна нескольким целевым группам, в зависимости от сферы применения и экономических преимуществ:

- гольф-клубы и курорты – для экологичного и бесшумного перемещения гостей по территории.
- курортные зоны, отели, парки отдыха – как альтернатива традиционным гольф-карам с ДВС.
- логистические компании на закрытых территориях (склады, аэропорты, заводы) – для перевозки грузов и персонала с низкими эксплуатационными затратами.
- городские парки, заповедники, зоопарки – для экотуризма без вредных выбросов.
- владельцы загородных домов, коттеджных посёлков – для передвижения по большой территории.
- энтузиасты экологичного транспорта – как альтернатива обычным гольф-карам или компактным электромобилям.

## Заключение

В данном дипломном проекте была разработана конструкция электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии. В ходе работы проведен анализ современного состояния вопроса, выполнен тягово-динамический расчет, разработана конструкторская документация, а также предложен технологический процесс сборки.

Ключевые результаты работы:

- изучена история развития солнечных автомобилей и их конструктивные особенности;
  - определены перспективы использования солнечной энергии в малогабаритном электротранспорте;
  - рассчитаны основные параметры электромобиля (максимальная скорость, запас хода, ускорение, энергопотребление);
  - определена требуемая мощность силовой установки и ёмкость аккумуляторной батареи с учетом подзарядки от солнечных панелей;
  - разработано техническое задание и предложение на проектирование электромобиля;
  - подобрано электрооборудование (солнечные панели, контроллер заряда, электродвигатель, аккумуляторы), обеспечивающее эффективную работу системы;
  - обоснован выбор методов сборки конструкции;
  - определена трудоемкость изготовления и составлен пошаговый технологический процесс сборки электромобиля;
  - рассмотрены вопросы, касающиеся обеспечения безопасности, экологичности проекта;
  - определена эффективность разработки электромобиля типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии с экономической стороны.
- Стоимость изготовления составляет 504207,59 р.

## Список используемой литературы и используемых источников

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

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

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

4. Виноградов В. М. Ремонт и утилизация наземных транспортно-технологических средств [Текст]: учебное пособие: для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта», 20.05.01 "Наземные транспортно-технологические средства» (квалификация специалист) / В. М. Виноградов, А. А. Черепяхин, В. Ф. Солдатов. Москва: КУРС: ИНФРА-М, 2016. 344 с.

5. Воронов Д. Ю. Разработка сборочных технологических процессов [Электронный ресурс]: электронное учебно-методическое пособие / Д. Ю. Воронов, А. В. Щипанов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Тольяттинский государственный университет, Институт машиностроения, Кафедра «Оборудование и технологии

машиностроительного производства». Тольятти: Тольяттинский гос. ун-т, 2017. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). 12 см.

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

7. Герасимов М. Д. Конструкции наземных транспортно-технологических машин [Текст]: практикум: учебное пособие для студентов специальности 23.05.01 – «Наземные транспортно-технологические средства» / М. Д. Герасимов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. Белгород: Белгородский гос. технологический ун-т (БГТУ) им В. Г. Шухова, 2018. 115 с.

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

9. Горшкова О. О. Электрооборудование автомобиля [Текст]: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Наземные транспортно-технологические средства» / О. О. Горшкова, Г. Н. Шпитко; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет». Тюмень: ТИУ, 2016. 333 с.

10. Губарев А. В. Конструирование и расчет наземных транспортно-технологических средств [Текст]: учебное пособие: для студентов вузов, обучающихся по специальности «Наземные транспортно-технологические средства» / А. В. Губарев, А. Г. Уланов; М-во образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. «Колесные, гусеничные машины и автомобили». Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2015. 564 с.

11. Демура Н. А. Экономика предприятия [Текст]: учебное пособие для студентов специальности 23.05.01 - Наземные транспортно-технологические

средства и направления подготовки 15.03.02 - Технологические машины и оборудование / Н. А. Демура, Л. И. Ярмоленко; Министерство образования и науки Российской Федерации, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. Белгород: Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова, 2018. 124 с.

12. Ковальчук Л. И. Динамика и основы конструирования автомобильных двигателей [Текст]: учебное пособие по курсовому проектированию для студентов направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», профилей подготовки «Автомобили и автомобильное хозяйство» и «Автомобильный сервис» всех форм обучения / Л. И. Ковальчук; Федеральное агентство по рыболовству, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота. Калининград: Изд-во БГАРФ, 2018. 123 с.

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

14. Михайлов В. А. Экологичные системы защиты воздушной среды объектов автотранспортного комплекса: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Наземные транспортно-технологические средства» / В. А. Михайлов, Е. В. Сотникова, Н. Ю. Калпина. - 2-е изд., перераб. и доп. Москва: ИНФРА-М, 2022. 213 с.

15. Носов С. В. Конструкции наземных транспортно-технологических средств [Текст]: учебное пособие / С. В. Носов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет». Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2016. 21 см.

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

17. Основы процесса производства и эксплуатации автомобилей и тракторов: учебное пособие: специальность 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова»; составители: А. В. Русинов [и др.]. - Саратов: Амирит, 2022. 116 с.

18. Перегудов Н. Е. Основы создания трехмерных моделей деталей и сборочных единиц автотракторной техники: учебное пособие / Н. Е. Перегудов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет». Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2021. 112 с.

19. Потапов С. И. Электрооборудование автомобилей и тракторов [Текст]: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» / С. И. Потапов, Е. А. Чащин; Федеральное гос.

бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Ковровская гос. технологическая акад. им. В. А. Дегтярева». Ковров: КГТА им. В. А. Дегтярева, 2014. 87 с.

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

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

22. 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.

23. 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.

24. Черепанов Л. А. Наземные транспортно-технологические средства. Выполнение дипломного проекта: электронное учебно-методическое пособие / Л. А. Черепанов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 2024. 100 с.

Федерации, Тольяттинский государственный университет, Институт машиностроения. Тольятти: Тольяттинский гос. ун-т, 2021. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см.

25. Янсон, Р. А. Базовые машины в строительстве. В 2-х ч. Ч. 1, Ч. 2. Научное издание. Москва: Издательство АСВ, 2011. 368 с.

26. 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.

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

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

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

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

Приложение А  
**Спецификация**

Формат Зона		Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме- чание	
							Перв. примен.
				<u>Документация</u>			
A4			25.ДП.01.129.61.00.000.ПЗ	Пояснительная записка	1		
A0			25.ДП.01.129.61.00.000.СБ	Сборочный чертёж	1		
<u>Сборочные единицы</u>							
Сбор. №	A1	1	25.ДП.01.129.61.01.000	Рама	1		
		2	25.ДП.01.129.61.02.000	Рулевое управление	1		
		3	25.ДП.01.129.61.03.000	Колесо	4		
		4	25.ДП.01.129.61.04.000	Подвеска передняя	1		
		5	25.ДП.01.129.61.05.000	Подвеска задняя	1		
		6	25.ДП.01.129.61.06.000	Привод задних колес	1		
		7	25.ДП.01.129.61.07.000	Сборка батарей и контроллер	1		
		8	25.ДП.01.129.61.08.000	Солнечная панель	9		
		9	25.ДП.01.129.61.09.000	Узел педальный	1		
<u>Детали</u>							
Инв. № детал.		10	25.ДП.01.129.61.00.010	Сиденье	2		
		11	25.ДП.01.129.61.00.011	Зеркало боковое	2		
25.ДП.01.129.61.00.000							
Инв. № подл.		Изм.	Лист	№ докум.	Подл.	Дата	
		Разраб.	Мартынянов В.С.				
		Проб.	Черепанов Л.А.				
		Н.контр.	Черепанов Л.А.				
		Утв.	Бобровский А.В.				
Электромобиль типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии					Лит.	Лист	Листов
					Д		1
					ТГУ, АТс-2001Б		
Копировал				Формат А4			

Рисунок А.1 – Спецификация на электромобиль типа гольф-кар с питанием от солнечной энергии