

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

институт машиностроения

(наименование института полностью)

кафедра « Промышленная электроника »

(наименование кафедры)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Интеллектуальные энергетические системы

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
**(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Электрическое средство индивидуальной мобильности

Студент П.Н. Демин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель А.К. Кудинов

(Ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

## Аннотация

Тема выпускной квалификационной работы – «Электрическое средство индивидуальной мобильности».

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки объемом 67 страницы, включая 25 иллюстраций, 15 таблиц и 20 источников.

Целью выполнения данной работы является создание электрического средства индивидуальной мобильности, пригодного для использования в условиях города и передвижения по пешеходным и велосипедным дорожкам.

Данное средство индивидуальной мобильности, приводимое в движение при помощи электродвигателя, соответствующее предложенным министерством транспорта поправкам в правила дорожного движения, а также не требующее регистрации в государственных органах и получения водительского удостоверения. Разработанное средство индивидуальной мобильности имеет пожаробезопасный аккумулятор, пневмогидравлическую подвеску обоих колес и ограничение скорости 20 км/ч, соответствующее требованиям поправок в правила дорожного движения.

В данной работе проведен анализ правового положения различных продаваемых электротранспортных средств, выбрано направление проектирования, а также подобраны стандартные компоненты, узлы и агрегаты, разработана принципиальная схема и печатная плата спроектированного блока, чертежи и трехмерные модели узлов, агрегатов и разрабатываемого средства индивидуальной мобильности, проведены расчеты.

## **Abstract**

The title of the graduation work is «Electrical vehicle for individual mobility»

The graduation work consists of an explanatory note of 67 pages, including 25 figures, 15 tables, the list of 5 references including foreign sources.

The key issue of the senior thesis is to create an electric means of personal mobility, suitable for use in urban conditions and movement on pavements and bicycle paths.

This means of personal mobility powered by an electric motor complies with the amendments proposed by the Ministry of Transport to the rules of the road, and also does not require registration with the state authorities and obtaining driving license. The developed electric vehicle has a fire-safe battery, wheels suspension and a speed limit of 20 km/h.

We first analyze the legal status of electric vehicles in Russia. Then we study types and models of electric vehicles that are widely available on the Russian market. Then we choose the direction of device development. Next we propose the development of schematic circuit and select suitable components. As a result, a printed circuit board, a three-dimensional model of the electric vehicle and components of this calculations are carried out.

Finally, we present the work of developing the individual electric vehicle that is compile with traffic rules and some new technical solution.

In conclusion we may say, the work is of interest for wide circle of readers.

## Содержание

Аннотация.....	2
Abstract.....	3
Введение.....	6
1 Состояние вопроса.....	10
1.1 Правовой статус электромотоциклов.....	10
1.2 Правовой статус электроскутеров.....	10
1.3 Правовой статус электросамокатов.....	11
1.4 Правовой статус гироскутеров и моноколес.....	12
2 Обзор продаваемого индивидуального электротранспорта.....	13
2.1 Электромотоцикл.....	13
2.2 Электроскутер.....	14
2.3 Электросамокат.....	17
2.4 Гироскутер.....	18
2.5 Моноколесо.....	20
3 Разработка электрического средства индивидуальной мобильности.....	23
3.1 Требования к разрабатываемому средству индивидуальной мобильности.....	23
3.2 Обзор присутствующих на рынке решений.....	25
3.2.1 Электроскутер Kugoo C1.....	25
3.2.2 Электроскутер WS Mini R 1200W.....	27
3.3 Определение пути проектирования.....	28
3.4 Подбор аккумуляторов для батареи.....	29
3.5 Проектирование аккумуляторной батареи.....	34
3.5.1 Выбор элементов батареи для использования в проектируемом устройстве.....	38
3.5.2 Проектирование удерживающих пластин батареи.....	39

3.5.3	Подбор устройства защиты батареи.....	43
3.6	Выбор электродвигателей и контроллеров для них.....	45
3.7	Ограничение максимальной скорости и индикация основных параметров.....	48
3.7.1	Определение задач, возлагаемых на блок ограничения скорости. .	48
3.7.2	Определение задач блока индикации параметров.....	51
3.7.3	Разработка блока ограничения скорости.....	52
3.8	Компоновка узлов средства индивидуальной мобильности.....	55
3.8.1	Определение габаритов и проектирование рамы.....	55
3.8.2	Выбор сиденья.....	57
4	Затраты на производство опытного образца.....	59
	Заключение.....	61
	Приложение А Блок-схема алгоритма программы ограничения скорости.....	65
	Приложение Б Код программы блока ограничения скорости.....	66

## Введение

Широкое распространение личного транспорта, помимо повышения удобства и комфорта людей, привело к ухудшению экологической обстановки и увеличению нагрузки на дорожную сеть, создав огромные заторы на проезжей части. Движение на улицах городов буквально «встает» в часы-пик, и люди, некогда отправлявшиеся на работу на личном автомобиле, вынуждены либо терять время, стоя в пробках, либо искать новые пути и виды транспорта. И общественный транспорт в таких условиях не помощник – автобусы и маршрутные такси так же, как и люди на личных автомобилях, стоят в пробке, имея в лучшем случае выделенную полосу на дороге и позволяя сэкономить лишь несколько минут в длинной дороге.

Одним из выходов из сложившейся ситуации может стать развитие индивидуального электротранспорта – данные микротранспортные средства позволят добраться до пункта назначения даже когда дороги утопают в пробках, а общественный транспорт забит пассажирами до отказа, повышая мобильность людей как в решении рабочих задач, таких, как перевозка курьером малогабаритного груза от склада до клиента, или экономия времени в пути на работу, так и в бытовых вопросах, например, походах в магазин за покупками.

Озвученные факторы приводят к росту популярности индивидуального электротранспорта, о чем свидетельствует статистика поисковых запросов в поисковой системе «Яндекс», популярной в России – например, количество запросов слова «электросамокат» неуклонно растет – уже в апреле 2021 года количество запросов этого слова превысило пиковое значение 2020 года, достигнутое в июле 2020 года, на сто тысяч запросов! Соответствующие данные приведены на рисунке 1.

Рост популярности такого вида транспорта стремятся удовлетворить многие производители, выпуская разные модели и виды индивидуального электротранспорта.

Однако, многие производители в своем стремлении удивить покупателя и захватить большую часть рынка забывают о таких важных вещах, как соблюдение законов и безопасность, результатом которых становится как выпуск излишне мощных транспортных средств, представляющих собой источник большой опасности для здоровья и даже жизни окружающих, под видом «внедорожных самокатов» и иных средств передвижения, которые, обладая выдающимися характеристиками, присущими больше мопеду, а то и мотоциклу, требуют наличия водительского удостоверения, а некоторые и обязательной регистрации в государственных органах. С распространением таких транспортных средств растет и количество ДТП с их участием, о чем свидетельствует статистика поисковых запросов «дтп с электросамокатом». Данная информация отображена на рисунке 2.

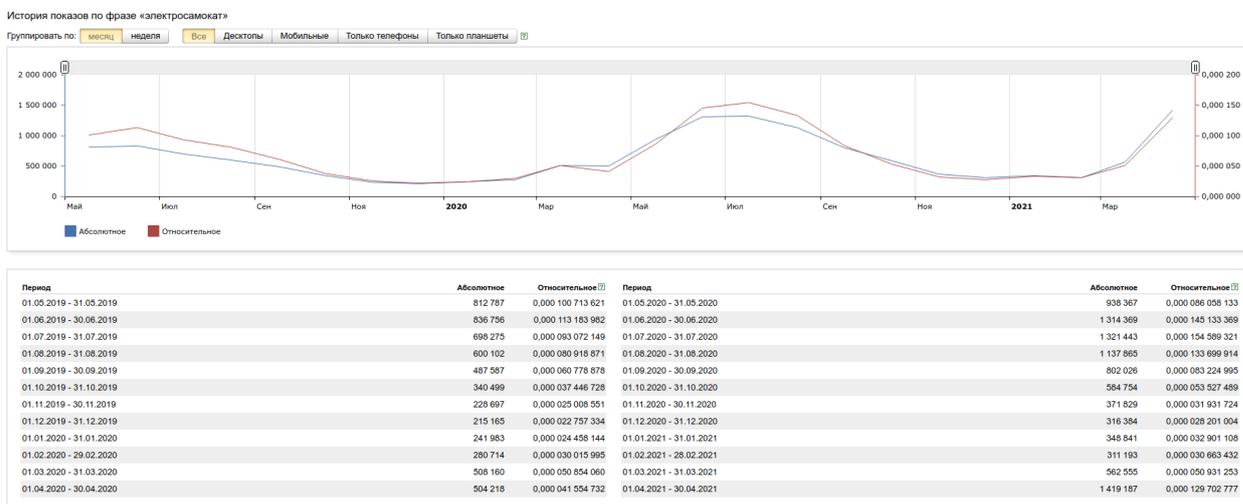


Рисунок 1 – показы по поисковому запросу "электросамокат" показывают рост популярности индивидуального электротранспорта

О поистине огромном росте числа ДТП с индивидуальным электротранспортом свидетельствует и доклад Научного Центра Безопасности Дорожного Движения «Дорожно-транспортная аварийность в Российской Фе-

дерации за 9 месяцев 2020 года»[3], в котором упомянут рост числа ДТП с использованием персональных электрических средств передвижения малой мощности на 166% по сравнению с аналогичным периодом!

К сожалению, в данный момент статистика дорожно-транспортных происшествий с индивидуальным электротранспортом, сильно искажена из-за того, что такие обладатели таких средств передвижения считаются пешеходами, и произошедшие с их участием аварии записываются в статистику ДТП с участием пешеходов.

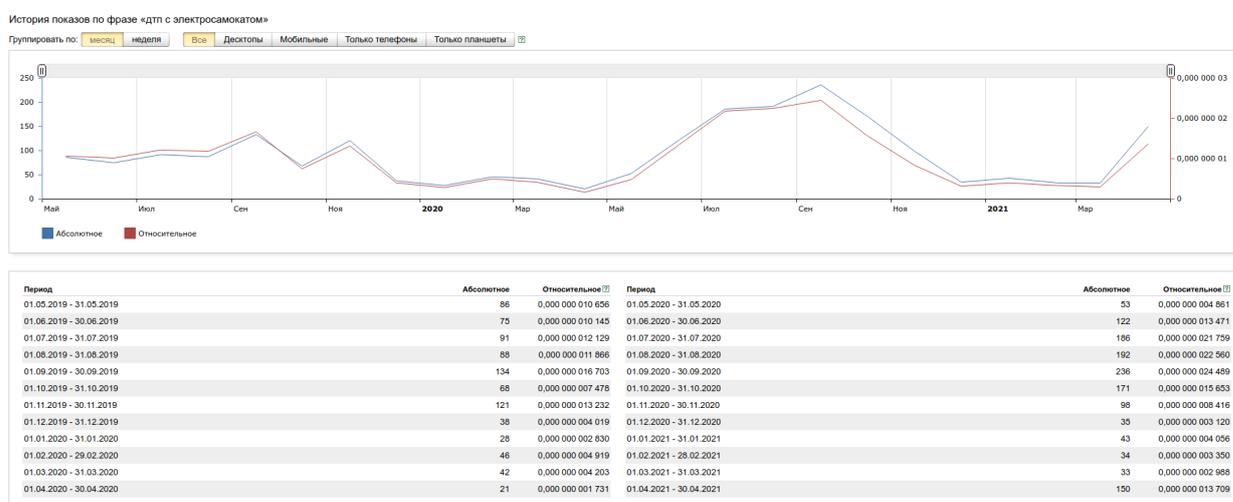


Рисунок 2 – количество запросов "дтп с электросамокатом"

Разумеется, опасность индивидуального электротранспорта вызвана не только наличием мощного двигателя, позволяющего ездить с высокой скоростью, но и особенностями устанавливаемых аккумуляторов, которые, кроме быстрого износа и выхода из строя, способны к самовозгоранию – с распространением электрических транспортных средств такие случаи перестали быть редкостью – интерес к таким случаям также отразился на истории поисковых запросов. Например, количество запросов «электросамокат загорелся» за первые четыре месяца 2021 года уже приближается к суммарному количеству таких запросов за предыдущие два года, что отображено на рисунке 3.

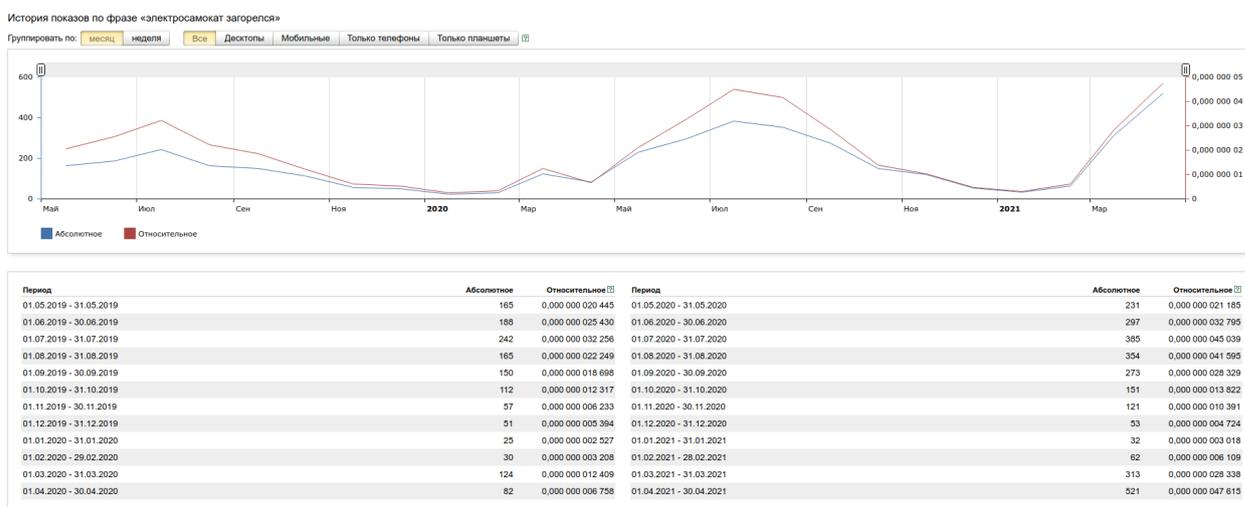


Рисунок 3 – показ запросов "электросамокат загорелся"

Возрастающая опасность и растущее количество происшествий с участием индивидуальных электротранспортных средств может привести к запрету их эксплуатации, что приведет к гибели рынка электротранспорта, поэтому вопрос создания безопасного индивидуального электротранспортного средства, не требующего обязательной регистрации в государственных органах на сегодняшний день крайне актуален.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка образца средства индивидуальной мобильности в соответствии с требованиями законодательства и предложенных по теме индивидуального электротранспорта поправок в правила дорожного движения.

Результатом выполнения является разработка и подготовка конструкторской документации образца средства индивидуальной мобильности, обладающего повышенной безопасностью, в частности, минимальным риском возгорания (являющегося основной проблемой электротранспортных средств, о чем свидетельствуют новостные сюжеты в СМИ), а также отсутствием необходимости регистрации в государственных органах, и, вместе с тем, возможностью передвигаться по пешеходным дорожкам без нарушения требований законодательства.

## **1 Состояние вопроса**

### **1.1 Правовой статус электромотоциклов**

Правовой статус электромотоциклов, несмотря на довольно малую популярность этого вида транспорта в сравнении с традиционными мотоциклами, определен однозначно.

Согласно правилам дорожного движения[5], мотоцикл – «двухколесное механическое транспортное средство с боковым прицепом или без него, рабочий объем двигателя которого (в случае двигателя внутреннего сгорания) превышает 50 куб. см или максимальная конструктивная скорость (при любом двигателе) превышает 50 км/ч. К мотоциклам приравниваются трициклы, а также квадрициклы с мотоциклетной посадкой или рулем мотоциклетного типа, имеющие ненагруженную массу, не превышающую 400 кг (550 кг для транспортных средств, предназначенных для перевозки грузов) без учета массы аккумуляторов (в случае электрических транспортных средств), и максимальную эффективную мощность двигателя, не превышающую 15 кВт».

Использование мотоцикла, независимо от его типа, требует наличия у водителя специальных навыков, а также знания ПДД и наличия шлема и водительского удостоверения категории «А1» или «А».

### **1.2 Правовой статус электроскутеров**

Многие присутствующие на рынке модели электроскутеров позволяют отнести их к правовому статусу мопеда.

Согласно Правилам Дорожного Движения, мопед – двух- или трехколесное механическое транспортное средство, максимальная конструктивная скорость которого не превышает 50 км/ч, имеющее двигатель внутреннего сгорания с рабочим объемом, не превышающим 50 куб.см, или электро-

двигатель номинальной максимальной мощностью в режиме длительной нагрузки более 0,25 кВт и менее 4 кВт. К мопедам приравниваются квадрициклы, имеющие аналогичные технические характеристики.

Как видно из определения, электроскутеры и прочие транспортные средства на электрической тяге (в частности, мопеды), имеющие схожие характеристики, имеют правовой статус мопеда, что также позволяет использовать их на дорогах общего пользования, но с ограничениями: в частности, передвигаться на мопеде, независимо от типа силовой установки, допускается только по правому краю проезжей части в один ряд, а также не допускается поворачивать налево, если на дороге количество полос, по которым идет движение в попутном направлении, больше одной.

Несмотря на более мягкие ограничения в плане налогообложения и обязательного страхования (которое для данного типа транспортных средств на сегодняшний день не предусмотрено), мопеды также требуют наличия у водителя специальных навыков управления данным видом транспорта, а также наличия шлема и водительского удостоверения категории «М».

### **1.3 Правовой статус электросамокатов**

Данный вид транспорта в последнее время набирает особую популярность – большая часть индивидуального транспорта на улицах городов – электросамокаты. Продаваемые электросамокаты можно поделить на две условные категории: выполняющие требования закона и «условно выполняющие» – различие между этими категориями в том, что водители первой группы самокатов полностью выполняют требования правил дорожного движения в отношении пешеходов (согласно правилам дорожного движения, двухколесные транспортные средства, имеющие двигатель мощностью более 250 Ватт и максимальную скорость до 50 км/ч являются именно мопедами). Вторая же группа имеет двигатель мощностью более 250 Ватт и максималь-

ную скорость более 50 км/ч, отдельные модели могут разгоняться даже до 100 километров в час – такие «агрегаты» сложно назвать самокатами!

Несмотря на то, что владельцы таких «снарядов» должны иметь водительское удостоверение с «открытой» категорией «М», часто они не имеют даже требуемого правилами дорожного движения и соображениями собственной безопасности шлема, но, несмотря на это, нередко выжимают из своих «самокатов» все, что заложил производитель, подвергая опасности не только себя, но и окружающих пешеходов и автомобилистов.

#### **1.4 Правовой статус гироскутеров и моноколес**

Правовой статус моноколес и гироскутеров, в целом, совпадает с правовым статусом электросамокатов. Вопрос превышения предписываемых правилами параметров стоит в случае данной техники не так остро по причине низкой максимальной скорости данных транспортных средств – редкие модели могут разогнаться выше 25 км/ч.

Исключение составляют некоторые модели моноколес, имеющие скорость более 50 км/ч – их правовой статус неоднозначен: с одной стороны, они имеют максимальную скорость более 50 км/ч – значит, их следует считать мопедами – однако, имеют они всего одно колесо – какой же это мопед?

Правовой статус моноколес требует отдельной проработки компетентными органами, и, судя по предлагаемым различными авторами поправкам в правила дорожного движения, все-таки имеет шанс быть определенным однозначно, без разночтений.

## **2 Обзор продаваемого индивидуального электротранспорта**

Несмотря на наличие поистине широкого ассортимента индивидуального электротранспорта, выбор, как правило, сложен, а местами опасен как нарушением закона (умышленным или без умысла, ведь не все продавцы и производители уведомляют о том что, например, покупатель электроскутера обязан зарегистрировать его в государственных органах), так и риском получения травм или причинения вреда имуществу. Далее приведен краткий обзор имеющихся на рынке электрических транспортных средств и опасности, которые он таит в себе.

Любой вид транспорта имеет свои преимущества и недостатки, нет универсального транспорта, позволяющего владельцу выполнить все задачи, которые он ставит перед своим транспортным средством. Однако, некоторые преимущества, такие, как, например, экономичность, вызванная дешевизной топлива, в роли которого в случае электротранспорта выступает электроэнергия, присущи всем видам данного транспорта. Есть и присущие любому виду электротранспорта недостатки, например, низкий срок службы аккумуляторной батареи или возможность использования только в хороших погодных условиях.

Далее будут рассмотрены основные преимущества и недостатки самых распространенных видов индивидуального электротранспорта.

### **2.1 Электромотоцикл**

Электромотоцикл мало чем отличается от «традиционного» мотоцикла, приводимого в движение двигателем внутреннего сгорания, и, согласно Правилам Дорожного Движения, электромотоцикл представляет собой механическое транспортное средство, стоящее в одном ряду с «обычным» мотоциклом, что, с одной стороны, является положительным моментом, поскольку данное

положение дел исключает неопределенности в эксплуатации данного вида транспорта, позволяющее передвигаться по проезжей части дорог общего пользования. С другой же стороны, данное определение требует от водителя получение водительского удостоверения категории «А» для получения возможности пользоваться данным видом транспорта. Пример электромотоцикла приведен на рисунке 4.



Рисунок 4 – электромотоцикл Brammo Enertia

## 2.2 Электроскутер

Электроскутер, как и электромотоцикл, отличается от своего «бензинового собрата» только иным типом силовой установки, а также правовым статусом. Многие скутеры (как и электроскутеры), имеют силовую установку, позволяющую им иметь правовой статус «мопед». Внешний вид электроскутера приведен на рисунке 5.



Рисунок 5 – электроскутер Super Soco CUx

В последние несколько лет электроскутеры начали набирать популярность и все чаще появляться в продаже. Часть моделей созданы на основе бензиновых вариантов скутеров, но также появляются и довольно интересные виды электроскутеров, имеющие неплохие характеристики и минималистичный внешний вид, например, Citysoco[6], представленный на рисунке 6.



Рисунок 6 – электроскутер CityCoCo Classic

Преимущества электроскутеров:

- Однозначно определенный правовой статус – на данной технике можно передвигаться по дорогам общего пользования, как на мопеде – права и обязанности водителя этого вида транспорта четко определены.
- Размеры электроскутеров позволяют перевозить небольшие грузы – это может быть полезно, например, в работе курьеров, позволяя экономить на топливе для своего транспорта.
- Наличие подвески и удобная посадка позволяют водителю преодолевать неровности дорожного полотна и способствуют меньшей утомляемости водителя.

Однако имеются у данного вида транспорта и недостатки:

- Более высокая начальная цена – цена покупки любого вида транспорта является важным критерием выбора, и в данном случае вызванная высокой ценой аккумуляторной батареи цена всего изделия играет роль сдерживающего фактора в приобретении электроскутера
- Высокая длительность процесса заряда – в то время, как бензиновый скутер требует всего несколько минут для полной заправки, электроскутеру на процесс полного заряда батареи требуется несколько часов, что неприемлемо в случае активного его использования.
- Габариты – некоторые модели имеют размеры, сравнимые с размерами полноценных туристических мотоциклов, что сводит на нет использование таких моделей в условиях высокой нагрузки на уличную дорожную сеть.

## 2.3 Электросамокат

Электросамокат – разновидность традиционного самоката, в общем случае представляющего собой платформу с двумя колесами и рулем, приводимое в движение при помощи мускульной силы человека, либо, в случае электросамоката, при помощи электродвигателя.

На рынке присутствует довольно большой выбор электросамокатов, однако, практически все модели имеют недостатки: бюджетные модели имеют либо низкое качество, либо не имеют подвески, либо имеют слишком малый запас хода. Пример такого электросамоката приведен на рисунке 7.



Рисунок 7 – электросамокат Kugoo S1

Более дорогие модели, как правило, имеют более качественное исполнение, однако имеют слишком мощный для данного вида транспорта двигатель, что при отсутствии ограничения максимальной скорости делает эти модели опасными как для водителя самоката, так и для окружающих. Пример такой модели – самокат Dualtron X[7] – имеет максимальную ско-

рость 110 км/ч при заявленной мощности двигателя 8300 Ватт и приведен на рисунке 8. При всей своей опасности данная модель, как и многие другие в данном ценовом сегменте, имеет неоспоримое преимущество: заявленный запас хода до 150 километров.



Рисунок 8 – электросамокат Dualtron X

## 2.4 Гироскутер

Гироскутер представляет собой две горизонтальные площадки, жестко соединенные с мотор-колесами (электродвигатель, в котором ротор выполняет роль обода колеса), и при помощи шарнира соединенные между собой. Управление движением и стабилизация такого транспортного средства осуществляется при помощи гироскопических датчиков положения и системы стабилизации, работающей по поступающим с этих датчиков сигналам.

Как и в случае с самокатами, на рынке присутствует множество моделей, различных по таким показателям, как мощность двигателей, максимальная скорость, запас хода и другим. В частности, одна из самых «быстрых» моделей имеет максимальную скорость до 20 км/ч[9] и приведена на рисунке 9.



Рисунок 9 – гироскутер smart balance 10 PRO

Большинство представленных на рынке гироскутеров имеют следующие параметры: мощность двигателей около 500 Вт (два двигателя, по 250 Вт каждый), максимальная скорость до 20 километров в час, заявленный запас хода до 20 километров. Моделей с высокой максимальной скоростью (более 30 километров в час) на рынке очень мало, к тому же они не пользуются большой популярностью, поэтому в данном разделе они не рассматриваются.

Преимущества гироскутеров:

- Малая масса и габариты позволяют переносить гироскутер в специальной сумке, поставляемой в комплекте с устройством, может позволить использовать его даже эффективнее, чем электросамокат, однако, этому препятствуют ограничения, описанные в списке недостатков. К тому же, малая масса и возможность нести устройство в руках повышают мобильность человека в случае возникновения нештатной ситуации, как, например, поломка или отказ каких-либо узлов и систем гироскутера.
- Более низкая, в сравнении с электросамокатами, цена делает данный вид транспорта более доступным, чем остальные. На момент написания

данной работы, цены на гироскутеры начинались от 11490 рублей, в то время, как минимальная цена на электросамокат составляла 23990 рублей в одном из многочисленных магазинов.

Однако, у такого вида транспорта имеются и недостатки:

- Управление наклоном – данный вид управления хотя и позволяет освободить руки водителя, но, вместе с тем, требует повышенного внимания и концентрации на процессе управления, а также сильно ограничивает человека в плане перевозимого груза: использовать такое средство для похода в магазин или перевозки даже минимального размера и массы рюкзака становится проблематично из-за возникающих трудностей управления и повышенной утомляемости водителя.
- Отсутствие подвески вкупе с малым диаметром колес и малым дорожным просветом превращают перемещение по улицам проблемой: все удары и колебания передаются на тело водителя, который, помимо необходимости удерживать равновесие и необходимый наклон для управления гироскутером, должен еще и справляться с преодолением неровностей дорожного полотна.
- Так же, как и у многих электросамокатов, у гироскутеров в основной своей массе отсутствует гидроизоляция, позволяющая при плохой погоде без риска выхода гироскутера из строя добраться до укрытия.

## **2.5 Моноколесо**

Моноколесо – сравнительно «молодой» вид индивидуального транспорта, но уже завоевывающий популярность за счет своей компактности – его вполне можно хранить в квартире, а емкость аккумуляторов позволяет заряжать их от электросети квартиры, не перегружая ее. Пример такого вида транспорта приведен на рисунке 10 и имеет максимальную скорость 45 км/ч.[11]



Рисунок 10 – моноколесо GotWay Msuper X

На рынке моноколес ситуация такая же, как и на рынке гироскутеров и электросамокатов – производители в погоне за прибылью выпускают все новые и новые модели, наращивая мощность и максимальную скорость. Это приводит к тому, что новые модели хотя и получают увеличенный запас хода и мощность двигателя, но при этом становятся и более опасными – одна точка опоры и высокий центр тяжести создают условия, в которых падение на большой скорости практически гарантированно сопровождается травмами.

Моноколесо как индивидуальный транспорт пока только набирает популярность и не имеет такого распространения на дорогах, как, например, электросамокат, однако, также имеет свои преимущества и недостатки.

Преимущества моноколеса:

- Высокая маневренность – за счет своих габаритов и типа управления данный вид транспорта позволяет быстро преодолевать большие расстояния даже на оживленных городских улицах

– Малая масса и габариты – моноколесо как и гироскутер, за счет малой массы и размеров, можно использовать как средство для быстрого преодоления расстояния между местом проживания или работы и остановочным пунктом общественного транспорта, что позволяет повысить мобильность даже в случае возможной поломки или разрядки батареи.

– Простота в обслуживании – техническое обслуживание моноколеса заключается лишь в зарядке батареи и проверке давления в колесе.

Недостатки моноколеса:

– Как и у гироскутера, управление моноколесом осуществляется за счет наклона тела водителя в нужную сторону – такой подход к управлению, с одной стороны, позволяет упростить процесс управления, с другой – требует повышенной концентрации и сосредоточенности на процессе управления моноколесом в движении.

– Несмотря на заявленную грузоподъемность до 100 килограммов у многих моделей, перевозить грузы на таком транспорте довольно проблематично – водителю придется ограничиться небольшой сумкой или рюкзаком малого объема.

## **3 Разработка электрического средства индивидуальной мобильности**

### **3.1 Требования к разрабатываемому средству индивидуальной мобильности**

Для того, чтобы начать проектирование транспортного средства, необходимо четко определить требования, предъявляемые к данному транспортному средству. Поскольку разрабатывается средство для повышения индивидуальной мобильности человека, проектируемое устройство не должно создавать неудобств в осуществлении хозяйственной деятельности, соответственно, оно должно соответствовать следующим требованиям:

- Компактность – транспортное средство должно быть достаточно компактным для хранения в квартире в целом и для перевозки в стандартном для городских зданий лифте в частности. Также для выполнения этого требования проектируемое устройство должно иметь минимально возможную массу.
- Комфорт – выражается в наличии сиденья, что позволяет снять лишнюю нагрузку с ног водителя, а также в наличии подвески, поглощающей негативное воздействие неровностей дорожного полотна, такие, как тряска и вибрации.
- Безопасность – поскольку проектируемое транспортное средство предназначается для передвижения по пешеходным дорожкам, данному вопросу следует уделить особое внимание, поскольку средство индивидуальной мобильности является источником повышенной опасности для пешеходов.
- Большой запас хода – требование, исключающее снижение мобильности человека вследствие потери транспортным средством возможно-

сти передвигаться при помощи электродвигателя в силу разных причин, в частности, разряда аккумуляторной батареи.

– Отсутствие повышенной нагрузки на электросеть – зарядка аккумуляторной батареи транспортного средства не должна оказывать значительных нагрузок на электросеть жилища человека, могущих повлечь за собой как срабатывание аварийных средств защиты электросетей, так и возникновение пожара.

– Возможность перевозить небольшие грузы – транспортное средство обязано повышать мобильность гражданина, даже если он ставит задачу перевозки грузов, например, покупок от магазина к дому или малогабаритных посылок от склада до клиента, если владелец транспортного средства использует его во время работы курьером.

Исходя из выдвигаемых требований, для разработки можно отобрать следующие виды транспорта: электросамокат, электроскутер. Однако, электросамокат, несмотря на возможность установки сиденья, не позволит реализовать простые в изготовлении и установке узлы задней подвески, а также сделать площадку для ног сидящего водителя достаточно широкой.

Исходя из вышесказанного, самым предпочтительным вариантом конструкции становится средство индивидуальной мобильности, представляющее собой компактный электроскутер. Для того, чтобы обеспечить безопасность передвижения по пешеходным дорожкам, необходимо обеспечить ограничение скорости на уровне 20 км/ч. Обусловлено это тем, что наличие переключения режимов с наличием ограничения и его отсутствием, либо же полным отсутствием ограничений скорости создает возможность нарушения пользователем правил дорожного движения. Малая максимальная скорость при движении по дорогам общего пользования не является критическим недостатком, поскольку проектируемое устройство предназначено для пере-

движения по пешеходным дорожкам, а выезд на дороги общего пользования является вынужденной мерой.

## **3.2 Обзор присутствующих на рынке решений**

Поскольку идея индивидуального транспортного средства далеко не нова, на рынке уже имеется немало моделей, которые могут помочь пользователю в его жизни. Однако, практически все модели компактных электроскутеров, имеющиеся на рынке, имеют те или иные недостатки, порой критические.

Далее перечислены некоторые модели электроскутеров, которые можно использовать в качестве основы для разрабатываемого средства индивидуальной мобильности.

### **3.2.1 Электроскутер Kugoo C1**

Данный компактный электроскутер[12], приведенный на рисунке 11, является довольно хорошим транспортным средством для условий мегаполиса. Сочетание высокой мощности двигателей, компактности (его масса составляет всего 21 килограмм) и демократичной цены создает условия для повышенной мобильности гражданина, позволяя перемещаться по пешеходным дорожкам и, при необходимости, сочетать использование данного транспортного средства с использованием общественного транспорта, повышая удобство перемещения по городу.



Рисунок 11 – электроскутер Kugoo C1

Однако, данное транспортное средство имеет серьезные недостатки:

- Отсутствие подвески – при съезде с ровных свежеположенных пешеходных дорожек или при езде по дорогам в жилой зоне, водитель непременно столкнется с проблемами, которые вызывает движение по неровным дорогам: повышенная утомляемость, неприятные ощущения от вибраций и тряски, повышенные нагрузки на все узлы транспортного средства, также вызванные вибрациями.
- Тип аккумуляторов – для того, чтобы уменьшить массу и увеличить запас хода, производитель применил «классические» литий-ионные аккумуляторы, что влечет за собой малый ресурс, вызванный нагревом батареи при работе под нагрузкой.
- Отсутствие гидроизоляции ставит под сомнение практичность применения данного транспортного средства – банальный проезд по луже может вывести его из строя и повлечь за собой возгорание аккумуляторной батареи.
- Высокая максимальная скорость – данное транспортное средство имеет максимальную скорость до 45 км/ч при мощности двигателя

500 Вт, что переносит его из категории «средство индивидуальной мобильности» в категорию «Мопед», а значит, передвижение на нем по пешеходным дорожкам незаконно и несет дополнительную опасность.

### 3.2.2 Электроскутер WS Mini R 1200W

Электроскутер WS Mini R 1200W[20], приведенный на рисунке 12, можно назвать усовершенствованным вариантом предыдущего электроскутера или созданным на его основе транспортным средством, поскольку данные образцы имеют минимальные отличия в компоновке и отличаются лишь примененными комплектующими и некоторыми техническими решениями.



Рисунок 12 – электроскутер WS-MINI R 1200W

Данный электроскутер оснащен гидравлической подвеской переднего и заднего колес, передняя фара и стоп-сигнал, что повышает комфорт при передвижении, делает владельца данного транспорта заметным на дороге в темное время суток, однако, отсутствие световозвращателей, предусмотренных требованиями правил дорожного движения, а также малый диаметр колес создают неудобства в повседневной эксплуатации данного электроскутера. К тому же, литий-ионная батарея «классической» химии и отсутствие гидроизоляции, которая представлена отдельной опцией, создает опасность выхода из

строю или возгорания, а максимальная скорость до 45 км/ч вкупе с мощностью двигателя в 1200 Вт переводят данный электроскутер в категорию «мопед», делая езду на нем по пешеходным дорожкам незаконной.

### 3.3 Определение пути проектирования

Поскольку применение стандартных комплектующих позволяет снизить конечную стоимость готового изделия, принято решение использовать в качестве основы один из образцов, имеющихся на рынке. Данный путь позволит значительно снизить трудозатраты на проектирование, соответственно, также снизит конечную стоимость разрабатываемого средства индивидуальной мобильности.

Сравнение образцов, на основе которых будет вестись дальнейшая разработка, приведена в таблице 1.

Таблица 1 – сравнение показателей продаваемых моделей

Параметр	Модель	
	Kugoo C1	WS-MINI R 1200W
Масса, кг	21	39,8
Запас хода, км	35	60
Грузоподъемность, кг	130	125
Диаметр колеса, дюйм	12	6,5
Наличие подвески	нет	да
Мощность двигателя, Вт	500	1200
Максимальная скорость, км/ч	45	45
Гидроизоляция	доп. опция	отсутствует
Время заряда, часов	5	5

Как показывают данные из таблицы 1, приведенные модели идентичны по характеристикам, отличаясь только наличием подвески, размером колес и запасом хода. Также видно, что гидроизоляцию сравниваемых и подобных им

моделей производитель либо не производит вовсе, либо предлагает сделать ее как дополнительную опцию. Данное действие производителей помимо создания опасности преждевременного выхода из строя проданного устройства также создает удобное основание для отказа в гарантийном ремонте, поскольку попадание влаги внутрь корпуса и вызванное этим повреждение транспортного средства гарантийным случаем не является.

И хотя вести дальнейшую разработку на базе модели WS-MINI R 1200W легче с точки зрения проектирования подвески, использование модели Kugo S1 является более предпочтительным, поскольку применение колеса большего диаметра повышает удобство передвижения по неровным дорогам.

### **3.4 Подбор аккумуляторов для батареи**

Аккумуляторная батарея – один из основных узлов любого электро-транспортного средства. Наряду с электродвигателем и системами управления, она обеспечивает питание всех систем транспортного средства.

Наиболее популярными в качестве составных частей батареи на сегодняшний день являются элементы типоразмера 18650 (Маркировка аккумуляторов универсальна и обозначает следующее: 18 – диаметр элемента в миллиметрах, 65 – диаметр в миллиметрах, 0 – форма корпуса – цилиндрическая). Элементы данного типоразмера широко распространены, что определяет их довольно низкую цену. Также получают распространение элементы типоразмера 21700, которые позволяют уменьшить количество элементов в сборке и тем самым снизить трудозатраты при производстве батареи.

Также в процессе производства литий-ионных аккумуляторов применяются различные химические элементы, что определяет их свойства – такие, как энергоемкость, максимальный отдаваемый ток и ресурс. Сравнение элементов на основе разных химических элементов приведено в таблице 2.

Таблица 2 – сравнение характеристик аккумуляторов

Тип аккумулятора	Максимальный отдаваемый ток, С	Напряжение номинальное, В	Энергоемкость удельная, Вт·ч/кг	Ресурс, число циклов
NCR (литий-кобальтовые)	До 2С	3,7	150-200	До 500
INR/IMR (литий-марганцевые)	До 5С		140-150	До 1000
LiFePO <sub>4</sub> (литий-железофосфатные)	До 5С	3,2	90-160	До 8000
LTO (литий-титанатные)	До 5С	2,4	30-110	До 15000

Примечание: максимальный отдаваемый ток приведен в единицах измерения С, где С – значение емкости аккумулятора. Таким образом, для аккумулятора емкостью 3 А/ч максимальный отдаваемый ток составит 6 Ампер.

Также стоит отметить, что аккумуляторы типов NCR и INR/IMR возгораются при повреждении корпуса, а также имеют малый ресурс, поскольку заявленный срок службы (число циклов разряд-заряд до падения емкости аккумулятора до уровня 80% от начальной) для всех типов аккумуляторов, как правило, объявляется производителями для сравнительно мягких условий работы – таких, как ток заряда 1С, ток разряда до 2С с соблюдением температурного контроля и контроле максимального и минимального напряжения.

Аккумуляторы типов LiFePO<sub>4</sub> и LTO при повреждении корпуса не возгораются, не взрываются и имеют более низкое внутреннее сопротивление, что позволяет разряжать их высокими токами с меньшей угрозой перегрева, а также заряжать высоким током без риска повреждения аккумуляторов, компенсируя таким образом более низкую энергоемкость. И хотя ресурс, объявленный производителем, как правило, приведен для условий, схожих с условиями испытаний аккумуляторов других типов, у литий-железофосфат-

ных и литий-титанатных аккумуляторов это значение выше, чем у других, что позволяет увеличить срок службы аккумуляторной батареи, сделав ее до 5-15 раз более долговечной по сравнению с аккумуляторными батареями, построенных на аккумуляторах типа INR/IMR.

Таким образом, аккумулятор типа  $\text{LiFePO}_4$  является предпочтительным вариантом для применения в составе аккумуляторной батареи проектируемого средства индивидуальной мобильности, поскольку позволяет обеспечить продолжительный срок службы, высокую безопасность, а также возможность быстрой зарядки при незначительном падении энергоемкости батареи.

Анализ рынка литий-железофосфатных аккумуляторов показал, что в продаже имеется крайне мало моделей аккумуляторов типоразмера 18650, а их характеристики не позволяют применять их в электротранспорте, поскольку данные модели аккумуляторов имеют помимо меньшей емкости также более высокое внутреннее сопротивление и меньший максимально допустимый продолжительный ток разряда – по своим характеристикам они уступают даже своим «низковольтным собратьям», выигрывая лишь в сроке службы, что демонстрирует таблица 3, в которой приведено сравнение основных характеристик аккумуляторов HTCFR18650-1600mAh-3.2V (1)[14] с «обычным» Samsung INR18650-35E (2)[13], имеющего тип INR.

Таблица 3 – сравнение аккумуляторов HTCFR18650-1600mAh-3.2V и Samsung INR18650-35E

Аккумулятор	Тип химии	Емкость, мАч	Макс. Ток разряда продолжительный, мА	Внутр. Сопротивление, мОм	Срок службы, циклов
1	$\text{LiFePO}_4$	1600	4800	$\leq 40$	2000
2	INR	3350	8000	$\leq 35$	500

Как показывает таблица 3, при примерно равном внутреннем сопротивлении литий-железофосфатный аккумулятор проигрывает «классическому»

аккумулятору как по емкости, так и по максимальному продолжительному току разряда, однако, выигрывает по сроку службы – 2000 циклов до падения емкости до 80% от начальной против 500 до остаточной емкости в 60% от начальной – долговечность такого элемента питания не может не радовать, но это не является преимуществом при крайне низкой емкости аккумулятора.

Однако, все меняется, если не ограничиваться лишь распространенными типоразмерами – среди моделей типоразмера 32700 ситуация заметно отличается, и преимущество получают безопасные литий-железофосфатные аккумуляторы, о чем свидетельствует таблица 4, составленная на основании сравнения двух элементов одного типоразмера, но разного химического состава: 32700 6.5Ah LiFePO4 Cell[1] одного из многочисленных китайских производителей и Li-NMC 32700-70M производства компании Lishen. Некоторые параметры узнать невозможно по причине отсутствия документации на аккумулятор в открытом доступе, а также по причине отказа производителя в выдаче таких данных.

Таблица 4 – сравнение аккумуляторов типоразмера 32700

Тип аккумулятора	Емкость, мАч	Напряжение номинальное, В	Внутр. Сопротивление, мОм	Макс. Ток заряда, А	Макс. Ток разряда продолжительный, А	Срок службы, циклов
LiFePO <sub>4</sub>	≥6500	3,2	≤8	39	39	≥2000
NMC/INR	7500	3,7	неизвестно	7	21	1000

Как видно из таблицы, несмотря на меньшую емкость литий-железофосфатного аккумулятора, он допускает заряд током до 39 Ампер, что позволяет зарядить полностью разряженный аккумулятор за десять минут, в то время, как его «классическому» оппоненту потребуется около часа, ведь его можно заряжать током до 7 Ампер. Кроме того, у LiFePO<sub>4</sub> аккумулятора вдвое больший срок службы до падения емкости на 20% от изначальной.

Тесты на пожароопасность, проводимые как производителями, так и покупателями этих аккумуляторов, доказывают преимущество литий-железо-фосфатных элементов питания. Так, например, на YouTube канале «Lithium Master» приведен тест пожароопасности литий-железофосфатного аккумулятора, в котором корпус элемента был просверлен, после чего последовало лишь выделение большого количества газов, но возгорания не произошло. Напротив, элемент Li-NMC 32700-70M производства компании Lishen, тест которого проведен автором YouTube канала «Андрей Ващенко», показал, что при схожих повреждениях (нарушение герметичности корпуса путем забивания гвоздя в случае одного аккумулятора и удар молотком по корпусу в случае второго участвующего в тесте элемента) показал высокую пожароопасность аккумуляторов типа Li-NMC.

Таким образом, с учетом описанных особенностей поведения при нештатных ситуациях, аккумуляторы, произведенные на основе железо-фосфата лития, более безопасны. Конечно, никто в процессе использования электротранспортного средства не будет умышленно разрушать корпус батареи. Однако, при дорожно-транспортном происшествии, например, при ударе автомобиля и пересекающего проезжую часть со своим средством индивидуальной мобильности пешехода повреждение корпуса аккумуляторов батареи вполне возможно, что может повлечь за собой нанесение дополнительного ущерба владельцу и имуществу окружающих.

Также возможно возникновение коротких замыканий в токоведущих частях, вызванных различными причинами, а также перезаряд аккумулятора вследствие возможных сбоев в работе зарядного устройства и систем защиты, а также возникновения внутреннего короткого замыкания в одном из аккумуляторов, из которых собрана батарея. Возникновение данных ситуаций в случае с литий-железофосфатными аккумуляторами не приведет к пожару и не нанесет дополнительного ущерба владельцу транспортного средства. Данный момент играет крайне важную роль, поскольку многие люди хранят свои ин-

дивидуальные электротранспортные средства в квартире, и возможный пожар может привести их к лишению крыши над головой, ведь в сгоревшей квартире невозможно жить до момента ее восстановления.

Таким образом, для разрабатываемого транспортного средства имеет смысл использовать литий-железофосфатные аккумуляторы типоразмера 32700 как имеющие достаточную емкость и токоотдачу, а также достаточно безопасные для использования в индивидуальном электротранспорте.

### **3.5 Проектирование аккумуляторной батареи**

Для создания батареи выбраны элементы типоразмера 32700, созданные на основе железофосфата лития как самые безопасные и дающие возможность быстрой зарядки.

Однако, для создания батареи недостаточно просто соединить элементы проводами навесным монтажом, поскольку такое соединение не даст создать надежную батарею, стойкую к вибрациям, тряске и ударам, которые неизбежно будут сопровождать проектируемое устройство в процессе эксплуатации. Следовательно, батарея должна иметь в своем составе элементы, удерживающие аккумуляторы на своих местах, выполняющие также роль корпуса.

Поскольку транспортное средство должно быть компактным, батарея также должна иметь как можно меньшие размеры, однако, необходимо обеспечить зазор между аккумуляторами для исключения короткого замыкания и для обеспечения возможности циркуляции воздуха, что способствует лучшему охлаждению батареи.

Также каждый элемент имеет номинальное напряжение 3,2 В, но этого недостаточно для питания электродвигателей и прочих систем, поэтому необходимо осуществлять соединение определенного количества элементов последовательно для получения нужного напряжения, а также в каждой после-

довательной секции осуществлять параллельное соединение элементов для увеличения емкости полученной батареи.

Поскольку большинство имеющихся на рынке мотор-колес и их контроллеров, выпускаемых для компактного электротранспорта, предусматривают питание постоянным током напряжением 36 Вольт или 48 Вольт, необходимо перед выбором питающего напряжения оценить массу, размеры и энергоемкость проектируемой батареи. Последовательное соединение элементов батареи обозначается английской буквой «s» (от англ. serial – последовательно), параллельное – английской буквой «p» (от англ. Parallel – параллельно). Таким образом, обозначение «10s2p» подразумевает последовательное соединение десяти элементов, а в каждой последовательно соединенной секции имеется два параллельно соединенных элемента.

Многие модели, аналогичные принятой за основу для разработки, имеют батарею емкостью 10-15 Ач. Поскольку данной емкости в общем случае достаточно для преодоления от двадцати до тридцати километров пути, данная емкость является приемлемой для батареи проектируемого устройства.

Для сравнения показателей батареи, изготовленной из различного количества элементов, основные показатели, такие, как масса и схема соединения элементов, сведены в таблицу 5. В данной таблице приведены основные параметры для двух схем соединения: 12s2p – что соответствует батарее напряжением 36 Вольт, и 16s2p – что соответствует батарее напряжением 48 Вольт, габаритные размеры батарей не учитывают корпус и приведены с учетом расстояния между элементами, составляющего 3 миллиметра при размещении батарей без сдвига (см. рисунок ). Потери, указанные в таблице 5, рассчитаны как потери на внутреннем сопротивлении элементов без учета сопротивления токоведущих частей и рассчитаны по формуле (1).

$$P = I^2 \cdot R = \left( \frac{P_{\text{номп}}}{U} \right)^2 \cdot R \quad (1)$$

Где  $P$  – мощность, выделяющаяся на батарее при протекании тока,

$P_{\text{потр}}$  – потребляемая от батареи мощность,

$U$  – напряжение батареи,

$I$  – ток, протекающий в батарее,

$R$  – внутреннее сопротивление элементов батареи.

Мощность, потребляемая от батареи, вычисляется также по формуле (1).

Таким образом, для батареи, изготовленной по схеме 12s2p, имеющей номинальное напряжение 36 Вольт, при потребляемой мощности 1000 Ватт (из расчета потребления двумя электродвигателями по 500 Ватт) и внутреннем сопротивлении каждого аккумулятора в составе батареи, равном 8 миллиом, потери составят:

$$P = \left( \frac{1000}{36} \right)^2 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot 12}{2} = 37,04 \text{ Вт}$$

При тех же условиях, на батарее 16s2p (номинальное напряжение 48 Вольт) потери составят:

$$P = \left( \frac{700}{48} \right)^2 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot 16}{2} = 27,78 \text{ Вт}$$

Таблица 5 – сравнение показателей батарей

Параметры	Схема соединения элементов	
	12s2p	16s2p
Номинальное напряжение, В	36	48
Емкость, Ач	13	13
Емкость, Втч	468	624
Максимальный отдаваемый ток, А	70	70
Максимальная отдаваемая мощность, Вт	2520	5880
Масса, кг	3,48	4,64
Габариты (длина*ширина*высота), мм	420*70*70	560*70*70

Как можно заметить из приведенной таблицы, батарея с напряжением 48 Вольт имеет массу больше, чем на 36 Вольт, в 1,33 раза, при этом ее емкость больше также в 1,33 раза, что не является большим улучшением показателей. Однако, повышенная максимальная выходная мощность позволит подавать на электродвигатели большую мощность без перегрузки батареи, что поможет при разгоне или движении на подъем.

Однако, согласно уже проведенным расчетам, потери снижаются с ростом напряжения, и в случае использования батареи напряжением 48 Вольт мощность, выделяющаяся на внутреннем сопротивлении элементов, в 1,33 раза меньше, чем на батарее с номинальным напряжением 36 Вольт, что также является аргументом в пользу использования батареи на 48 Вольт.

Аргументы в пользу применения батареи на 36 или 48 Вольт по основным критериям оценки обозначены знаком «плюс» в соответствующем поле и приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Сравнение батареи на 36 Вольт с батареей на 48 Вольт

Параметр	Батарея	
	36 Вольт	48 Вольт
Масса	+	
Емкость		+
Потери		+
Цена	+	
Габариты	+	

Хотя цена, масса и габариты батареи на 48 Вольт больше, принято решение использовать именно ее, поскольку увеличенная емкость и меньшие потери на внутреннем сопротивлении батареи означают увеличение запаса хода – а это очень важный параметр для транспортного средства.

### 3.5.1 Выбор элементов батареи для использования в проектируемом устройстве

Поскольку элементы типоразмера 32700, который нередко обозначается как 32650, хотя имеет те же размеры, производится большим количеством производителей, а продается еще большим количеством поставщиков, необходимо выбрать надежного поставщика, отвечающего за качество продаваемого товара и соответствие его заявленным характеристикам.

Среди многих поставщиков выделяется компания «Varcell Technology CO.,LTD»[19], основанная в 2013 году и продающая аккумуляторы разных типоразмеров и видов как под своей торговой марки (с 2017 года), так и аккумуляторы мировых фирм-производителей.

В ассортименте данной компании имеются аккумуляторы нужного типоразмера, продающиеся под названием «Varcell 3.2V IFR32700 G65 6500 mAh 30A»[18].

Данные элементы приведены на рисунке 13 имеют привлекательную цену и имеют нужные характеристики, а совпадение практически всех па-

раметров, приведенных на сайте продавца, с приведенными в п.3.4 элементами  $\text{LiFePO}_4$  позволяет сделать вывод о том, что приведенные в каталоге продавца элементы и упомянутые в п.3.4 элементы – одна и та же модель аккумуляторов. При этом стоит отметить, что продавец указывает (при остальных совпадающих с документацией параметрах) максимальный ток разряда величиной 30 Ампер, что является заниженным значением – нечасто поставщики занижают характеристики своего товара, указывая значения меньше предельно допустимых!

Varcell®



Рисунок 13 – Аккумуляторы Varcell G65

### 3.5.2 Проектирование удерживающих пластин батареи

Для того, чтобы батарея имела устойчивость к различным механическим воздействиям, а также во избежание короткого замыкания, вызванного механическими воздействиями, элементы батареи должны быть соединены механически – эту роль выполняют удерживающие пластины, которые жестко определяют положение каждого элемента, создавая промежуток между элементами, а также позволяющие провести замену батареи без при-

менения специальных инструментов, помимо тех, которые нужны для открытия внешнего корпуса.

Для проектирования батареи использован свободно распространяемый программный продукт FreeCAD, позволяющий выполнять трехмерное моделирование, выполнять сборку из ранее созданных моделей, а также выполнять чертежи по заранее созданным моделям и сборкам. Общий вид программы и созданная упрощенная трехмерная модель элемента батареи приведена на рисунке 14.

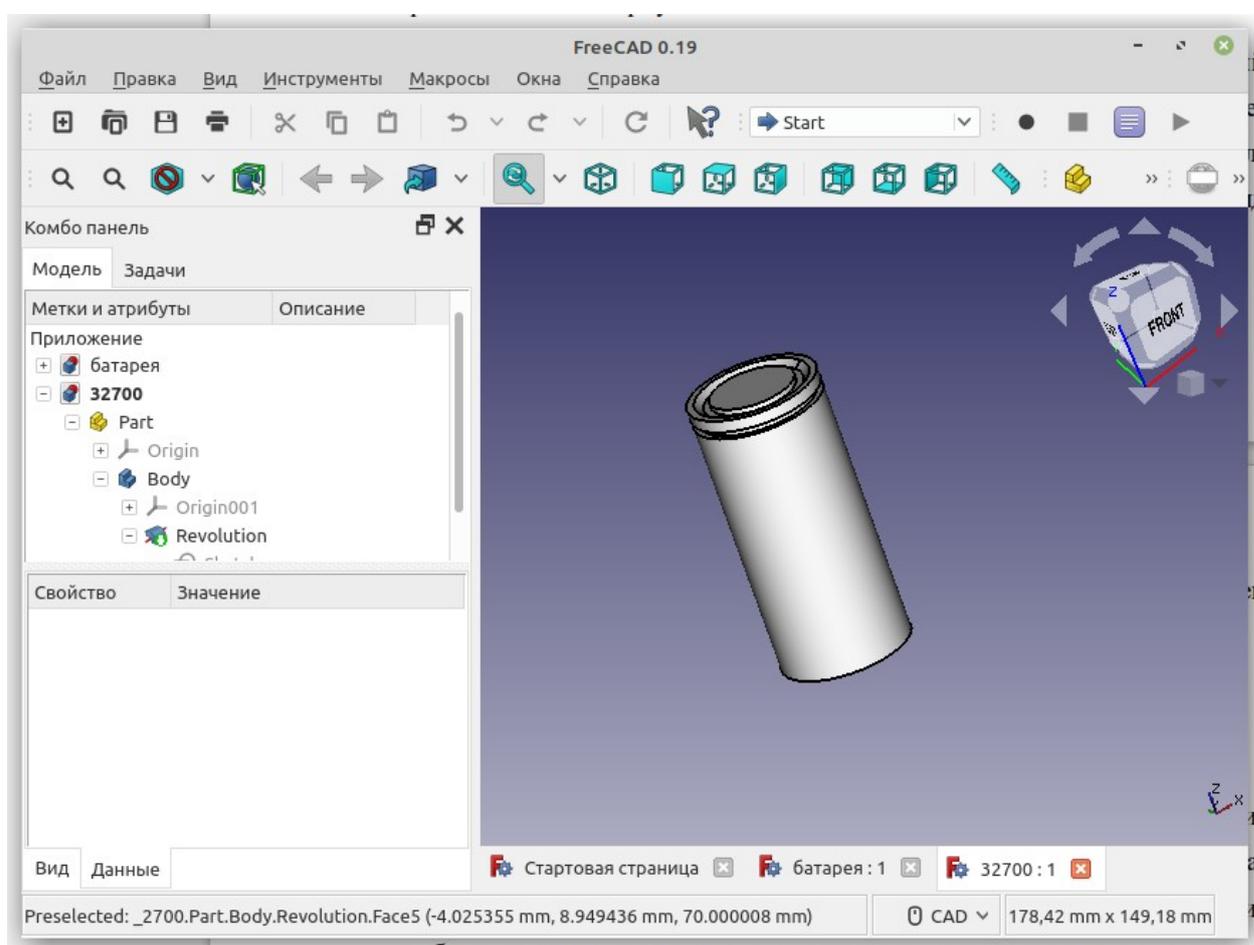


Рисунок 14 – Общий вид программы FreeCAD с созданной моделью элемента

Данная модель позволит определить правильность проектирования удерживающей пластины, оценить размеры батареи, создать чертеж, а также внести изменения в модель и чертежи, если возникнет необходимость.

Также перед окончательным проектированием батареи следует определить расположение и форму батареи, поскольку это влияет на ее размеры и длину токоведущих частей, на которых выделяется тепло при протекании электрического тока.

Расположить элементы можно двумя способами:

– Без сдвига – расположение элементов, при котором их оси образуют прямоугольник, общий вид приведен на рисунке 15. Такое расположение является более простым, позволяет оставить больше пространства между элементами, а также расположить в свободном пространстве крепеж, соединяющий пластины. Данный способ расположения позволяет упростить задачу сборки батареи, однако, увеличивает габариты батареи, что отрицательно сказывается на общих размерах внешнего корпуса и массе батареи.

– Со сдвигом – расположение элементов, представленное на рисунке 16, при котором ряды сдвинуты друг относительно друга таким образом, что оси элементов образуют параллелограмм. Данный способ позволяет уменьшить габариты батареи, что позволяет уменьшить общие габариты внешнего корпуса, а следовательно и рамы проектируемого устройства.

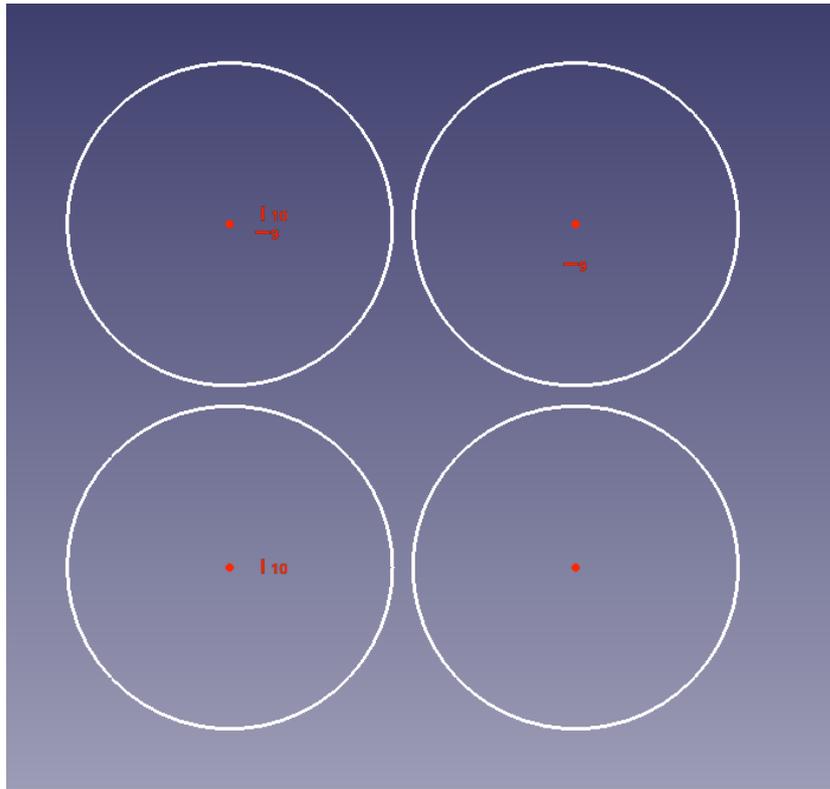


Рисунок 15 – расположение элементов без сдвига

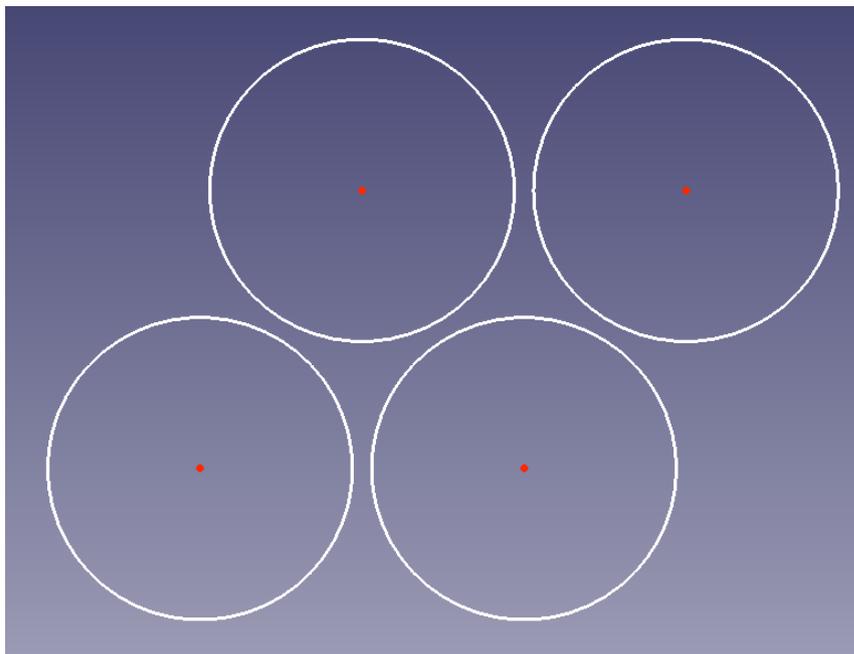


Рисунок 16 – расположение элементов со сдвигом

Несмотря на возможные трудности в расположении крепежных элементов, требование максимальной компактности диктует такие условия, при

которых самым лучшим вариантом будет расположение элементов со сдвигом.

### 3.5.3 Подбор устройства защиты батареи

Неблагоприятные условия и нештатные ситуации, неизбежно возникающие в процессе повседневной эксплуатации транспортного средства, снижают ресурс батареи и могут вывести ее из строя. Для того, чтобы защитить батарею от короткого замыкания, перегрузки и вызванных перезарядом, глубоким разрядом и перегревами повреждений аккумуляторов, применяется так называемая плата BMS (от англ. Battery Management System – система управления батареями), которая отключает батарею от всех систем при возникновении глубокого разряда, перегрузки батареи или вследствие короткого замыкания.

Ориентируясь на мощность двигателей по 500 Ватт каждый, а также с учетом запаса на обеспечение питанием прочих узлов, необходимо произвести подбор данного компонента из имеющихся в продаже стандартных изделий, для чего необходимо произвести оценку максимальной потребляемой мощности.

Оценить потребляемую мощность можно по формуле (2).

$$P_{\text{сум}} = P_{\text{дв}} + P_{\text{осв}} + P_{\text{контр}} \quad (2)$$

Где  $P_{\text{сум}}$  – максимальная потребляемая всеми системами мощность,

$P_{\text{дв}}$  – максимальная потребляемая двигателями мощность,

$P_{\text{осв}}$  – максимальная потребляемая системами освещения мощность,

$P_{\text{контр}}$  – максимальная потребляемая устройствами и системами мощность.

Для двух двигателей мощностью по 500 Ватт каждый, мощности осветительных приборов, равной 100 Ватт, а также потребляемой устройствами и системами контроля (такими, как блок ограничения скорости, устройства до-

зирования подачи мощности на электродвигатели и т. д.) мощности, равной приблизительно 50 Ватт, суммарная потребляемая мощность составит:

$$P_{\text{сум}} = 500 \cdot 2 + 100 + 50 = 1150 \text{ Вт}$$

Согласно формуле (1), потребляемая мощность равна произведению напряжения и тока, отсюда можно вывести формулу (3) для расчета протекающего тока при заданном напряжении и потребляемой мощности:

$$I = \frac{P}{U} \quad (3)$$

Где  $I$  – протекающий в цепи ток,

$P$  – потребляемая мощность,

$U$  – напряжение.

Таким образом, при потреблении 1150 Ватт батарея должна отдавать ток, равный:

$$I = \frac{1150}{48} = 23,96 \text{ А}$$

Согласно расчетам, необходимо подобрать устройство, отключающее батарею при превышении тока в 23,96 Ампера. Поскольку рассчитанными на ток 24 Ампера данные устройства не производятся, была подобрана приведенная на рисунке 17 плата, имеющая отсечку по току, равную 30 Ампер, что также является подходящим показателем.

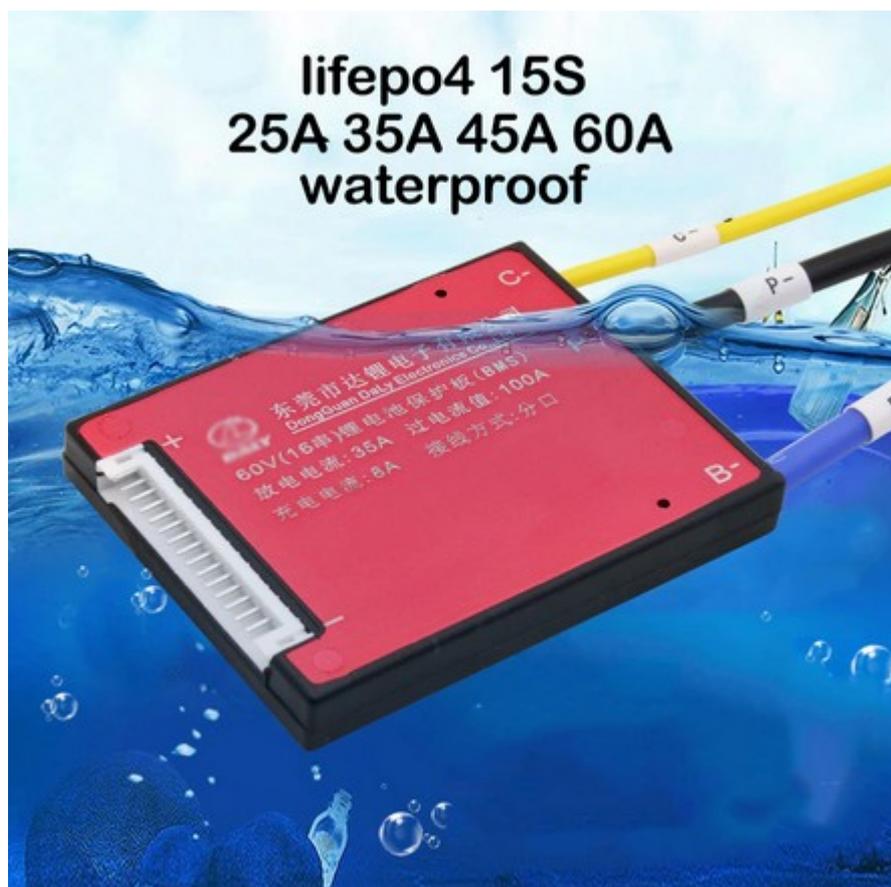


Рисунок 17 – плата BMS от поставщика IC GOGOGO STORE

Несмотря на то, что пиковая мощность, потребляемая при старте, превышает описанные значения, данная плата не создаст проблем, поскольку заявленный продавцом параметр «discharge overcurrent protection value», показывающий значение тока, при котором плата отключает батарею от нагрузки, равен ста амперам – это позволяет использовать данную модель платы защиты.

### **3.6 Выбор электродвигателей и контроллеров для них**

Электродвигатель – один из главных узлов электрического транспорта, поскольку именно он приводит транспортное средство в движение, преобразуя электрическую энергию, запасенную в батарее, в механическую. На сегодняшний день в электротранспортных средствах широко применяются

так называемые BLDC двигатели (от англ. BrushLess DC motor – бесщеточный электродвигатель постоянного тока), представляющие собой гибридный двигатель постоянного тока и синхронного электродвигателя, что, с одной стороны, позволяет использовать постоянный ток для питания, а с другой, требует коммутации обмоток определенным образом, иначе ротор двигателя будет останавливаться в одном положении, соответствующем поданному на соответствующие обмотки напряжению, что напоминает поведение шагового двигателя.

В целях обеспечения компактности, уменьшения массы и облегчения обслуживания принято решение использовать мотор-колесо, аналогичное примененному в электроскутере Kugoo C1, имеющее мощность 500 Ватт от поставщика Cycling&Ebike CO.,LTD Store и приведенное на рисунке 18.

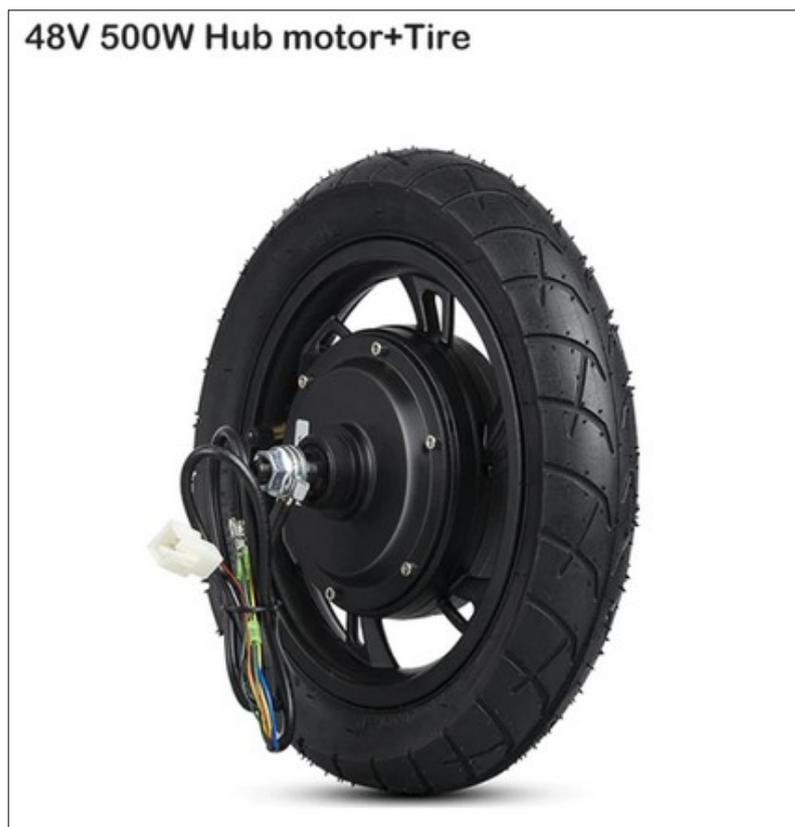


Рисунок 18 – мотор-колесо, примененное в проектируемом устройстве

Для обеспечения запаса по мощности двигателей, проектируемое средство индивидуальной мобильности будет выполнено полноприводным, то есть на проектируемое устройство будут установлены два мотор-колеса.

Задачу управления решает специальное электронное устройство, называемое контроллером электродвигателя. Пример такого контроллера приведен на рисунке 19.



Рисунок 19 – контроллер BLDC двигателя

Поскольку планируется применение стандартных мотор-колес, устанавливаемых на электроскутеры Kigoo C1, имеющие мощность 500 Ватт и напряжение питания 48 Вольт, для соответствия мощности контроллера и двигателя следует применить соответствующий контроллер.

С учетом озвученных выше факторов, выбран контроллер электродвигателя, входящий в комплект к поставляемому мотор-колесу, поскольку данное решение позволяет снизить конечную стоимость: одно мотор-колесо имеет цену около 10887 рублей, комплект же из мотор-колеса и контроллера

обойдется в 10000 рублей, что позволяет сэкономить около трех тысяч рублей, которые при отдельной покупке пришлось бы затратить на контроллеры.

### **3.7 Ограничение максимальной скорости и индикация основных параметров**

#### **3.7.1 Определение задач, возлагаемых на блок ограничения скорости**

Поскольку движение с высокой скоростью создает опасность для водителя и окружающих пешеходов, необходимо ограничить максимальную скорость проектируемого средства индивидуальной мобильности. Хотя данное ограничение можно сделать лишь в одном режиме, оставив таким образом возможность передвигаться с максимально возможной скоростью вне пешеходных дорожек, это создаст две проблемы:

Во-первых, переключение режима с ограничения скорости 20 километров в час на режим с отсутствующим ограничением означает переход устройства из категории «средство индивидуальной мобильности» в категорию «мопед», что влечет за собой требование наличия водительского удостоверения на право управления транспортными средствами категории «М».

Во-вторых, наличие режима с отсутствующим ограничением скорости воздает у водителя соблазн продолжать движение в данном режиме даже при движении по пешеходной дорожке, повышая риск столкновения с окружающими пешеходами и получения травм.

Выходом из положения при таких условиях является принудительное ограничение скорости проектируемого средства индивидуальной мобильности на уровне 20 км/ч.

Выбор значения ограничения максимальной скорости, равной 20 км/ч обусловлен приведенными в информационной брошюре[4], опубликованной

на сайте Министерства транспорта Российской Федерации, фрагмент которой приведен на рисунке 20.



Рисунок 20 – фрагмент информационной брошюры Минтранса

Реализовать ограничение скорости можно либо физически – установкой резистора, ограничив таким образом амплитуду сигнала между устройством дозирования подаваемой на двигателя мощности и контроллерами двигателей, либо программно – путем внесения изменений в программную часть контроллеров двигателей.

Однако, контроллеры двигателей – предмет получения прибыли производителями, поэтому программным путем решить поставленную задачу не удастся – производители не раскрывают ни программную часть контроллеров, ни принципиальных схем, а потому к поиску возможностей реализации функции ограничения скорости также добавляется еще один ограни-

чивающий фактор – неизвестно, предусматривает ли схемная часть контроллера реализацию данной функции.

Физический способ решения задачи, предусматривающий установку резистора между «ручкой газа» и контроллером, также не пригоден к использованию в объемах больших, чем штучное производство устройств под заказ, поскольку требует больших трудозатрат по подбору резистора подходящего сопротивления, исключения влияния погрешности сопротивления его изменений, вызванных перепадами температур. К тому же, данный подход требует проведения тестов для подтверждения правильности выбранного резистора. Кроме того, в продаже встречаются контроллеры, которые принимают цифровой сигнал, и в этом случае применение резистора недопустимо, поскольку не даст нужного эффекта.

С учетом вышесказанного, остаются два способа решения задачи: проектирование контроллера электродвигателя «с нуля» либо проектирование блока, изменяющего сигнал между «ручкой газа» и контроллером так, чтобы на выходе «ручки» сигнал, соответствующий максимальной мощности, ограничивался по верхнему значению, и на вход контроллера поступало бы значение, соответствующее подаче на двигателя мощности, необходимой для движения со скоростью 20 км/ч. Так как дорожная ситуация непрерывно изменяется, например, дорога может пойти на подъем, или же на спуск, необходима корректировка максимального значения сигнала, чтобы водитель имел возможность двигаться с максимальной ограниченной скоростью до тех пор, пока это позволяет мощность двигателей и уровень заряда батареи.

Проектирование контроллера удорожает конструкцию, поскольку его создание требует значительных финансовых затрат на труд инженеров, инструменты и программные продукты для осуществления их работы, а также временных затрат для отладки и тестов (включая ресурсные испытания и испытания на прочность).

Проектирование внешнего блока, напротив, уменьшает затраты на проектирование, поскольку схемная часть контроллера, уже испытанная и опробованная производителем, остается нетронутой, встраивается лишь промежуточное звено в цепь управления мощностью – между «ручкой газа» и входом контроллера электродвигателя. Такой подход также требует испытаний и отладки, однако, в данном случае испытания ограничиваются испытанием лишь одного узла в цепи управления двигателями – блока управления ограничением скорости, поскольку остальные узлы производятся серийно и критические проблемы в их конструкции уже решены.

Данный блок также возможно реализовать, используя более простые и дешевые средства, в частности на базе микроконтроллера Arduino, цена которого в зависимости от модели варьируется в пределах от 120 до 1300 рублей.

### 3.7.2 Определение задач блока индикации параметров

Кроме всего прочего, важно знать основные показатели, отражающие состояние транспортного средства, такие, как:

- Скорость движения – поскольку данный параметр уже измеряется блоком ограничения и индикации для вычисления ограничения подаваемой на двигатели мощности, его визуальное отображение даст водителю возможность регулировать скорость движения более точно, управляя ручкой дозирования мощности.
- Емкость батареи – данный параметр пригодится для вычисления остаточного заряда батареи, давая водителю возможность оценки запаса хода.
- Остаточный заряд – данный параметр следует отображать для снижения риска возникновения отказа систем транспортного средства, вызванного разрядом батареи, поскольку зная остаточный заряд, водитель может спланировать маршрут для покрытия максимального расстояния или определения нужного момента для зарядки батареи.

– Потребляемая мощность – визуальное отображение данного параметра также поможет оценить примерный остаточный запас хода до полной разрядки батареи.

Поскольку контроллеры электродвигателей, поставляемые с мотор-колесами, как и продаваемые по отдельности, обычно не имеют выхода для индикации потребляемой мощности и скорости движения транспортного средства, для удешевления и уменьшения количества компонентов в блоке, а следовательно и его габаритов, целесообразно реализовать индикацию перечисленных параметров на экране, встроенном в блок ограничения скорости.

Разработка программы с учетом возможности индикации параметров требует дополнительных затрат на проектирование, испытание и доработку. Для того, чтобы снизить эти затраты, данные функции решено возложить на стандартные средства – в частности, напряжение на батарее отображается на экране, встроенном в некоторые модели «ручек газа».

### 3.7.3 Разработка блока ограничения скорости

Перед выбором микроконтроллера следует определить требования и алгоритм работы создаваемого блока. Так как основная задача блока – ограничивать максимальную скорость, следовательно необходимо, чтобы данный узел имел следующие возможности:

– Возможность принимать и обрабатывать аналоговый сигнал – данная возможность требуется для измерения амплитуды выходного сигнала, приходящего с выхода «ручки газа». Обусловлено это тем, что в большинстве своем данное устройство подает на выход аналоговый сигнал, обрабатываемый затем контроллером двигателя.

– Наличие цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) – обусловлено предыдущим пунктом, потому как после обработки следует передать сигнал на соответствующий вход контроллера, который требует для приема именно аналоговый сигнал.

– Наличие таймера – поскольку измерять скорость механически, преобразовывать ее в аналоговый сигнал и затем обрабатывать нецелесообразно с точки зрения сложности конструкции и низкой помехоустойчивости, имеет смысл реализовать процесс измерения скорости при помощи сигнала с датчика Холла, встроенного во многие мотор-колеса для обнаружения положения ротора двигателя. Зная диаметр мотор-колеса, количество магнитных полюсов на роторе и время между импульсами, возможно вычислить скорость транспортного средства с довольно высокой точностью, не прибегая к использованию дополнительных узлов измерения скорости.

Кроме того, устройство должно также выводить потребляемую мощность в удобном для визуального контроля виде, что требует от блока наличия экрана, а также компонентов, позволяющих преобразовать некоторые значения в пригодный для обработки микроконтроллером вид.

Таким образом, описываемое в данном подразделе устройство должно функционировать по следующему алгоритму:

- Измерить скорость
- Если скорость меньше порога ограничения, передать сигнал с входа на выход без изменений.
- Если скорость превысила порог ограничения, то уменьшить амплитуду передаваемого на выход сигнала, снизив таким образом скорость за счет снижения подаваемой на двигателя мощности до тех пор, пока скорость не снизится до безопасного значения, равного установленному ограничению.

В данном алгоритме также прослеживается еще одно преимущество ограничения скорости внешним блоком в сравнении с ограничением сигнала при помощи резистора – в случае использования резистора, максимальная подаваемая на двигателя мощность ограничена жестко, так как данное реше-

ние ограничивает амплитуду сигнала, не позволяя менять верхний предел ограничения.

В случае использования внешнего блока на отдельном микроконтроллере, данная проблема не возникает, поскольку ограничение амплитуды передаваемого сигнала (а следовательно и скорости) динамическое. При таком решении задачи сводится к минимуму риск возникновения недостатка подаваемой на двигатели мощности (естественно, при наличии запаса по мощности, обеспечиваемого батареей, контроллерами, а также максимальной мощностью самих электродвигателей), когда для продолжения движения с заданной скоростью требуется повысить потребляемую мощность двигателя, но этого не происходит из-за ограничения амплитуды выходного сигнала (в случае жесткого ограничения верхнего предела потребляемой мощности).

Когда верхний предел ограничения динамический, при падении скорости и неизменном положении ручки управления мощностью, происходит подъем верхней границы ограничения, что приводит к повышению подаваемой на двигатели мощности, сохраняя таким образом заданную скорость движения до тех пор, пока она не будет ограничена другими элементами схемы – например, встроенной системой защиты от перегрузок на стороне контроллера электродвигателя.

Составление кода программы для блока ограничения скорости следует начать с составления алгоритма программы в виде блок-схемы.

Для составления блок-схемы использован бесплатный программный продукт Dia[15], распространяемый свободно по лицензии GNU General Public License v2.[17] Общий вид программы представлен на рисунке 21. данная программа позволяет создавать и редактировать блок-схемы, а также сохранять их в файлы различного расширения, что обеспечивает совместимость при сохранении и чтении созданных блок-схем.

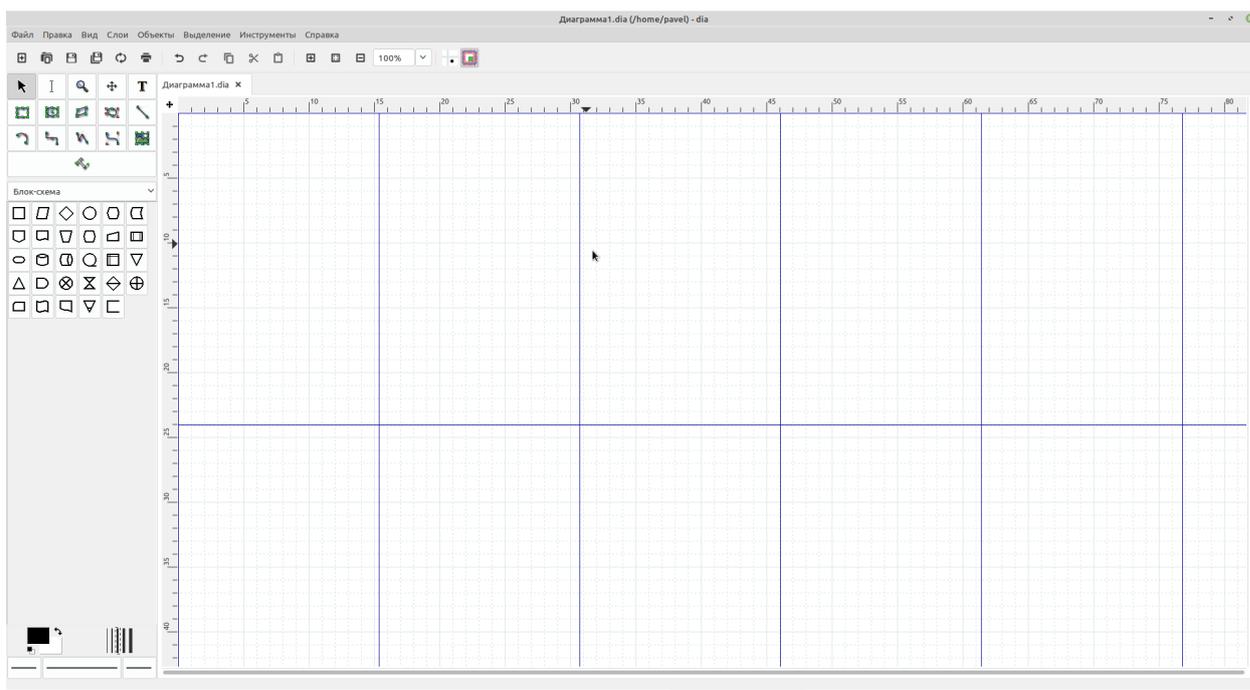


Рисунок 21 – общий вид программного продукта Dia

Схема электрическая принципиальная, а также печатная плата, созданы в программном продукте KiCAD[10], который также является свободным для использования, распространения и дополнения продуктом, позволяющим создавать электронные схемы и печатные платы, а также просматривать их трехмерные модели без каких-либо ограничений, что обеспечивается поистине огромной библиотекой компонентов, посадочных мест и встроенным редактором компонентов (на случай отсутствия нужного компонента в библиотеке). Кроме того, программный продукт KiCAD также является свободным для распространения и использования, что обеспечивается лицензией GNU General Public License v3.[16]

Блок-схема, составленная на основе предполагаемого алгоритма функционирования программы, представлена в приложении А. Код программы приведен в приложении Б. Схема электрическая принципиальная и печатная плата, созданная как надстройка над стандартной платой микроконтроллера Arduino Pro Mini, обеспечивающая гальваническую развязку

входного сигнала от микроконтроллера, приведены соответственно в приложениях В и Г.

### **3.8 Компоновка узлов средства индивидуальной мобильности**

Грамотная компоновка узлов позволит уменьшить габариты и массу разрабатываемого средства индивидуальной мобильности, а также даст возможность обеспечить соответствие требованиям надежности, предъявляемым к средству передвижения.

#### **3.8.1 Определение габаритов и проектирование рамы.**

Для определения габаритов рамы, следует прежде всего учесть требования к удобству посадки водителя, а также предусмотреть возможность размещения небольшого груза, необходимость перевозки которого может возникнуть в процессе эксплуатации разрабатываемого устройства.

Так как за основу для разработки взят образец Kugoо C1, основные параметры разрабатываемой рамы должны совпадать с размерами взятого за основу образца, поскольку данный подход позволяет снизить затраты на производство за счет использования стандартных комплектующих.

Для определения оптимальных размеров рамы следует определить основные требования:

- Размещение водителя – сидячее
- Тип посадки – прямая
- Рост водителя – не менее 140 см

Исходя из названных требований в программном продукте FreeCAD создана упрощенная модель человека, имеющего среднестатистические параметры, описанные в таблице 7, представленная на рисунке 22.

Таблица 7 – основные параметры модели человека

Параметр	Значение
Рост общий, см	175
Длина ноги, см	90,5
Длина голени, см	49,5
Длина туловища, см	54,5
Длина руки общая, см	60
Длина руки до локтя, см	27,5
Длина предплечья, см	32,5

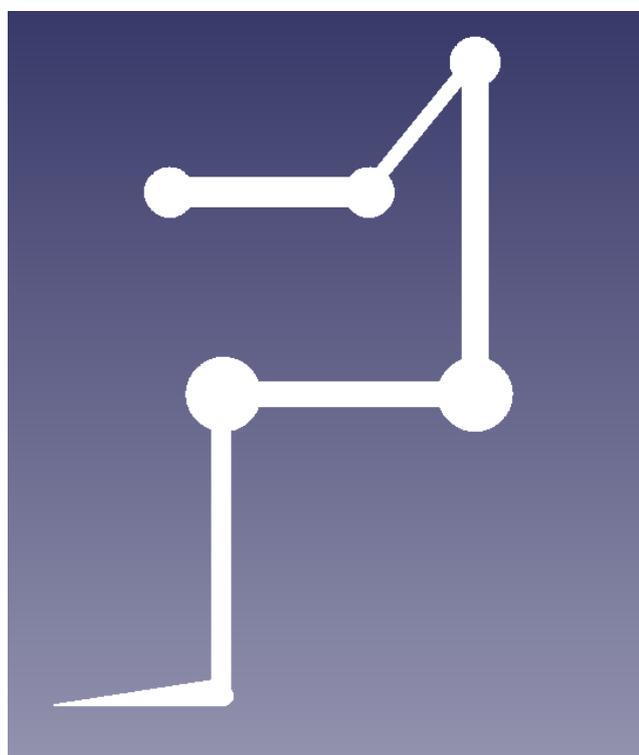


Рисунок 22 – модель водителя

Составленная по таблице 7 и представленная на рисунке 22 модель имеет форму, соответствующую прямой посадке человека, поскольку именно при прямой посадке снижается нагрузка на позвоночник, в том числе при долгом нахождении за рулем, по сравнению с другими типами посадок.

Данная модель хотя и не является точной копией человека, однако, позволит оценить требуемые основные параметры рамы, а следовательно и рас-

положение узлов и компонентов. Форма рамы, определенная с учетом увеличившихся из-за примененного типа аккумуляторов, приведена на рисунке 23.



Рисунок 23 – общий вид формы рамы

Такая форма позволяет, во-первых, создать пространство для размещения увеличившейся в размерах батареи, и, во-вторых, позволит сделать это правильно с точки зрения внешнего вида, который также является важным параметром любого устройства.

### 3.8.2 Выбор сиденья

Сиденье в проектируемом устройстве применено велосипедного типа, изображенное на рисунке 1, поскольку данное решение дает возможность осуществлять регулировку по высоте, обеспечивающую повышение удобства за счет индивидуальной подгонки высоты сиденья и положения руля под водителя в более широких пределах, чем при установке несъемного и неподвижного сиденья. Также применение сиденья велосипедного типа позволит увеличить комфорт передвижения за счет наличия дополнительных амортизирующих пружин, компенсирующих часть вибраций, возникающих при движении по неровной или старой дороге, потерявшей гладкость.



Рисунок 24 – сиденье велосипедного типа

После определения внешнего вида рамы произведено трехмерное моделирование рамы и остальных узлов, а также произведено моделирование сборки конечного изделия.

На основе трехмерной модели, созданной в программном продукте FreeCAD[2], распространяемом свободно на условиях лицензии «GNU Lesser General Public License (LGPL) version 2 or superior»[8], позволяющей свободно использовать, модифицировать и распространять программное обеспечение, дающая право не платить внушительные суммы за программы, позволяющие производить автоматизированное проектирование изделий, произведена подготовка чертежей модели, представляющей собой законченное изделие, соответствующее разрабатываемому образцу.

Чертеж спроектированного устройства, созданный на основе трехмерной модели, приведен в графическом материале.

#### **4 Затраты на производство опытного образца**

Цена – параметр, для многих покупателей являющийся определяющим. Учитывая это, необходимо на этапе проектирования оценить затраты на производство одного образца, чтобы выяснить целесообразность начала производства спроектированного устройства и либо внести изменения в конструкцию, удешевив продукт, либо отказаться от запуска его в производство.

Оценить затраты на производство проектируемого в данной работе образца довольно сложно ввиду наличия нестандартных компонентов, которые придется изготавливать «с нуля», что многократно увеличивает стоимость в объеме не только опытного образца, но и мелкосерийного производства.

Тем не менее, часть затрат, составляющих стоимость стандартных компонентов, оценить реально. Основные затраты на закупаемые компоненты приведены в таблице 8.

Таблица 8 – затраты на закупаемые стандартные компоненты

Компонент	Цена, рублей	Количество, единиц	Стоимость, рублей
Комплект двигателей (мотор-колесо, контроллер)	10000	1	10000
Ручка дозирования мощности	570,53	1	570,53
Аккумулятор LiFePO <sub>4</sub> типоразмера 32700	280	32	8960
Вилка передняя для скутера GY-6	3250	1	3250
Плата микроконтроллера Arduino Pro Mini	262,20	1	260,20
Итого			23040,73

Согласно приведенной в таблице 8 смете, можно увидеть высокую цену на производство опытного образца – цена стандартных компонентов уже приближается к цене готового серийного образца. Дороговизна опытного образца объясняется такими факторами, как покупка единичных образцов товара, а также высокой стоимостью доставки. Однако, при серийном производстве, стоимость стандартных компонентов может снизиться, уменьшив стоимость конечного изделия до уровня образцов, на основе которых проектировалось средство индивидуальной мобильности.

Также неизвестна цена изготовления рамы, поскольку данный компонент в единичном экземпляре изготовить крайне трудно ввиду отсутствия производителей, готовых изготавливать под заказ детали в единичных объемах.

## Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы произведена разработка электрического средства индивидуальной мобильности. Для достижения заданной цели выполнены следующие задачи:

- Анализ присутствующих на рынке образцов индивидуального электротранспорта.
- Определение необходимости разработки новой конструкции либо усовершенствования существующей.
- Усовершенствование конструкции путем разработки и добавления отдельных технических решений в существующую конструкцию.

И хотя в данном устройстве применен двигатель мощностью 500 Ватт, теоретически позволяющий разогнаться до скоростей более 45 км/ч, разработанный блок ограничения скорости позволяет устройству остаться в поле определения «средство индивидуальной мобильности», а его водителю – в поле определения «лицо, использующее СИМ», поскольку не задействованная при движении в обычном режиме мощность создает запас, позволяющий водителю при соответствующей дорожной обстановке передвигаться с максимальной разрешенной скоростью даже при перевозке небольших грузов или при движении на подъем, делая тем самым процесс использования более комфортным, а пожаробезопасная батарея не позволит произойти возгоранию при возникновении нештатной ситуации. Подвеска обоих колес, сиденье велосипедного типа и относительно большой диаметр колес поглотят неровности дорожного полотна, оберегая водителя и узлы устройства от повышенных нагрузок и вибраций, неизбежно сопровождающих процесс передвижения по городским улицам.

## Список использованных источников

1.Specification for Lithium-ion rechargeable cell// Аккумулятор типоразмера 32700 [электронный ресурс] // URL:<https://disk.yandex.ru/i/0yZN4KT92kndcA> (дата обращения 01.07.2021)

2.Ваша собственная программа трёхмерного параметрического моделирования// Команда FreeCAD [электронный ресурс] // URL:<https://www.freecadweb.org/?lang=ru> (дата обращения 01.07.2021)

3.Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 9 месяцев 2020 года// Научный центр безопасности дорожного движения [электронный ресурс] // URL:<https://disk.yandex.ru/i/u9wKbVEU3uS6IA> (дата обращения 01.07.2021)

4. Минтранс России доработал проект изменений в Правила дорожного движения об использовании средств индивидуальной мобильности // Официальный Интернет-ресурс Министерства транспорта Российской Федерации [электронный ресурс] // URL:<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9509> (дата обращения 01.07.2021)

5.ПДД 2021. Правила дорожного движения 2021 РФ изменения 1 марта 2021 России// ПДД24 [электронный ресурс] // URL:<http://www.pdd24.com/> (дата обращения 01.07.2021)

6.Купить электроскутер CityCoCo Classic I Официальный дилер// CityCoCo Russia Operating Company, LLC. 2016–2021 [электронный ресурс] // URL:<https://citycoco-russia.com/classic> (дата обращения 01.07.2021)

7.Электросамокат Dualtron X 2 (2021) (Дуалтрон икс)// DUALTRON.RU [электронный ресурс] // URL:<https://dualtron.ru/catalog/dualtron-x/> (дата обращения 01.07.2021)

8.GNU Lesser General Public License v2.1 - GNU Project - Free Software Foundation // Free Software Foundation [электронный ресурс] //

URL:<https://www.gnu.org/licenses/old-licenses/lgpl-2.1.en.html> (дата обращения 01.07.2021)

9.Гироскутер Smart Balance Pro – обзор модели последнего поколения, Технические характеристики и описание// Gyrorating.ru - Информационный портал об электротранспорте в России и Море. Разработка портала - "Амадес" [электронный ресурс] // URL:<https://gyrorating.ru/giroskutery/giroskuter-smart-balance-pro-model-poslednego-pokoleniya-na-kotoruyu-stoit-obratit-vnimanie/> (дата обращения 01.07.2021)

10.KicAD EDA - Schematic Capture & PCD Design Software// KiCAD Developers team [электронный ресурс] // URL:<https://www.kicad.org/> (дата обращения 01.07.2021)

11.Моноколесо GotWay MSuper X 650 wh 84 V – купить недорого в Тольятти с доставкой// KStore Тольятти [электронный ресурс] // URL:<https://tlt.kstore.ru/monokoleso-gotway-msuper-x-84v-black> (дата обращения 01.07.2021)

12.Электросамокат Kugoo C1 (JILONG) – Цена, характеристики и фото// kugoo-russia.ru [электронный ресурс] // URL:<https://kugoo-russia.ru/electrosamokaty/kugoo-c1> (дата обращения 01.07.2021)

13.Specification of product for Lithium-ion rechargeable cell INR18650-35E// Samsung SDI., Battery Business Division [электронный ресурс] // URL:[https://disk.yandex.ru/i/A6\\_kXpGn6XukdQ](https://disk.yandex.ru/i/A6_kXpGn6XukdQ) (дата обращения 01.07.2021)

14.HTCFR18650-1600mAh-3.2V Product specifications// Shandong Goldencell Electronics Technology Co.,Ltd [электронный ресурс] // URL:<https://disk.yandex.ru/i/s5qnABzmPFQiaQ> (дата обращения 01.07.2021)

15.dia draws your structured diagrams: free Windows, Mac OS X and Linux version of the popular open source program// The Dia Developers [электронный ресурс] // URL:[dia-installer.de](http://dia-installer.de) (дата обращения 01.07.2021)

16.GNU General Public License v3// The Free Software Foundation  
[электронный ресурс] //  
URL:[https://www.kicad.org/about/licenses/#\\_gnu\\_general\\_public\\_license\\_v3](https://www.kicad.org/about/licenses/#_gnu_general_public_license_v3)  
(дата обращения 01.07.2021)

17.GNU General Public License v2.0 – GNU Project - Free Software  
Foundation// The Free Software Foundation [электронный ресурс] //  
URL:<https://www.gnu.org/licenses/old-licenses/gpl-2.0.en.html#mission-statement>  
(дата обращения 01.07.2021)

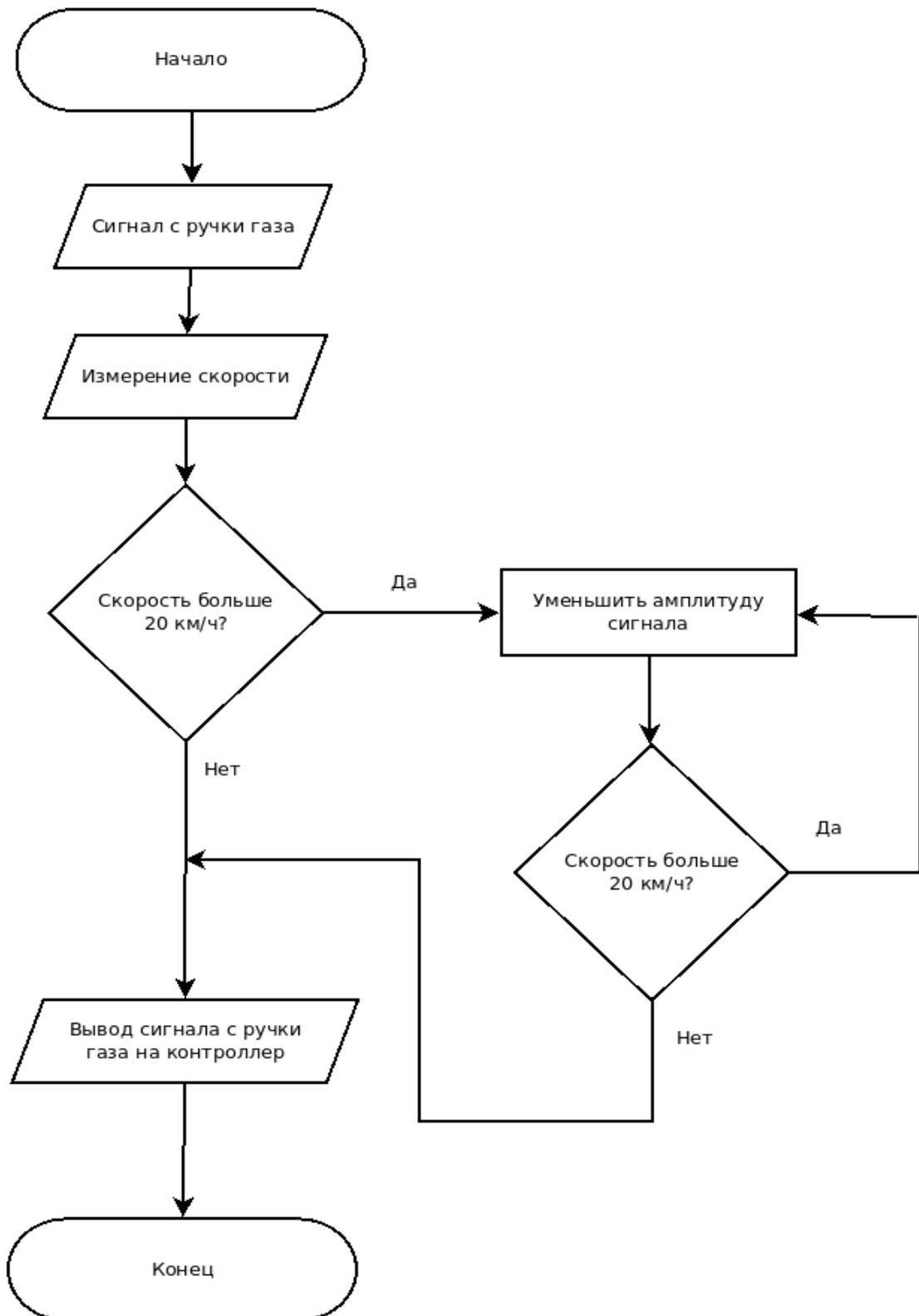
18.Vapcell 3.2V IFR32700 G65 6500mah 30A// VAPCELL TECHNOLOGY  
CO.,LTD [электронный ресурс] // URL:<https://www.vapcelltech.com/h-pd-62.html?fromCollId=152> (дата обращения 01.07.2021)

19.18650 batteries, Vapcell batteries, 18650 chargers// VAPCELL  
TECHNOLOGY CO.,LTD [электронный ресурс] // URL:<https://vapcelltech.com>  
(дата обращения 01.07.2021)

20.WS-MINI R 1200W | White Siberia// White Siberia [электронный  
ресурс] // URL:<https://white-siberia.com/catalog/products/ws-mini-r-1200w/> (дата  
обращения 01.07.2021)

## Приложение А

### Блок-схема алгоритма программы ограничения скорости



## Приложение Б

### Код программы блока ограничения скорости

```
unsigned long time
int sensorPin = A0 // вход с ручки газа
int HallPin = 2 // вход датчика Холла двигателя
int OutThrott = 3 //выход на ручку газа
int Poles = 18 // количество полюсов на роторе двигателя
int sensorValue = 0 // хранение значения входного сигнала ручки газа

void setup(){
  pinMode(sensorPin, INPUT) // объявляем аналоговый пин входным для при-
ема сигнала с ручки газа
  pinMode(HallPin, INPUT) // Объявляем входом пин, на котором принимаем
сигналы датчика
  pinMode(OutThrottle, OUTPUT) // объявляем выход на ручку газа выходом

void loop(){
  int imp = 0;
  int time = millis ();
  int alltime = 0;
  for (; alltime - time <= 10000;){
    if (digitalRead(HallPin)){
      imp++;
    }
    alltime = millis();
  }

  sp= //расчет скорости движения на основе данных, полученных с датчика
положения ротора

  if (sp < 20)
  {
    analogWrite(OutThrott) = analogRead(sensorPin)
  }
  else
  {
    analogWrite(Outthrott) = analogRead(sensorPin) * 0.95
  };
}
```