

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Общая теория электромеханического преобразования энергии
(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Разработка концепции электромобиля Formula Student»

Студент

В.Н. Горшков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

А.А. Северин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель программы к.т.н., профессор В.В. Ермаков

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2017 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2017 г.

Тольятти 2017

Содержание

Введение	6
1 Обзор образовательных студенческих инженерных проектов	8
1.1 Проект Smartmotochallenge	8
1.2 Проект Formula Baja SAE	10
1.3 Проект Формула Студент	11
2 Требования к электромобилю	18
2.1 Технические требования для электромобилей	18
2.2 Высокое и низкое напряжение	18
2.3 Заземлённая низковольтная система и тяговая система	19
2.4 Электрическая трансмиссия	20
2.5 Ограничения по силе тока и напряжению	20
2.6 Энкодер тормозной системы	23
2.7 Проверка потенциометра запроса мощности и хода тормозной педали	24
2.8 Допустимые аккумуляторы электротяговой системы	25
2.9 Общие требования к контейнеру электротяговой батареи	25
2.10 Конфигурация контейнера тяговых батарей	26
2.11 Требования к контейнеру электротяговой системы	27
2.12 Токовое реле тяговой батареи (РКИА)	29
2.13 Система контроля аккумулятора (СУА)	30
2.14 Низковольтная система (напряжение менее 40 В)	32
2.15 Разделение тяговой системы и ЗНС	32
2.16 Позиционирование деталей тяговой системы	34
2.17 Противопожарная перегородка тяговой системы	35
2.18 Заземление	36
2.19 Точки замера тяговой системы (ТЗТС)	36
2.20 Изоляция, проводка и рукава проводов тяговой системы	38
2.21 Защитные кожухи электротяговой системы	40

2.22 Разъединение высокого напряжения (HVD)	41
2.23 Проводники передающие большие токи электротяговой системе	41
2.24 Счётчик энергии	42
2.25 Активация электротяговой системы	43
2.26 Схема предварительного заряда и схема разряда	43
2.27 Световой сигнал работы электротяговой системы (СС)	44
2.28 Звуковой сигнал готовности к началу движения (ЗС)	45
2.29 Цепь аварийного выключения	45
2.30 Главные переключатели	47
2.31 Кнопки выключения	50
2.32 Выключатель предельного положения педали тормоза	50
2.33 Устройство контроля изоляции (IMD)	51
2.34 Устройство для контроля тормозной системы	52
2.35 Выключатель от замедления	53
2.36 Предохранители	54
2.37 Проверка устройства контроля изоляции (IMDT)	55
2.38 Проверка изоляции	56
2.39 Испытания в условиях дождя	56
2.40 Аккумуляторные контейнеры тяговой системы	57
2.41 Зарядка	57
2.42 Зарядные устройства	58
2.43 Тележка	59
2.44 Форма об электрической системе (ESF)	60
2.45 Анализ характера и последствий отказов (FMEA)	61
2.46 Предоставление Формы и Анализа	61
2.47 Штраф за несвоевременное предоставление	61
3 Определение концепции электромобиля	62
3.1 Тягово – динамический расчёт электромобиля	62
3.1.1 Исходные данные	62

3.2	Определение мощности и момента электродвигателя	63
3.2.1	Определение полной массы автомобиля	63
3.2.2	Определение статического радиуса колеса	64
3.2.3	Определение коэффициента обтекаемости	64
2.2.4	Расчет лобовой площади автомобиля	64
3.2.5	Расчет коэффициента сопротивления качению	65
3.2.6	Определение внешней скоростной характеристики необходимого электродвигателя	65
3.2.7	Определение передаточного числа главной передачи	67
3.3	Анализ тяговой динамики	68
3.3.1	Тяговый баланс электромобиля	68
3.3.2	Динамические характеристики автомобиля	71
3.4	Анализ динамики разгона	72
3.4.1	Разгон автомобиля	72
3.5	Мощностной баланс электромобиля	78
3.6	Выбор тягового электродвигателя	79
3.7	Определение емкости тягового аккумулятора	82
3.8	Подбор тягового аккумулятора	84
3.9	Система управления аккумулятором	86
3.10	Блока управления электродвигателем	88
3.11	Плавкие предохранители	90
3.12	Силовое реле	91
3.13	Силовые провода тяговой системы	92
3.14	Устройство контроля изоляции	95
3.15	Инерционный датчик	96
4	Безопасность и экологичность проекта	97
4.1	Общие требования, относящиеся к конструкции автомобилей класса Формула Студент	97
4.1.1	Требования к топологии автомобилей	97
4.1.2	Требования к обвесу автомобиля	98

4.1.3 Требования к сиденью пилота	99
4.1.4 Общие требования к конструкции рамы	99
4.1.5 Основные требования к главной и передней дуге	102
4.1.6 Величина шаблона 95-ого перцентиля человека	103
4.1.7 Требование к энергопоглотельному элементу	105
4.1.8 Фланговая конструкция для трубной рамы	105
4.2 Требования к месту пилота	107
4.2.1 Требования к сиденью водителя	107
4.2.2 Требования к полу	107
4.2.3 Требования к огнеупорной перегородке	108
4.2.4 Доступ к органам управления	108
Заключение	110
Список использованных источников	110

Введение

В Тольяттинском государственном университете 2008 года создана команда, которая занимается разработкой и постройкой гоночных болидов с двигателями внутреннего сгорания. На сегодняшний момент построено уже четыре автомобиля класса Формула Студент, которые показали высокие результаты на различных соревнованиях. В данной работе будет произведена разработка концепции электромобиля для соревнований Формула Студент Электрик.

Требования к разрабатываемому автомобилю определяются регламентом сообщества автомобильных инженеров (SAE) [21]. В Мире формула SAE более известна как «Формула Студент» [1]. Это инженерные соревнования для студентов, по замыслу, команда студентов является инженерной компанией, целью которой является разработка, постройка и испытание прототипа автомобиля класса формула для рынка любительских непрофессиональных гоночных автомобилей. Основным испытанием для студенческих команд является непосредственная разработка и постройка гоночного автомобиля, способного успешно пройти все проверки и состязания на этапе соревнований. Кроме того, команда должна показать всю имеющуюся конструкторскую документацию на разработанный автомобиль и доказать, что применённые в конструкции решения являются оптимальными. Соревнования организованы так, чтобы дать возможность участникам команд продемонстрировать и доказать высокий уровень творческих способностей, и инженерных навыков, в сравнении с проектами других команд.

Автомобили должны обладать высокими динамическими показателями, показателями торможения и управляемости, а также должны обладать достаточной надёжностью, чтобы успешно пройти все динамические дисциплины, иногда по несколько попыток. Дополнительными критериями при оценке судьями являются: эстетическая составляющая проекта, стоимость, эргономичность, ремонтпригодность, технологические аспекты и надёжность.

После прохождения автомобилем всех соревнований и тестов, участники команды условно «продать» свой конструкторский проект “крупной компании”, которая намерена запустить в производство автомобиль, прошедший все динамические и статические испытания. Все конструкторские проекты будут сравниваться, и оцениваться с проектами других студенческих команд для определения самого лучшего автомобиля на этом соревновании.

Для предоставления участникам команда и большей свободы выражения своих творческих способностей, к конструкции автомобиля предъявляется минимальное количество ограничений. В основном, ограничения касаются безопасности водителя и остальных участников соревнований.

В результате выполненных теоретических исследований будет разработана концепция гоночного электромобиля выполняющего требования регламента. Она будет полезной для людей решивших разработать и построить такой электромобиль.

1 Обзор образовательных студенческих инженерных проектов

1.1 Проект Smartmotochallenge

Smartmotochallenge – это соревнование среди лёгких мотоциклов, приводимых в движение электродвигателем, которые разработаны и изготовлены студентами вузов инженерных специальностей [2].

Целью этого проекта, является предоставление возможности студентам разработать и воплотить в рабочий экземпляр лёгкий мотоцикл на электрической тяге. Участие в проекте позволяет студентам получить бесценный опыт работы в команде, решение неординарных задач, и научиться доводить дела до конца. Так же, проект является кузницей ценных кадров для компаний, работающих в сфере мотоциклостроения.

За время подготовки к этапу соревнований, команда студентов должна построить полностью функционирующий, отвечающий требованиям европейских стандартов безопасности, мотоцикл класса L1E или L3E на двух человек.

Обязательной частью проекта является проведение исследования рынков сбыта, определения стоимости и величину ожидаемой прибыли. Проводя это исследование, студенты научатся планировать изготовление любых проектов в дальнейшем. Первый этап чемпионата был организован университетом Барселоны и компанией Elmoto в 2013 году. С 2014 года соревнования проходят и в России! Российский этап SmartmotoChallenge 2016, организованный Московским государственным машиностроительным университетом (МАМИ), прошёл в декабре этого года в Москве.

Таблица 1.1 – Перечень Российских команд занимающихся проектом SmartmotoChallenge:

SMC UGATU	Уфа
MADI ELECTRIC MOTORCYCLE	Москва
SMC MAMI team	Москва
Smart E-Moto PFUR	Москва
NSU Hackspace SMC	Новосибирск
SMC SFEDU team (EiCust)	Ростов-на-Дону
FastSnailmoto	Курск
SMC SibFU	Красноярск



Рисунок 1.1– Внешний вид электромотоцикла Smartmoto

1.2 Проект FormulaBajaSAE

Проект, в рамках которого команды должны разработать и построить одноместный гоночный автомобиль внедорожного типа[3]. Болид должен демонстрировать повышенную проходимость и большую выносливость при активной эксплуатации.

Особенностью проекта является то, что одноцилиндровый двигатель объёмом 0,5 л. для этих автомобилей бесплатно предоставляет фирма Briggs&Stratton по заявке от университета. В двигатель запрещается вносить какие-либо изменения. В России этим проектом занимаются 3 команды.



Рисунок 1.2 – Автомобиль класса BajaSAE



Рисунок 1.3 – Автомобиль класса BajaSAE на трассе.

1.3 Проект Формула Студент

Этот проект очень распространён в мире и в России, в частности. В России этим проектом занимаются 24 команды.

Таблица 1.2 – Перечень российских команд проекта Формула Студент [4].

Команда	Образовательная организация	Класс	Город	Год основания
ФормулаСтудент МАДИ (FormulaStudentM ADI)	Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)	С	Москва	2005

Продолжение таблицы 1.2

Команда	Образовательная организация	Класс	Город	Год основания
Формула Студент МАМИ (FDR MAMI team)	Университет машиностроения	С	Москва	2006
Formula Student TGU Togliatti Racing Team	Тольяттинский государственный университет (ТГУ)	С	Тольятти	2007
FormulaStudent AMIGO	НГТУ им. Р.Е. Алексеева	С	Нижний Новгород	2009
Формула Студент РУДН	РУДН	С	Москва	2011
Формула Студент ОНПУ (FS ONPU)	Одесский национальный политехнический университет	С	Одесса	2011
FormulaStudent USURT	УрГУПС	С	Екатеринбург	2012
BaumanRacingteam	МГТУ им. Баумана	С	Москва	2012
FN Combustion	ТюмГНГУ	С	Тюмень	2012
HeartofUral	ЮУрГУ	С	Челябинск	2012
SHUKHOV RACING TEAM	БГТУ им. В.Г. Шухова	С	Белгород	2014
Формула Студент КПИ	НТУУ «КПИ»	С	Киев	2014
FS KFU	Набережно-Челнинский институт КФУ	С	Набережные Челны	2014
Формула Студент УлГУ	УлГУ	С	Ульяновск	2015
ФормулаСтудентУрФУ (Formula Student UrFU)	УрФУ	С	Екатеринбург	2015

Продолжение таблицы 1.2

Команда	Образовательная организация	Класс	Город	Год основания
Формула РГАУ	РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева	С	Москва	2015
FormulaStudent PNRPU	ПНИПУ	С	Пермь	2015
FormulaStudent SSAU	СГАУ им. академика С.П. Королева	С	Самара	2015
Polytech North Capital Motorsport Formula SAE	СПбГПУПолитех	С	Санкт-Петербург	2015
Формула Студент СГТУ	СГТУ	С	Саратов	2015
FormulaSevastopol	Севастопольский Государственный Университет	С	Севастополь	2015
УГАТУ RacingTeam	УГАТУ	С	Уфа	2015
ФормулаСтудент «Nord Craft» (CHSU Racing team)		С	Череповец	

В мировом рейтинге 9 команд из России, в него попадают команды принявшие участие в официальных этапах Формула студент. По итогам 2016 года команда из Тольятти занимает 202 место из 550 команд во всём мире – это лучший результат среди Российских команд в этом сезоне, вторая лучшая Российская команда находится на 268-м месте в мировом рейтинге – это команда МГТУ им. Баумана.

Автомобили должны иметь четырехтактный двигатель объёмом не более 710 см³.

Для соревнований Формула Студент Электрик необходим автомобиль разработанный студентами, согласно, международного регламента FormulaSAE. В России электромобили данного класса разрабатывают 3 команды:

Таблица 1.3 – Список российских команд проекта Формула Студент Электрик

Команда	Образовательная организация	Класс	Город	Год основания
FormulaElectric	Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)	Е	Москва	2007
ShukhovRacingTeamElectric	БГТУ им. В.Г. Шухова	Е	Белгород	2015
FormulaElectricSouthUral	ЮУрГУ	Е	Челябинск	2015

Рабочие, соответствующие международному регламенту электромобили имеются только у команды МАДИ. На их счету уже 3 электромобили, последний из которых «Феникс».

Характеристики болида: Литий-полимерная батарея Kokam емкостью 75А*ч. Два электродвигателя постоянного тока LEM D135 с пиковой мощностью 36 кВт и крутящим моментом 64 Н/м у каждого. Дифференциал электрический, с микропроцессорным управлением, максимальная отдача ограничена возможностями батареи. И составляет около 40 кВт. Вес 272 кг разгон до 100 км/ч - 4,9 сек., запас хода - 32 км; [5]

Электромобили ведущих европейских команд имеют следующие характеристики:

Разгон до 100 км/ч – около 3 сек., максимальный крутящий момент в районе 60 Н/м, используется, как правило, 4 электродвигателя, по одному



электродвигателю на каждом колесе, мощность варьируется в диапазоне 20 – 30 кВт на каждом двигателе [6]. Масса 180-200 кг, самый лёгкий 140 кг!. Компоновка автомобилей показана на рисунках 1.5-1.7

Рисунок 1.4 – Внешний вид электромобиля «феникс»

Общий вид автомобиля показан на рисунке 1.8.



Рисунок 1.5 – Компоновка системы охлаждения электромобиля

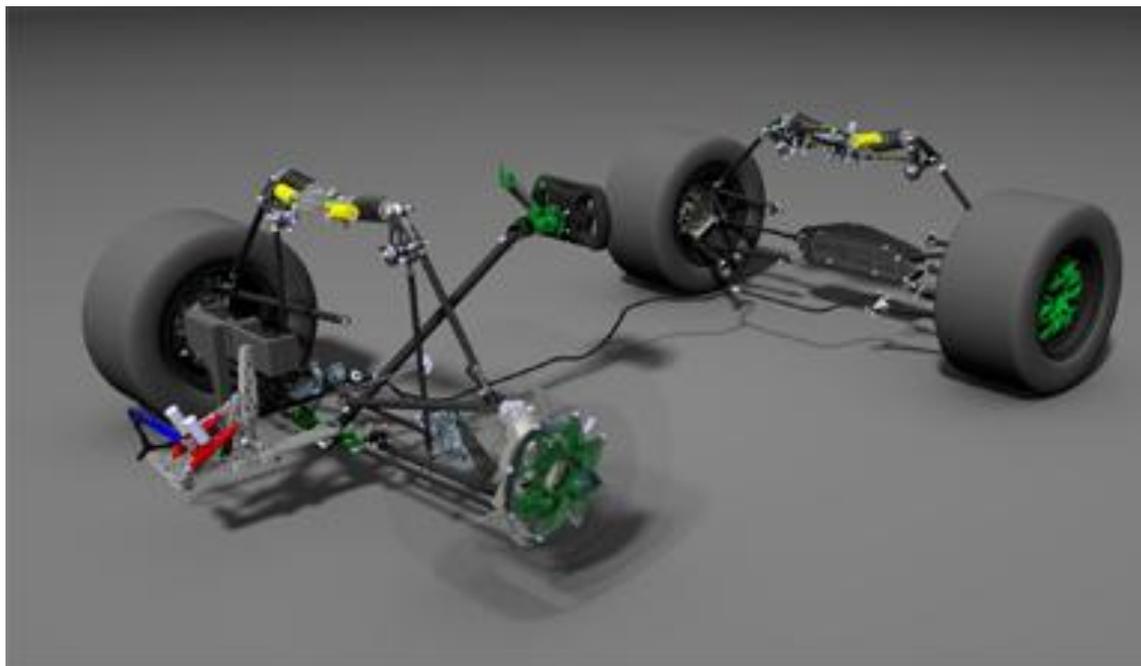


Рисунок 1.6 – Элементы подвески и тормозной системы

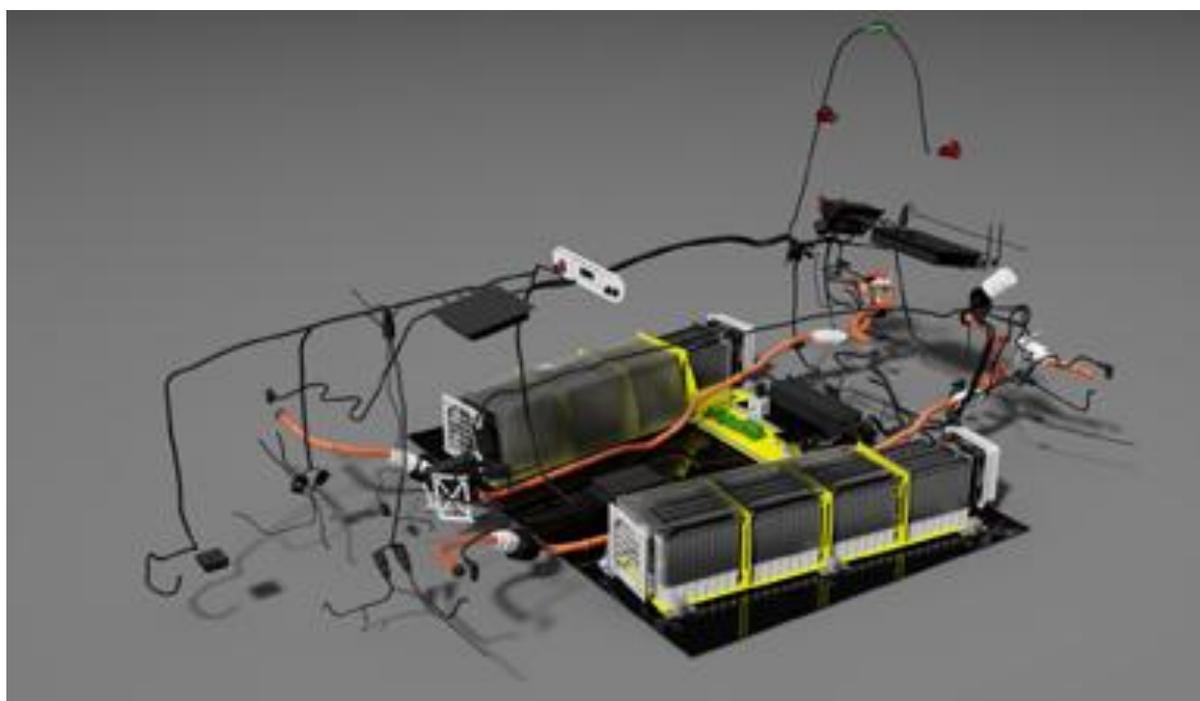


Рисунок 1.7 – Электронные элементы электромобиля



Рисунок 1.8 - Общий вид электромобиля

Изготовление автомобилей с такими показателями очень дорого и требует специального оборудования.

2 Требования к электромобилю

2.1 Технические требования для электромобилей

Данный раздел представлен впервые. Он создан, чтобы помочь развитию полностью негибридных электромобилей в рамках соревнований FSAE. Эти правила написаны на основе технических норм, разработанных FormulaStudent и FormulaStudent Германия. Также сюда включены некоторые правила из FormulaHybrid.[7]

2.2 Высокое и низкое напряжение

Если в электрической цепи имеется разность потенциалов, где номинальное рабочее напряжение более 40 В постоянного тока или величины 25 В переменного тока, эта цепь считается элементом высоковольтной системы.

Наибольшее допустимое напряжение, разрешённое для использования на электромобилях, на разных соревнованиях отличается. В таблице 2.1 представлены допустимые значения:

Таблица 2.1 – Величины напряжений допускаемые на соревнованиях

Соревнования	Максимально допустимые напряжения
Formula SAE Бразилия	300 В
Formula SAE Австралия	600 В
Formula SAE Италия	600 В
FormulaStudent Германия	600 В
Студенческая Formula Япония	На сайте организаторов

Низким напряжением считается величина напряжения, не превышающая 40 В постоянного тока или 25 В переменного тока.

Аккумулятором тяговой системы считаются такой аккумулятор или суперконденсатор, в которых хранится энергия, используемая тяговой системой.

Сегментами называются части аккумулятора. Они должны удовлетворять требованиям максимально-допустимого напряжения, или количества запасённой энергии. Разделение аккумуляторной батареи на сегменты делается для уменьшения рисков, связанных с работой аккумуляторной батареи..

2.3 Заземлённая низковольтная система и тяговая система

Тяговой системой электромобиля называются детали, электрически соединённые с двигателем и тяговыми аккумуляторами.

Заземлённой низковольтной системой (ЗНС) автомобиля называются все элементы не являющиеся частью тяговой системы.

Тяговая система должна быть полностью изолирована от шасси и других деталей автомобиля, проводящих ток.

Тяговая система по определению является высоковольтной

ЗНС должна иметь низкое напряжение

ЗНС должна быть соединена с рамой автомобиля

Тяговая и низковольтная системы должны быть гальванически развязанными.

Границей между системами является гальваническая развязка, разделяющая их.

Следовательно, такой компонент электромобиля, как контроллер электродвигателя, может являться частью обеих систем.

Все элементы тяговой системы должны выдерживать максимальное напряжение, присутствующее в тяговой системе.

Запрещено соединять аккумуляторную батарею с электродвигателем напрямую Тяговый электродвигатель и аккумуляторная батарея должны быть соединены между собой через контроллер электродвигателя.

Низковольтная система должна подключаться так, чтобы без её включения невозможно было активировать тяговую систему. Кроме того, при отключении или поломке низковольтной тяговой системы должно произойти немедленное отключение тяговой системы.

2.4 Электрическая трансмиссия

Допускается использование только электродвигателей любого типа. Число электродвигателей не ограничено. Я рассмотрю два варианта компоновки электромобиля с одним и двумя электродвигателями. Вариант с четырьмя электродвигателями не рассматриваю, поскольку это существенно утяжелит, усложнит и удорожит электромобиль.

Двигатели должны находиться внутри конструкционного кожуха толщиной не менее 3,0 мм (0,12 дюйма). Кожух должен быть изготовлен из алюминиевого сплава марки не хуже 6061-T6, чтобы его толщина могла составлять 3,0 мм. Если при создании кожуха используется сплав, уступающий по качеству марке 6061-T6, толщина кожуха должна быть больше, чтобы обеспечить ему эквивалентную прочность.

При использовании сплава более лучшего качества толщина стенок кожуха всё равно должна составлять не менее 3 мм.

2.5 Ограничения по силе тока и напряжению

Максимальный объём электроэнергии, переданный от аккумулятора, не должен превышать 85 кВт. Данный показатель будет сверяться с показаниями счётчика электроэнергии.

Максимальное значение напряжения тяговой системы не должно превышать значения, указанного в таблице... Данный показатель будет проверяться по показаниям счётчика электроэнергии.

Нарушение этих значений приведёт к дисквалификации команды с динамической дисциплины, во время которой было обнаружено нарушение. То

есть, если нарушение произошло во время одного из заездов на ускорение, команда будет отстранена от участия во всех испытаниях на ускорение.

Нарушением считается передача более 85 КВт от аккумулятора или превышение показателя определённого напряжения в течение более чем 100 мс подряд, или если скользящее среднее значение составляет более 500 мс.

Данные с каждого испытания, в котором от аккумулятора передано более 85 КВт или превышено максимально допустимое напряжение, а также финальное решение судейской комиссии, будут известно всем командам.

Невозможность получить данные со счётчика электроэнергии по вине команды будет расценено как нарушение.

Допускается рекуперация энергии, но только если скорость автомобиля превышает 5 км/ч. Если скорость автомобиля меньше либо равна 5 км/ч, рекуперация запрещена. Если делать рекуперацию, то нужно это обеспечить.

Запрещено передавать энергию к аккумулятору таким образом, что автомобиль включает задний ход.

Потенциометр крутящего момента (датчик положения педали газа)

Разрешено цифровое управление мощностью.

Потенциометр запроса мощности должен двигаться педалью управления газа.

Педаль газа должна быть подпружинена и возвращаться в начальное состояние. Педаль запроса мощности должна иметь ограничитель, предотвращающий поломку датчиков. На педали запроса мощности должно быть установлено 2 пружины, которые должны возвращать педаль в начальное положение. Пружины не должны быть соединены друг с другом.

Пружины в самих потенциометрах не считаются возвратными.

В качестве потенциометров запроса мощности должны использоваться не менее двух отдельных датчиков. Разделёнными считаются датчики, у которых не имеется общих сигнальных и питающих проводов.

При несовпадении значений двух потенциометров запроса мощности, должно произойти незамедлительное отключение тяговых электродвигателей.

Нет необходимости полностью отключать тяговую систему, можно прекратить подачу энергии с помощью контроллера управления.

При наличии трёх потенциометров, если один сломается, два других потенциометра могут использоваться, но если их значения расходятся не более чем на 10%.

Различием показаний потенциометров считается разность показаний потенциометров более чем на 10%.

На каждом потенциометре должен быть коннектор, чтобы можно было убедиться в их функциональности, отключив потенциометр во время технической проверки.

Сигналы от потенциометра крутящего момента должны идти прямо в блок управления как аналоговый сигнал или через канал цифровой передачи данных CAN или FlexRay. Поломка потенциометра или разрыв проводов потенциометров должен отслеживаться блоком управления и определяться как разница величин сигнала. Разница величин сигналов датчиков должна обнаруживаться непосредственно блоком управления и должна происходить остановка передачи энергии к тяговым электродвигателям.

Если используется аналоговый сигнал, величиной 5 В от потенциометра, отказ потенциометров должен фиксироваться, если сопротивление датчика равняется состоянию разомкнутой цепи или замкнутой цепи, и величина сигнала выходит за рабочие пределы диапазона, если сигнал менее 0,5 В или более 4,5 В. Микроконтроллеры, используемые для проверки функционирования потенциометра, должны использовать сопротивления для изменения уровня выходного сигнала. Сигнал разрыва проводника позволит обнаружить поломку.

Если сигнальная передача потенциометра запроса мощности осуществляется с помощью цифровой шины сигнальной передачи, в отчёте об анализах характеров и последствий отказов необходимо подробно описать специфику всех возможных неисправностей системы и предоставить отчёт, описав алгоритм обнаружения поломок и опыты, доказывающие правильность

этой стратегии. К поломкам относят: поломки потенциометров, выход величин за допустимые границы, искажения в передающихся сообщениях и их потеря, а также всевозможные задерживания. Несомненно, если, откажет один из двух потенциометров, должно произойти немедленное прекращение поступление энергии к электродвигателю.

Все алгоритмы управляющего контроллера, управляющие мощностью, например, для изменения направления тяги, обязаны лишь уменьшать силу тяги, но не увеличивать её. Другими словами, мощность, запрашиваемая водителем, не должна быть увеличена. Алгоритм управления не должен разгонять автомобиль без запроса водителем.

2.6 Энкодер тормозной системы

Потенциометр или выключатель положения педали тормоза или измеритель давления в тормозной системе должен быть проверен на правильность показаний.

Энкодер тормозной системы может использоваться для контроля рекуперативного торможения.

Каждый потенциометр должен иметь разъём, который разрешает определить состояние ошибки. Реакция блока управления двигателем будет проверяться во время технической инспекции посредством отделения коннектора.

Сигналы энкодера или переключателя тормозной системы должны направляться прямо в блок управления с посредством аналогового сигнала или с помощью цифровой шины передачи данных CAN или FlexRay. Отказ потенциометров или проводов потенциометров должен определяться блоком управления или передаваться блоку управления электродвигателя так, чтобы он мгновенно отключал подачу энергии к электродвигателю.

Если используется аналоговый сигнал, величиной 5 В от потенциометра тормозной системы, отказ потенциометров должен фиксироваться, если

сопротивление датчика равняется состоянию разомкнутой цепи или замкнутой цепи, и величина сигнала выходит за рабочие пределы диапазона, если сигнал менее 0,5 В или более 4,5 В.

Микроконтроллеры, используемые для проверки функционирования потенциометра, должны использовать сопротивления для изменения уровня выходного сигнала. Сигнал разрыва проводника позволит обнаружить поломку.

Если сигнальная передача потенциометра тормозной системы осуществляется с помощью цифровой шины сигнальной передачи, в отчёте об анализах характеров и последствий отказов необходимо подробно описать специфику всех возможных неисправностей системы и предоставить отчёт, описав алгоритм обнаружения поломок и опыты, доказывающие правильность этой стратегии. К поломкам относят: поломки потенциометров, выход величин за допустимые границы, искажения в передающихся сообщениях и их потеря, а также всевозможные задерживания.

Во всех случаях, если, откажет один из двух установленных потенциометров, должно произойти немедленное прекращение поступления энергии к электродвигателю.

2.7 Проверка потенциометра запроса мощности и хода тормозной педали

Подача энергии к двигателям должна прекращаться сразу, если система торможения приведена в действие, и в то же время сигнал потенциометра запроса мощности показывает более чем 25%-ный ход педали. Данный процесс должен быть продемонстрирован на контроллерах двигателя под нагрузкой.

Подача энергии к двигателям не должна восстанавливаться до тех пор, пока ход педали не будет составлять менее 5% (по показаниям потенциометра запроса мощности), вне зависимости от того, активна ли система торможения до сих пор.

2.8 Допустимые аккумуляторы электротяговой системы

Разрешены к применению любые аккумуляторные батареи, кроме солевых источников энергии и термических элементов. Например: аккумуляторы, конденсаторы большой емкости и т.д.. Использование топливных элементов запрещено.

Если аккумуляторные ячейки выполнены по технологии LiFePO₄, то некоторые требования к ним не относятся.

2.9 Общие требования к контейнеру электротяговой батареи

Все аккумуляторные ячейки или конденсаторы повышенной емкости, выполняющие функцию источника энергии для тяговых электродвигателей, должны размещаться в сегментах, которые размещаются в контейнерах.

Если имеются вторые запасные аккумуляторные батареи, они должны соответствовать размерности, типу и емкости основных аккумуляторных батарей. Запасные тяговые батареи необходимо показать на прохождении технической проверки.

Если к тяговым батареям нельзя быстро добраться во время проверки, студентам необходимо показать изображения скрытых полостей сделанных в период постройки электромобиля. Но эксперты на соревнованиях могут провести проверку тяговых батарей на наличие нарушений правил.

Каждый контейнер тяговых батарей должен сниматься и соответствовать требованиям регламента.

2.10 Конфигурация контейнера тяговых батарей

Если контейнер сделан из проводящего ток материала, то контактные клеммы аккумуляторных ячеек должны быть заизолированы от перегородки

аккумуляторного контейнера. Изоляционный материал контейнера должен выдерживать величину напряжения, используемую в электротяговой системе. Все поверхности способные проводить ток, должны быть заземлены к общему заземлению с помощью низкоомных проводников. Необходимо соблюсти, чтобы все операции с проводниками во время сборки элементов, были защищены от пробоя изолирующих покрытий.

Каждая аккумуляторная сборка должна иметь не менее одного отверстия для вентиляции и не менее двух реле контроля изоляции.

Требуется применять заглушки, дополнительные реле и другие изделия для разграничения сегментов тяговой батареи, чтобы максимальная величина напряжения было не более 120 В, а запас энергии не превышал 12 мДж (3333 Вт/ч). Необходимо чтобы Разделёнными были обе клеммы аккумулятора.

Такую схему разграничения необходимо использовать всегда, когда производится обслуживание или когда элементы вынуты из контейнера. При необходимости использовать дополнительный инструмент для разъединения батарей, то такие аккумуляторы запрещены. Они должны иметь защелки, которые запрещают случайное отделение.

Для предотвращения появления искрения в контейнере должна находиться изоляция, которая не допустит замыкания контактов в случае случайного падения инструментов или запчастей во время. Воздушный зазор не подходит для выполнения этого требования.

Силовое реле аккумуляторной батареи (РКИА) и главные предохранители необходимо разделить между собой изолирующим материалом согласно требованиям стандарта (UL94-V0). Воздушный зазор не является подходящим изолятором.

Если силовые соединители можно отключить без использования специального инструмента, необходимо ввести систему, которая отключит электротяговую систему, если произойдёт отсоединение коннектора.

Не разрешается прикреплять друг с другом аккумуляторные ячейки с помощью пайки из-за наличия большого напряжения. Разрешено крепить с

помощью пайки только проводники, используемые для измерения параметров батарей системой управления, потому что они не являются токоведущими.

Проводники, используемые в аккумуляторном контейнере должны выдерживать наибольшее напряжение в электротяговой системе.

Все аккумуляторные ящики необходимо оборудовать индикацией на случай превышения напряжения более 40 В низковольтной системы. Вместо индикатора можно использовать стрелочный вольтметр.

Достижение напряжения более 40 В должно вызывать активацию с помощью электронных устройств. Включение индикации с помощью программного управления запрещено. Включение индикации с помощью сигнала включаемого реле не хватает.

Визуализация присутствия напряжения в аккумуляторной батарее должна быть даже при отключении контейнера от низковольтной системы или при снятии аккумуляторной батареи с электромобиля.

2.11 Требования к контейнеру электротяговой системы

Все контейнеры электротяговой системы необходимо защитить и надежно прикрепить к раме электромобиля, чтобы не допускать ослабление крепления и исключить возможные несчастные случаи. При использовании для крепежа контейнера болтовых соединений, они должны удовлетворять требованиям к болтовым соединениям.

Конструкция крепежа должна, рассчитана так чтобы она выдерживала отрицательные ускорения величиной 20g в горизонтальном направлении, и 10g в вертикальном направлении. Проведённые расчёты и моделирования для определения соответствия конструкции данным требованиям, должны быть отражены в отчёте конструктивного соответствия.

Все контейнеры аккумуляторной сборки необходимо размещать внутри конструкции рамы электромобиля.

Все контейнеры аккумуляторной сборки должны быть защищёнными от ударов со всех сторон, такой конструкцией, которая соответствует требованиям, предъявляемым к раме. Эта информация тоже должна быть отражена в отчёте конструктивного соответствия. Но корпус контейнера не должен являться частью рамы.

Контейнер аккумуляторной сборки должен быть изготовлен из материала обеспечивающего высокую надежность. И этот материал должен удовлетворять требованиям стандартов: (UL94-V0, FAR25 или приравненным к ним[8]).

Ячейки внутри контейнера должны быть закреплены соответствующим образом, чтобы выдержать горизонтальные ускорения величиной 20g, и в вертикальной плоскости величиной 10g . В отчёте конструктивного соответствия необходимо отразить простейшие расчёты показывающие соответствие выбранной конструкции.

Ячейки внутри контейнера должны быть разделены изолирующим материалом удовлетворяющим стандарты (UL94-V0, FAR25 или приравненные к ним).

Объём хранимой энергии рассчитывается умножением значения максимального напряжения элементов на их номинальную мощность.

Наружные и внутренние контейнерные отверстия разрешается использовать только для жгутов проводников, вентилирования, крепежа и охлаждения. Закрытыми должны быть только наружные отверстия.

Отверстия в контейнере аккумуляторной батареи должны быть закрытыми, если он подключен к электромобилю или отсоединён от электромобиля. Вентиляционные отверстия должны быть нормального размера, не допускается, чтобы эти отверстия были слишком большие и тяговый аккумулятор был открыт с боков.

На всех контейнерах электротяговой системы должно размещаться изображение с молнией на фоне белого цвета или красного цвета, площадью 750 мм². На изображении должно быть написано «повышенное напряжение» если уровень напряжения превышает значения в 40 В.

Тяговая аккумуляторная батарея содержащая взрывоопасный газ должна иметь вентиляционную систему или клапан предохранения от высокого давления, для избегания повышенной концентрации газов.

Все контейнеры аккумуляторной батареи должны быть полностью закрыты и содержать предохранительный редуционный клапан.

2.12 Токовое реле тяговой батареи (РКИА)

В каждом аккумуляторном контейнере должно быть установлено как минимум два реле контроля изоляции.

Реле должны размыкать ОБА вывода аккумулятора.

При разомкнутом реле, вне контейнера не должен идти ток высокого напряжения.

Реле контроля изоляции должно быть «обычно-разомкнутым».

Плавкий предохранитель цепи тяговой системы аккумулятора должен быть предназначен для работы с силой тока ниже максимально допустимой величины тока отключения в токовом реле батареи.

В токовом реле тяговой батареи не допускается наличие ртути.

2.13 Система контроля аккумулятора (СУА)

Все аккумуляторные ячейки должны быть под контролем системы контроля аккумулятора всё время пока электротяговая система находится в активном состоянии, и тогда когда батарея подключена к зарядному устройству. Обычно системы такого типа имеют название система управления перезаряжаемых батарей. Но допускается применение альтернативных энергетических источников, здесь будет применён термин «Система контроля аккумулятора».

СКА должна контролировать величину напряжения в каждой ячейке чтобы величина напряжения ячеек находилась в установленных пределах,

заданных документацией. При подключении ячеек по параллельной схеме, необходимо единственное измерение напряжения.

СКА должна иметь функцию постоянного замера температуры аккумуляторных ячеек, чтобы не допустить перегрева батареи. Температурные сенсоры должны быть непосредственно присоединены к аккумуляторным ячейкам.

В многоэлементных СКА (несколько аккумуляторных ячеек) весь ток с выходного проводника должен проходить через плавящийся предохранитель, чтобы защитить батарею от соединения выводов СКА. Предохранитель должен размещаться непосредственно на плате устройства, чтобы невозможно было замкнуть проводники до предохранителя.

Если система СКА изготовлена для 1 элемента и расстояния между проводящими участками более 5 мм, то защита с помощью предохранителя не требуется. Если написанные ранее условия не выполнены, то плюсовой вывод ячейки должен быть защищённым с помощью плавкого предохранителя.

Можно использовать плавящиеся перемычки, которые используются как измерительный шунт. Пропускная способность плавящейся перемычки должна быть такой, чтобы проводник выдерживал величину тока, который не выдерживает плавящаяся перемычка. Если произойдет плавление перемычки, или цепь измерения напряжения разорвётся, это должно быть отслежено СКА и быть распознано как чрезмерное падение напряжения.

Если требуется использование плавящейся вставки, но сопротивление участка велико для измерения величины напряжения, это может отразиться на процессе балансировки ячеек и их подзарядке, для исключения этих негативных явлений необходимо использовать проводники большего поперечного сечения.

Плавящаяся вставка обязана работать следующим образом: при превышении допустимой величины тока, вставка расплавляется, и искра, и расплавленный материал не должны выйти за пределы корпуса вставки.

Разрешено применять дополнительные компоненты для реализации этих предписаний.

Все имеющиеся соединения низковольтной системы и СКА, должны разъединены посредством гальванической развязки, соединение с компьютерами тоже должно быть гальванически развязанным.

Для аккумуляторных ячеек, работающих на литиевой химии, кроме ячеек изготовленных по технологии LiFePO₄, должно происходить отслеживание температуры, начиная с 30 градусов. Измерительные датчики должны располагаться таким образом, чтобы в батарее не могло возникнуть мест сильного локального перегрева.

Разрешено использование одного измерительного элемента, если он соприкасается с несколькими аккумуляторными ячейками. Требуется, чтобы СКА отключала электротяговую систему с помощью силового реле батареи, при выходе измеряемых параметров аккумуляторных ячеек за диапазоны, описанные в документации. При возникновении нештатной ситуации и отключении электротяговой системы в кокпите должна загореться сигнальная лампа, сигнализирующая о проблеме СКА.

Организационный комитет советует контролировать температуру каждой аккумуляторной ячейки.

2.14 Низковольтная система (напряжение менее 40 В)

Все источники питания должны быть надёжно зафиксированы к раме электромобиля, Все жидкостные элементы, находящиеся в кокпите необходимо заключить в герметичный изолированный контейнер.

Не заземлённые клемные выводы должны быть надёжно заизолированы.

Аккумуляторная сборка, состоящая из ячеек, основанных на литиевой химии, за исключением ячеек выполненных по технологии LiFePO₄ должна быть защищена от перенапряжения, превышения допустимого тока и перегрева.

Сборка должна быть отделена от водителя непроницаемой огнеупорной перегородкой.

Разрешено использовать аккумуляторные сборки собранные участниками команды, но должно быть описание механизмов обеспечивающих безопасное эксплуатирование батарей, включенное в отчёт об электронной системе электромобиля.

2.15 Разделение тяговой системы и ЗНС

Схемы электрических устройств, сконструированных командой, должны быть точно задокументированы в Форме об электрической системе.

Между рамой автомобиля (или любой проводящей ток поверхностью, с которой член команды или наблюдатель может ненамеренно контактировать) и любой деталью цепи тяговой системы должно отсутствовать соединение.

Цепи тяговой и ЗНС должны быть разграничены таким образом, что они не используют один и тот же рукав электропроводки, кроме как для соединения с цепями блокировки.

Заземлённые низковольтные системы не должны находиться в аккумуляторном контейнере, кроме как по мере необходимости, например, для систем СУА и РКИА. СУА должна иметь собственную гальваническую изоляцию. При отсутствии гальванической изоляции внутри СУА, этой изоляцией должны обладать соединения между СУА и блоком вспомогательных цепей. Все вспомогательные цепи внутри аккумулятора, а также, где это необходимо, должны иметь описание изоляции в Форме об электрической системе.

Если тяговая система и ЗНС находятся в одном защитном кожухе, они должны быть разграничены посредством изолирующих барьеров, сделанных из влагостойких непроводящих или соответствующих им материалов, выдерживающих напряжение 150 В (например, изоляция из номекса), или поддерживать следующее расстояние через воздух или по поверхности

(примерно так, как описано в стандарте UL1741): Расстояния указаны в таблице 2.2

Таблица 2.2 – Расстояния между низковольтной и высоковольтной системой

• $U < 100$ В постоянного тока	Более 10 мм
• от 100 В до 200 В	Более 20 мм
• Более 200 В	Более 30 мм

Свободное пространство должно быть чётко выражено. Движущиеся компоненты и кабели должны быть зафиксированы для сохранения открытости пространства (то есть провода не должны болтаться и соприкасаться).

Если тяговая система и заземлённая низковольтная система расположены на одной плате, они должны располагаться на разных отдельных участках платы. Более того, участки с расположением этих систем должны чётко наблюдаться на печатной плате.

Следующие промежутки должны соблюдаться при создании промежутков между цепями / участками платы. Если встроенные интегральные схемы используются в качестве оптосоединителей, которые способны выдерживать соответствующее максимальное напряжение тяговой системы, но между ними не соблюден промежуток, их всё равно разрешено использовать, и указанные расстояния можно не соблюдать.

Необходимо соблюдать следующее расстояние:

Таблица 2.3 – Расстояния между проводниками низковольтной и высоковольтной системами

Напряжение	На поверхности, не менее	По воздуху (врезано в плату)	С покрытием
От 0 до 50 В	1.6 мм	1.6 мм	1 мм
От 50 до 150 В	6.4 мм	3.2 мм	2 мм

От 150 до 300 В	9.5 мм	6.4 мм	3 мм
От 300 до 600 В	12.7 мм	9.5 мм	4 мм

Команды должны быть готовы к тому, чтобы продемонстрировать этот промежуток на собранном командой оборудовании. Информация о промежутке между системами должна быть отражена в Форме для Электрических Систем. Если доступ к микросхемам получить нельзя, для инспекции необходимо показать запасные схемы или фотографии внутренностей.

2.16 Позиционирование деталей тяговой системы

Все детали электротяговой системы, включая силовые проводники и проводку, необходимо размещать внутри пространства, образованного любой частью рамы, собранной из труб и/или внутри дополнительного пространства, образованного каркасом труб, соответствующим минимальным спецификациям регламента. Или эквивалентным им, так, чтобы они не были повреждены во время аварии или переворота автомобиля.

Если детали тяговой системы закреплены таким образом, что они могут быть повреждены ударом с боков или сзади (на высоте не более 350 мм от земли), например, электродвигатели требуется защитить треугольной конструкцией из труб с минимальным наружным диаметром 25,4 мм и минимальной толщиной стенок 1,25 мм, или соответствующей им.

Двигатели в колёсах (т.е. расположенные за пределами рамы) допускаются к использованию только при добавлении блокировки. Если колесо повреждено или слетело, активируется система аварийного выключения и размыкаются РКИА. Я не буду использовать такую компоновку, поскольку размещение электродвигателей возле колеса приведёт к увеличению неподрессоренных масс.

Детали тяговой системы не могут выступать ниже нижней поверхности рамы или монокока в боковой или вертикальной проекции.

2.17 Противопожарная перегородка тяговой системы

Перегородка тяговой системы должна соответствовать требованиям регламента. Кроме того, перегородка должна отделять кабину водителя от компонентов тяговой системы, включая и провода высокого напряжения.

Противопожарная перегородка должна быть произведена или иметь покрытие из электроизолирующего материала, или между тяговой системой и перегородкой должен располагаться электрически не проницаемый барьер.

Перегородка должна быть огнеупорной по стандартам UL94-V0, FAR25 или эквивалентным им.

Перегородка должна быть стойкой к прокалыванию и механическим повреждениям.

Следующий пункт распространяется на покрытие, которое является проводником тока или может стать им впоследствии.

2.18 Заземление

Все детали, проводящие электричество (например, произведённые из стали, анодированного алюминия и т.д.), расположенные на расстоянии менее 100 мм от компонентов тяговой системы или ЗНС, а также точки крепления ремней безопасности и кресел и элементов управления должны обладать сопротивлением ниже 300 мОм (при силе тока 1А) относительно рабочего заземления ЗНС.

Все детали автомобиля, которые могут начать проводить ток (например, металлические детали с напылением, детали из углеволокна и т.д.), расположенные на расстоянии менее 100 мм от компонентов тяговой системы или ЗНС, должны обладать сопротивлением не ниже 5 Ом относительно рабочего заземления ЗНС (все токопроводящие детали должны быть заземлены).

Проводимость детали может испытываться проверкой точки, которая с большой вероятностью может начать проводить ток, например, крепёжный болт ремней безопасности. Но если удобного проводника не найдено, тогда можно убрать покрытие детали.

Для деталей из углеволокна могут потребоваться специальные измерения, например, медная сетка или схожее с ней приспособление, чтобы сопротивление заземления составляло менее 5 Ом.

2.19 Точки замера тяговой системы (ТЗТС)

Рядом с главным переключателем должны быть установлены две точки замера напряжения тяговой системы.

ТЗТС должны находиться в корпусе, не проводящем электрический ток, который можно открыть без использования инструментов.

ТЗТС должны иметь защиту от того, чтобы к ним не прикасались голыми руками, если корпус будет открыт.

В качестве ТЗТС должны использоваться четыре 4мм бандажированных гнезда типа «банан», выдерживающие необходимый уровень напряжения. См. пример на картинке.

ТЗТС должны быть соединены с линиями подачи энергии контроллера/инвертора мотора на плюс и минус, и должны иметь маркировку HV+ и HV-.

Все ТЗТС должны быть защищены резистором для ограничения тока в соответствии с данной таблицей. Плавление ТЗТС запрещено.

Таблица 2.4 – Величина резистора для ТЗТС

Максимальное напряжение тяговой системы	Значение резистора
$U_{\max} \leq 200$ В постоянного тока	5КОм

200 В постоянного тока $U_{\max} \leq 400$ В постоянного тока	10КОм
400 В постоянного тока $U_{\max} \leq 600$ В постоянного тока	15КОм

ТЗТС будут использованы для проверки во время технической инспекции. Они должны показать, что тяговая система выключается без проблем и за отведённый промежуток времени. Также они должны показать работоспособность изоляции тяговой системы автомобиля во время возможной операции по спасению водителя после аварии или во время ремонта автомобиля.

Рядом с ТЗТС должны быть установлена точка замера рабочего заземления ЗНС. Эта точка замера должна быть соединена с рабочим заземлением ЗНС и иметь пометку «GND».

В качестве точки замера ЗНС должны использоваться 4 бандажированных 4мм гнезда типа «банан». Изображенный на рисунке 2.1 точка ЗНС.



Рисунок 2.1 – Бандажированное гнездо для замера низковольтной системы

2.20 Изоляция, проводка и рукава проводов тяговой системы

Все элементы, в особенности проводники, проводящие высокое напряжение, должны обладать изолирующим покрытием для протекции от прикосновений. Для удовлетворения этого требования необходимо обеспечить

невозможность прикосновения до токоведущих частей электротяговой системы изолированным прибором длиной 100 мм, и наружным диаметром 6 мм, при надетых крышках тяговой системы.

Изолирующее покрытие должно исключать возможное соприкосновение человека с токоведущими частями электротяговой системы. Это должно обеспечивать безопасность участников команды обслуживающих электромобиль. Изоляция должна иметь достаточную прочность. Кузовные панели не подходят как изоляция для элементов электротяговой системы

Все элементы электротяговой системы должны выдерживать дождь и брызги воды из луж.

Для выполнения требований по защите от воды организационный комитет предписывает изготавливать оборудование по стандарту IP65.

Разрешено применять изоляционный материал, предназначенный для эксплуатации при ожидаемых условиях внешней среды. Материал изоляции должен переносить температуру превышающую 90°C. Применение в качестве изоляционного материала изолирующей ленты и лакокрасочного покрытия запрещено.

Чтобы определить величину протекающего по проводникам тока, можно принимать во внимание среднее значение тока протекающего в электротяговой системе и время, какое он будет действовать максимальный ток.

Проводящие проводники, коннекторы, применяемые в электротяговой системе должны быть способны выдерживать долговременный максимальный ток в системе. Проводники должны быть промаркированы соответствующим образом, на них должна быть указана размерность поперечного сечения, максимально допустимая эксплуатационная температура, и величина максимального рабочего напряжения. Для проводников допускается наличие только маркировки или номера, по которому возможно узнать параметры проводника. Минимальная температура, которую должны выдерживать проводники, обозначена на уровне 90°C.

Проводники электротяговой системы должны быть произведены в соответствии с международными стандартами, соединения должны быть изготовлены соответствующим образом, чтобы выдержать максимальный ток проводника, крепёжные болтовые соединения должны быть защищены от самоотворачивания, должно отсутствовать чрезмерное натяжение проводников.

Все проводники электротяговой системы необходимо разместить в специальном оранжевом кожухе из изоляционного материала, или возможно применение специализированных проводников имеющих оранжевый цвет и защиту от помех. Но если проводники электротяговой системы размещаются в закрытом пространстве, кожух или специализированный оранжевый проводник должны быть надёжно зафиксированы чтобы выдержать нагрузку величиной 200 Н, без оголения токопроводящих частей проводников их расположение должно быть выполнено таким образом, чтобы исключить повреждения проводников. Кузовные элементы электромобиля не считаются равнозначной заменой кожуху. При использовании оранжевого экранированного проводника, его экран должен быть заземлён.

Соединения проводников электротяговой системы должны выдерживать проходящие через них токи, материал проводников должен быть медь или алюминий. Не считаются основными проводниками тока болтовые соединения выполненные из стали. В соединениях электротяговой системы не должно быть материалов, которые дают ослабление резьбовых соединений, таких например как пластик. Проводники электротяговой системы необходимо защитить от возможности возникновения неисправности вызванной контактом с движущимися частями электромобиля.

Защитные внешние кожухи должны быть хорошо соединены с рамой электромобиля и с низковольтной системой.

Проводники, не являющиеся элементами электротяговой системы, не должны быть окрашены в оранжевый цвет.

Соединения электротяговой системы, выполненные с помощью болтовых соединений должны обязательно быть зафиксированными.

2.21 Защитные кожухи электротяговой системы

Все корпуса и кожухи с частями тяговой системы (кроме корпуса двигателя) должны иметь маркировку в виде наклеек достаточного размера (изображение молнии, разукрашенное в красный или чёрный цвет, изображение молнии чёрного цвета на желтом фоне). На наклеенном изображении должно быть написано высокое напряжение, если среднеквадратичное значение напряжения превышает величину 40 ВDC или величину 25 В AC.

Если материалы корпуса проводят электрический ток или могут проводить ток в дальнейшем, они должны иметь соединение малого сопротивления с рабочим заземлением ЗНС.

2.22 Разъединение высокого напряжения (HVD)

Нужно добиться того, чтобы была возможность разъединить как минимум один полюс аккумулятора тяговой системы быстрым изъятием незакрытого элемента, предохранителя или коннектора, к которому есть прямой доступ, например, в случае, если залипло реле контроля изоляции. Разъединение цепи высокого напряжения должно проходить без разбора корпуса. Разъединитель цепи высокого напряжения должен располагаться на высоте более 350 мм от земли и быть видимым, если наблюдатель стоит позади автомобиля.

Разъединитель должен быть убраным в течение 10 секунд в условиях готовности к заезду. Команда должна будет продемонстрировать это во время технической инспекции. Возможность быстрого отключения аккумулятора от тяговой системы посредством его коннекторов подходит для выполнения этого правила.

Разъединитель цепи высокого напряжения должен иметь маркировку «HVD».

Если для открытия разъединителя понадобится использование инструмента, этот инструмент должен быть прикреплен к толкателю автомобиля.

Если для открытия разъединителя не требуются дополнительные инструменты, при изъятии разъединителя блок должен активировать систему выключения и разомкнуть реле контроля изоляции.

2.23 Проводники, передающие большие токи электротяговой системе

Весь ток тяговой батареи электромобиля должен протекать через один проводник, чтобы можно было в разрыв подключить счётчик энергии. После точки подключения счётчика запрещено располагать другие батареи или источники энергии, кроме необходимых конденсаторных сборок.

В проводниках электротяговой системы на этапе соревнований должен находиться измерительный счётчик электроэнергии. Он необходим для расчёта количества затраченной энергии от тяговой батареи.

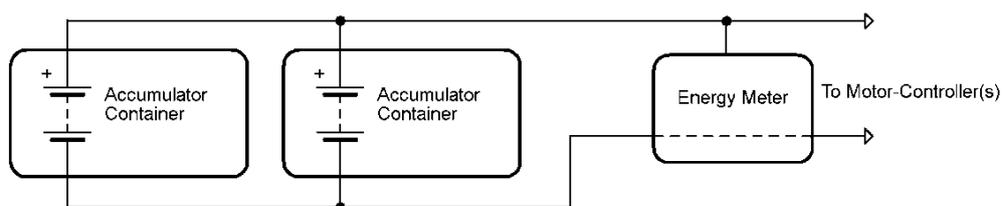


Рисунок 2.2 – Схема подключения счётчика энергии

2.24 Счётчик энергии

Непосредственно перед заездами, электрический счётчик энергии опечатывают организаторы соревнований. Нарушения целостности наклейки о проведённой проверке электрического счётчика грозит штрафом для команды.

Электрические счётчики необходимо разместить в таких местах, чтобы обеспечивался быстрый доступ к ним, и возможно было снять результаты измерений за время заезда для расчёта количества используемой энергии.

Количество израсходованной энергии рассчитывается как усреднённое значение времени, перемноженное на силу тока, которую показал электрический счётчик.

Количество энергии от аккумуляторной батареи, переданное к электродвигателю будет умножена на единицу. Электрический ток от двигателей к аккумуляторной батарее электротяговой системы будет умножен на коэффициент 0,9 и посчитанное значение вычтут из общего количества потраченной энергии.

2.25 Активация электротяговой системы

Водитель должен иметь возможность активировать или перезагрузить тяговую систему из кокпита без посторонней помощи, кроме случаев, когда СУА или устройство контроля изоляции автоматически отключили тяговую систему.

Не допускается, чтобы при деактивации аварийных выключателей электромобиль переключался в готовность к началу заезда. Электромобиль должен переходить в состояние готовности к движению только после того как водитель нажмёт на педаль газа. Для перехода электромобиля в состояние готовности к передвижению собственным ходом, необходимо было выполнить дополнительную операцию. Обязательным условием является необходимость нажать на тормозную педаль.

2.26 Схема предварительного заряда и схема разряда

Должна быть установлена схема, способная предварительно передать заряд промежуточному контуру как минимум на 90% текущего напряжения

аккумулятора перед замыканием второго РКИА. Схема должна быть отключена посредством деактивации цепи аварийного выключения, Следовательно, схема предварительного заряда не должна передавать предварительный заряд системе, если наблюдается размыкание цепи аварийного выключения.

Подача энергии в схемы предварительного заряда должна проходить через ТЗТС.

Допускается передача предварительного заряда на промежуточный контур в течение консервативно рассчитанного времени перед замыканием второго РКИА. Обратная связь посредством измерения напряжения тока на промежуточном контуре не требуется.

Схема разряда должна быть спроектирована для работы с максимальным током разряда в течение не менее 15 секунд. Расчёт должен быть включён в Форму об электрической системе.

Схема разряда должна быть соединена проводами таким образом, чтобы она была всегда активна, если цепь аварийного выключения разомкнута. Более того, схема разряда должна быть отказоустойчивой, то есть, она продолжит разряжать конденсаторы промежуточного контура при размыкании цепи высокого напряжения.

2.27 Световой сигнал работы электротяговой системы (СС)

Включение тяговой системы должно быть сразу заметно. Автомобиль считается приведённым в рабочее состояние, если реле контроля изоляции аккумулятора замкнуты или если среднеквадратичное значение напряжения вне аккумуляторных контейнеров превышает 40 В постоянного тока или 25 В при переменном токе. Автомобиль должен быть оснащён световым сигналом, прикреплённым под вершиной главной дуги. Этот сигнал должен включаться, если тяговая система автомобиля приведена в действие, и быть выключен, если тяговая система не включена.

СС должен быть красным. СС должен мигать с частотой в диапазоне между 2Гц и 5Гц.

Напряжение тяговой системы должно контролировать СС при помощи встроенного электронного оборудования (программное управление запрещено). Шлем водителя не должен касаться СС.

СС должен быть видим из любой горизонтальной плоскости, кроме тех небольших углов, где обзор закрывает главная дуга. Даже при ярком свечении солнца.

СС должен быть видим человеку, стоящему на расстоянии 3м. Глаза человека должны быть расположены на высоте не меньше 1.6 м от земли.

Если любое официальное лицо, например, маршал трассы, проверяющий и т.д. посчитает СС плохо видимым во время нахождения на трассе, команду могут не допустить до динамических дисциплин до тех пор, пока эта проблема не будет решена.

Запрещается устанавливать другие световые сигналы очень близко к СС.

Автомобиль должен иметь отличительный звуковой сигнал, который звучит один раз, длительностью от 1 до 3 секунд, когда автомобиль готов ехать.

2.28 Звуковой сигнал готовности к началу движения (ЗС)

Автомобиль готов к началу движения, как только двигатели отреагируют на сигналы потенциометра запроса мощности / нажатие педали газа.

Уровень громкости должен быть не ниже 70 дБ, быстро нарастающий уровень звука, в радиусе 2 метров от автомобиля.

Звук должен быть легко узнаваемым. Не допускается использования звуков дикой природы, отрывков из песен или оскорбительных звуков.

2.29 Цепь аварийного выключения

Цепи выключения переносят ток напрямую, отвечая за работу Реле контроля изоляции аккумулятора (РКИА).

Цепь выключения состоит из не менее 2 главных переключателей, 3 кнопок выключения, выключателя предельного положения педали тормоза, устройства контроля изоляции, выключателя от замедления, устройства проверки достоверности тормозной системы, всех необходимых фиксаторов и системы управления аккумулятором (СУА).

Если цепь выключения разомкнута/прервана, электротяговая система должна быть выключена за счёт отключения всех реле контроля изоляции аккумулятора, а среднеквадратичное значение напряжения в электротяговой системе должно снизиться до уровня менее 40В DC или 25В AC быстрее чем за 5 секунд после размыкания токовых реле.

Ниже приведена схема необходимой цепи выключения за исключением потенциально необходимых фиксирующих схем.

Если цепь выключения разомкнута посредством системы управления аккумулятором или устройством контроля изоляции, тяговая система должна оставаться выключенной до ручной перезагрузки, осуществлённой не водителем. Запрещена удалённая перезагрузка СУА или устройства контроля изоляции, например, посредством WLAN, или использование для перезагрузки трёх кнопок отключения или двух главных переключателей.

У водителя должна отсутствовать возможность включить электротяговую систему из кокапита если отключение произошло из-за СКА или устройства контроля изоляции. Например: Использование тестового резистора для контроля изоляции между положительным контактом аккумулятора и рабочим заземлением ЗНС должно немедленно отключить систему. Отключение проверочного резистора должно исключать возможность активации электротяговой системы. Электротяговая система должна быть выключенной до перезагрузки вручную.

Все микросхемы, являющиеся частью цепи выключения, должны быть спроектированы так, что в обесточенном отсоединённом состоянии они

размыкаются таким образом, что каждая схема будет препятствовать движению тока, управляющему РКИА. Если тяговая система деактивирована во время движения автомобиля, двигатель должен вращаться свободно, то есть тормозной момент не должен воздействовать на двигатель.

Для дополнительной защиты РКИА разрешено использовать конденсатор, чтобы держать РКИА в замкнутом состоянии до 250мс после изъятия источника тока, благодаря которому реле находится в замкнутом состоянии. Таким образом, у контроллера двигателя будет возможность снизить силу тока тяговой системы, прежде чем РКИА изолирует аккумулятор от остальной тяговой системы. Команды должны быть в состоянии продемонстрировать адекватную работу цепи выключения. В том числе и работу всех блокировок.

2.30 Главные переключатели

В каждом электромобиле необходимо присутствие, по меньшей мере, двух силовых разъединителя: один для отключения участка низковольтной системы (ГПНС), а другой для отключения электротяговой системы (ГПТС).

Необходимо чтобы ГПНС работал непосредственно с током этой системы и отключал питание не через токовые реле или микросхемы.

Выключатель низковольтной системы ГПНС необходимо разместить с правой стороны электромобиля в районе главной дуги на уровне плеч пилота и чтобы обеспечивалась возможность отключения с внешней стороны.

Выключатель электротяговой системы ГПТС необходимо разместить неподалёку от выключателя низковольтной системы ГПНС и активировать цепь выключения. Необходимо чтобы выключатель электротяговой системы ГПТС был непосредственного действия и должен функционировать не через токовые реле или микросхемы. Он должен быть подключен в электрическую цепь перед токовыми реле, но после системы предварительного заряда тяговой батареи. Необходимо чтобы выключатель электротяговой системы ГПТС содержал устройство блокирования, и иметь место для маркирования для исключения

случайного включения электротяговой системы. Лицо, проверяющее электрические системы должно быть уверено, что выключатель электротяговой системы приведён в отключенное положение.

Все выключатели систем должны быть поворотного типа и иметь отдельный красный флажок-ключ.

Выключатели электротяговой и низковольтной системы не должны быть прикреплены к съёмным кузовным панелям.

Выключатели систем должны быть отмечены надписями “HV” и “LV”. Рисунок должен содержать изображение молнии, разукрашенное в красный или чёрный цвет, изображение молнии чёрного цвета на желтом фоне, и должна присутствовать надпись «Главный выключатель электротяговой системы».

Включенное положение на выключателях должно быть подписано и размещаться горизонтально. Схема подключения элементов высоковольтной системы показана на рисунке 2.3

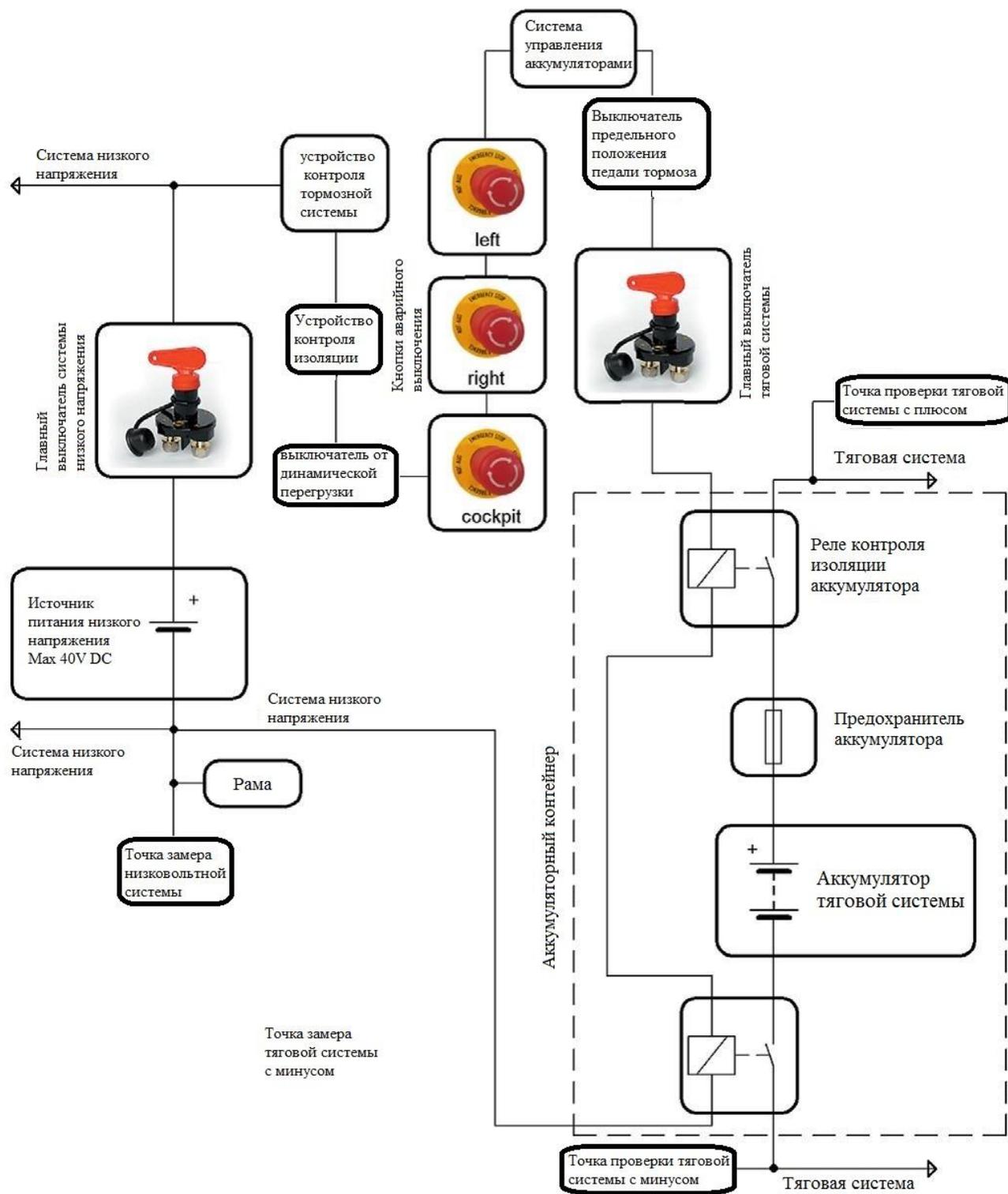


Рисунок 2.3 – Схема подключения элементов высоковольтной системы

2.31 Кнопки выключения

В автомобиле должна быть установлена система из трёх кнопок выключения.

Нажатие на любую из них должно отделить тяговую систему от блока аккумулятора посредством размыкания цепи выключения.

Каждая кнопка должна быть двухпозиционным аварийным выключателем (нажимно-вытяжного или нажимно-поворотного типа), в котором нажатие кнопки размыкает цепь выключения. Кнопки выключения не должны работать с помощью логических элементов.

По бокам автомобиля должно располагаться по одной кнопке, за кабиной водителя примерно на высоте головы водителя. Минимально допустимый диаметр кнопок, расположенных по бокам автомобиля – 40 мм. Рядом с кнопкой должно располагаться международное обозначение (красная искра на синем треугольнике с белыми сторонами).

Ещё одна кнопка служит в качестве прикреплённого к кокпиту главного переключателя. Минимально допустимый диаметр кнопки в кокпите – 24 мм. Рядом с кнопкой должно располагаться международное обозначение (красная искра на синем треугольнике с белыми сторонами). Кнопка должна располагаться таким образом, что водитель мог легко её нажать при несчастном случае. Она должна располагаться рядом с пристёгнутым водителем, вдоль рулевого колеса, на открытом месте.

Запрещено монтировать кнопки аварийного отключения на съёмных элементах кузова.

2.32 Выключатель предельного положения педали тормоза

Данный выключатель, должен выключать тяговую систему путём активации цепи выключения и размыканием РКИА.

2.33 Устройство контроля изоляции (IMD)

На каждом электромобиле должно иметься устройство контроля изоляции проводников.

Этим устройством должно быть Bender A-ISOMETER ® iso-F1 IR155-3203 или -3204 или равное ему устройство, одобренное для использования в автомобилях. Эквивалентность устройств может быть одобрена распорядительным комитетом на основании следующих критериев: выносливость к вибрации, степень защиты, прямой выход, аппаратура для самопроверки. Устройство контроля изоляции не должно питаться от системы, за которой оно осуществляет контроль. Значение отклика устройства должно составлять 500 Ом/ Вольт, в соответствии с максимальным рабочим напряжением тяговой системы. В случае отказа изоляции или отказа устройства, оно должно размыкать цепь выключения. Это должно происходить без влияния программируемой логики. Статус устройства должен быть виден водителю. Статус должен отображаться в виде красного индикатора в кокпите, видимого даже при ярком солнечном свете. Этот индикатор должен загораться, если устройство обнаружит отказ изоляции или затруднения в собственной работе, например, при потере базового заземления. Индикатор устройства контроля изоляции должен иметь маркировку “IMD”.

Типовое устройство контроля изоляции подключается по следующей схеме, изображенной на рисунке 2.4

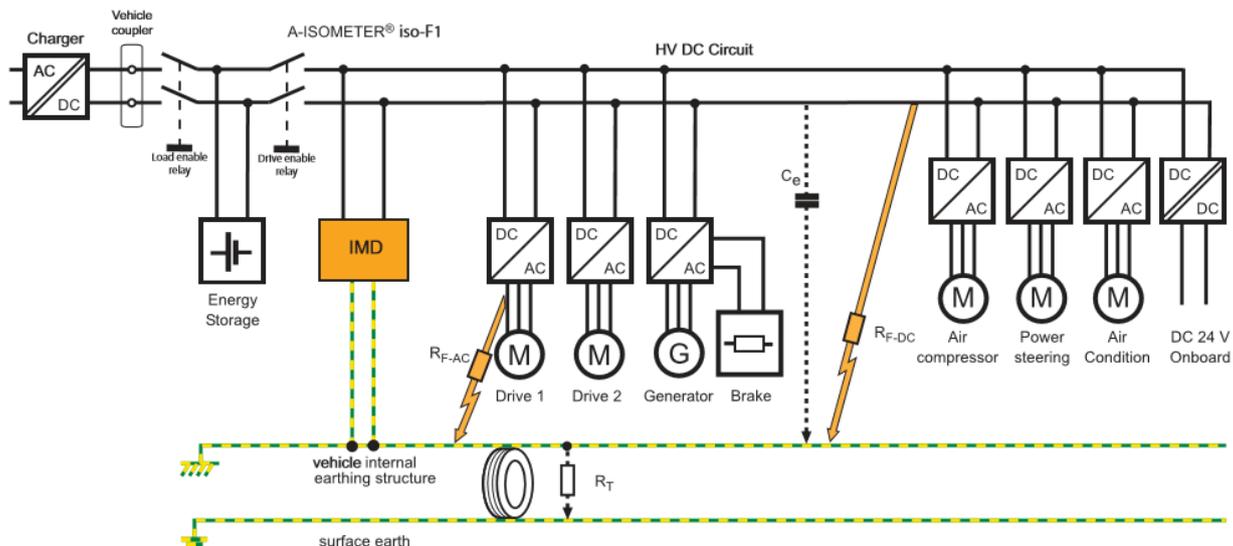


Рисунок 2.4 – Схема подключения типowego устройства контроля ИЗОЛЯЦИИ

2.34 Устройство для контроля тормозной системы

В автомобиле должна быть отдельная непрограммируемая схема, чтобы при резком торможении (без остановки колёс) и при положительном токе, передаваемом от контроллера двигателя (ток для движения машины вперёд), РКИА размыкалось. Предельный ток для запуска схемы должен быть установлен на таком уровне, чтобы ток силой 5 кВт в цепи постоянного тока передавался двигателям при номинальном напряжении аккумулятора. Размыкание РКИА должно происходить, если тормозная система постоянно реагирует более чем на 0,5 с. Это устройство должно быть предоставлено в дополнение к проверкам тормозной системы, производимым контроллером, который интерпретирует запросы водителя о крутящем моменте и обеспечивает его колёсам. Устройство проверки работоспособности тормозов может быть перезагружено при выключении и включении ГПЗНС.

Команда должна распланировать испытание, чтобы во время технической инспекции подтвердить наличие данной функции. Однако, предполагается, что этого можно реализовать, отсылая соответствующий сигнал и получить силу

тока 5кВт, нажимая на педаль тормоза до определённого положения или нажимая с определённой силой, имитирующей резкое торможение.

2.35 Выключатель от замедления

Все машины должны быть укомплектованы выключателем с замедлителем SensataResettableCrashSensor или идентичным ему.

Выключатель с замедлителем должен быть частью цепи выключения. Он должен быть соединён проводами последовательно с кнопками выключения таким образом, что удар по автомобилю вызовет активацию цепи выключения и размыкание РКИА. Выключатель с замедлителем должен быть зафиксирован до тех пор, пока он не будет перезагружен вручную.

Это устройство должно срабатывать после ударной нагрузки, которая оказывает отрицательную нагрузку на автомобиль в диапазоне от 6g до 11g, в зависимости от продолжительности воздействия нагрузок (см. спецификации SensataResettableCrashSensor).

Выключатель с замедлителем может быть перезагружен водителем из кабины.

Это устройство должно быть механическим способом прикреплено к автомобилю, однако оно должно быть съёмным, чтобы его можно было легко проверить встряской. Буду использовать устройство, указанное в требованиях.



Рисунок 2.5 – Внешний вид датчика удара

2.36 Предохранители

Все электрические системы должны быть соответствующим образом снабжены плавкими предохранителями. Предохранитель должен быть предназначен для работы с непрерывным током, сила которого не больше, чем для, работы с которой предназначен компонент, защищаемый предохранителем.

Все плавкие предохранители и их патроны должны выдерживать максимальное напряжение системы. Предохранители, используемые в системах постоянного тока, должны выдерживать постоянный ток и иметь степень защиты, соответствующую напряжению системы или лучше.

Все предохранители должны иметь защиту от тока прерывания. Она должна быть больше, чем сила тока при теоретическом коротком замыкании высоковольтной системы.

При использовании нескольких параллельных комплектов батарей или конденсаторов, каждый комплект должен быть защищён плавкими предохранителями отдельно, чтобы защитить все компоненты этого комплекта. Любые проводники, например, провода, шины питания, элементы и т.п., проводящие ток для всего комплекта аккумуляторов или конденсаторов, должны выдерживать общую силу тока, которую могут передавать отдельные предохранители, или же использовать дополнительный предохранитель для защиты проводников.

К использованию допускаются комплекты батарей, где элементы соединяются плавкими перемычками, предназначенными для работы с низким напряжением или энергонезависимыми, но при соблюдении следующих условий:

1. Предохранитель, предназначенный для работы с силой тока в три раза меньшей, чем совокупность параллельных плавких перемычек, присоединённых последовательно, а также:

2. Система контроля аккумулятора могла обнаружить разомкнутый предохранитель и отключить электрическую систему, разомкнув замыкатели высокого напряжения в случае обнаружения проблемы.

3. Согласно спецификациям, плавкие перемычки предназначены для работы с током данной силы или если предоставлены удовлетворительные результаты испытаний.

Элементы с внутренней защитой от сверхтоков могут быть использованы без внешних плавких предохранителей или плавких перемычек при условии их соответствия рабочим параметрам.

Большинство устройств для защиты элементов от сверхтоков, либо энергонезависимы, либо предназначены для работы с током низкого напряжения.

В Форме отчёта по электрическим системам должны быть описаны все элементы, и даже плавкие предохранители, плавкие перемычки и внутренняя защита от сверхтоков, в том числе документация от производителя для серии использованных компонентов и параллельной конфигурации, и указание напряжения комплектов аккумуляторов.

2.37 Проверка устройства контроля изоляции (IMDT)

Испытание устройства управления изоляцией пройдёт во время технической инспекции. Оно осуществляется посредством соединения резистора с точками замера тяговой системы и проводящими ток деталями автомобиля в момент работы тяговой системы.

Проверка считается пройденной, если устройство контроля изоляции отключит электротяговую систему за период времени менее 30 секунд, если величина сопротивления, ниже на половину чем сопротивление срабатывания устройства.

Данный тест может быть проведён повторно в любой момент. После первого прохождения теста критически важные детали тяговой системы будут

опечатаны. Автомобилю запрещено принимать участие в динамических испытаниях, если целостность печатей нарушена, до тех пор, пока тест не будет пройден заново.

2.38 Проверка изоляции

Сопротивление изолирующего материала между тяговой системой и заземлением ЗНС будет замеряться во время технической инспекции. Доступные напряжения для замера 250В и 500В. На автомобилях с максимальным рабочим напряжением ниже 500В замеры будут проводиться с округлением напряжения, т.е. системы с напряжением 175 В будут замеряться на 250 В, 300 В – 500 В и т.д. Если напряжение системы составляет 500 В и выше, замер будет проводиться при напряжении 500 В.

Чтобы пройти данную проверку, сопротивление замераемого изолирующего материала должно составлять не менее 500 Ом/Вольт, относительно максимального номинального рабочего напряжения тяговой системы.

2.39 Испытания в условиях дождя

Команды должны пройти испытание в условиях дождя во время технической инспекции, чтобы в дальнейшем, автомобиль получил разрешение перемещаться своим ходом. Перед данным испытанием команда должна пройти проверку устройства контроля изоляции.

Во время данного испытания тяговая система должна быть приведена в действия, и колёса не должны касаться земли. Автомобиль не должен находиться в готовности к началу движения. Водителю во время данного испытания запрещено находиться в автомобиле.

Автомобиль будет облит водными брызгами из любого возможного направления в течение 120 секунд для достижения сходства с дождём. Следовательно, в испытании не будет фигурировать струя воды под давлением.

Проверка считается выполненной, если устройство контроля изоляции не срабатывает, в то время как автомобиль поливают водой, и в течение 120 секунд после прекращения поливки. Следовательно, общее время испытания – 240 секунд (120 с водой и 120 без воды). Команды должны предотвратить скопление воды в шасси.

Работа в сети высокого напряжения и инструменты для работы при высоком напряжении

2.40 Аккумуляторные контейнеры тяговой системы

Открывать контейнеры или работать с ними разрешено только на участках зарядки, а также во время технической инспекции.

Если контейнеры открыты, сегменты элементов должны быть разграничены при помощи заглушек.

При работе с аккумулятором и тяговой системой разрешено использовать только инструменты, не проводящие ток.

Если тяговая система активна и её детали не закрыты, или если ведётся обслуживание аккумулятора, все члены команды должны носить очки с боковыми щитками.

2.41 Зарядка

На месте проведения соревнований будет выделена отдельная зона для зарядки электромобилей. Зарядка аккумуляторов тяговой системы разрешена только внутри этой зоны.

Аккумуляторы можно заряжать, не вынимая их из автомобиля.

Также возможно заряжать аккумуляторы вне автомобиля, если они находятся в съёмном аккумуляторном контейнере.

Контейнеры тяговых батарей или непосредственно электромобиль, в зависимости от того, как происходит зарядка аккумуляторов – внутри или вне автомобиля – во время зарядки должны иметь маркировку с указанием названия команды и номер телефона инспектора электрической системы.

Если аккумуляторы заряжаются внутри автомобиля, запрещено вести обслуживание каких либо систем автомобилей.

Запрещено шлифовать, сверлить и т.п. в зоне зарядки.

Во время зарядки рядом с аккумулятором/автомобилем должен находиться как минимум один член команды, имеющий представление о процессе зарядки. Перенос элементов и/или сегментов аккумулятора по месту проведения допустим только в том случае, если они расположены в полностью закрытом аккумуляторном контейнере.

2.42 Зарядные устройства

К использованию допускаются только зарядные устройства, присутствующие и опечатанные во время инспекции. Все соединения зарядного устройства должны быть прикрыты и изолированы. Не допускается наличие неприкрытых соединений.

Все зарядные устройства должны либо быть сертифицированы по известному техническому стандарту, например, СЕ, или, если зарядное устройство собрано командой, они должны быть собраны в соответствии с высокими стандартами качества. Зарядные устройства должны соответствовать требованиям для тяговой системы автомобиля.

В зарядное устройство должен быть встроена блокировка, благодаря которой коннекторы начнут свою работу только при правильном подключении к аккумулятору. Концы высоковольтных проводов должны быть оранжевого цвета. При зарядке СУА должна быть приведена в действие, чтобы отключить

зарядное устройство в случае неисправности. Зарядное устройство должно иметь кнопки аварийной остановки работы нажимного типа. Минимальный диаметр кнопки – 25 мм; кнопка должна иметь чёткое обозначение.

2.43 Тележка

В случае если команда использует съёмные аккумуляторные контейнеры, для транспортировки аккумуляторов к зарядному устройству должна использоваться ручная тележка. Её необходимо представить во время технической инспекции.

Тележка должна иметь тормоз, убрать который можно будет только с помощью аварийной педали, то есть, тормоз работает всегда, кроме тех случаев, когда кто-то выпускает его, например, нажатием на ручку.

Тормоз должен быть в состоянии остановить тележку, полностью загруженную контейнерами.

Тележка должна выдерживать вес контейнеров.

Тележка должна применяться для транспортировки аккумуляторных контейнеров на месте проведения.

Каждая команда должна представить следующий базовый набор инструментов, находящихся в хорошем состоянии, во время инспекции:

- Кусачки с изоляцией
- Отвёртки с изоляцией
- Мультиметр с защищёнными наконечниками щупа
- Инструменты с изоляцией, если в электротяговой системе используются резьбовые соединения
- Защитная маска для лица
- Диэлектрические перчатки
- 2 диэлектрических дорожки площадью более 1 м² каждая

- Защитные очки с Фронтальными щитками для участников команды, которые имеют право проводить ремонт электротяговой системы или аккумулятора.

Все предметы защиты должны предназначаться для работы с напряжением не меньшим, чем максимальное напряжение тяговой системы.

2.44 Форма об электрической системе (ESF)

Перед началом соревнований все команды обязаны подать чётко структурированную документацию касательно всей электрической системы автомобиля (включая систему управления и тяговую систему), которая называется Форма об электрической системе (ESF).

Этот документ должен давать ясное понимание взаимосвязи элементов, включая величину напряжения, топологию, проводники, а также конструкцию и сборку аккумуляторов.

Команды должны представить протоколы результатов испытаний и спецификации для всех использованных деталей тяговой системы, а также продемонстрировать, что все детали предназначены для работы в таких условиях (включая элементы проводки). В том числе и описание пагубных внешних факторов, например, высоких температур, вибрации и т.д.

Структурированный образец формы будет доступен на сайте соревнования.

Форма должна подаваться в виде PDF файла.

Минимальный допустимый размер шрифта – 11 кегль. Шрифт – Arial. Для облегчения понимания текста в сам текст, но не в приложение, должны быть включены небольшие изображения и схемы.

Таблицы данных и большие схемы должны быть в приложении.

Одобрённая Форма не должна восприниматься как автоматическое прохождение инспекции по описанным в форме пунктам/деталям.

2.45 Анализ характера и последствий отказов (FMEA)

Команды должны подать готовый Анализ (FMEA) по тяговой системе перед соревнованием.

Образец анализа с указанием необходимых для описания видов отказа будет. Не меняйте структуру образца. Изображения, схемы и таблицы, которые должны быть включены в Анализ, должны находиться на дополнительных страницах.

2.46 Предоставление Формы и Анализа

Форма и Анализ должны быть поданы в соответствии с процедурой подачи и в сроки, указанные на сайте соревнования.

2.47 Штраф за несвоевременное предоставление

Несвоевременное предоставление Формы или Анализа наказывается штрафом в -10 баллов/день, прошедший со дня завершения приёма документов (полный или неполный). Максимальный штраф составляет 50 баллов.

3 Определение концепции электромобиля

Необходимо выбрать комплектующие для тяговой системы электромобиля, чтобы они могли обеспечивать достаточную динамику и безопасность. Для определения необходимой мощности элементов тяговой системы электромобиля произведём тяговый расчёт.

3.1 Тягово – динамический расчёт электромобиля

Определение тягово-скоростных свойств автомобиля необходимо при проектировании новых моделей, а также при выборе типов автомобилей в соответствии с различными условиями эксплуатации[9]. Данная задача решается методами теории автомобиля – науки об эксплуатационных свойствах, которые характеризуют возможность эффективного использования автомобиля в определенных условиях и позволяют оценить, в какой мере его конструкция отвечает этим условиям.

Приступая к расчету, следует предварительно изучить соответствующие разделы теории автомобиля, овладеть методами анализа таких характеристик автомобиля, как силовой и мощностной балансы, динамическая характеристика и др.

За начальные параметры электромобиля принимаем данные автомобиля «Чёрная Пуля» построенного в ТГУ в 2015 году, так как автомобиль полностью соответствует международным требованиям по безопасности.

3.1.1 Исходные данные

Тип автомобиля – заднеприводный легковой автомобиль формульного класса.

Колесная формула – 4×2

Количество человек – $n = 1$ (чел.)

Длина = 2420 мм.

Ширина (Br) = 1500мм.

Высота (Hr) = 1200мм.

Снаряжённая масса – $m_0 = 280$ кг.

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 – $V_{\max} = 90$ км/ч (25 м/с)

Максимальная частота вращения вала электродвигателя –
 $\omega_{e\max} = 420 \text{ с}^{-1}$ (4013 об/мин)

КПД трансмиссии – $\eta_{\text{ТР}} = 0,85$

3.2 Определение мощности и момента электродвигателя

3.2.1 Определение полной массы автомобиля

$$M_a = M_0 + (M_{\text{ч}} \times n) + M_{\text{б}} \quad (3.1)$$

$$M_a = 280 + 75 + 10 = 365 \text{ кг.}$$

где M_0 – снаряженная масса автомобиля

$M_{\text{ч}}$ – масса человека (75кг.)

$M_{\text{б}}$ – масса груза на одного человека (10 кг.)

n – количество людей в электромобиле.

3.2.2 Определение статического радиуса колеса

$$r_{CT} = 0,5 \times d + \lambda \times H \quad (3.2)$$

где $d = 13$ – посадочный диаметр, дюймы (= 0.256 м)

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

$H / B = 65$ – высота профиля шины относительно ее ширины, %

$B = 0,175$ – ширина профиля шины, м

$H = 65 \times 0,175 = 0,114$ – высота профиля шины, м

$$r_{CT} = 0,5 \times 0,256 + 0,8 \times 0,114 = 0,256 \text{ м}$$

$$r_{CT} \approx r_D \approx r_K = 0,256 \text{ м}$$

– радиус качения шины

3.2.3 Определение коэффициента обтекаемости

$$k = \frac{C_x \times \rho}{2} \quad (3.3)$$

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

где C_x – коэффициент сопротивления воздуха

$\rho = 1,293$ – плотность воздуха в стандартных условиях

3.2.4 Расчет лобовой площади автомобиля

$$F = 0,8 \times B_r \times H_r \quad (3.4)$$

$$F = 0,8 \times 1,25 \times 1 \text{ м}^2$$

3.2.5 Расчет коэффициента сопротивления качению

$$f = f_0 \times \left(1 + \frac{V^2}{2000}\right) \quad (3.5)$$

$$f = 0,013 \times \left(1 + \frac{25^2}{2000}\right) = 0,017$$

3.2.6 Определение внешней скоростной характеристики необходимого электродвигателя

Сначала определяют мощность электродвигателя при наивысшей скорости автомобиля с учётом КПД трансмиссии по формуле мощностного баланса:

$$N_V = \frac{1}{\eta_{TP}} (G_a \times \psi_V \times V_{MAX} + \frac{C_X}{2} \times \rho \times F \times V_{max}^3) \quad (3.6)$$

ψ_V – коэффициент сопротивления дороги при максимальной скорости автомобиля.

Для легких автомобилей коэффициент сопротивления дороги принимают равным коэффициенту качения при максимальной скорости.

$$\psi_V = f = 0,017$$

$G_a = m_a \times g$ – полный вес автомобиля,

$\rho = 1,293$ – плотность воздуха в нормальных условиях

$$N_V = \frac{1}{0,85} \times (365 \times 9,81 \times 0,017 \times 25 + 0,15 \times 1,293 \times 25^3) = 19362_{\text{Вт}} \approx$$

19.36 кВт

По полученным расчётам можно подобрать электродвигатель. Самый распространённый электродвигатель, используемый на электромобилях класса Формула Студент Электрик это LEMCOlem 200, его максимальная мощность составляет 12 кВт, одного двигателя будет не достаточно, а если использовать два таких электродвигателя, то динамичность автомобиля будет достаточно высокой.

Характеристики этого электродвигателя показаны в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Зависимость мощности и момента от скорости вращения электродвигателя LEMCOLEM 200

$\omega_e, \text{с}^{-1}$	137	193	250	306	363	420
$N_e, \text{кВт}$	2	4	6	8	10	12
$M_e, \text{Нм}$	10	20	20	30	40	50

Главным критерием для определения передаточного числа главной передачи U_0 является максимальная скорость электромобиля.

$$U_0 = \frac{r_k}{U_k} \times \frac{\omega_{\max}}{V_{\max}} \quad (3.7)$$

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

U_k – принимаем равным 1, так как в разрабатываемом электромобиле не будет коробки передач.

$$U_0 = \frac{0,256}{1} \times \frac{420}{25} = 4,3$$

Внешняя скоростная характеристика двигателя

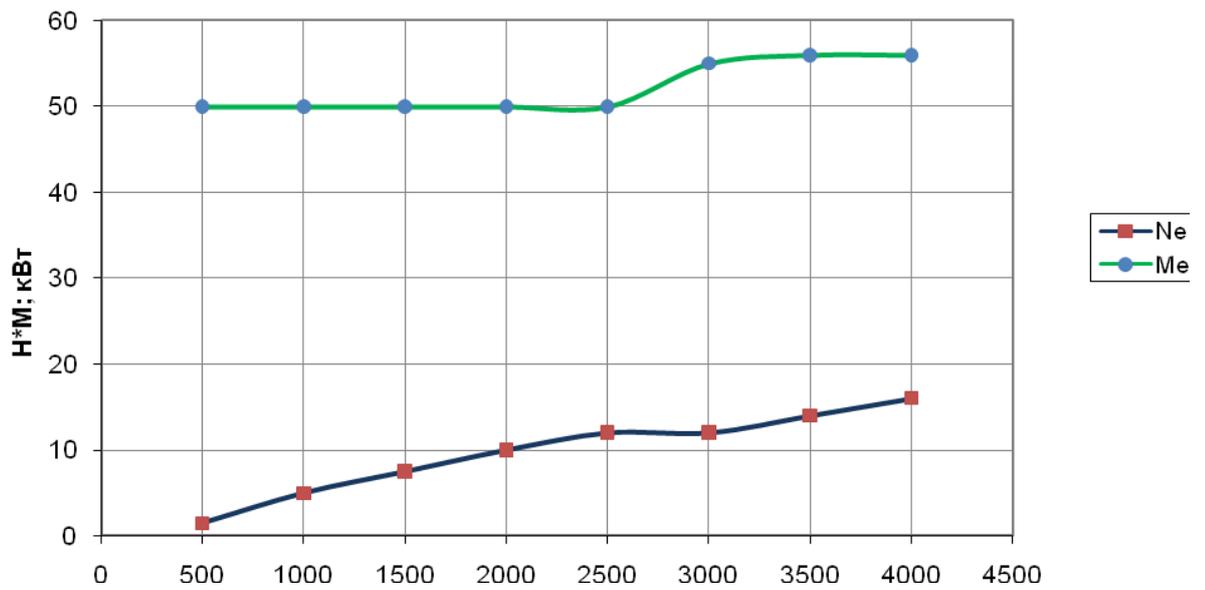


Рисунок 3.1 – Внешняя скоростная характеристика электродвигателя

3.2.7 Определение передаточного числа главной передачи

Во избежание буксования ведущих колес тяговая сила должна быть меньше силы сцепления колес с дорогой:

$$U_1 \leq \frac{G_{cy} \times \varphi \times r_k}{M_{max} \times \eta_{TP} \times U_0} \quad (3.8)$$

где $G_{cy} = m_1 \times G = 0,981 \times 0,8 \times 219 = 1719H$ – сцепной вес автомобиля;

$\varphi = 0,8$ – коэффициент сцепления шин ведущих колес с дорожным покрытием (сухое асфальтовое шоссе в хорошем состоянии).

$$U_1 \leq \frac{1719 \times 0,8 \times 0,256}{40 \times 0,85 \times 4,3} \leq 2,81$$

3.3 Анализ тяговой динамики

3.3.1 Тяговый баланс электромобиля

Сила тяги на ведущих колесах, в зависимости от скорости электромобиля.

$$P_T = \frac{U_k \times U_0 \times M_e \times \eta_{TP}}{r_k} \quad (3.9)$$

При движении автомобиль приобретает силу сопротивления воздуха, которую определяют по формуле:

$$P_B = \frac{1}{2} \times C_x \times \rho \times F \times V^2 \quad (3.10)$$

Сила сопротивления качению автомобиля:

$$P_D = G_a \times \psi, \text{ где } \psi = f \quad (3.11)$$

Суммарная сила сопротивления движению автомобиля:

$$P_\Sigma = P_B + P_D \quad (3.12)$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 3.2 и 3.3

Динамическим фактор D - это отношение разности силы тяги и силы сопротивления воздуха к весу автомобиля:

$$D = \frac{P_T - P_B}{G_a} \quad (3.13)$$

Таблица 3.2 – Результаты расчета

n, об/мин	Тяговая сила на ведущих колесах Н	Сила сопротивления, Н		
		P_B	P_D	P_y
500	713,87	1,70	42,05	43,75
1000	713,87	6,77	47,68	54,46
1500	713,87	15,26	48,37	63,63
2000	713,87	27,10	49,52	76,62
2500	713,87	42,37	51,13	93,50
3000	785,25	60,97	53,21	114,18
3500	799,53	83,03	55,74	138,77
4000	799,53	108,40	58,74	167,14

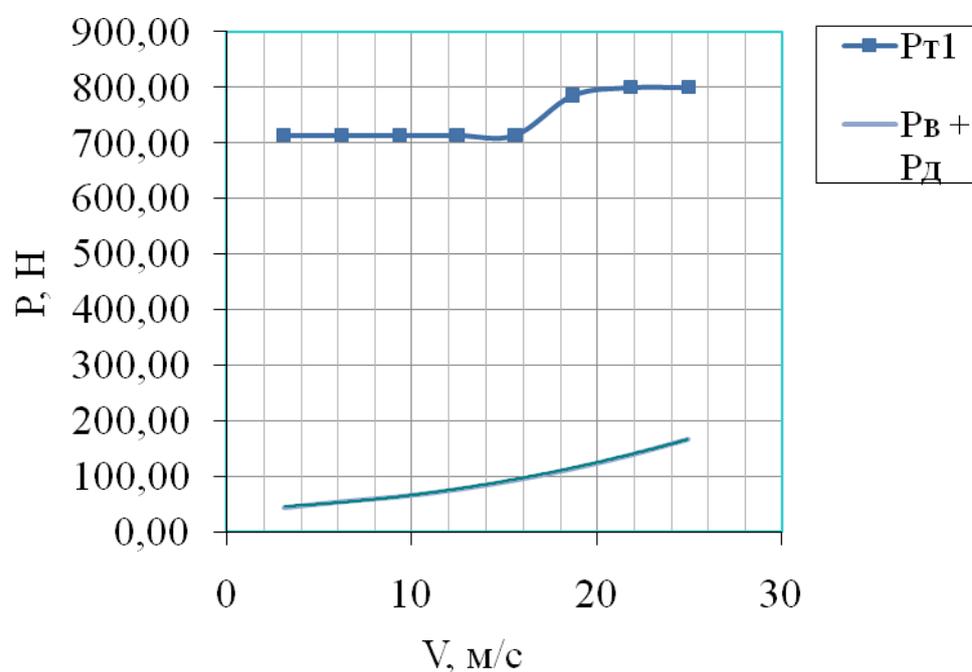


Рисунок 3.2 – Силовой баланс электромобиля

Таблица 3.3 – Зависимость сопротивления воздуха от скорости электромобиля

$V, \text{ м/с}$	P_B
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

3.3.2 Динамические характеристики автомобиля

Результаты расчетов коэффициента сопротивления качению и динамического фактора сведены в таблицу 5.

Таблица 3.4 – Зависимость коэффициента сопротивления качению и динамического фактора от скорости вращения электродвигателя

$n, \text{ об/мин}$	Динамический фактор D	Коэффициент сопротивления f
500	0,1951	0,013
1000	0,1937	0,013
1500	0,1914	0,014
2000	0,1882	0,014
2500	0,184	0,015
3000	0,1984	0,015
3500	0,1963	0,016
4000	0,1894	0,017

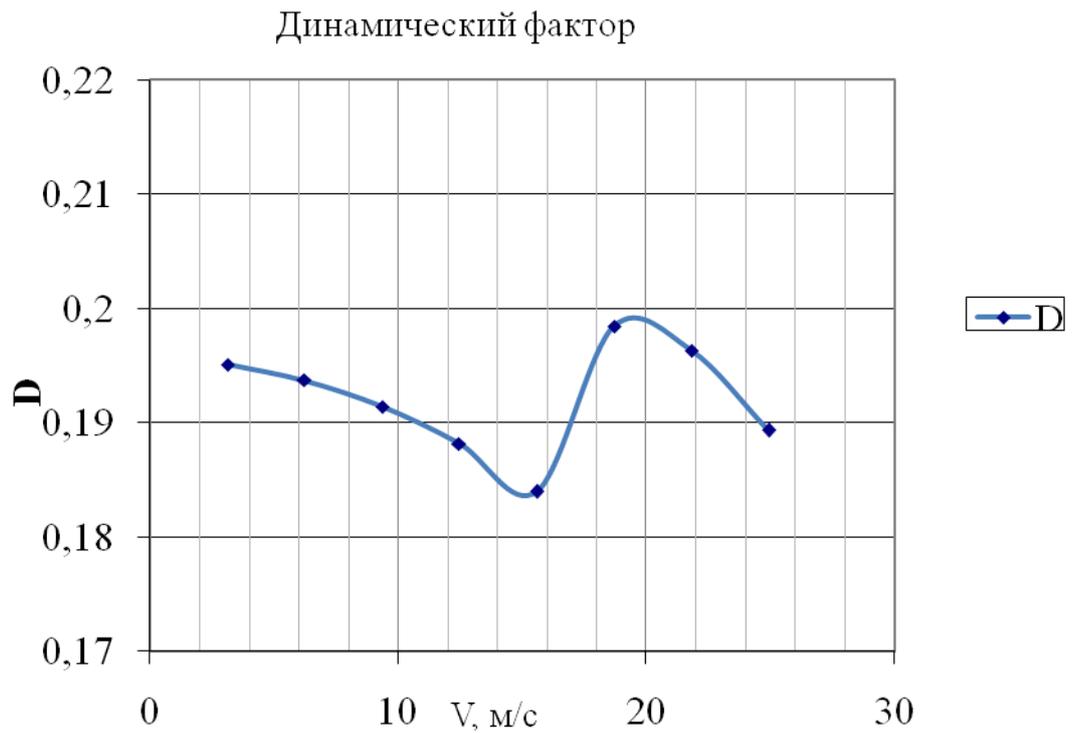


Рисунок 3.3 – Зависимость динамического фактора от скорости
автомобиля

3.4 Анализ динамики разгона

3.4.1 Разгон автомобиля

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. Ускорение находят:

$$J = \frac{(D - f) \times g}{\delta_{вр}}, \text{ где} \quad (3.14)$$

$$\delta_{ep} = 1 + \frac{(I_M \times \eta_{TP} \times U_{TP} + I_k) \times g}{G_a \times r_k^2}, \text{ где} \quad (3.15)$$

где I_M – момент инерции вращающихся деталей двигателя;

$U_{TP} = U_0 \times U_k$ – передаточное число трансмиссии;

I_k – суммарный момент инерции ведущих колес.

Если точное значение I_M и I_k неизвестно то, δ_{BP} определяют по формуле:

$$\delta_{ep} = 1 + (\delta_1 + \delta_2 \times U_k^2) \quad (3.16)$$

где U_k – передаточное число коробки передач, у нас нет коробки передач, поэтому этот коэффициент принимаем=1

δ_1 – коэффициент учета вращающихся масс колес

δ_2 – коэффициент учета вращающихся масс электродвигателя:

$$\delta_1 = \delta_2 = 0,03 - 0,05 \quad (3.17)$$

Результаты расчетов ускорений и обратных ускорений $1/j$ сведены в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – зависимость ускорений и обратных ускорений от частоты вращения электродвигателя.

п, об/мин	Ускорение передачи м/с ²	на	Величина, обратная ускорению на передаче, с ² /м
500	1,5455		0,647
1000	1,5321		0,6527

п, об/мин	Ускорение передачи m/c^2	на	Величина, обратная ускорению на передаче, c^2/m
1500	1,5097		0,6624
2000	1,4784		0,6764
2500	1,4381		0,6954
3000	1,5549		0,6431
3500	1,5299		0,6536
4000	1,4629		0,6836

Ускорения автомобиля

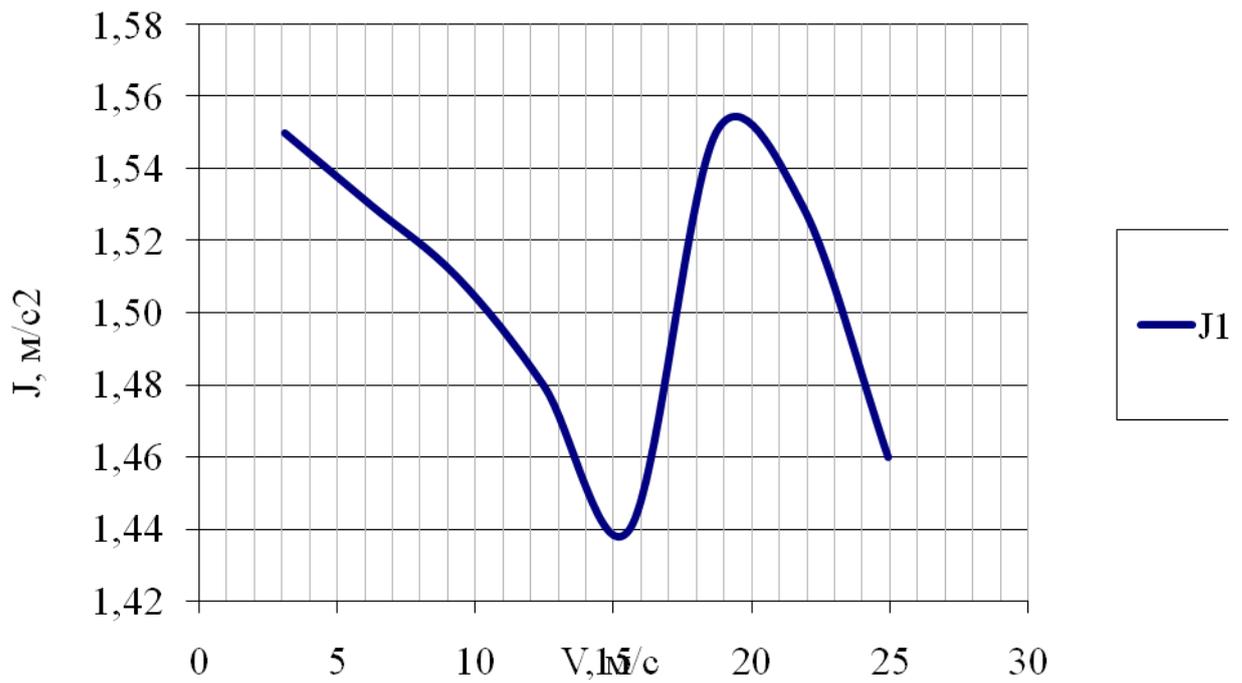


Рисунок 3.4 – Ускорение автомобиля

Обратные ускорения автомобиля

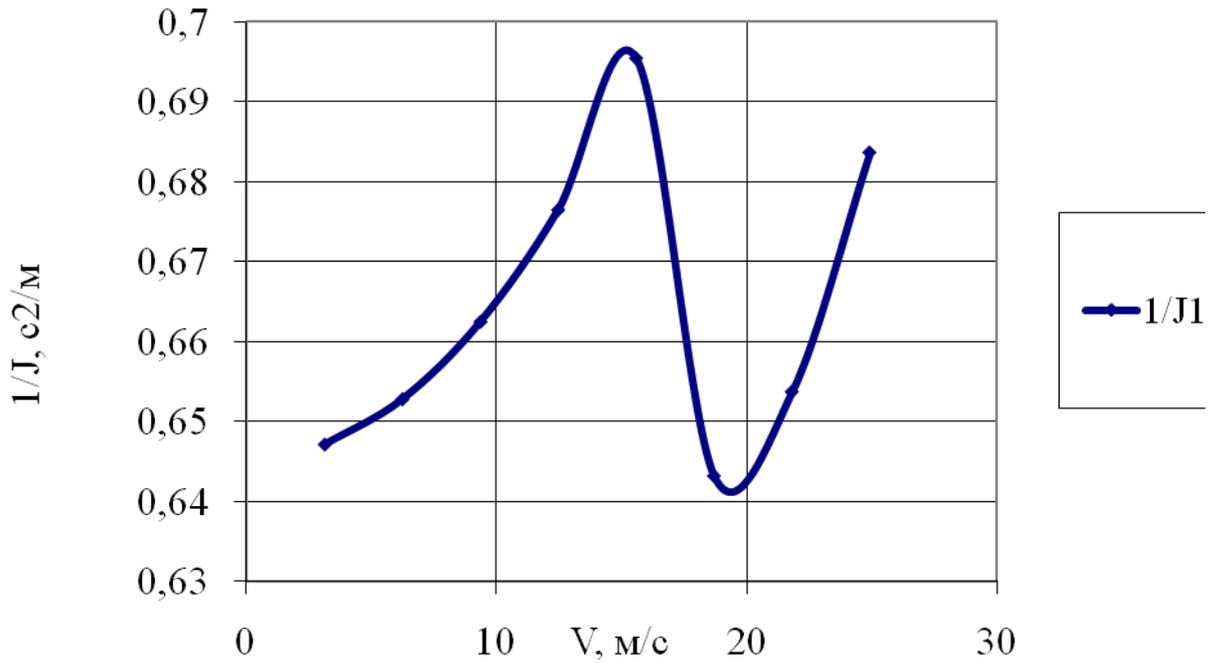


Рисунок 3.5 – Обратные ускорения автомобиля

Путь и время разгона электромобиля определяется с помощью графоаналитического способа. Интегрирование заменяется суммой величин.

$$\Delta t = \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{j} \times d_V \approx \left(\frac{1}{j_{CP}}\right)_2 \times (V_2 - V_1) \Delta t = \quad (3.18)$$

Результаты расчетов приведены в таблицах 3.6 и 3.7

Таблица 3.6 – Результаты расчета

V, м/с	0	3.12	6.23	9.35	12.46	15.58	18.69	21.81	24.92
1/J _{ср}	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 3.7 – Результаты расчета

t, c	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

Время разгона электромобиля

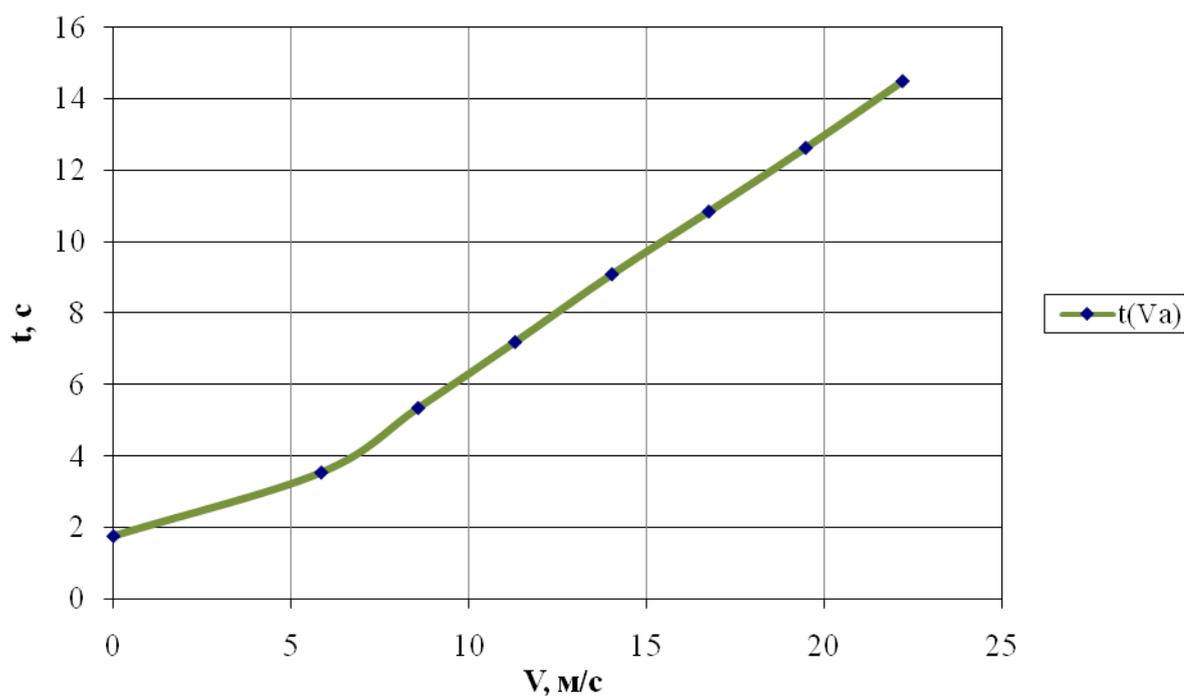


Рисунок 3.6 – График разгона электромобиля

Путь разгона электромобиля

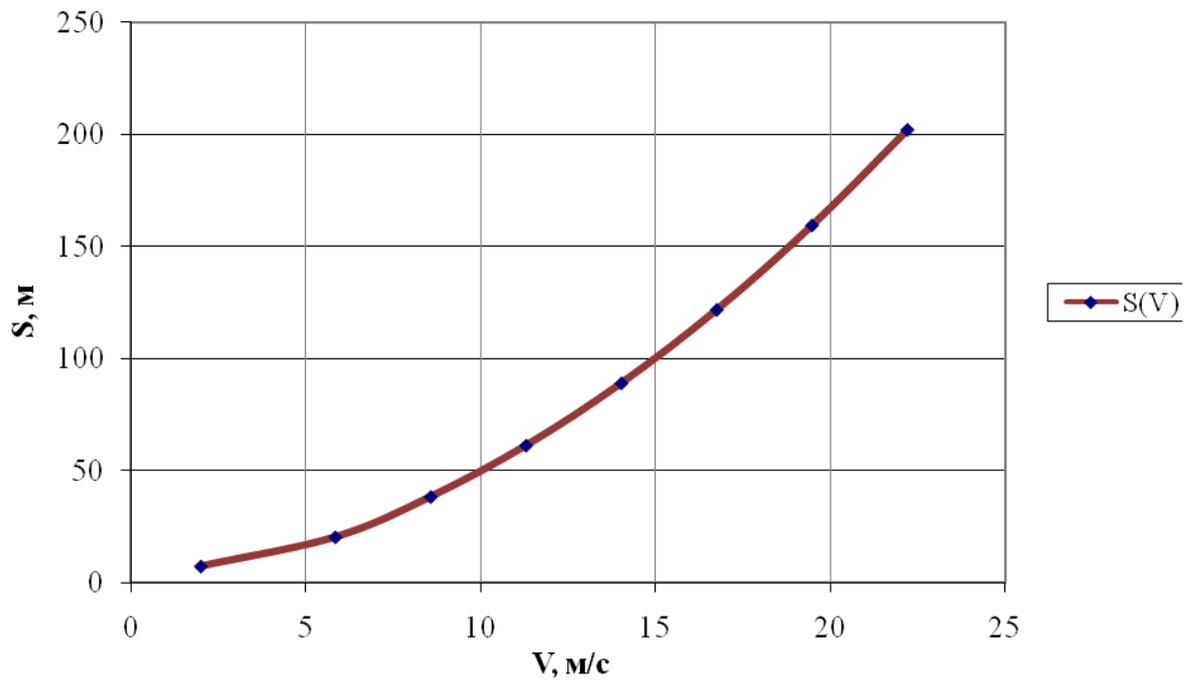


Рисунок 3.7 – График зависимости пути разгона автомобиля от скорости

График интенсивности разгона

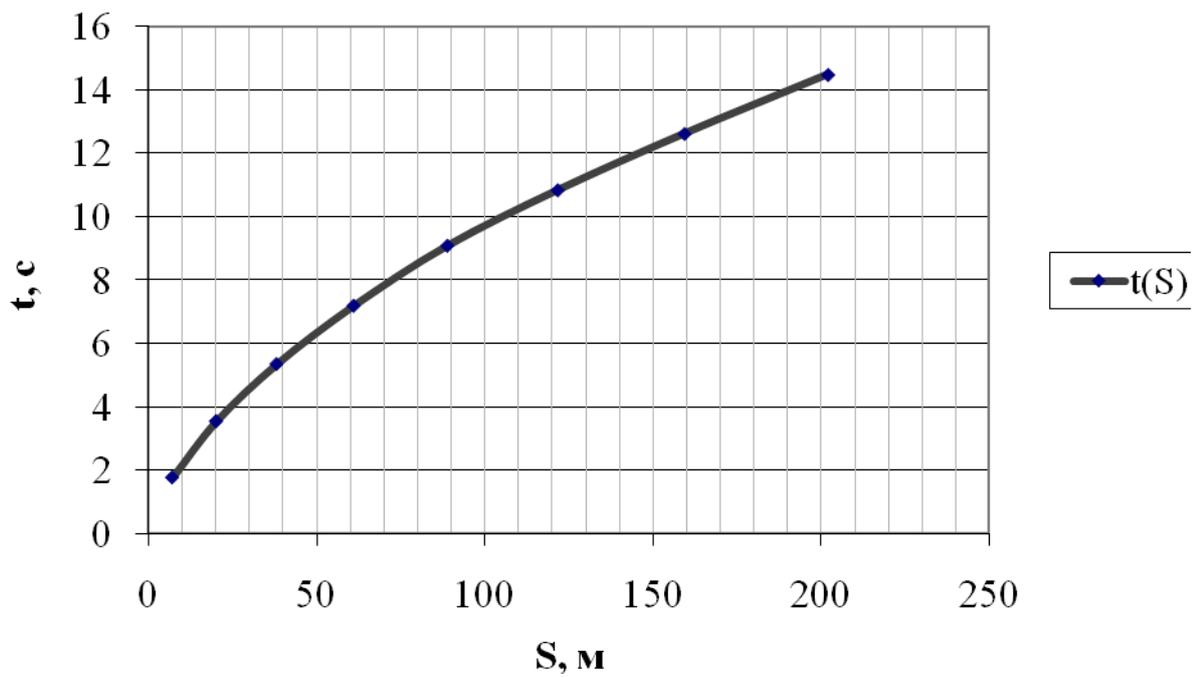


Рисунок 3.8 – График зависимости пути разгона автомобиля от времени

3.5 Мощностной баланс электромобиля

$$N_T = N_e - N_{TP} = N_f + N_{II} + N_B + N_{II}, \quad (3.19)$$

где $N_T = N_e \times \eta_{TP}$ $N_T = N_e \cdot \eta_{TP}$ – мощность тяговая, или мощность,

передаваемая ведущим колесам;

N_{TP} – мощность, затрачиваемая в трансмиссии;

$N_f = P_{II} \times V$ – мощность, затрачиваемая на качение колес (сила сопротивления качению);

$N_{II} = P_{II} \times V$ – мощность, затраченная на преодоление подъема;

$N_B = P_B \times V$ $N_B = P_B \cdot V$ – мощность, затраченная сопротивление воздуха;

$N_{II} = P_{II} \times V$ – мощность, затраченная на преодоление силы инерции автомобиля;

$N_D = P_D \times V = N_f + N_{II}$ – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления дороги.

Результаты расчетов сводим в таблицу 3.8.

Таблица 3.8 – Результаты расчётов

V max	3.12	6.23	9.35	12.46	15.58	18.69	21.81	24.92
Ne	1,50	5,00	7,50	10,00	12,00	12,00	14,00	16,00
Nt	1,28	4,25	6,38	8,50	10,20	10,20	11,90	13,60
Nв	0,01	0,04	0,14	0,34	0,66	1,14	1,81	2,7
Nд	0,13	0,30	0,45	0,62	0,80	1,00	1,22	1,46
Nв+Nд	0,14	0,34	0,59	0,96	1,46	2,14	3,03	4,16
(Nв+Nд)/Nt	0,11	0,08	0,09	0,11	0,14	0,21	0,25	0,31

Мощностной баланс электромобиля

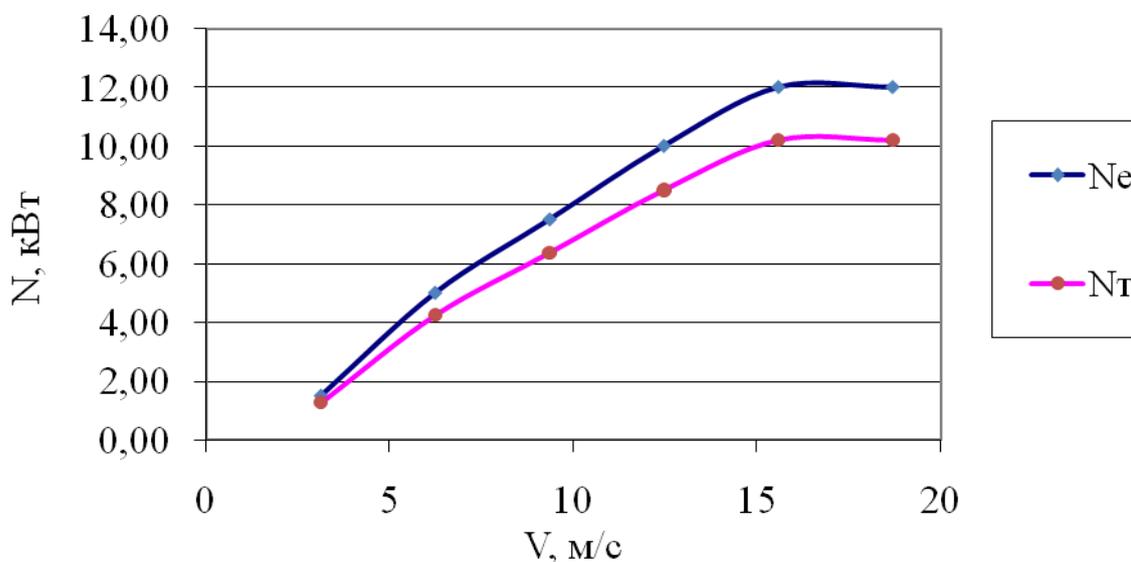


Рисунок 3.9 – Мощностной баланс электромобиля за вычетом сил сопротивления движению

3.6 Выбор тягового электродвигателя

Рассмотрев аналоги электромобилей класса, формула электрик, выберу наиболее оптимальную, на мой взгляд, компоновку. Рассмотрю варианты: с одним электродвигателем, двумя электродвигателями и четырьмя электродвигателями, расположенными возле колёс.

Компоновка с одним электромотором: простая конструкция, простой алгоритм управления. Недостатками данной компоновки является то, что потребуется использование дифференциала для распределения мощности между ведущими колёсами, это приведёт к увеличению массы элементов трансмиссии, возможное пробуксовывание колёс при прохождении поворотов – что не позволит реализовать полный потенциал электромобиля.

Компоновка с четырьмя электродвигателями: При грамотном расчёте и правильном подборе комплектующих автомобиль имеет хорошие

динамические характеристики, отличную управляемость, Недостатками такой компоновки является высокая сложность изготовления элементов ступиц, также, чтобы реализовать все возможности такой компоновки требуется разработать и реализовать сложную систему управления электродвигателями, стоимость изготовления такого электромотоцикла будет высокой.

Компоновка с двумя электродвигателями считаю наиболее подходящей для гоночного электромотоцикла, тем более что такой электромотоцикл будет строиться впервые, есть возможность реализовать электронный дифференциал, регулировать силу тяги в повороте, что положительно скажется на управляемости и увеличит скорость прохождения поворотов.

Существенными факторами, влияющими на выбор тяговых электродвигателей для электромотоциклов [10], являются:

- вес электродвигателя;
- высокий к.п.д.;
- соответствие механической характеристики, т.е. 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.

Практическое применение в электромотоциклах получили электроприводы следующих типов: вентильные электродвигатели (ВЭД), асинхронные частотно-управляемые (АЧУЭД), ЭД постоянного тока с независимым возбуждением (ПН) и ЭД постоянного тока с последовательным возбуждением (ПП).

Учитывая специфику электромотоцикла, выберем подходящие, на мой взгляд, электродвигатели для сравнения. Рассматриваемые варианты электродвигателей и их характеристики сведем в таблицу 3.9.

Таблица 3.9 – Тяговые электродвигатели

Внешний вид				
Название	Электродвигатель Agni 95 RDCMotor	Электродвигатель HPM-10KW-Fan-Cooling	Электродвигатель Perm-Motor PMG-132	Электродвигатель ADC 203-06-4001A
Максимальная мощность КВт.	16	20	14,5	28
Максимальный крутящий момент, Н/м	53	60	38,5	45,3
Скорость вращения, об/мин	4000	6000	3480	6500
Напряжение питания, В.	12-72	48-120	12-72	72-144
КПД, %	92%	91%	90%	89%
Масса, кг	11	17	11	48
Ориентировочная стоимость, руб.	120 000	62 600	65 000	40000

Электродвигатель Perm-MotorPMG-132[11]поставляется производителем большими партиями под заказ. Двигатель обладает хорошим соотношением мощность/масса, обладает высокой перегрузочной способностью, и не высокой стоимостью, однако, его не найти в продаже поштучно.

HPM-10KW - бесщёточный электродвигатель постоянного тока (BLDC) [12] 10кВт с воздушным охлаждением применяется на Электрических автомобилях, электрические мотоциклы, электрические лодки и т.д. Обладает высокими характеристиками, но имеет существенно большую массу, чем другие варианты.

Электродвигатель ADC 203-06-4001A применяется на электропогрузчиках[13]. Имеет хорошие эксплуатационные характеристики, но имеет очень большую массу, поэтому нам не подходит.

Agni95R - применяется на электромобилях, электромотоциклах, обладает лучшим соотношением мощность/масса среди рассматриваемых электродвигателей, обладает высокой перегрузочной способностью [14]. Выбираем этот электродвигатель для нашего электромобиля. Как описывалось выше, используем 2 электродвигателя.

3.7 Определение емкости тягового аккумулятора

Для определения количества энергии необходимого для прохождения гонки на выносливость используем данные моделирования прохождения одного круга гонки на выносливость командой университета из г. Акрон США на треке в г. Линкольн штат Небраска[22].

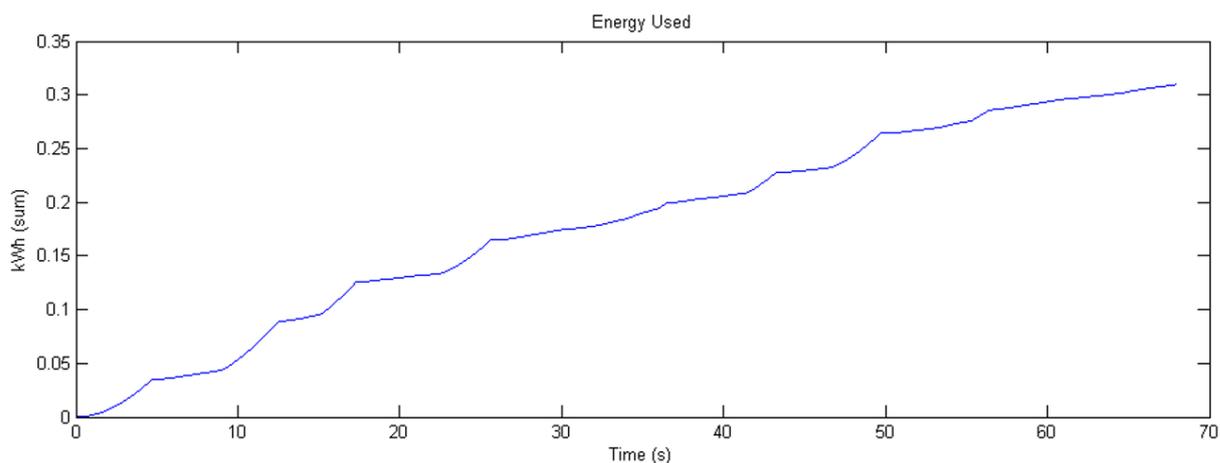


Рисунок 3.10 – Моделирование расхода энергии за круг гонки на выносливость.

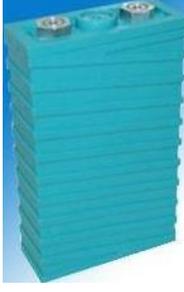
По результатам моделирования время круга составляет 67,8 секунд, расход энергии составил 0,306 кВт/ч. Протяженность круга 1100 метров, на всю дистанцию потребуется $0,306 \cdot 20 = 6,12$ кВт/ч, однако, это для идеального водителя который будет ехать на пределе возможностей шин, реальный водитель будет ехать медленнее. Если снизить максимальный крутящий момент на 20%, то время на круг составит 70,1 сек, расход энергии составит 0,265 кВт/ч на круг, на 20 кругов потребуется 5,3 кВт/ч. Команда использует 2 электродвигателя LemcoLEM – 200 (Agni 95R), масса автомобиля составляет 320 кг. Это очень близко к нашему автомобилю. Необходимое количество энергии для прохождения гонки на выносливость равно 5,3 кВт/ч, однако не будем допускать полного разряда АКБ, так как это может привести к быстрому выходу аккумулятора из строя. Примем минимальный уровень заряда, до которого будет разряжаться аккумулятор равный 20%. Для этого увеличим запас энергии аккумулятора на 20% соответственно и он составит 6,4 кВт/ч.

3.8 Подбор тягового аккумулятора

Из-за того что никель-металлогидридный и никель-кадмиевый аккумуляторы имеют значительно меньшую плотность энергии на единицу

массы чем литий ионный и литий-железо-фосфатный аккумуляторы, их не рассматриваю. Подберу самые подходящие и доступные аккумуляторные батареи. Занесу варианты в таблицу 3.10

Таблица 3.10 – Тяговые аккумуляторные батареи

Номер АКБ	АКБ №1	АКБ №2	АКБ №3	АКБ №4
				
Номинальная емкость А/ч	20 А/ч	3350 мА/ч	20А/ч	40 А/ч
Номинальное напряжение	3,2	3,6	3,2	3,2
Габаритные размеры мм.	133*70*27	65*18*18	230*120*8.5	184*114*47
Масса г.	520	49	430	1400
Максимальный ток разряда, А	60 А	4,8А	60 А	400 А
Стоимость руб.	1300	325,80	2100	5400

Для тяговой системы необходимо напряжение аккумуляторной батареи равно 80 вольт и емкость 80 А/час. Сведём в таблицу количество АКБ необходимое для достижения необходимой емкости, массу полученных сборок и стоимость.

Из приведённого анализа выберем наиболее оптимальный вариант АКБ для гоночного электромобиля,

АКБ №1 – самый дешевый вариант, однако имеет самые низкие показатели по максимальной токоотдаче и имеет достаточно высокую массу. С

таким аккумулятором автомобиль будет ехать не как гоночный автомобиль, а скорее как гольф кар[15].

Таблица 3.11 – Сборки тяговых аккумуляторных батарей

	АКБ №1	АКБ №2	АКБ №3	АКБ №4
Необходимое количество, шт.	100	575	100	50
Масса сборки, г.	52000	28750	43000	70000
Стоимость необходимого количества, руб.	130000	187335	200000	300000

АКБ №2 обладает наименьшим весом по сравнению с другими образцами. Поскольку по требованиям регламента все ячейки являющиеся источниками питания для тяговой системы, должны быть заключены в контейнер, нам не принципиально, в каком виде аккумулятор. Но возникает трудность с надёжным соединением ячеек, когда их сильно много. Из-за специфики эксплуатации гоночного электромобиля все элементы будут испытывать повышенные динамические нагрузки и вибрации, очень велика вероятность, что элементы разъединятся [16].

АКБ №3 – Имеет меньшую массу, чем первый вариант, но также обладает небольшой токоотдачей, следовательно, и динамичность автомобиля будет невысокой [17].

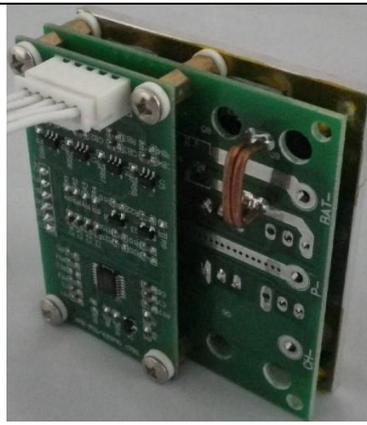
АКБ №4 – имеет самую большую массу и стоимость, однако обладает лучшей токоотдачей [23]. Этот аккумулятор позволит в полной мере реализовать потенциал электродвигателей и динамика автомобиля будет на высоте. Лучший вариант для разрабатываемого электромобиля.

По мере поиска информации для проекта, стало ясно, что самая большая проблема это аккумуляторная сборка. Потому что ячейки нужно надежно соединить, контролировать температуру, охлаждать, обеспечивать безопасность эксплуатации и т.д.

3.9 Система управления аккумулятором

Для обеспечения долговечности и безопасности эксплуатации аккумуляторной сборки необходимо применять систему управления аккумулятором (battery managements system BMS). Рассмотрев подходящие варианты этой системы, было выбрано 2 наиболее подходящих варианта. Характеристики приведены в таблице 3.12

Таблица 3.12 – Сравнительные характеристики плат BMS.

Номер №	№1	№2
Маркировка модуля BMS	BMS-LBSJ4S200200LF180	PCB-FH4S40A
Внешний вид модулей BMS	<p>4S 200A LiFePO4 BMS</p> 	
Число ячеек	4	4

Продолжение таблицы 3.12

Номер №	№1	№2
Маркировка модуля BMS	BMS-LBSJ4S200200LF180	PCB-FH4S40A
Макс. 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 ДхШхВ	180x65x13	60x56x28
Масса, г.	Не указана	80
Стоимость, руб	4100	3120

Модуль №1 – Заявленные производителем характеристики приемлемы, но устройство производят в Китае, и как правило, характеристики являются завышенными[18]. Узнать истинные характеристики можно будет только после сборки. Так же отсутствует функция отслеживания температуры аккумуляторных ячеек, а это очень опасно при эксплуатации такой мощной аккумуляторной сборки.

Модуль №2 – имеет приемлемые характеристики, производится в Германии, имеется функция балансировки и имеется функция отслеживания температуры аккумуляторных ячеек[24].

При использовании аккумуляторов №4 потребуется 12 модулей BMS рассмотренных в таблице № 3.12 и 2 модуля BMS контролирующих по одной

ячейке. В принципе, можно разработать и изготовить собственный модуль BMS как сделали ребята из команды МАДИ.

3.10 Блока управления электродвигателем

Для двухмоторной компоновки необходимо два блока управления, по одному на каждый электродвигатель. Зная требуемые величины токов и напряжений подберём подходящие блоки управления.

Произведя анализ электромобилей класса, Формула студент Электрик, выяснилось, что все команды (которые разместили информацию о своих электромобилях) используют блоки управления электродвигателями SIGMADRIVERMT 835 M, поскольку производитель предоставляет скидку для команд Формула Студент Электрик, выбор однозначно останавливаем на этом блоке управления[25] .



Рисунок 3.11 – Внешний вид блока управления SIGMADRIVERMT 835 M

Характеристики блока управления SIGMADRIVERMT 835 M приведены в таблице ниже.

Таблица 3.12 – Характеристики блока управления электродвигателем SIGMADRIVERMT 835 M

Параметр	Величина
Рабочее напряжение, В	24-80V
Рабочий ток, А	175-650А
КПД, %	95%
Размеры, мм	225x200x50
Масса, кг	4

Кроме того, в блоке имеются следующие функции:

- возможность управление электродвигателем переменного и постоянного тока.
- управление током ЭД в зависимости от сигнала датчика поворота рулевого колеса.
- возможность обновления программного обеспечения.
- встроенный фильтр помех.

Ориентировочная стоимость – 12000 руб. без скидки.

Ещё один вариант контроллера -CurtisModel 1254-64[26]

Таблица 3.14 – Характеристики блока управления CurtisModel 1254-64

Параметр	Величина
Рабочее напряжение, В	36-80V
Рабочий ток, А	140-400А
КПД, %	95%
Размеры, мм	230x180x81
Масса, кг	4,2

Ориентировочная стоимость - 14000 руб.



Рисунок 3.12 – Внешний вид контроллера Curtis Model 1254-64

3.11 Плавкие предохранители

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, подходящие предохранители которые можно найти в РФ: etі bs17uq/41/180a/240v[19], изображены на рисунке 3.13

3.12 Силовое реле

По требованиям регламента нужно чтобы в каждом аккумуляторном контейнере было установлено как минимум два силовых реле.

Подходящее реле изображено на рисунке 3.14[28]



Рисунок 3.13 – Внешний вид быстродействующего предохранителя

Стоимость такого предохранителя составляет 1200 рублей.



Рисунок 3.14 – Силовое реле KILOVAC EV200

Характеристики реле приведены в таблице 3.15

Так как у нас 2 контейнера с аккумуляторами, то, по требованиям регламента нам нужно 4 таких реле, по 2 на каждый аккумуляторный контейнер.

Далее требуется предусмотреть контакты для крепления счётчика электроэнергии, который будет выдан непосредственно на соревнованиях. По информации, полученной от команды МАДИ, в разных странах предоставляют

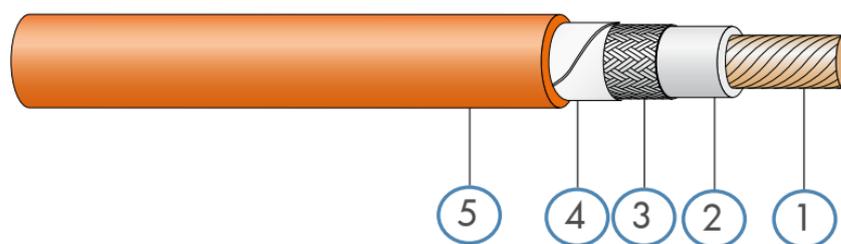
различные счётчики электроэнергии, поэтому оставлю для счётчика разрыв проводов с обжатыми концами.

Таблица 3.15 – Характеристики силового реле тяговой батареи

Рабочее напряжение	12-940 в
Номинальный ток	500 А
Сопротивление контактов	0,2 мОм
Ресурс контактов	1 миллион циклов
Рабочий температурный диапазон	-40...+85°С
Масса	430 г.

3.13 Силовые провода тяговой системы

Силовые провода должны соответствовать регламенту, а именно быть экранированными, иметь оранжевый цвет и соответствовать условиям эксплуатации. Под эти требования подходит RADOX® SCREENED BATTERYCABLE[28] строение кабеля показано на рисунке 3.15.



- 1 – Многожильный медный проводник ; 2 – Изоляция RadoX® Elastomer S; 3 – электромагнитный экран из луженой медной оплётки; 4 – лента пластиковая; 5 – Внешняя оболочка оранжевого цвета из материала RadoX® Elastomer S

Рисунок 3.15 - Строение силового кабеля тяговой системы электромобиля

Характеристики экранированного кабеля батареи приведены в таблице 3.16

Таблица 3.16 – Характеристики силового провода тяговой системы

Максимальное рабочее напряжение	600 в
Рабочий температурный диапазон	(-70°C) -40°C ...+150°C (3000 часов)
Минимальный радиусгиба	4 диаметра провода

Кроме того, провод обладает следующими характеристиками:

1. Хорошая сопротивляемость высокой и низкой температуре
2. Устойчивость к озону, не высыхает
3. Хорошая стойкость к кислотам, дизельному топливу, маслам, охлаждающим жидкостям.
4. Устойчивость к парам бензина и тормозным жидкостям
5. Устойчивость при пайке
6. Трудно воспламеним.

Сечение провода выбираем согласно таблице 3.17. Допустимый длительный ток для проводов с медными жилами с резиновой изоляцией для электрифицированного транспорта 1, 3 и 4 кВ, А[20]

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

Ориентировочная стоимость составляет 7000 рублей за 1 метр.

Таблица 3.17 – Поперечное сечение провода и допустимы ток

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Величина тока, А
0,5	-
0,75	-
1,0	-
1,5	-
2,5	40
4	50
6	65
10	90
16	120
25	160
35	190
50	235
70	290

3.14 Устройство контроля изоляции

По регламенту на электромобиле должно быть установлено устройство контроля изоляции. Подходит такое устройство Bender A-ISOMETER ® iso-F1 IR155-3203 [29] внешний вид показан на рисунке 3.16

Характеристики устройства приведены в таблице 3.18

Ориентировочная стоимость – 6400 рублей

Таблица 3.18 – Характеристики устройства контроля изоляции

Напряжение питания, В	10...36 В
Ток потребления, мА	150 мА
Величина высокого напряжения, В	0...1000 В
Величина измеряемого сопротивления, МОм	0...10 МОм
Габаритные размеры, ДхШхВ, мм	140x65x15
Масса, г.	54г.



Рисунок 3.16 – Внешний вид устройства контроля изоляции

3.15 Инерционный датчик

По требованиям регламента, электромобиль должен быть оснащён инерционным датчиком ускорения [30], для отключения тяговой системы и снижения вероятности возникновения пожара при столкновении.

Его стоимость составляет 3000 руб.

4 Безопасность и экологичность проекта

4.1 Общие требования, относящиеся к конструкции автомобилей класса Формула Студент

4.1.1 Требования к топологии автомобилей

Необходимо чтобы у автомобилей были открытые колеса и открытая кабина пилота (формульного класса), должно быть 4 колеса, и различные величины передней и задней колеи [7].

1) Термин «открытые колёса» – Автомобили формульного класса должны соответствовать нижеперечисленным нормам:

2) Не должно быть перекрывания колес с флангов.

3) Элементы автомобиля не должны находится в области ограниченной зонами вокруг колёс выступающими от колёс на 76 мм во все четыре направления, при прямом положении колёс. Границы этой области начинаются от внутренней стороны передней части колеса до внутренней части задней стороны шины. Эти области изображены на рисунке 5.1.

4.1.2 Требования к обвесу автомобиля

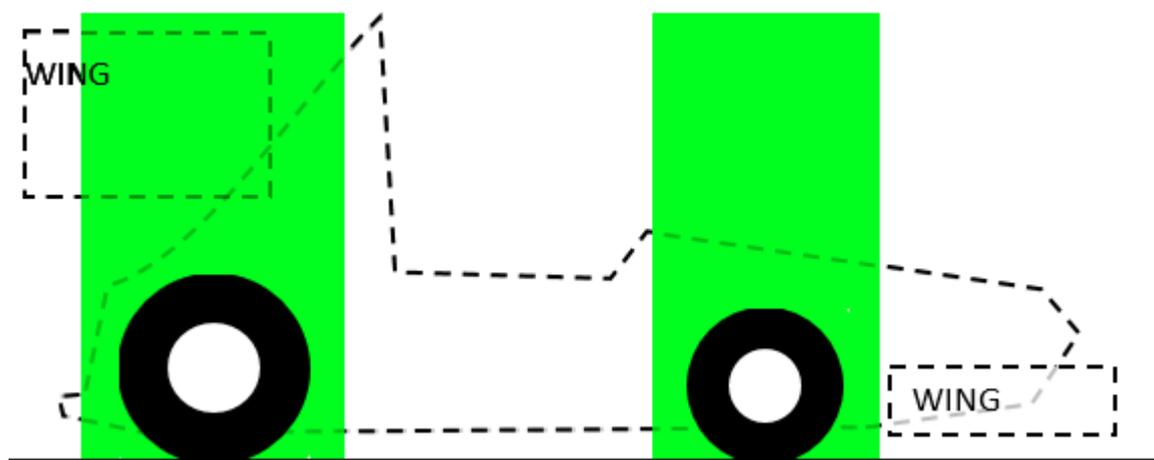
Не допускается наличие больших отверстий на участке кузова автомобиля от носовой части до главной дуги, или «фаервола» не считая отверстия, где находится водитель автомобиля. Возможно наличие зазоров кузовных панелей возле элементов подвески.

Колёсная база.

Минимальная Колёсная база автомобиля должна быть не менее 1525 мм. Замер величины колесной базы осуществляют от мест контакта шин с дорожным покрытием расположенных прямо передних и задних колёс соответственно.

Колея

Соотношение передней и задней колеи должно быть не менее трёх к четырём..



WING – спойлер

Рисунок 4.1 – Открытые области возле колёс

4.1.3 Требования к сиденью пилота

Разрешается разрабатывать автомобиль, используя одно из двух требований к конструкции. Участники Команд в праве определить одну из двух концепций:

- (1) Типовая конструкция, требования к которой рассмотрены ниже.

(2) Частью АФ «Альтернативные Требования к конструкции», подробно описанные в регламенте.

4.1.4 Общие требования к конструкции рамы

Несмотря на остальные предписания, несущая рама должна иметь две обязательных так называемых перегородки или дуги и переднюю перегородку с кронштейнами для крепления энергопоглощающего буфера и обязательных фланговых конструкций .

Следующие термины используются в остальном тексте регламента: Главная дуга – Трубная конструкция, располагающаяся возле туловища пилота призванная защитить его.

- Передняя дуга – Трубная конструкция, располагающаяся перед рулевым колесом автомобиля.

- Основные дуги – Передняя и главная дуги.

- Поддерживающие конструкции основных дуг – Трубчатые элементы, выполняющие функции поддержки основных трубчатых конструкций.

- Элемент рамы – единичный отрезок трубы, являющийся частью рамы..

- Рама – Сложная конструкция, выполняющая функцию несущей конструкции всех узлов и деталей автомобиля.. Разрешено изготавливать раму автомобиля не только из цельных больших участков, но и из большого количества элементов сваренных между собой.

- Главная конструкция – Главная конструкция может состоять из следующих элементов: 1) Главная дуга; 2) Передняя дуга; 3) поддерживающие конструкции дуг; 4) фланговые конструкции; 5) Передняя перегородка; 6) поддержки передней перегородки и 7) все элементы рамы, передающие усилия от конструкции поддержки водителя к элементам 1-6.

- Основные элементы рамы – часть рамы, находящаяся в пределах несущей конструкции автомобиля. Часть главной дуги расположенная выше

плеч водителя и участки конструкций поддерживающих главную дугу не относятся к этому.

- Передняя перегородка – плоская трубчатая конструкция, ограничивающая размещение компонентов в передней части рамы и защищающая ноги пилота автомобиля.

- Энергопоглощающий элемент – конструкция, основной задачей которой является поглощение энергии выделенной при ударе . размещается перед передней перегородкой.

- Область флангового удара – зона, расположенная в боковой части автомобиля и находящаяся от земли до высоты 350 мм между передней и главной дугами.

- Соединение труб в один узел – размещение элементов конструкции рамы таким образом, чтобы любые приложенные нагрузки к конструкции давали усилия растяжения и сжатия участков рамы. Такая конструкция называется правильной треугольной конструкцией, она показана на рисунке 4.2.

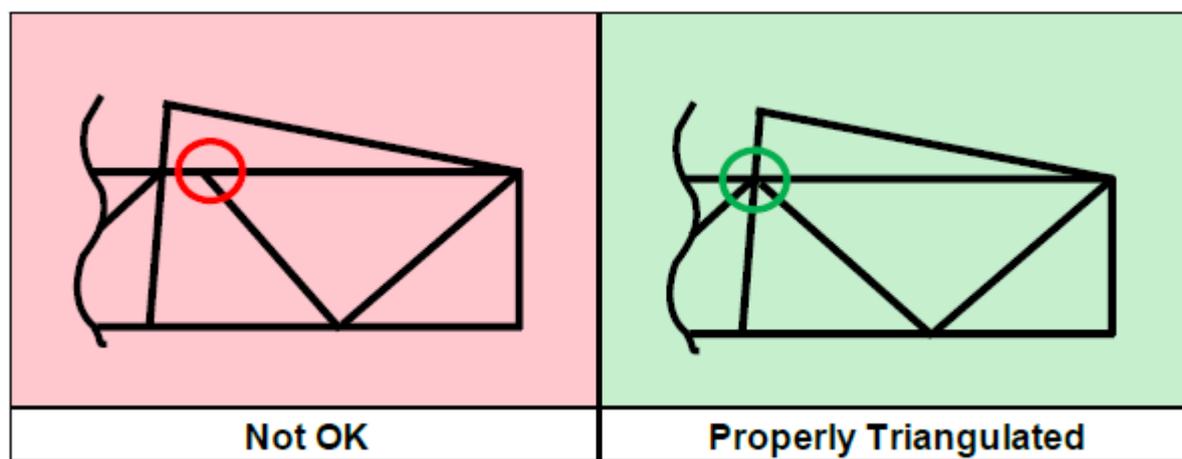


Рисунок 4.2 – Неправильная и правильная треугольная конструкция

Необходимо чтобы рама автомобиля была изготовлена из следующих металлоконструкций:

- круглые, углеродистые или легированные стальные трубы (минимально допустимое содержание углерода 0.1%), с минимально допустимые размеры, описаны в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Минимально допустимые требования к элементам рамы.

Деталь или применение	Внешние размеры x толщина стенок
<p>Главная и передняя дуги Труба плечевого крепления ремней безопасности</p>	<p>Круг 25мм x2,5мм</p>
<p>Фланговые конструкции Передняя перегородка Поддерживающие конструкции основных дуг Точки прикрепления ремней безопасности Электромобили: конструкция для защиты аккумуляторных батарей</p>	<p>Круг 25мм x 1.75мм Или Квадрат 25мм x 25мм x 1.20 мм</p>
<p>Опоры передней перегородки Поддержка конструкций главной дуги Электромобили: элементы электротяговой системы</p>	<p>Круг 25мм x 1.5мм Круг 26мм x 1.2мм</p>

Если применяется легированная сталь, то размер стенок должна быть не менее чем при применении обыкновенной стали.

В местах, где требуется усиление трубных конструкций, например, соединительные вставки для крепления с помощью болтов, или полости для элементов подвески, необходимо чтобы несущая способность труб была такой же или большей чем, основные элементы рамы автомобиля. Здесь можно усиливать сварочными швами.

4.1.5 Основные требования к главной и передней дуге

Не допускается, чтобы водитель в перевёрнутом автомобиле мог прикоснуться к земле руками или головой.

При посадке водителя в нормальном положении и закреплении ремнями безопасности и ремнями для рук необходимо удовлетворить следующие требования:

- Наименьшее расстояние между прямой соединяющей верхние точки главной и передней перегородки, и шлемом водителя автомобиля должно быть не менее 50 мм, как изображено на рисунке 4.4.

Наименьшее расстояние между прямой соединяющей верхнюю точку главной дуги и основания поддерживающих распорок главной дуги, до задней части шлема пилота автомобиля должно быть более 50 мм, как изображено на рисунке 4.5.

- Не допускается, чтобы водительский шлем пересекать плоскость, определённую главной дугой при использовании компоновки рамы, когда поддерживающие распорки главной дуги находятся спереди от неё, как показано на рисунке 4.6

4.1.6 Величина шаблона 95-ого перцентиля человека

Выполненный из листа шаблон, имитирующий 95 тип человеческого тела должен иметь указанные ниже размеры:

- Бедра и ягодицы выполнены круглым диском диаметром 200мм.
- Плечевая часть и шейная область изображаются кругом диаметром 200мм.
- Голову с одетым на неё шлемом изображает окружность диаметром 300мм.
- Центральные отверстия 200-миллиметровых окружностей соединяются прямым участком длиной 490мм.

- Центры верхней окружности диаметра 200-миллиметров и 300-миллиметровую окружность соединяют прямым участком длиной 280мм.

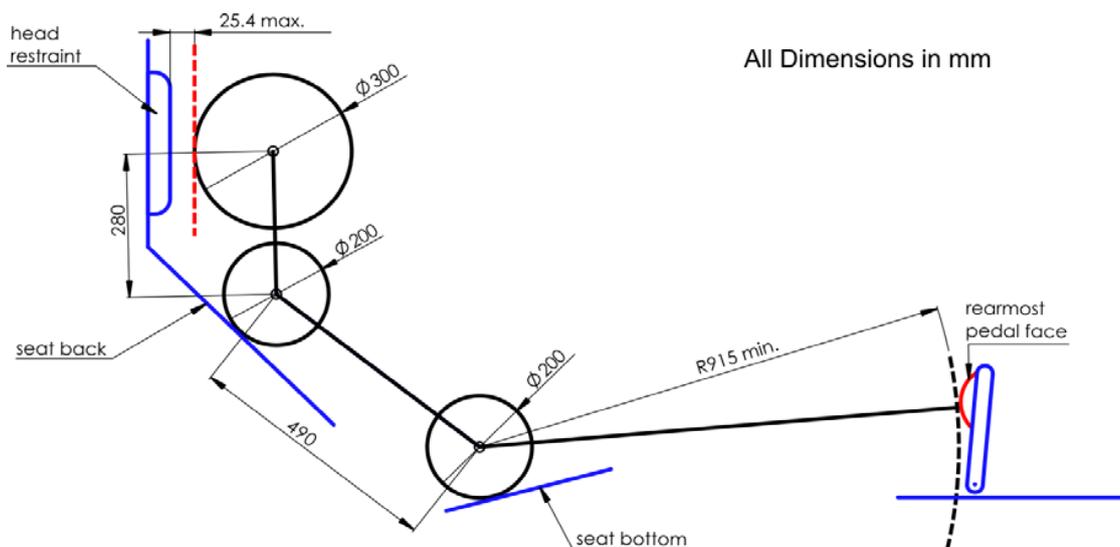


Рисунок 4.3 – Размеры шаблона 95-го типа человеческого тела

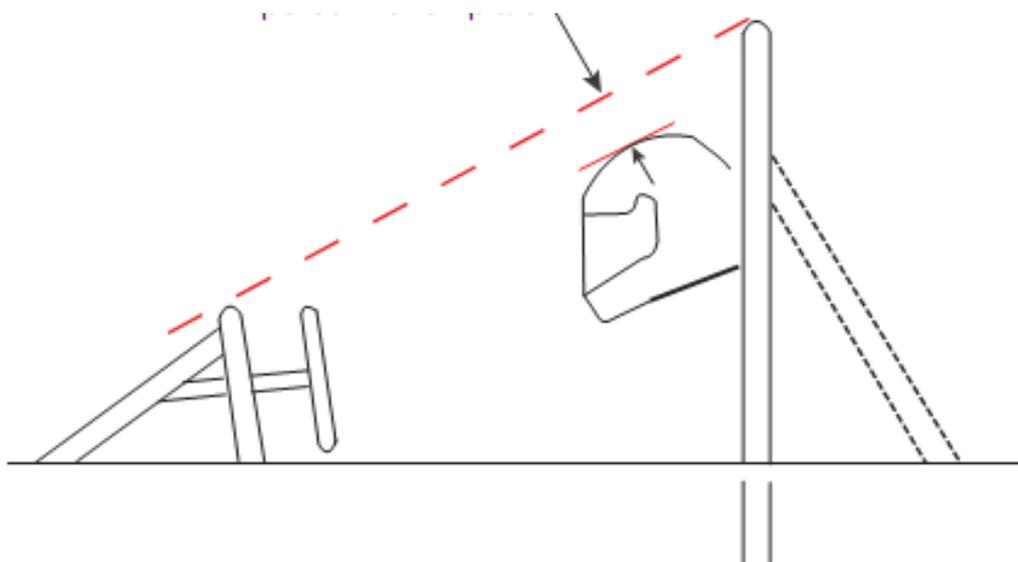


Рисунок 4.4- Измерение наименьшего расстояния в 50 мм для всех водителей и шаблона 95-го типа человеческого тела

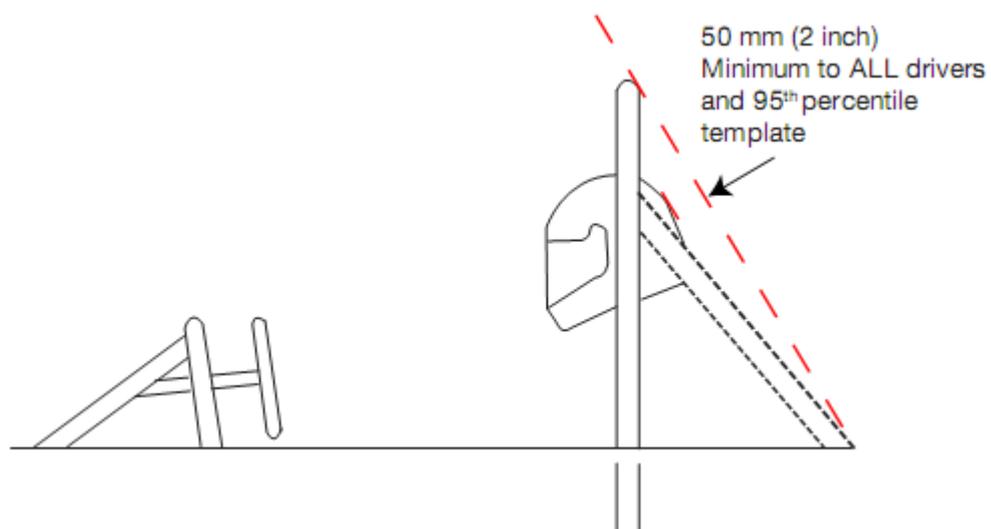


Рисунок 4.5– Наименьшее расстояние для всех пилотов и шаблона 95-го типа человеческого тела

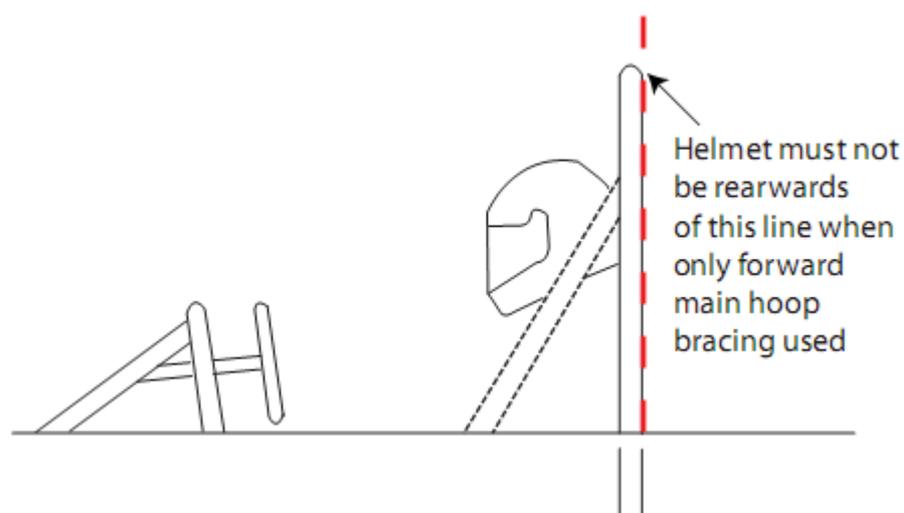


Рисунок 4.6- Изображение линии, за которую не должен заходить шлем водителя

4.1.7 Требование к энергопоглощающему элементу

Энергопоглощающий элемент должен быть:

- размещён перед конструкцией передней перегородки.
- должен иметь длину не менее 200 мм в длину по продольной оси автомобиля.

- минимальные размеры не менее 100 мм в высоту и более 200 мм в ширину, на расстоянии в 200 мм от конструкции передней перегородки.

- энергопоглощающий элемент, при столкновении, не должен попасть за конструкцию передней перегородки к ногам водителя.

- он должен быть надёжно зафиксирован за несущую конструкцию автомобиля.

4.1.8 Фланговая конструкция для трубной рамы

Фланговая защитная конструкция должна удовлетворять требованиям, описанным ниже.

Фланговая защитная конструкция для автомобилей с трубной стальной рамой должна содержать, по меньшей мере 3 отрезка труб, располагающихся по бокам от пилота, который располагается на положенном ему месте, как показано на рисунке 4.7.

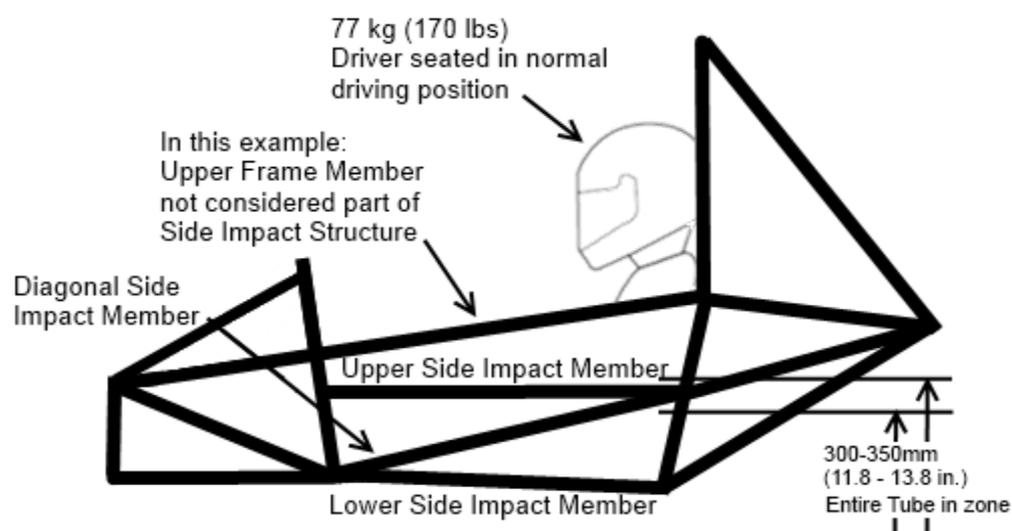


Рисунок 4.7 - Пилот на своём месте

На рисунке: Верхняя часть рамы, не является элементом фланговой защитной конструкции.

UpperSideImpactMember - Верхний участок боковой конструкции.

DiagonalSideImpactMember - Диагональный участок боковой конструкции.

LowerSideImpactMember - Нижний участок боковой конструкции.

В диапазоне 300-350мм трубная конструкция должна помещаться полностью.

Расположение требуемой конструкции должно быть выполнено так:

- Требуется, чтобы верхняя труба фланговой защитной конструкции соединяла переднюю и главную дуги на уровне от 300мм до 350мм над поверхностью ровной дороги при нахождении в автомобиле водителя весом 77кг на своём месте. В качестве такой трубы, возможно, использовать использованную верхнюю трубу, если она соответствует требованиям по высоте, размерам трубы, и её толщине.

- Нижний участок фланговой защитной конструкции должен соединять нижний отрезок передней дуги и нижнюю часть главной дуги. Этой трубой может служить отрезок рамы, отвечающий требованиям, к трубам, разрешённым к использованию в конструкции рамы.

- Диагональный участок фланговой защитной конструкции должен соединять верхнюю и нижнюю трубы фланговой конструкции.

4.2 Требования к месту пилота

4.2.1 Требования к сиденью водителя

Водительское сиденье должно быть размещено таким образом, чтобы нижняя его точка не выходила за пределы конструкции автомобиля.

Размещение водителя в кокпите должно быть реализовано так, что водитель не смог прикоснуться ни к одной металлической части разогретой до температуры более 60°С.

4.2.2 Требования к полу

В автомобилях должен быть пол, изготовленный не менее чем из одной панели, которые отделяют водителя от дороги. Если используется пол собранный из нескольких элементов, то максимальные зазоры не должны превышать 3 мм. Панели пола должны обеспечивать перекрытие участка от ступней пилота, до огнеупорной перегородки, и не допускать попадания камней с дорожного полотна во внутрь автомобиля. Пол должен быть изготовлен из прочных панелей.

4.2.3 Требования к огнеупорной перегородке

Огнеупорная перегородка должна изолировать место пилота от элементов топливной системы, системы смазки, системы охлаждения двигателя. Должна обеспечиваться защита шеи самого высокого пилота. Огнеупорная перегородка должна располагаться таким образом, чтобы перекрывались в прямой видимости все системы на уровне ниже 100 мм, чем шлем самого высокого пилота.

Огнеупорная перегородка должна быть выполнена из сплошного огнеупорного материала.

4.2.4 Доступ к органам управления

Все органы управления автомобилем, включая тумблеры, должны быть, размещены внутри кокпита, при этом ни одна часть тела не должна находиться за пределами фланговой защитной.

Заключение

В диссертации произведена разработка соответствующего международным требованиям электромобиля класса Формула Студент Электрик, подобраны основные узлы тяговой системы, произведена компоновка этих узлов на раме. Рассчитана ориентировочная стоимость электронных компонентов тяговой системы электромобиля и она составляет порядка 650 000 рублей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. О серии Формула Студент/Серия SAE[Электронный ресурс].URL: www.fsmadi.ru/ru/top/FORMULA-STUDENT/About-fsae-formula-student/ (дата обращения: 05.05.2017).
2. О проекте Smartmotochallenge[Электронный ресурс].URL: <http://www.smartmotochallenge.ru/?p=about>(дата обращения: 10.05.2017).
3. О проекте FormulaBaja SAE [Электронный ресурс]. URL:<https://www.drive2.ru/r/selfmade/1433292/>(дата обращения: 11.05.2017).
4. Перечень российских команд Формула Студент [Электронный ресурс]. URL:<http://www.formulastudent.ru/?p=projects&qq=teams> / (дата обращения: 16.05.2017).
5. Описание Электрического болида команды МАДИ [Электронный ресурс].URL:<http://avtopremial.ru/feniks-elektricheskij-bolid-serii-formula-student/>(дата обращения: 15.05.2017).
6. Информация о электромобиле европейской команды [Электронный ресурс]. URL:<http://uzr.com.ua/novosti/studentyi-iz-germanii-ustanovili-miro/>(дата обращения: 05.05.2017).
7. Перевод регламента Содружества Автомобильных инженеров [Электронный ресурс].URL:<http://www.studfiles.ru/preview/1971532/>(дата обращения: 05.05.2017).
8. Описание стандарта огнестойкости полимерных материалов[Электронный ресурс]. URL:https://www.bopla.de/fileadmin/user_upload/Technische-Informationen/Flammwidrigkeit_RUS.pdf(дата обращения: 10.05.2017).
9. Черепанов, Л.А. Расчёт тяговой динамики и топливной экономичности автомобиля : электронное учеб.-метод. пособие / Л.А. Черепанов. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 1 оптический диск.

10. Описание факторов влияющих на выбор тяговых электродвигателей[Электронный ресурс]. URL:<http://helpiks.org/1-116475.html> (дата обращения: 23.05.2017).

11. Информация о электродвигателе Perm-Motor PMG-132 [Электронный ресурс]. URL:<http://sdisle.com/ev/motors/pmg132.html>(дата обращения: 01.05.2017).

12. Информация о электродвигателе НРМ-10KW [Электронный ресурс]. URL:<http://goldenmotor.ru/bldc-motors/hpm-10kw-fan-cooling/> (дата обращения: 05.05.2017).

13. Характеристики электродвигателя ADC 203-06-4001A [Электронный ресурс]. URL:<http://shop.aralex.ru/products/elektrodvigatel-ds-367514-01> (дата обращения: 15.05.2017).

14. Информация о электродвигателе LemcoLEM 200 (Agni 95R)[Электронный ресурс]. URL:<http://www.electro-machines.ru/electric-motor/lemco-lem-200>(дата обращения: 05.05.2017).

15. Информация о аккумуляторной ячейке №1[Электронный ресурс]. URL: <http://velo-аккумулятор.рф/catalog/yacheiki-lifepo4/pryamougolnik-yacheika-3.2v-20ah-lifepo4.html/> (дата обращения: 20.05.2017).

16. Информация о аккумуляторной ячейке №2 [Электронный ресурс]. URL:<https://www.voltbikes.ru/shop/li-ion-batteries-parts/li-ion-elementy-lg-18650f11-3350mah-36v-5a/> (дата обращения: 20.05.2017).

17. Информация о аккумуляторной ячейке №3[Электронный ресурс]. URL:<http://motor4koleso.ru/akkumulyator-lifepo4/63-akkumulyator-lifepo4-prizmaticheskij-20-ah-g-power>(дата обращения: 20.05.2017).

18. Устройство управления аккумуляторными ячейками №1 [Электронный ресурс]. URL:<https://ru.aliexpress.com/item/4S-200A-12-8V-LiFePO4-BMS-PCM-PCB-battery-protection-circuit-board-for-4-Packs-18650/32807785339.html> (дата обращения: 05.05.2017).

19. Характеристики быстродействующих предохранителей etl bs17uq/41/180a/240v [Электронный ресурс]. URL:

http://www.promelectrica.ru/catalog/fuse/eti_bs_uq/4750131_eti/ (датаобращения: 13.05.2017).

20. Описание стандарта токовых нагрузок на кабели и провода[Электронный ресурс]. URL:<http://www.ruscable.ru/info/cable/sprav-toknagr.html> (дата обращения: 13.05.2017).

21. Rules formula SAE[Electronic resource].URL: <http://www.fsaeonline.com/content/2017-18%20FSAE%20Rules%209.2.16a.pdf> Published September 2016(датаобращения: 15.05.2017).

22. Formula SAE Electric Drive Control Project Design Report [Electronic resource].URL: <http://www.uakron.edu/dotAsset/5df983f6-9c15-4a6c-a938-ea6b04999197.pdf>Published November 2012 Electronic resource(датаобращения: 15.05.2017).

23. LiNANO® 40 Ah 3.2 V LiFePo4 information/[Electronic resource]. URL: <http://shop.lipower.de/LiNANOZ-40-Ah-32V-LiFePo4-Zelle-SL-FCH>(датаобращения: 05.05.2017).

24. Controller BMS 4S 40A №2 information/[Electronic resource].URL: <http://shop.lipower.de/BMS-4S-40A-LiFePo-mit-Balancer>(датаобращения: 05.05.2017).

25. Motor controller SIGMADRIVE PMT 835 M information/[Electronic resource]. URL: <http://lynchmotors.co.uk/pdfs/lmc-sigma.pdf> (датаобращения: 08.05.2017).

26. Pump System Controller Curtis Model 1254-64 information/[Electronic resource]. URL:<http://www.curtisinst.co.uk/datasheets/legacy-products/81> (датаобращения: 07.05.2017).

27. Contactor KILOVAC EV200 information/[Electronic resource]. URL: http://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Catalog+Section%7FEV200_R_TBD_KILOVAC_EV200_Ser_Contactors%7F0807%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_CS_EV200_R_TBD_KILOVAC_EV200_Ser_Contactors_0807.pdf%7F1618002-7(датаобращения: 07.05.2017).

28. RADOX® SCREENED BATTERY CABLE information/[Electronic resource].URL: http://www.star-trade.pro/data/_catalog/items/radox-screened/radox-screened.pdf(датаобращения: 5.05.2017).

29. Insulation monitoring device - Bender A-ISOMETER ® iso-F1 IR155-3203 information/[Electronic resource]. URL: http://formula-hybrid.org/pdf/iso-F1-IR155-32xx-electric-vehicles_DB_en_20101202.pdf (датаобращения: 15.05.2017).

30. Resettable Inertia Switch Crash Sensor information/[Electronic resource]. URL: <http://www.electricmotorsport.com/resettable-inertia-switch-crash-sensor-kit.html> (датаобращения: 10.05.2017).