

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»

(наименование кафедры)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки)

Эксплуатация транспортных средств

(направленность, профиль)

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На тему Разработка методов определения технического состояния гибридных  
силовых установок автомобилей

Студент

Э.Р. Шафиев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

В.А. Ивлиев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Консультант

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы к.т.н., доцент А.В. Бобровский

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

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.В. Бобровский

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

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2019

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 Оценка парка транспортных средств с электрическими силовыми установками .....	9
1.1 Объемы продаж транспортных средств с электрическими силовыми установками по всему миру .....	9
1.2 Преимущества и недостатки ГСУ .....	12
1.3 Электросамокат – история возникновения и перспективы расширения и продаж .....	16
1.4 Электровелосипед история возникновения и перспективы расширения продаж .....	17
1.5 Электромотоциклы и электроскутеры история возникновения и перспективы расширения продаж .....	18
1.6 Электромобили история возникновения и перспективы расширения продаж .....	20
2 Особенности конструкции транспортных средств с электродвигателем .....	24
2.1 Компоновка электромобилей.....	24
2.2 Классификация гибридных силовых установок по мощности электрической силовой установки .....	26
2.3 Конструктивные схемы ГСУ .....	27
2.4 Гибридные силовые установки.....	29
2.5 Электродвигатели и контроллеры .....	41
3 Анализ эксплуатационной надежности ГСУ .....	45
3.1 Описание диагностируемых элементов гибридного привода.....	45

3.2 Анализ возникающих отказов и неисправностей ГСУ .....	47
4 Разработка методики оценки технического состояния транспортного средства с электрической силовой установкой .....	51
4.1 Определение технического состояния транспортного средства на стендах тяговых качеств .....	51
4.2 Оценка технического состояния транспортных средств на стендах тяговых качеств инерционного типа .....	52
4.3 Определение момента инерции стенда тяговых качеств теоретическим способом .....	55
4.4 Определение момента инерции стенда тяговых качеств экспериментальным способом .....	57
5 Экспериментальные исследования .....	59
5.1 Методы определения диагностических параметров современных гибридных силовых установок .....	59
5.2 Возможности считывания информации с контроллеров имеющих, интерфейс связи с персональным компьютером .....	60
5.3 Общая диагностика транспортного средства .....	64
5.4 Углубленная диагностика элементов гибридной силовой установки ....	68
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	74
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	76

## ВВЕДЕНИЕ

Исследования ученых показали, что запасов углеводорода-содержащих продуктов в мире хватит не более чем на 60 лет добычи, что требует поиска новых технических решений по замене нефтепродуктов, используемых в автомобильной отрасли, на альтернативные источники энергии. Кроме того, одной из важнейших проблем является снижение влияния токсичных компонентов в продуктах сгорания углеводородного топлива на окружающую среду. Выше сказанное свидетельствует о необходимости применения в конструкции автомобилей современных технологий, заменяющих обще доступные в настоящее время источники энергии или позволяющих снизить использование в двигателях внутреннего сгорания бензина и дизельного топлива.

Одним из направлений, позволяющих снизить потребление углеводородного топлива является использование автомобилей с электромеханическим приводом. Эти силовые установки называются гибридными (ГСУ). Источником энергии в таких автомобилях являются двигатели внутреннего сгорания (ДВС), у которых крутящий момент с коленчатого вала передается на якорь генератора, вырабатывающего электрическую энергию, которая хранится в аккумуляторных батареях, а элементом, приводящим в движение ведущие колеса, является электрический двигатель.

Первыми автомобилями, появившимися более ста лет назад были электрические. Автомобиль Lohner-Porsche работал на бензине (рисунок 1).



Рисунок 1– Автомобиль Lohner-Porsche

Коленчатый вал его ДВС передавал крутящий момент на генератор, который заряжал свинцово-кислотные аккумуляторные батареи, энергия которых при движении передавалась установленным на ступицах автомобиля электродвигателям.

Автомобиль AMC Amitron был первым американским транспортным средством, которое использовало принцип рекуперативного торможения, позволяющий существенно уменьшить удельный расход топлива. Он также был гибридным.

После появления аккумуляторных батарей с высокой энергоемкостью началось основное развитие гибридных автомобилей. В 1997 Японская автомобильная компания Toyota выпустила седан Prius который стал первым серийным массовым автомобилем с ГСУ (рисунок 2). Его бензиновый двигатель развивает мощность 58 л. с., а электромотор (40 л. с.) работает от аккумуляторных батарей с никель-металлгидридными элементами (NiMH). Расход топлива данного автомобиля составляет 5,7 л на 100 км.



Рисунок 2– Первый Toyota Prius автомобиль на ГСУ

С этого времени началась «гонка» мировых автомобильных компаний за внедрение технологических преимуществ ГСУ в легковые автомобили. Такими компаниями являются: Honda, Volkswagen, Audi, Lexus, Volvo, Chrysler, Porsche и др. При этом применяются разные схемы передачи крутящего момента.

Увеличение количества автомобилей с ГСУ связан с ужесточением в последнее время экологических требований, а также постоянным ростом цен на горюче-смазочные материалы. Кроме того, в Евросоюзе рассматривают проект закона, который к 2050 году вносит запрет на продажу углеводородного топлива и использование автомобилей с двигателями внутреннего сгорания городах.

В скором времени увеличится количество продаваемых автомобилей с гибридной силовой установкой. Это повышает актуальность исследований надежности этих автомобилей, разработки методов диагностики силовых генераторных установок и электропривода. Одновременно повышаются требования к методам, оборудованию и технологиям обеспечения работоспособности выше перечисленных автомобилей в процессе эксплуатации.

В настоящее время техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств на станциях технического обслуживания и автотранспортных предприятиях выполняется в соответствии с руководящим документом РД 37.009.026-92 "Положение о техническом обслуживании и ремонте автотранспортных средств, принадлежащих гражданам (легковые и грузовые автомобили, автобусы, минитрактора)" утвержденным ещё в ноябре 1992 г. Поэтому в нем отсутствует информация по нормам автомобилей с гибридной силовой установкой. В технических регламентах отсутствует информация по методам определения технического состояния агрегатов с электромеханической трансмиссией. Имеющейся литературы недостаточно для выполнения качественного обслуживания и ремонта автомобилей с гибридными силовыми установками. Ведущие производители выше перечисленных автомобилей не заинтересованы в организации их обслуживания вне дилерских центров и предоставлении информации о методах определения технического состояния электромеханической трансмиссии и накопителя электрической энергии.

В процессе использования в связи износом деталей автомобилей снижением эффективности аккумуляторных батарей затраты на их содержание увеличиваются даже если вовремя и качественно проводить диагностику и техническое обслуживание. Однако, в связи с отсутствием нормативной документации и современных методов диагностики ГСУ на отечественных станциях технического обслуживания качество работ выполняемых с гибридными автомобилями существенно отстает от мирового уровня.

Разработка методов диагностики, позволяющих определять не только общее состояние транспортного средства, но и неисправности отдельных его агрегатов и систем существенно снизит трудоемкость выявления неисправных элементов и повысит эффективность эксплуатации гибридных автомобилей.

Для этого целесообразно использовать стенды тяговых качеств с инерционными маховыми массами и приборы, оценивающие степень заряженности аккумуляторных батарей, потребление электрической мощности в процессе разгона автомобиля на стенде и степени рекуперации энергии на режиме принудительного холостого хода.

Целью работы является разработка методики оценки технического состояния транспортных средств с электрическими силовыми установками, повышающей качество их диагностирования

Задачи работы:

- обоснование выбора диагностических параметров для оценки технического состояния транспортных средств с электрическими силовыми установками;

- разработка методики оценки технического состояния транспортных средств с электрическими силовыми установками;

- разработка алгоритма поиска неисправностей транспортных средств с электрическими силовыми установками с использованием разработанной методики;

- калибровка экспериментальной установки и выбор средств диагностирования;

Практическая ценность работы заключается в возможности практического использования разработанной методики на станциях технического обслуживания для повышения уровня достоверности при постановке диагноза, а также качества технического обслуживания транспортных средств с электрическими силовыми установками.



# **1 Оценка парка транспортных средств с электрическими силовыми установками**

## **1.1. Объемы продаж транспортных средств с электрическими силовыми установками по всему миру**

В настоящее время довольно проблематично дать оценку количеству проданных автомобилей гибридного типа. На данный момент есть статистика продаж только по некоторым странам и нескольким компаниям. Явно не хватает среднестатистических данных. Анализируемая информация часто дает двойственный результат. Поэтому почти невозможно изучить процесс развития автопарка автомобилей гибридного типа и место, которое занимает в нем Россия.

Как показывает статистика сейчас самое большое количество автомобилей гибридного типа продано в Соединенных Штатах: около 2,9 млн. штук. Вдобавок к этому на рынке конкурируют большое количество брендов, лидером продаж которых является модель Toyota Prius и внедорожники CUV (Crossover Utility Vehicle). Каждый год сегмент мирового авто рынка растет на 50%

Стартом продаж автокомпании Ford можно считать 2005 год, с этого момента автопроизводитель реализовал 210 тысяч автомобилей. При всем этом изготавливаемые по лицензии Toyota внедорожник Escape Hybrid стал самым экономичным в этом сегменте. С конца 2012 года автокомпания отказалась выпускать автомобиль гибридного типа в пользу высокотехнологичного автомобиля бензинового типа.

Сейчас ежегодные продажи автомобилей гибридного типа в Евросоюзе составляет около 110 тыс. шт. (0,8% от всех реализуемых в Евросоюзе автомобилей), к тому же неизменно проявляется увеличения темпа роста продаж. По статистике 2013 года рост составил 81%, а среднестатистическое значение за 7 лет составляет 32% в год.

Одна из самых популярных моделей в Евросоюзе - Toyota Prius, эта модель имеет 81%, продаж от всех проданных автомобилей гибридного типа в Евросоюзе. Общее количество проданных моделей составляет более 510 тыс. штук.

В Японии автопарк автомобилей гибридного типа значительно меньше, нежели чем в Соединенных Штатах Америки, однако автомобили данного типа и имеют большую популярность. По итогам месячных отчетов (за последние 14 лет) автомобили гибридного типа зачастую показывали продажи, чем автомобилей с двигателями внутреннего сгорания. Сегодня они достигают 16-19% от всех проданных автомобилей.

Если опираться на статистику, то по итогам 2011 года на японском автомобильном рынке, было реализовано около 260 тыс. автомобилей гибридного типа, 200 тыс. шт. из которых – были произведены автокомпанией Toyota, а остальные - автокомпаниями Honda и Mazda.

В модельный ряд автокомпания Toyota состоит порядка из 21 автомобилей. Гибридные силовые установки компании Honda сконструированы по параллельной схеме, они в разы дешевле, чем разработки компании Toyota, но проигрывают в плане экономичности.

Автомобильный бренд Hyundai в 2013 году выпустил серийный автомобиль Hyundai LPI Hybrid, работающий на газу, в последствии примененный на автомобиле ГСУ стали устанавливать на автомобиле Kia Cerato, а спустя год на южнокорейском рынке появился еще один автомобиль с применением ГСУ, которым стала модель Optima. На данный момент южнокорейский рынок гибридных автомобилей имеет достаточной скудный ассортимент, чем воспользовался японский бренд Toyota, который начал захватывать южнокорейский рынок гибридных автомобилей, начав продавать свои позиции.

Китайские автомобилестроители возлагают свои надежды на автомобили гибридного типа марок Bvd и Chery, которые начали серийное производство в 2009 году. КНР способствует развитию данного

автомобильного сектора, путем государственных поддержек. Как не странно продажи автомобилей гибридного типа в Китае не велики.

Открытием рынка гибридных автомобилей в РФ можно считать 2005 год, первый автомобильный бренд, представляющий этот сегмент стала марка Lexus. С 2005 по 2016 в России было реализовано около 10 тысяч автомобилей данного типа. Лидером продаж является модель Prius. В период с 2009 по 2013 год, данная модель была продана около тысячи штук. В России прослеживается тенденция роста, продаваемых автомобилей гибридного типа.

Опираясь на статистику за 17 лет изготовления автомобилей гибридного типа, по всему миру было реализовано 7 млн. автомобилей с гибридной силовой установкой. Однако темпы реализации имеют уверенный характер и постоянно растут (рисунок 1.1).

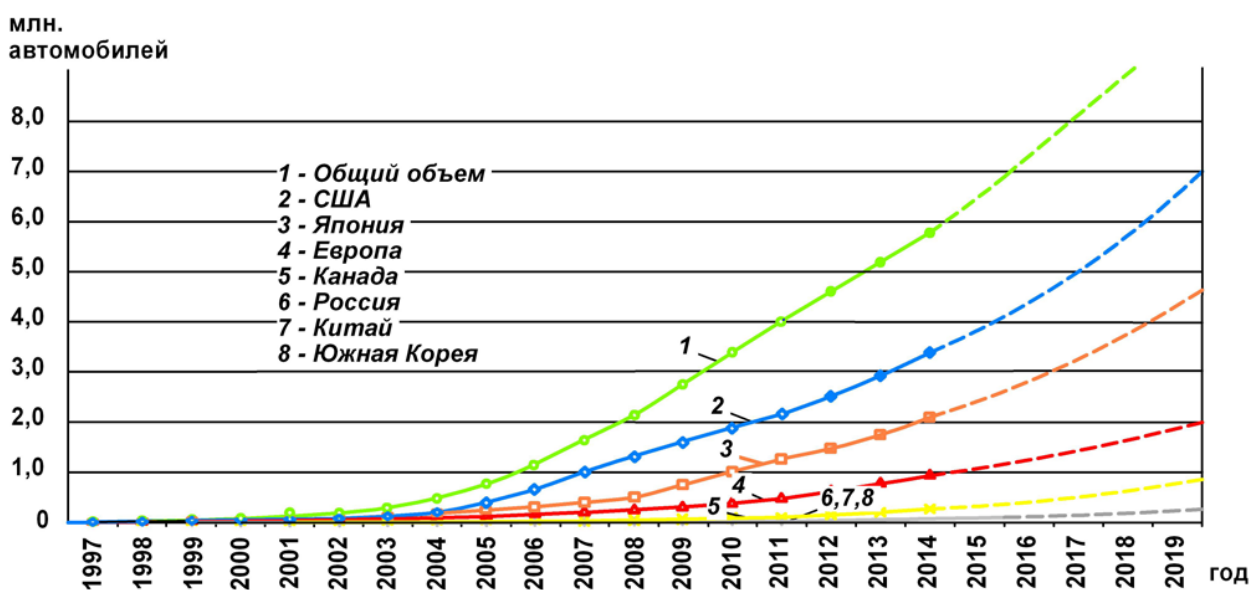


Рисунок 1.1 – Статистика продаж автомобилей гибридного типа с прогнозом развития до 2020 года

Согласно графику прослеживается, что автопарк автомобилей гибридного типа в числовом выражении увеличиваются: на 3,1 млн. шт. каждые 5 лет. К 2019 году автопарк автомобилей гибридного типа может достигать 7 млн. шт. К тому же ежегодный процент продаж автомобилей

гибридного типа будут составлять 12% от общего числа всех продаваемых легковых автомобилей.

На (рисунке 1.2) показана диаграмма распределения мирового автопарка автомобилей гибридного типа по маркам и моделям.

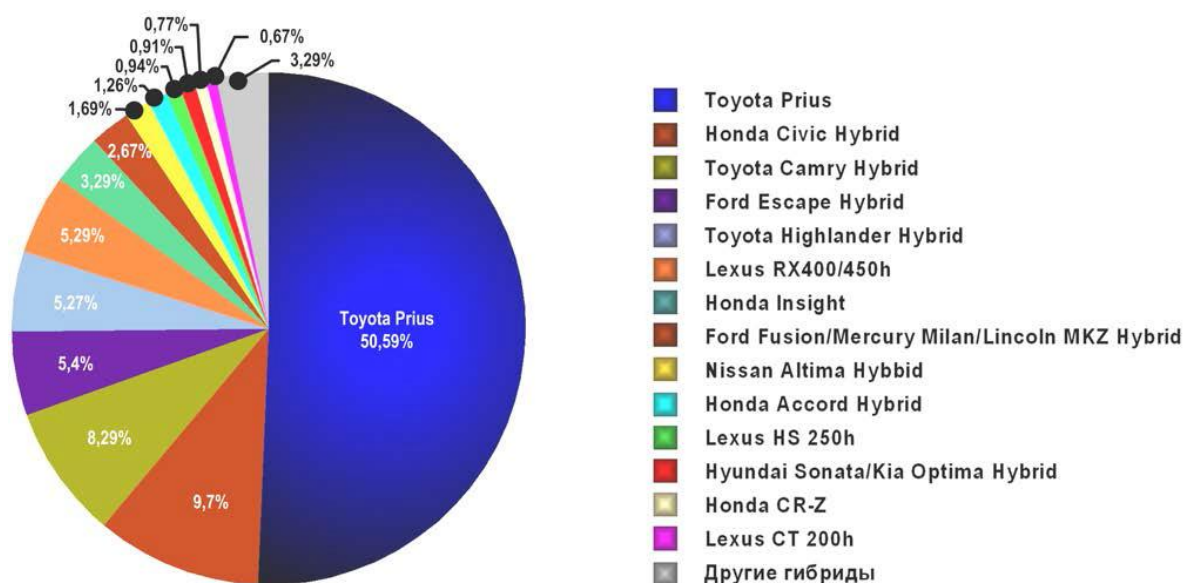


Рисунок 1.2 – Распределение автопарка гибридных автомобилей гибридного типа по маркам и моделям

## 1.2. Преимущества и недостатки ГСУ

Главными факторами стимулирующими развития спроса на рынке легковых автомобилей являются:

1. Экологичность и автотранспортного средства в городском трафике. Проводимые исследования показали, что среднее потребление топлива автомобилем составляет 6,8(4,9) литров / 100 километров в городском (шоссейном) трафике. Для полноприводных автомобилей 10,7 (7,5) литров/100 километров.

2. Использования современных технологий в машиностроении и разработка новых технологий данного сегмента. Большая часть потребителей заинтересована в использовании в своей жизни новейших технологий

машиностроения. Конструктивные особенности автомобилей гибридного типа можно считать таковыми, так как они кардинально отличаются от традиционных легковых автомобилей с ДВС.

### 3. ТХ и комфорт в использовании:

- Электродвигатель из состояния покоя позволяет развить максимальный крутящий момент, что в свою очередь сокращает время разгона до 100 км/ч;

- На автомобили данного типа устанавливается автоматическая коробка передач, что обеспечивает комфорт при движении в городском. К тому же базовые комплектации имеют большой спектр опций, что так же обеспечивает комфорт потребителя.

4. Надежность. Анализ изменения характеристик модели Toyota Prius при эксплуатации дали понять, что шанс появления неисправности связанных с коробкой передач составляет 16%, при пробеге автомобиля в 100 тысяч километров. Если сравнивать данный показатель с традиционным легковым автомобилем, то у последнего она составляет приблизительно 100%. У дорогостоящих узлов гибридных автомобилей, срок службы составляет около 9-11 лет. Произведенные гибридные автомобили до 2001 года, эксплуатируются без каких либо существенных поломок. Возвратом батарей автомобилей данного типа, зачастую служит не правильная эксплуатация машины.

Проблемы, тормозящие продажи легковых автомобилей гибридного типа:

1. Стоимость электрокомпонентов увеличивает стоимость автомобиля гибридного типа на 30%.

2. Плохая организация технического обслуживания компаниями производителями автомобилей гибридного типа. Вдобавок к этому отсутствует возможность проведения подобающего ремонта и тех. обслуживания автомобилей на пунктах ремонта. Возникающие трудности в совокупности снижают ажиотаж вокруг данного автомобильного сегмента,

что в следствии обновление автопарка на автомобили гибридного типа. Транспортная стратегия Евросоюза устави упор на постепенно отказ от потребления углеводородного топлива, а к 2050 году – применение полного отказа от углеводородного топлива. Что бы это достичь сегодня планируются меры для поддержки автомобилей гибридного типа и электрического, в таблице 1 показаны главные из них, используемые правительствами рассматриваемых стран мира.

Таблица 1.1 – Главные способы государственного стимулирования и поддержки производства и покупки экономичных автомобилей

Страна	Способ
Соединенные Штаты Америки	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Финансовая поддержка покупки новых автомобилей, при сдаче имеющегося автомобиля на утилизацию. Размер поддержки зависит от разницы расходов топлива сдаваемого и нового автомобиля и составляет от 410 до 4510 долл.</li> <li>• Грант на развитие инфраструктур производства комплектующих для эксплуатации автомобилей гибридного типа и электрического типа</li> <li>• Обучающие гранты на переподготовку облаживающего персонала, нужного для изготовления автомобилей гибридного типа.</li> </ul>
Япония	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Субсидия на приобретения новых гибридных автомобилей или электромобилей.</li> </ul>
Франция	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Субсидия на приобретения новых гибридных автомобилей или электромобилей.</li> <li>• Субсидии Евросоюза на исследования и разработки экологичного автомобиля.</li> </ul>
Германия	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Законопроекты. Так, например, если в семье имеется более одного, то он должен обладать высшим классом экологичности безопасности, т.е. быть гибридного типа или полностью электрического типа.</li> </ul>
Великобритания	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Грант на развитие инфраструктур производства экологичных автомобилей.</li> <li>• Субсидия на приобретения новых автомобилей гибридного типа или электромобилей.</li> </ul>
Китай	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Субсидии при приобретения новых гибридных автомобилей или электромобилей.</li> </ul>
Российская федерация	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Параметризация акцизов относительно мощности двигателя.</li> <li>• Государственные субсидии на инновации в этой отрасли.</li> <li>• Финансирование на разработку узлов ГСУ.</li> </ul>

В Российской Федерации с 1 января 2014 года введен новый экологический стандарт «Евро-5», он затрагивает как изготавливаемых на территории России автомобилей, так и импортируемых из иных стран. Введенном «В техническом регламенте о безопасности колесных транспортных средств» все типы СУ подразделяются на: двигатели внутреннего сгорания, гибридные силовые установки и электродвигатели. Представлен ГОСТ Р ЕН 1986-2011 «Автомобили с электрической тягой», упорядочивающий изменения энергетических характеристик транспортных средств гибридного типа и электрического.

Российскими автомобильными производителями выделяются не малые деньги на развитие технологии производства ГСУ, проводятся испытания опытных образцов.

К сожалению имеющихся мер поддержки, государством явно не хватает. Можно утверждать, что сегодня серийного изготовления автомобилей гибридного типа в России нет. Безусловно, имеющиеся ситуация негативно сказывается для российских автостроителей и способствует захвату рынка гибридных автомобилей иностранными брендами. Однако у отечественных автокомпаний есть шансы побороться за рынки сбыта автомобилей гибридного типа. Так как со стороны государства разработаны меры поддержки автопроизводителям:

Поощрение изготовления автомобилей с энергоэффективными двигателями – по средствам регулирования налога, учитывающим, развиваемую мощность двигателем и его конструктивные особенности и расход топлива;

Поощрение покупки новых автомобилей гибридного типа – за счет частичной финансовой поддержки их покупки со стороны государства;

Поощрение текущей эксплуатации автомобилей с энергоэффективным двигателем – за счет дифференцированных ставок транспортного налога, учитывающего экономичность автомобиля и общее количество расходуемого им топлива.

### 1.3 Электросамокат – история возникновения и перспективы расширения продаж

В начале 21 века новое транспортное средство начало делать первые робкие шаги в сторону популяризации. Постоянное усовершенствование моделей и ухудшение транспортной ситуации в мегаполисах сделали свое дело – легкие и юркие электросамокаты стали рассматриваться как полноценное средство передвижения (рисунок 1.3). В современном мире ими обзаводятся службы доставки, правоохранительные органы и парки развлечений. Жители крупных городов тоже оценили выдающиеся способности такого способа передвижения и все чаще выбирают его в качестве альтернативы автомобилям и наземному транспорту в случае высокой загруженности дорог.



Рисунок 1.3 – Электросамокат

Долгое время электросамокат воспринимался на уровне интересной игрушки. Сейчас модели обладают внушительными характеристиками, некоторым производителям удалось вывести свои устройства за пределы асфальтированных дорог. Например, Dualtron Speedway 4 легко разгоняется



до 55 км/ч, может проехать до 100 км без подзарядки и обладает всеми качествами для обеспечения комфортной поездки по грунтовым дорогам.

Удобство и экономичность использования открывают превосходные перспективы перед электросамокатами. Уже сейчас они могут составить конкуренцию более привычным вариантам передвижения. Препятствием может стать только ужесточение законов в отношении использования таких транспортных средств. Но пока наши законодатели не стремятся перенимать опыт некоторых европейских стран, и реальных подвижек в этом направлении в ближайшее время ждать не стоит.

#### **1.4 Электровелосипед история возникновения и перспективы расширения продаж**

Электровелосипед по своему исполнению представляет немного усовершенствованный двухколесный велосипед, на который установлен электрический привод. На нем можно ездить в свое удовольствие, не затрачивая сил, или подключать «педали», когда заканчивается зарядка. Такое конструктивное решение позволяет использовать разные способы передвижения, что выгодно выделяет его среди других средств перемещения (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Электровелосипед

Благодаря внедрению электрической тяги удалось создать транспортное средство, которое может перемещаться на высоких скоростях на сравнительно большие расстояния. Как правило, на одной зарядке электрический велосипед способен двигаться на скорости 25-50 км/час и проезжать до 30-50 км. Это экологичных, весьма быстрый и экономный вид транспорта.

### **1.5 Электромотоциклы и электроскутеры история возникновения и перспективы расширения продаж**

Крупные производители бензинового транспорта, несмотря на высокий спрос на свою продукцию, многие годы работали над разработкой технологии изготовления экологически чистых транспортных средств. И это было связано не только с возрастанием цен на бензин, необходимость производства электрического транспорта диктовало время.

Электрические мотоциклы, в отличие от бензиновых, более легкие в управлении, более экономные в эксплуатации и техническом обслуживании. Их аккумуляторы можно довольно быстро подзарядить даже от обычной электросети. Все же придется принять тот факт, что с годами этот уникальный в своем роде транспорт полностью вытеснит с рынка бензиновый (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Электро–мотоцикл фирмы HONDA

Если вы желаете шагнуть в ногу со временем, не стоит отказываться от возможности обзавестись личным электрическим транспортным средством. Увидите – он оправдает все ваши надежды. Если вы задаетесь вопросом о покупке недорогого, безопасного и удобного транспортного средства, прекрасным вариантом для вас будет электроскутер (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Электроскутер фирмы HONDA

Электрические мотоциклы и скутеры - транспортные средства с двумя или тремя колесами, которые приводятся в движение работой электродвигателей. Как правило, источником питания их электрических двигателей выступают аккумуляторные батареи.

Популярность электрических мотоциклов и скутеров растет в связи с повышением цен на бензин. Технология производства батарей постоянно улучшается, делая этот вид транспорта все более практичным.

## 1.6 Электромобили история возникновения и перспективы расширения продаж

Радикальным подходом к вопросу улучшения экологической обстановки является широкое внедрение электромобилей. В отличие от автомобилей с гибридными силовыми установками, здесь предполагается полностью устранить традиционные поршневые двигатели, заменив их электродвигателями соответствующей мощности.

Электромобили нельзя назвать инновационной разработкой, поскольку их применение началось ещё на заре автомобилизации, задолго до широкого внедрения поршневых ДВС. Первые экспериментальные дорожные электромобили появились ещё в 1840-х годах, но наиболее широко они распространились только в конце 19 - начале 20 века (рисунок 1.7). К 1900 году более половины всех автомобилей в США имело электрический привод.



Рисунок 1.7 – Первый выезд электромобиля Morrison

Совершенствование электродвигателей и аккумуляторных батарей позволяло электромобилям выдавать впечатляющие для того времени показатели. Так, электромобиль Morrison, созданный Уильямом Моррисоном в 1891 году и предположительно считающийся первым электрическим экипажем в США, оснащался электродвигателем мощностью 4 л.с. и имел максимальную скорость 32 км/час. Машина предназначалась для перевозки 6-12 пассажиров, весила около 2 тонн, а запас хода составлял 80 км (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Электромобиль Morrison

Электромобили Wabcock и электрические фаэтоны Bailey, выпускаемые в 1910-х годах, имели рекордный запас хода до 160 км на одном заряде аккумуляторов.

Тем не менее, несмотря на бурное развитие электромобилей в начале 20 века, уже к 1910 году их доля рынка вместе с паромобилями снизилась до

1%. Подавляющее большинство автомобилей начали оснащать быстро совершенствующимися поршневыми ДВС, использующими в качестве топлива очень дешёвые на тот момент продукты переработки нефти. Ухудшение экологической обстановки в крупных городах в 60-е годы 20 века вынудило исследователей вновь вернуться к электромобилям. Также причиной возобновления интереса стал рост цен на нефтепродукты, спровоцированный топливными кризисами, а жёсткие ограничения выбросов токсичных компонентов, внедряемые в последние 20 лет, вынудили большинство мировых автопроизводителей начать работы в этом направлении.

Электромобили обладают следующими преимуществами:

1. Отсутствие вредных выбросов в месте использования (перенос экологически вредных процессов выработки энергии к месту расположения электростанций).

2. Возможность использования для выработки электроэнергии практически любых источников энергии использование энергии атомных электростанций, гидроэлектростанций, солнечных электростанций и тепловых электростанций, работающих на более дешёвом и доступном топливе (уголь, газ, биомасса, торф).

3. Упрощение конструкции автомобиля (в первую очередь двигателя и трансмиссии), а, следовательно, и процесса его эксплуатации и обслуживания.

4. Низкий уровень шума.

5. Возможность рекуперации энергии торможения.

При очевидной привлекательности такого решения в реальных условиях внедрение электромобилей сопряжено с рядом принципиальных трудностей:

1. Необходимость запасания и хранения на борту большого количества электроэнергии в аккумуляторных батареях, которые к настоящему времени имеют либо значительно меньшие, чем углеводородное топливо показатели

удельной запасённой энергии (а, следовательно, для приемлемого пробега на одной зарядке такая батарея будет иметь большую массу и габариты), либо очень дороги. Как следствие – высокая цена и малый пробег от одного заряда (пробег без подзарядки современных электромобилей примерно равен пробегу электромобилей 1910-х годов).

2. Длительное время зарядки аккумуляторов (до 6 - 8 часов от бытовой электросети) по сравнению с заправкой топливом. Необходимость разворачивания специальных зарядных станций (в том числе в городах с плотной застройкой)

3. При широком распространении электромобилей прогнозируется нехватка электроэнергии, что повлечёт строительство большого количества новых электростанций и, как следствие, повышение тарифов на электроэнергию.

4. Экологически небезопасное производство аккумуляторных батарей и необходимость их утилизации.

5. Низкий суммарный КПД системы «топливо – электроэнергия–механическая энергия на валу электродвигателя автомобиля». КПД производства механической энергии, с учётом выработки и транспортировки электроэнергии составляет примерно 15%, тогда как КПД дизельного ДВС находится в пределах 40%. Кроме того, как показали исследования Британской ассоциации по аренде и лизингу автомобилей (BVRLA), 3-х годовичная эксплуатация серийного электромобиля Nissan Leaf со всеми льготами обходится примерно на 5000 фунтов стерлингов дороже, чем аналогичного автомобиля с дизельным двигателем.

6. Увеличение расхода электроэнергии из-за необходимости обеспечивать вспомогательные устройства, например климатическую установку, которая в традиционном автомобиле использовала тепло, отводимое системой охлаждения ДВС.

## 2 Особенности конструкции транспортных средств с электродвигателем

### 2.1 Компоновка электромобилей

За последние 100 лет принципиальная схема электромобиля практически не менялась (рисунок 2.1).

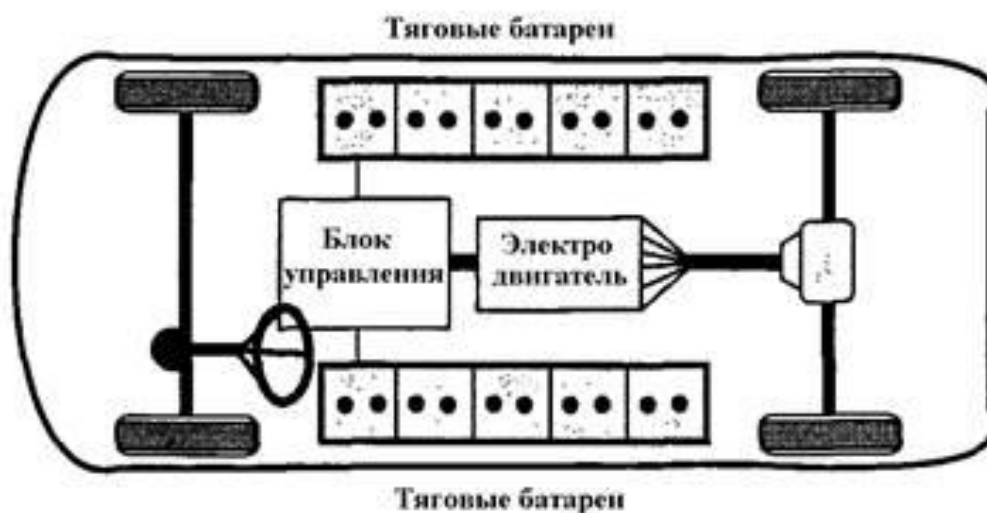


Рисунок 2.1– Компоновочная схема электромобиля

Силовая установка состоит из трёх основных элементов: Тяговых высоковольтных аккумуляторных батарей, блока управления и электродвигателя. Блок управления, в зависимости от положения управляющих органов водителя, регулирует подачу электроэнергии от тяговых батарей на привод электродвигателя. При замедлении автомобиля переключает двигатель в генераторный режим, обеспечивая рекуперацию кинетической энергии.

В современных электромобилях такая простейшая компоновка дополняется узлом зарядки батарей, дополнительными источниками питания, защитными устройствами и т.д. (рисунок 2.2).



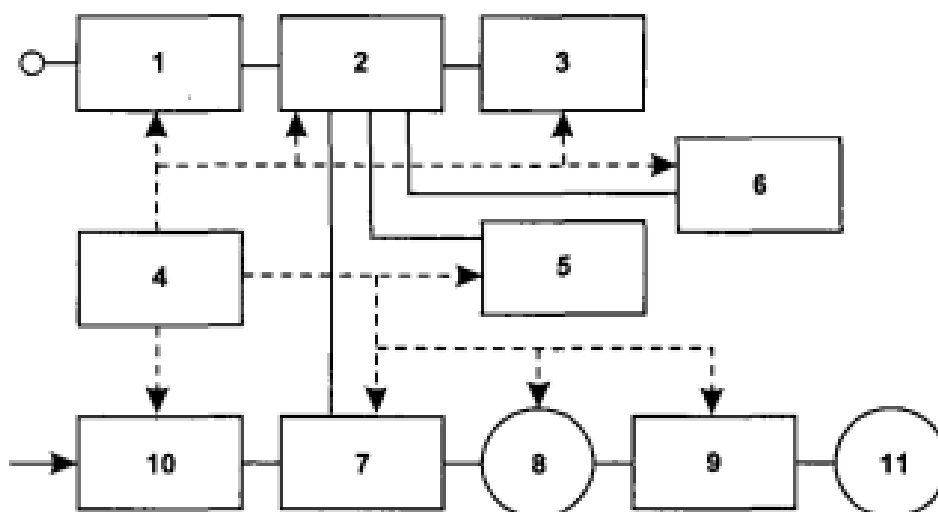


Рисунок 2.2– Блок-схема современного электромобиля

На рисунке 2.2 цифрами обозначено:

1. Зарядное устройство. Обеспечивает подключение электромобиля к электросети, преобразует переменное напряжение в постоянное для заряда тяговых и вспомогательных аккумуляторных батарей.

2. Устройство защиты. Блок реле и предохранителей, которые включены между аккумуляторной батареей и потребителями.

3. Тяговая аккумуляторная батарея.

4. Блок управления.

5. Вспомогательная аккумуляторная батарея. Обычно имеет напряжение 12В. Обеспечивает работу вспомогательных устройств с малым потреблением энергии (осветительных приборов, панели приборов, стеклоподъемников, и т.д.)

6. Система климат-контроля салона. Является потребителем с большим расходом электроэнергии и обычно питается от тяговых батарей. Состоит из кондиционера и электроотопителя.

7. Электронный контроллер электродвигателя. Формирует требуемый вид напряжения питания, таким образом, управляя числом оборотов и крутящим моментом двигателя.

8. Электродвигатель.
9. Механическая трансмиссия (использоваться при необходимости совместно с некоторыми видами электродвигателей).
10. Органы управления электромобилем.
11. Колеса электромобиля.

## **2.2 Классификация гибридных силовых установок по мощности электрической силовой установки**

В параллельных и смешанных схемах компоновки автомобилей с гибридными силовыми установками возможно широкое варьирование мощностей как ДВС, так и электродвигателя. Классификация таких установок производится как по абсолютной, так и по относительной доле электропривода в суммарной мощности. Относительная доля представляет собой отношение мощности электрической силовой установки (электродвигателя) к суммарной мощности гибридной силовой установки (мощность ДВС плюс мощность электродвигателя).

Классификация по абсолютной доле (PE) более распространена ввиду простоты применения. В соответствии с ней выделяют следующие категории гибридных силовых установок:

1. Микро гибрид (менее 6 кВт)
2. Малый гибрид (6 - 20 кВт)
3. Полный гибрид (более 40 кВт)

В микро гибридах электродвигатель не приводит ведущие колёса автомобиля, а используется для запуска ДВС при движении в режиме «старт-стоп». Такие электродвигатели, как правило, используют напряжение 12В. Цена автомобиля с подобной системой возрастает ориентировочно на 300 - 800€, а её применение позволяет сократить потребление топлива на 3 - 6%.

Электродвигатели в малых гибридах не только обеспечивают движение в режиме «старт-стоп», но и увеличивают максимальную мощность

гибридной силовой установки на высоких нагрузках. Также они способны обеспечить движение автомобиля с малой скоростью при заглушенном ДВС. Реализуется преимущественно параллельная схема компоновки. Электродвигатели здесь работают при напряжении 42В или 144В, а увеличение стоимости автомобиля с такой системой, в зависимости от характеристик и конфигурации, находится в пределах 1000-2000€. Расход топлива, благодаря реализации принципа рекуперации энергии торможения, понижается на 10-20%.

В полных гибридах возможна реализация как параллельной (по аналогии с малыми гибридами), так и смешанной схем компоновки. В последнем случае, на режимах малых нагрузок, автомобиль способен долговременно передвигаться на электродвигателе, а ДВС будет периодически подзаряжать аккумулятор. Такая система, как описывалось выше, достаточно сложная и дорогостоящая (порядка 4000-8000€). Рабочее напряжение находится в пределах 250В, а потенциал для снижения расхода топлива составляет 30-40%.

Анализируя вышесказанное можно сделать вывод, что применение электрических гибридных силовых установок, вне зависимости от схемы подключения или мощности электродвигателя целесообразно в том случае, если автомобиль подавляющую часть времени эксплуатируется в условиях города с плотным движением. Если при эксплуатации автомобиля большая часть времени приходится на движение по трассе, более целесообразным будет использование традиционного дизельного двигателя.

### **2.3 Конструктивные схемы ГСУ**

Для привода транспортных средств, возможно, использовать не только поршневые ДВС, но и другие силовые установки, в том числе комбинированные или, как их принято называть, гибридные.

Изначально в качестве двигателя для автомобилей использовалась

паровая машина, но, ввиду низкого к.п.д., она была вытеснена электроприводом, который вскоре также был замещён поршневым ДВС (рисунок 2.3).

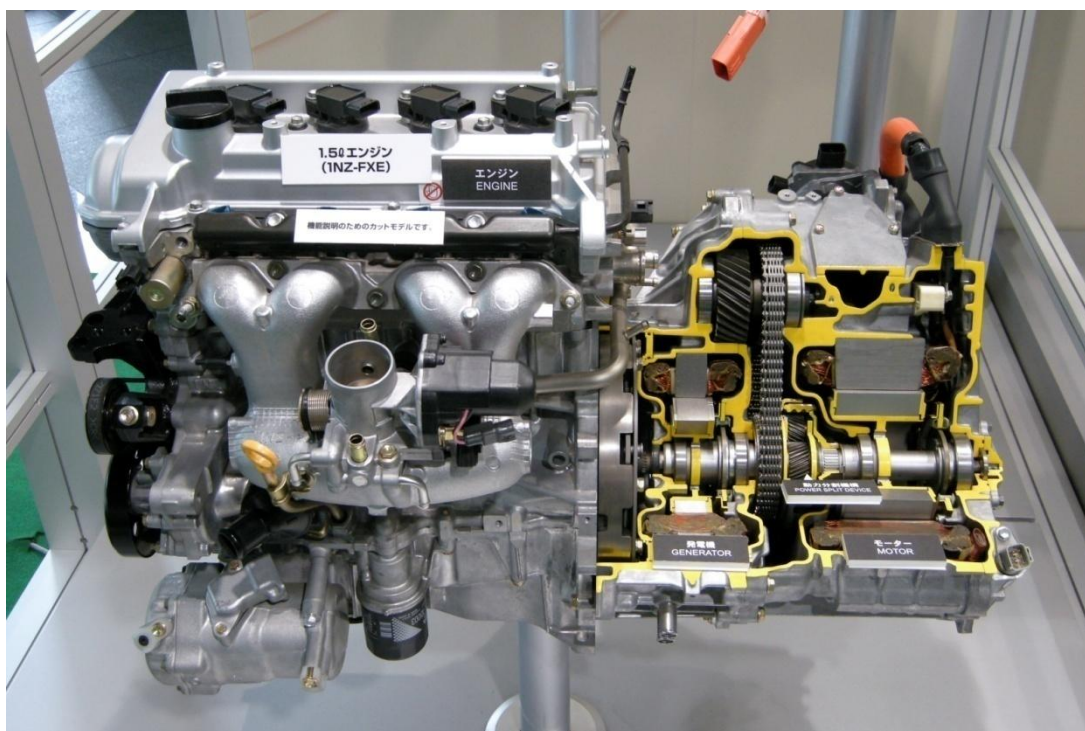


Рисунок 2.3 – Двигатель с гибридной силовой установкой

На протяжении последних 100 лет не прекращаются попытки заменить поршневые ДВС на другие альтернативные силовые установки: двигатель Стирлинга (внешнего сгорания), газотурбинный двигатель, роторно-поршневой двигатель, топливные элементы. Тем не менее, широкого распространения такие схемы не получают.

Наиболее вероятной альтернативой, способной хотя бы частично заменить силовые установки на базе поршневых ДВС, являются современные электрические силовые установки и гибридные силовые установки (в составе которых, тем не менее, присутствует поршневой ДВС).

## 2.4 Гибридные силовые установки

Вопрос повышения экономичности и экологичность транспортных средств не ограничивается совершенствованием непосредственно поршневого ДВС. Снизить расход топлива возможно путём реализации рекуперации кинетической энергии движущегося транспортного средства, обычно теряемой в виде теплоты при торможении. Уменьшения расхода топлива и токсичных выбросов, помимо рекуперации энергии торможения, можно добиться также исключением низкоэффективных режимов работы ДВС (холостой ход, малые нагрузки).

Для организации рекуперации энергии торможения в условиях современного автомобиля на его шасси, помимо традиционной силовой установки на базе поршневого ДВС, должна быть установлена другая силовая установка, способная преобразовывать кинетическую энергию движущегося транспортного средства при торможении в удобный для хранения и накопления вид, и расходовать накопленную энергию при ускорении или езде с малой скоростью. Силовая установка, состоящая из двух и более силовых установок, работающих на разнородной энергии, называется гибридной (рисунок 2.4).

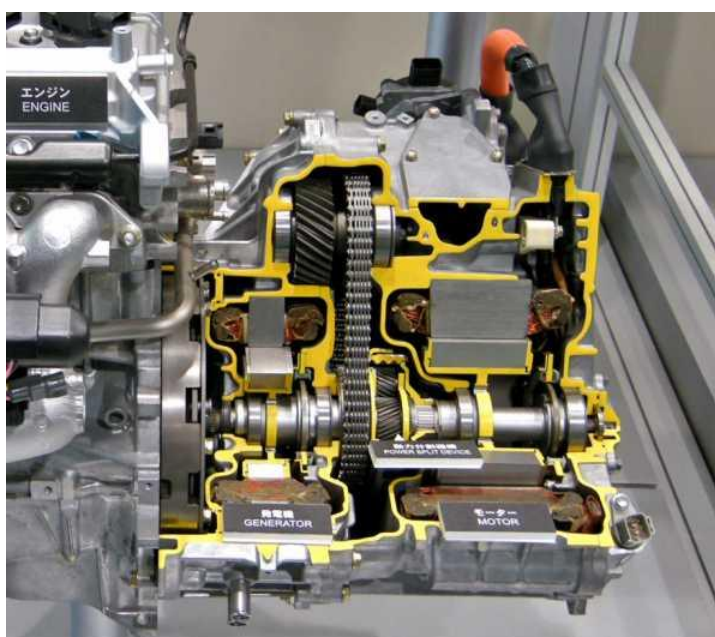


Рисунок 2.4 – Гибридная силовая установка в разрезе

Уменьшить продолжительность работы двигателя на низкоэффективных режимах также можно, например, за счёт системы «Старт-Стоп», принудительно останавливающей двигатель при остановке автомобиля, что позволяет значительно повысить экономичность, особенно в городских условиях.

В то же время гибридные силовые установки обладают рядом существенных недостатков:

1. Повышенная сложность конструкции и системы управления.
2. Увеличенная масса.
3. Увеличенная стоимость, в том числе и эксплуатационная.

Автомобили, оборудованные гибридными силовыми установками, часто условно называют «гибридами», что некорректно.

Гибридные силовые установки различаются в зависимости от того, какой вид энергии используется в силовой установке, работающей в паре с традиционным поршневым ДВС. В настоящее время выделяют два основных типа гибридных силовых установок: электрические и механические.

В механических гибридных силовых установках для накопления энергии могут быть использованы сосуды, работающие под давлением пневматические аккумуляторы, гидроаккумуляторы с пневматическим накопителем (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Гидроаккумулятор с пневматическим накопителем

Большие массогабаритные показатели систем с подобными накопителями, а также сложность преобразования энергии при рекуперации ограничивают их применимость на мобильных установках.

Также к механическим гибридным силовым установкам относятся системы на основе инерционных накопителей. В качестве аккумулятора энергии здесь выступает маховик, раскручиваемый при рекуперативном торможении до высоких оборотов (порядка 60 тыс. об/мин). Преимуществами подобной схемы является относительная простота конструкции и компактность накопителя, широкие температурные диапазоны работы, отсутствие необходимости преобразования вращения в другой вид энергии. Основной недостаток – сложность трансмиссии, согласующей вращение накапливающего маховика и ведущих колёс автомобиля. Тем не менее, подобные системы уже используются в болидах Формулы 1 (в рамках системы KERS - Kinetic Energy Recovery Systems, допущенной к применению в соответствии с техническим регламентом Формулы 1 от 2009 года). Некоторые ведущие автомобилестроительные фирмы мира (Volvo, Porsche) работают над реализацией серийных версий подобной системы (рисунок 2.6).

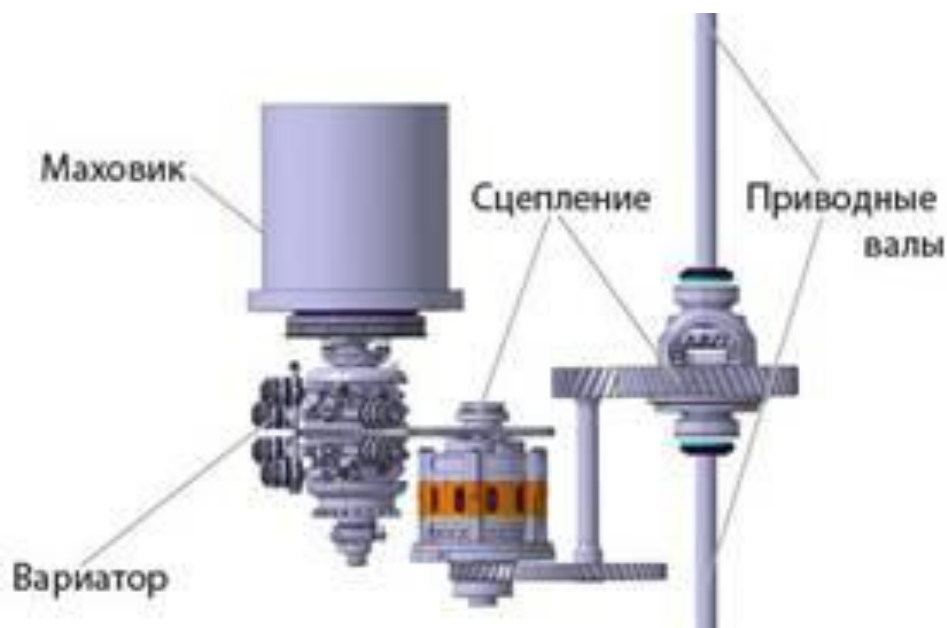


Рисунок 2.6 – Инерционный накопитель

Большой опыт по созданию гибридных силовых установок показывает, что рекуперацию, накопление и возвращение энергии на привод колёс проще всего организовать посредством преобразования вращения в электрическую энергию. Именно поэтому наибольшее распространение в последнее время получили электрические гибридные силовые установки (далее просто «гибридные силовые установки»). Основным их недостатком является необходимость использования аккумуляторных батарей в качестве накопителей электрической энергии. Даже самые современные электрические аккумуляторы имеют ограниченный ресурс и низкие показатели удельной запасаемой энергии, что влечёт необходимость размещения на шасси автомобиля массивных аккумуляторных комплексов. Кроме того, электрические аккумуляторы имеют узкий температурный диапазон работы, что вынуждает использовать специальные подогревающие или охлаждающие системы. Определённые трудности вызывает также утилизация отработавших аккумуляторов.

Несмотря на то, что наиболее динамично автомобили с гибридными силовыми установками развиваются последние 20 лет, основы технологии были заложены ещё в начале 20 века. Так, первым подобным автомобилем считается Lohner-Porsche, построенный в 1900-1901 годах известным конструктором Фердинандом Порше, основателем одноимённой автомобильной компании.

Компоновочные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками

Несмотря на то, что индустрия автомобилей с гибридными силовыми установками уже практически полностью сформировалась, до сих пор нет единых подходов к классификации их основных компоновочных схем. Наиболее часто в литературе встречается их подразделение на три группы, в зависимости от того, каким образом осуществляется привод ведущих колёс автомобиля:



1. Последовательная схема.
2. Параллельная схема.
3. Смешанная схема (последовательно-параллельная).

Главной особенностью последовательной схемы является то, что ведущие колёса автомобиля приводятся только от электродвигателя. ДВС на таком автомобиле выполняет функцию зарядного устройства для аккумуляторных батарей. Схема автомобиля, оборудованного гибридной силовой установкой с последовательным приводом показана на (рисунке 2.7).

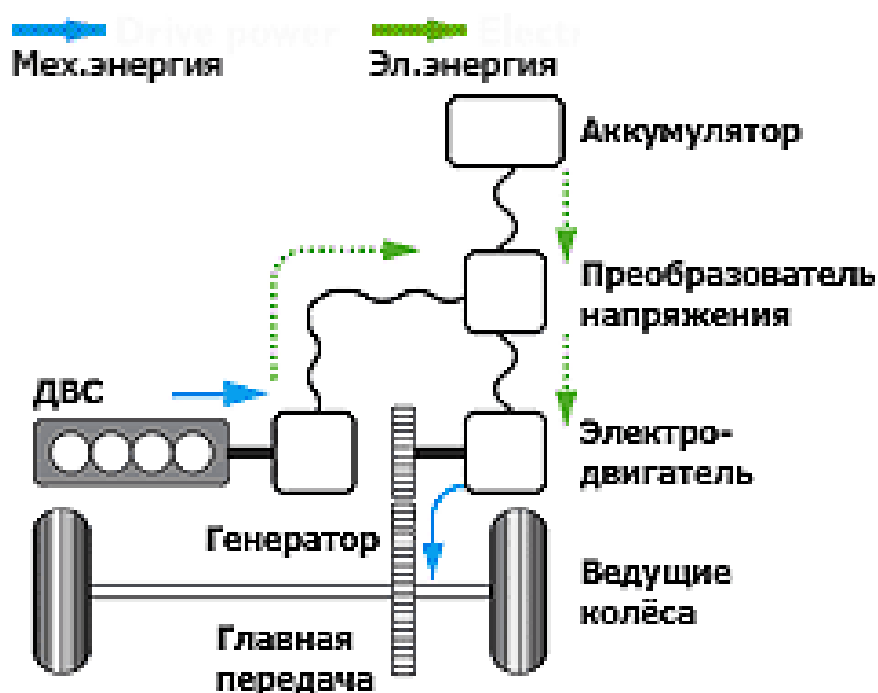


Рисунок 2.7—Последовательная схема компоновки автомобиля с гибридной силовой установкой

Работа подобной системы происходит следующим образом: Тяговый электродвигатель расходует энергию, запасённую в батареях. Специальная электроника полностью контролирует процесс движения транспортного средства и по возможности активизирует режим рекуперативного торможения.

Но в отличие от электромобилей, при сильном разряде тяговых батарей запускается поршневой ДВС и, вращая генератор, заряжает батареи.

Подобная схема давно известна и широко применяется в тех случаях, когда сложно или нецелесообразно организовывать механическую трансмиссию (карьерные самосвалы, тепловозы, подводные лодки и т.д.).

К преимуществам последовательной схемы можно отнести следующее:

1. Отсутствие сложной механической трансмиссии.
2. Поскольку ДВС при генерировании электроэнергии постоянно работает на одном и том же режиме, можно максимально оптимизировать его рабочий процесс под этот режим.

Недостатками такой схемы являются:

1. Ограничение максимальной мощности автомобиля максимальной мощностью электродвигателя, что вынуждает использовать более мощные, а, следовательно, более тяжёлые и дорогостоящие электродвигатели, генераторы и батареи.

2. Низкая эффективность установки, обусловленная потерями энергии при преобразовании вращения в электричество, аккумулировании и обратном преобразовании электроэнергии во вращение. Поскольку вся вырабатываемая на борту энергия проходит двойное преобразование, потери будут значительно выше, чем на других видах компоновки гибридных силовых установок.

Характерным представителем последовательной схемы компоновки автомобиля с гибридной силовой установкой можно назвать Chevrolet Volt (рисунок 2.8).

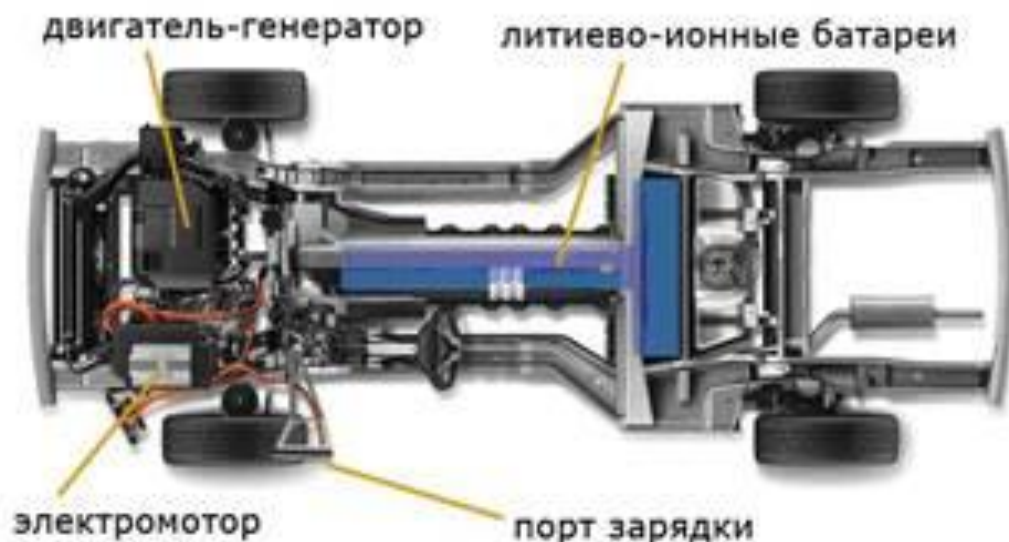


Рисунок 2.8 – Схема реализации последовательной компоновки на примере автомобиля Chevrolet Volt

Этот автомобиль оборудован электродвигателем мощностью 150 л.с., питающимся от T-образного блока литий-ионных батарей с запасом хода до 65 км. При исчерпании батарей для их подзарядки используется поршневой ДВС объемом 1,4 литра и мощностью 84 л.с. Топливо – бензин либо его смесь с этанолом (E85).

В отличие от рассмотренной выше последовательной схемы, параллельная схема (рисунок 2.9) компоновки автомобиля с гибридной силовой установкой предполагает, что оба двигателя совместно приводят ведущие колеса автомобиля. В электрической силовой установке функции двигателя и генератора энергии рекуперативного торможения выполняет одно устройство – обратимый электродвигатель, или мотор-генератор (G/M).

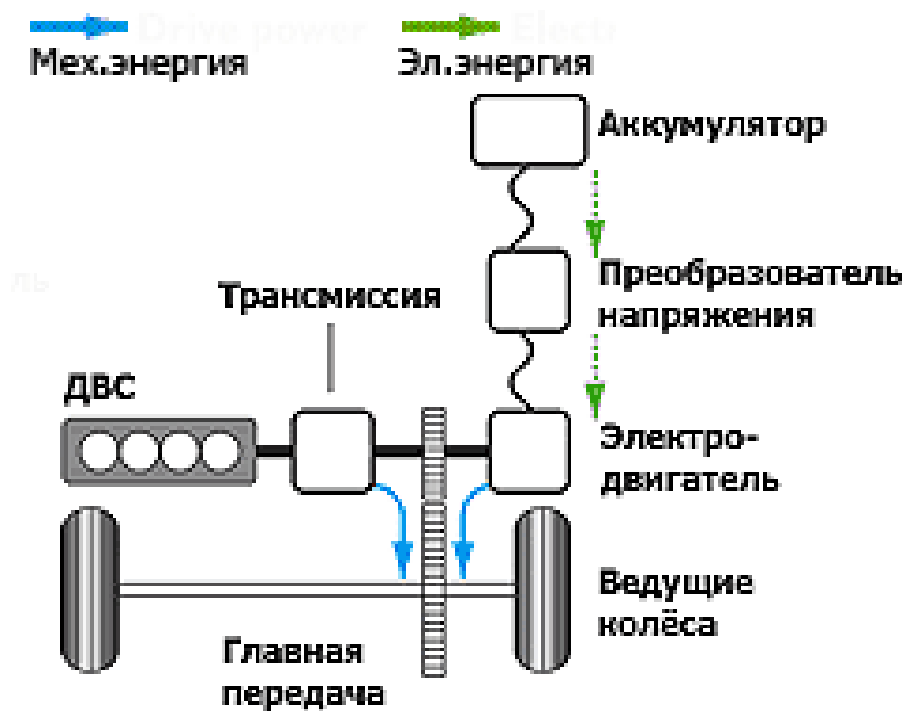


Рисунок 2.9 – Схема гибридной трансмиссии параллельного типа

Недостатком схемы является жёсткая связь между ДВС и электродвигателем, поскольку в режиме рекуперативного торможения и при движении только на электродвигателе часть энергии неизбежно теряется на вращение ДВС. Как следствие, сокращаются возможные режимы движения только за счёт электродвигателя. Для уменьшения потерь на таких режимах движения, посредством фирменной системы управления фазами газораспределения Honda i-VTEC, отключается привод клапанов ДВС.

Смешанная (последовательно-параллельная) схема компоновки автомобиля с гибридной силовой установкой, как это следует из названия, способна функционировать как последовательно, так и параллельно, в зависимости от режима движения автомобиля. Причина появления этой схемы заключается в желании избавиться от основного существенного недостатка параллельной схемы – необходимости вращать ДВС во время рекуперативного торможения и движения только на электродвигателе.

Очевидно, что добиться этого возможно за счёт введения различных дополнительных узлов и агрегатов: отдельного генератора, дополнительного сцепления, специфических КПП и так далее. Следовательно, негативной стороной такого подхода станет сложность конструкции и увеличение массы. В то же время реализация смешанной схемы позволит значительно расширить режимы движения, при которых используется только электродвигатель. По той же причине увеличится возможность исключения малоэффективных режимов работы ДВС.

Смешанная схема компоновки автомобиля с гибридной силовой установкой показана на (рисунке 2.10).

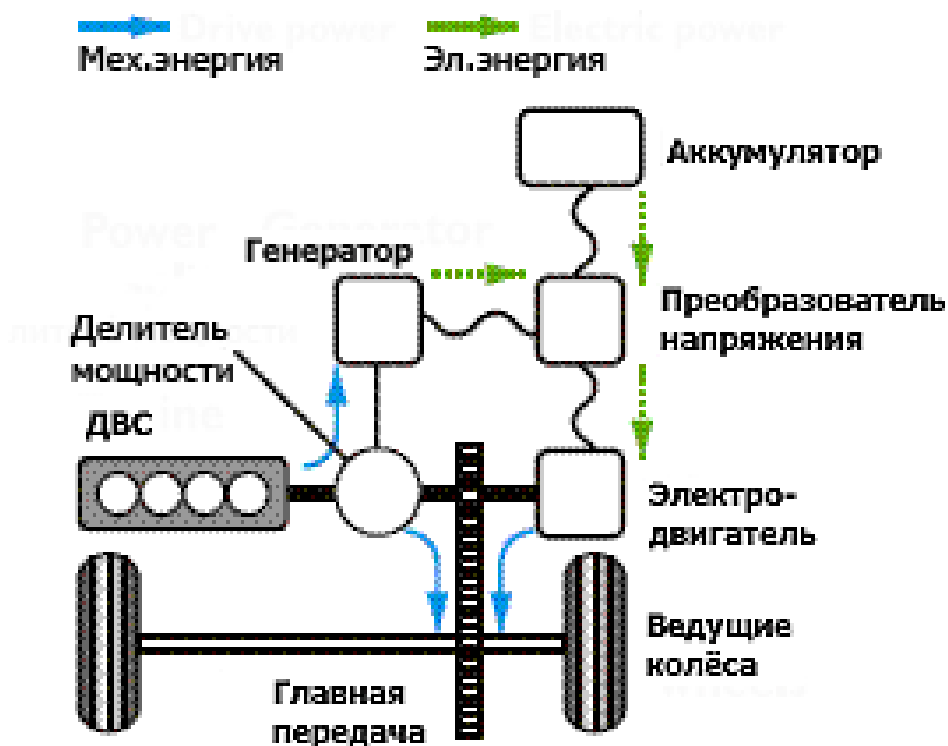


Рисунок 2.10 – Последовательно-параллельная (смешанная) схема компоновки автомобиля с гибридной силовой установкой

Характерным примером реализации смешанной схемы является автомобиль Toyota Prius, самый популярный в настоящее время автомобиль с гибридной силовой установкой, выпускаемый японской компанией Toyota с

1997 года (в период с 1997 по 2011 годы на конвейере сменилось 3 поколения автомобиля). В последнем поколении этот автомобиль оборудуется поршневым ДВС объёмом 1,8 литра и мощностью 99 при этом мощность электродвигателя составляет 82. Электроэнергия запасается в никель-металлогидридных аккумуляторах (напряжение 201,В, вес 45 кг).

Особым отличительным элементом это автомобиля, характерным для всех представителей смешанной схемы компоновки автомобиля с гибридной силовой установкой, является уникальная планетарная трансмиссия (запатентованная технология Toyota Hybrid Synergy Drive), позволяющая распределять крутящий момент между ДВС, электродвигателем, генератором и ведущими колёсами (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11– Планетарная трансмиссия автомобиля Toyota Prius:

1 - маховик; 2 – генератор; 3 - солнечная (центральная) шестерня планетарного редуктора; 4 - водило с сателлитами планетарного редуктора; 5 - дополнительный планетарный редуктор электродвигателя; 6 - ведущая шестерня главной передачи (коронная шестерня планетарного редуктора); 7 - ведомая шестерня главной передачи; 8 – электродвигатель

Планетарный редуктор, лежащий в основе этой трансмиссии, состоит из трёх основных частей: солнечной (центральной) шестерни, водила, фиксирующего подвижные сателлиты друг относительно друга и коронной шестерни (эпицикла). Ведущие колеса автомобиля (через главную передачу) и тяговый электродвигатель соединены с коронной шестерней, ДВС соединён с водилом (то есть с блоком шестерен-сателлитов), а генератор – с солнечной шестерней.

Применение такой системы позволило полностью отказаться от дополнительной КПП, поскольку обороты ДВС плавно регулируются электроникой посредством изменения нагрузки генератора (потребляемая генератором энергия ДВС в зависимости от режима движения и степени зарядки аккумуляторов может либо запасаться, либо сразу подаваться на электродвигатель). Для согласования скоростных режимов ДВС и электродвигателя на данном автомобиле потребовалось включить в трансмиссию ещё один планетарный редуктор, понижающий обороты электродвигателя (рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 – Планетарный редуктор



Принцип регулирования ДВС посредством нагружения сопряжённого с ним генератора позволяет эксплуатировать ДВС на наиболее эффективных режимах работы. Инженеры фирмы Toyota использовали эту возможность и в качестве поршневого двигателя гибридной силовой установки использовали ДВС, работающий по циклу Аткинсона код двигателя 2ZR-FXE (рисунок 2.13).



Рисунок 2.13 – Двигатель работающий по циклу Аткинсона 2ZR-FXE

В этом двигателе впускные клапана закрываются с запаздыванием, в результате чего часть свежего заряда вытесняется обратно во впускную систему. Давление конца сжатия в данном цикле меньше, чем в двигателе, работающем по циклу Отто той же геометрии. Это позволяет дополнительно увеличить геометрическую степень сжатия и, соответственно, степень расширения (степень сжатия ДВС автомобиля Toyota Prius равна 13). Таким образом, при той же фактической степени сжатия, двигатель, работающий по



циклу Аткинсона, имеет большую степень расширения, чем двигатель, работающий по циклу Отто. Это дает возможность более полно использовать энергию расширяющихся в цилиндре газов, что повышает тепловую эффективность двигателя. Основным недостатком подобного решения является низкая стабильность работы на малых нагрузках и холостом ходу, что в условиях смешанной схемы компоновки автомобиля с гибридной силовой установкой полностью устраняется.

Режимы работы смешанной схемы практически не отличаются от таковых для параллельной схемы. Исключение составляет режим затруднённого движения (в пробках) или движения с малой скоростью, когда автомобиль передвигается только за счёт электродвигателя. На этом режиме при разряде батареи система управления автоматически запускает ДВС для подзарядки (как в последовательной схеме). В автомобиле ToyotaPrius, ввиду специфики регулирования, на режимах высоких нагрузок часть энергии, выработанной ДВС, всё равно уходит на привод электродвигателя, питающегося одновременно ещё и от батарей.

## **2.5 Электродвигатели и контроллеры**

Для управления тяговыми электродвигателями необходимо изменять обороты двигателя и крутящий момент на валу в соответствии с воздействиями водителя и изменяющимися условиями движения, ограничивать максимальный ток. Для этих целей используется электронный контроллер электродвигателя (рисунок 2.14), который должен обеспечивать:

- Плавное регулирование оборотов двигателя
- Рекуперация энергии при торможении
- Защита от перегрузок и перегрева
- Реверс



Рисунок 2.14 – электронный контроллер электродвигателя

В электромобилях используются электроприводы постоянного и переменного тока. В приводах постоянного тока используются традиционные коллекторные электродвигатели с последовательным возбуждением. Обороты регулируются с помощью импульсных преобразователей постоянного напряжения. В бесколлекторных двигателях постоянного тока значительно снижается необходимость в обслуживании.

Двигатели переменного тока недороги, практически не нуждаются в обслуживании. Для их управления нужны сложные трехфазные инверторы, формирующие напряжение переменной частоты.

К электродвигателям, применяемым на электромобилях, предъявляется ряд специфических требований:

- Высокая эффективность
- Простота техобслуживания.

- Малый вес и габариты
- Способность выдерживать перегрузки и загрязнение
- Безопасность

Бортовые источники электроэнергии. В качестве источников электрической энергии для электромобилей предполагается использовать следующие основные устройства:

- Аккумуляторные батареи,
- Конденсаторы,
- Топливные элементы.

Несмотря на все современные достижения, ни топливные элементы, ввиду дороговизны и сложности, ни конденсаторы, из-за малого значения удельной запасаемой энергии, не нашли широкого применения в электромобилях. Вследствие этого основными источниками энергии для электромобилей, как и сто лет назад, остаются химические аккумуляторы, объединённые в тяговые аккумуляторные батареи.

Энергия, запасённая в тяговых аккумуляторных батареях, затрачивается на привод ведущих колёс и обеспечение внутренних потребителей (либо напрямую, как, например, в случае климатической установки, либо посредством вспомогательной аккумуляторной батареи с низким напряжением).

Такие аккумуляторы характеризуются малой стоимостью и высокой надёжностью, но заметно проигрывают другим типам аккумуляторов по удельной энергии и мощности. С понижением температуры характеристики свинцово-кислотных аккумуляторов постепенно ухудшаются, но не так резко, как это происходит на других типах аккумуляторов, чем отчасти объясняется их широкое применение на транспорте. Применение в качестве электролита серной кислоты негативно влияет на окружающую среду.

Преимущества:

- Высокая энергетическая плотность
- Низкий саморазряд

- Отсутствие эффекта памяти

- Простота обслуживания

Недостатки:

- Возможность взрывного разрушения при перезаряде и/или перегреве  
(требуется специальная защитная система)

- Выход из строя при глубоком разряде

- Старение

- Ограниченный температурный диапазон работы

- Высокая цена

## 3 Анализ эксплуатационной надежности ГСУ

### 3.1. Описание диагностируемых элементов гибридного привода

Prius оснащен двигателем внутреннего сгорания, объемом 1498 см<sup>3</sup>. Установленный на версии 2009 года используется другой двигатель объемом 1,7 литра. Названия для двигателя компании Toyota Prius: 1NZ-FXE (рисунок 3.1).

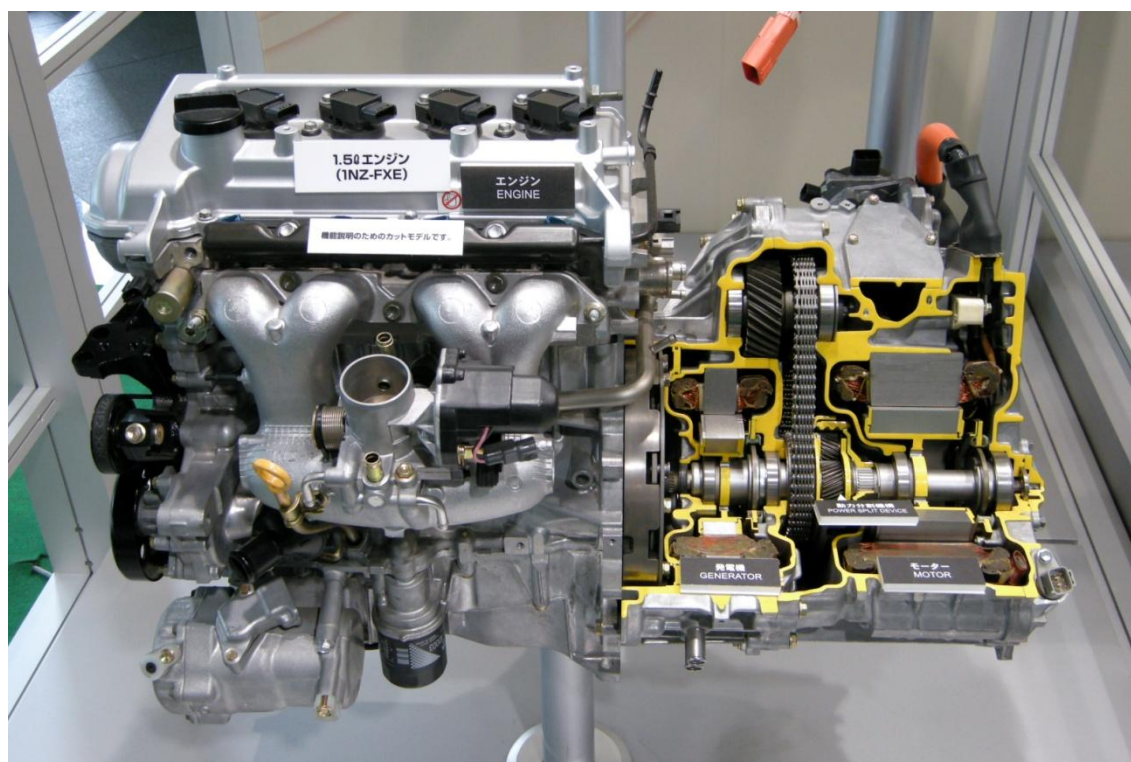


Рисунок 3.1 – Двигатель Toyota Prius 1NZ-FXE

В двигателе 1NZ-FXE используется цикл Аткинсона–Миллера. В цикле Аткинсона–Миллера впускной клапан не фиксирует в нижней мертвой точке, а фиксирует открытым, в момент, когда поршень начинает подниматься. Часть смеси выталкивается во впускной коллектор (чтобы задействовать в другом цилиндре). Точка, в которой впускной клапан будет закрыт, бывает переменной. Объем смеси, которая задействуется для сжатия, может этим методом быть уменьшен, не применяя обязательное закрытие дроссельной заслонки. При помощи этого варианта, возможно,

контролировать выходную мощность двигателя без высоких насосных потерь, это делает двигатель наиболее эффективным, чем обычный в режимах частичной мощности, задействованных в большинстве подобных ситуаций. Тепловой коэффициент полезного действия двигателя 1NZ-FE, функционирующего по циклу Отто, возрастает 35% при максимальной мощности и падает до 18% при  $0,2 N_{max}$ . подобный двигатель 1NZ-FXE, но функционирующий по циклу Аткинсона–Миллера, при  $0,2 N_{max}$  обладает коэффициентом полезного действия 34%.

Гарантийный срок работы достигает 100 тыс. км или 5 лет, в зависимости от того, что наступит ранее.

#### Высоковольтная аккумуляторная батарея

Накопитель электрической энергии можно назвать, как наиболее дорогим и трудно обсуживаемым элементом силового.

В гибридной силовой установке автомобиля Prius используется никель-металлогидридная высоковольтная аккумуляторная батарея (Ni-MH ВВБ) компании Панасоник (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Внешний вид никель-металлогидридной батареи Toyota Prius

Удельная мощность, позволяет увидеть, какую мощность, возможно, отдавать аккумулятору при заданном весе. Это показатель возможности автомобиля с гибридной силовой установкой ускориться и преодолевать подъем.

### **3.2. Анализ возникающих отказов и неисправностей ГСУ**

Анализ поломок гибридной силовой установки требует беспристрастного исследования. Существуют рекомендательные документы и ГОСТ 27.310-95 «Надёжность в технике», в котором говорится о порядке проведения испытаний на проверку надёжность. Испытание в реальных эксплуатационных условиях является одним из главных методов анализа надёжности автомобиля. В целях получения полной и достоверной информации, испытания проводят на предприятиях, специализирующихся на обслуживании автомобилей с гибридной силовыми установками, самым крупным из них является автотехцентр HYBRIDS.ru. Для получения достоверных данных о поломках гибридных силовых установках отбираются автомобили, которые обслуживаются в соответствии с техническим регламентом.

Главными неисправностями ВВБ являются: недопустимо не высокое напряжение; не допустимое превышение температуры при заряде; потеря ёмкости; большое внутреннее давление при заряде; быстрый саморазряд.

Ремонт поломки ВВБ состоит в осуществлении восстановительного цикла заряда, замены испорченных ячеек или всей батареи.

Гарантийный срок эксплуатации в условиях сервисного обслуживания составляет 160 тыс. км или 8 лет, в зависимости от того, что наступит ранее.

Высоковольтная аккумуляторная литий-ионная батарея не только снабжает энергией электродвигатель, но и заряжает обычную двенадцати вольтовой аккумуляторную батарею, помещенную в багажнике автомобиля (рисунок 3.3).





Рисунок 3.3 – Место расположения аккумуляторной батареи в багажнике автомобиля

В этом варианте 12 вольтовая аккумуляторная батарея не применяется для запуска двигателя и имеет малые габариты. Емкости батареи достаточно для снабжения электроэнергией обычного 12 вольтового электрооборудования всего автомобиля, а так же систему освещения. Так как для запуска двигателя внутреннего сгорания применяется мотор-генератор за счёт энергии выделяемой высоковольтной аккумуляторной батареи.

На автомобилях с ГСУ параллельного типа применяется ВВБ небольшой ёмкости (0,5 – 2,0 кВт·ч), а на автомобили с последовательной или комбинированной СУ (полный гибрид) используются аккумуляторные батареи значительно большей ёмкости 5 – 7 кВт·ч.

Небольшой блок литий-ионных аккумуляторной батареи, разработанной компаниями Continental и JCS Saft, включает в себя 36 элементов и имеет ёмкость 6,5 А·ч, а номинальное напряжение 120 В. Аккумуляторная батарея обладает большую удельную объёмную мощность – 1,9 кВт/л, но количество запасаемого в аккумуляторной батарее не велико 0,8 кВт\*часа. Блок батареи установлен в систему кондиционирования воздуха



так, что он может охлаждаться отдельно от ДВС. Специальные клапаны дает возможность при эксплуатации использовать охлаждение воздуха в салоне автомобиля без вмешательства в процесс охлаждения блока батареи (рисунок 3.4).

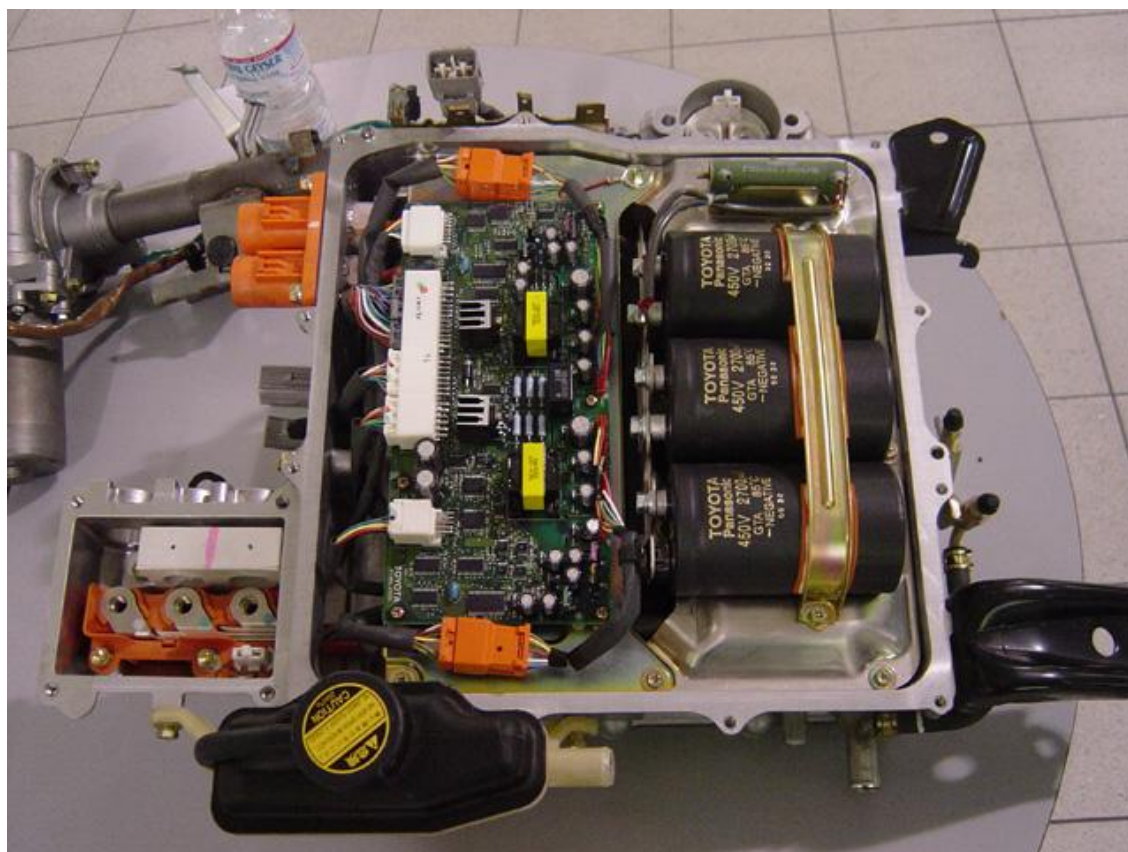


Рисунок 3.4 – Устройство распределения мощности

При нефункционирующем двигателе внутреннего сгорания компрессор с электрическим приводом помимо охлаждения салона автомобиля, еще отвечает за охлаждение блока аккумуляторных батарей. Для предотвращения серьёзных повреждений аккумуляторных батарей, температура блока не должна увеличиваться до 50 0С на любом режиме работы СУ. Наилучшая эксплуатационная температура батареи входит в диапазоне от 15 0С до 35 0С.

Гарантийный срок при использовании в условиях надлежащего сервисного обслуживания достигает 160 тыс. км или же 8 лет.

Prius, обладает CVT (Continue Variable Transmission) - бесступенчато-регулируемую, это устройство позволяет распределять мощность. Цепью Морзе связываются валы планетарной и главной (рисунок 3.5).

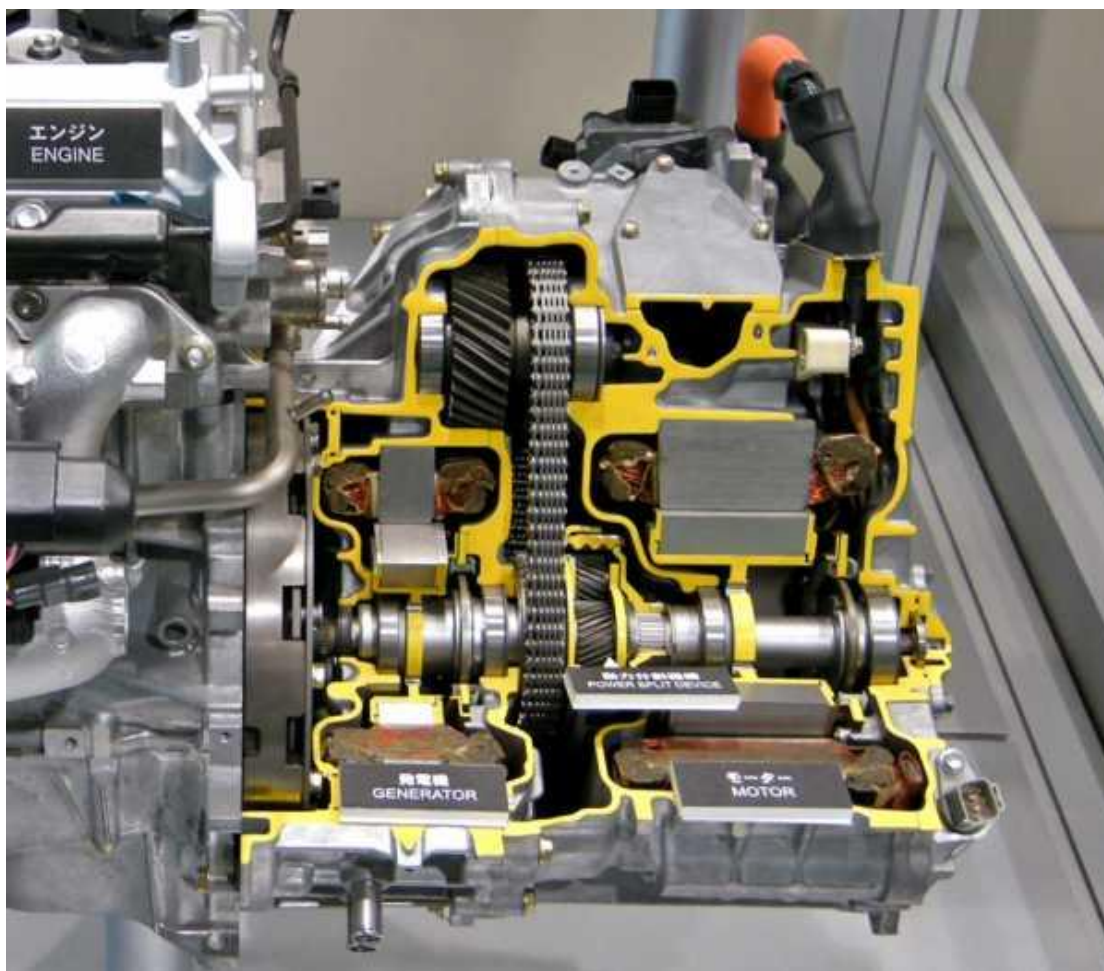


Рисунок 3.5 – Бесступенчато-регулируемая цепь в гибридной силовой установке

## 4 Разработка методики оценки технического состояния транспортного средства с электрической силовой установкой

### 4.1 Определение технического состояния транспортного средства на стендах тяговых качеств

У каждого владельца транспортного средства в документах указаны данные о максимальной мощности/моменте их двигателя. Если поискать, иногда производители делятся и графиками, показывающими изменение этих величин с оборотами (рисунок 4.1). Графики эти получают в результате испытаний двигателя на моторном стенде по строго определенной процедуре. Стандартов таких процедур существует несколько, сейчас наиболее распространена версия от международной инженерной ассоциации SAE J1349.

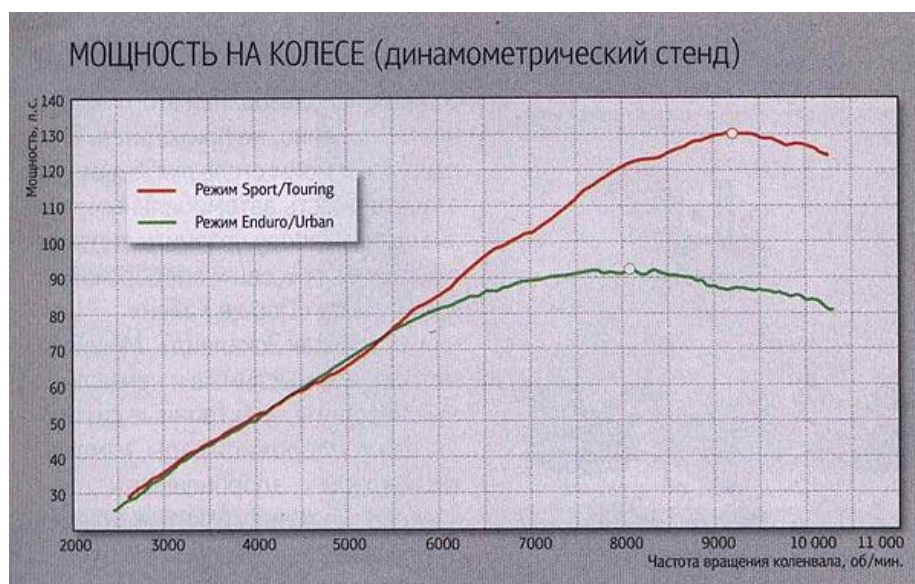


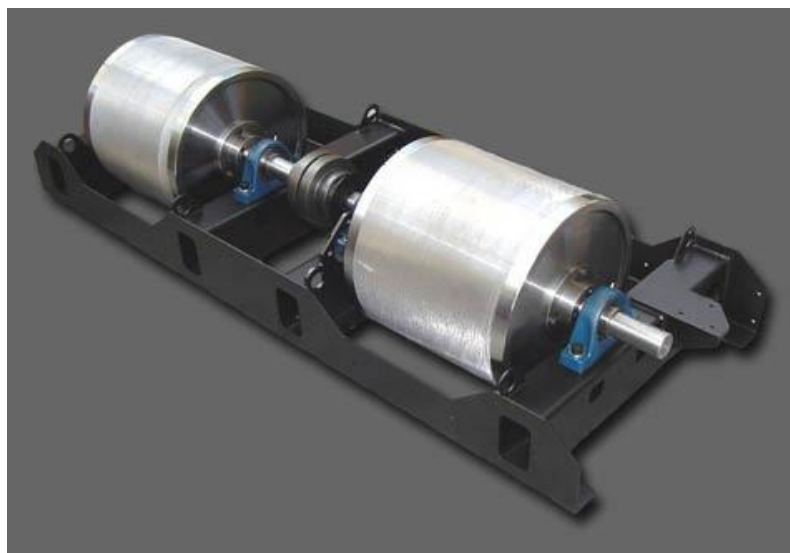
Рисунок 4.1 –Пример графика полученного на стенде тяговых качеств и показывающий изменение этих величин с оборотами

Основными условиями, которым должно удовлетворять испытание силовой установки являются:

- режим программы управления должен соответствовать «дорожному» в каждой тестовой точке замера. При этом для силовых установок рекомендуется зарегистрировать все рабочие параметры (включая, например потребляемую мощность и выдаваемую мощность), и в точности воспроизвести их во время замера;
- потребляемая и эффективная (выдаваемая) мощности должны регистрироваться во всем диапазоне оборотов электродвигателя;
- точки замера оборотов должны идти с шагом 500об/мин и 100об/мин в районе пиковых величин мощности/момента;
- отклонение трех последовательных замеров от среднего должно быть не более 1%.

#### **4.2 Оценка технического состояния транспортных средств на стендах тяговых качеств инерционного типа**

Очевидно, что определения мощности крутящего момента на стендах силового типа процедура крайне дорогостоящая и доступна очень крупным организациям, никак не обычному владельцу транспортного средства. Для них и придумали более «народный» метод замера – динамометрический стенд инерционного типа (рисунок 4.2).





#### Рисунок 4.2 – Роликовый стенд инерционного типа

Его основа – один или два ролика (барабана) на одной оси, на которые ставятся ведущие колеса испытываемой силовой установки.

Первые стенды работали в так называемом «инерционном» режиме: автомобиль при замере просто раскручивал барабаны на одной передаче в нужном диапазоне оборотов. Итог замера определялся при использовании одного датчика – датчика угловой скорости барабанов, который стоял на валу (рисунок 4.3).

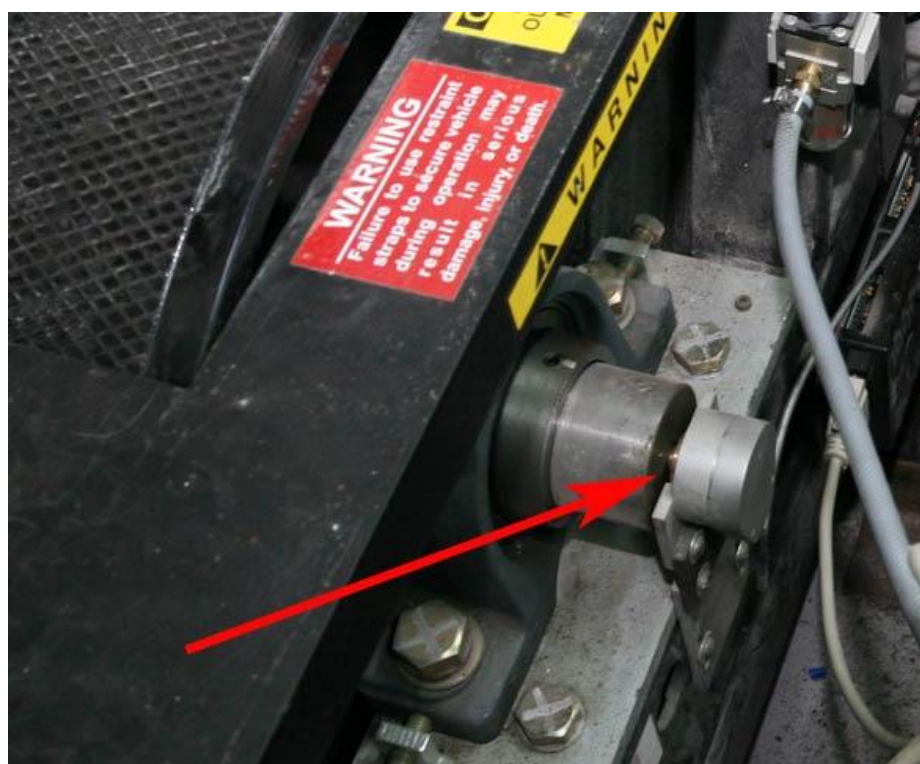


Рисунок 4.3 – датчик угловой скорости

Чтобы разобраться, как это все работает и рисует необходимые нам графики, нужно сначала понять конструкцию самых простых инерционных стендов. Как известно, мощность – это работа, произведенная за единицу времени. Загоняя транспортные средства колесами на барабаны, и производя замер ускорения, мы заставляем его делать работу по раскручиванию барабанов. Для определения крутящего момента на ведущих колесах при

разгоне транспортного средства на стенде инерционного типа.

Среднее ускорение тела вычисляется по его начальной и конечной скоростям (скорость – это быстрота передвижения в определенном направлении) и времени, которое необходимо телу для достижения конечной скорости. Формула для вычисления ускорения:  $a = \Delta v / \Delta t$ , где  $a$  – ускорение,  $\Delta v$  – изменение скорости,  $\Delta t$  – время, необходимое для достижения конечной скорости. Единицами измерения ускорения являются метры в секунду за секунду, то есть  $\text{м/с}^2$ .

Таким образом, для определения крутящего момента на определенном режиме работы электродвигателя необходимо знать динамику его разгона. Что бы получить его эффективную мощность необходимо умножить крутящий момент на частоту вращения. В технических характеристиках электродвигателей имеется график зависимости крутящего момента и мощности от частоты вращения якоря. Например, электродвигатель 28 киловатт имеет характеристику (рисунок 4.4).

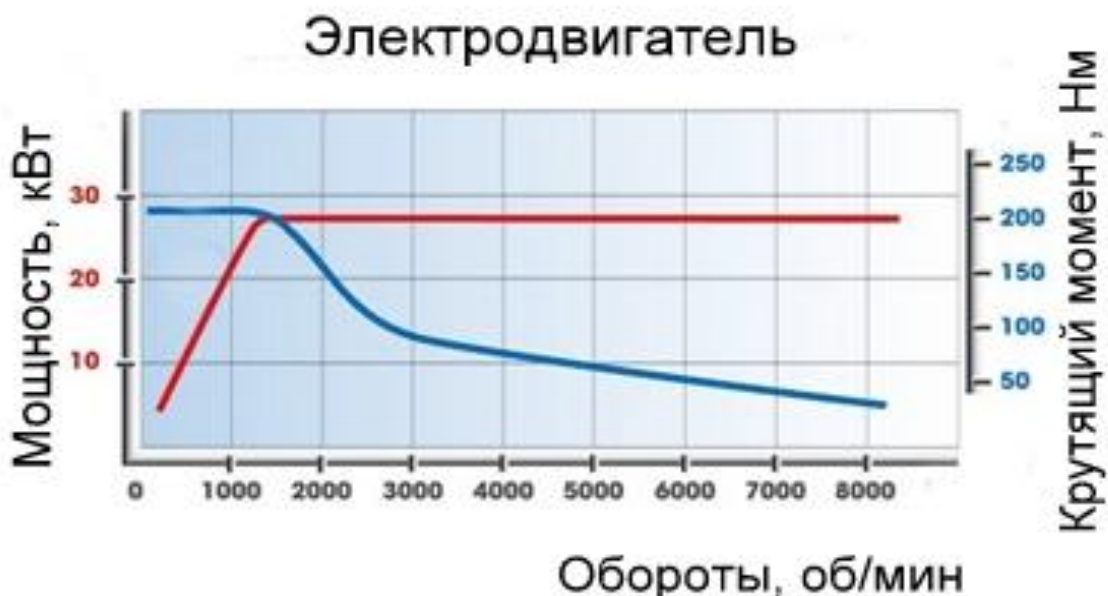


Рисунок 4.4 – график зависимости крутящего момента и мощности на валу электродвигателя от частоты его вращения.

### 4.3 Определение момента инерции стенда тяговых качеств теоретическим способом

Экспериментальные исследования разрабатываемой методики проводились на стенде инерционного типа в лаборатории диагностики автомобилей Тольяттинского государственного университета на кафедре Проектирование и эксплуатация автомобилей (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 – Роликовый стенд в лабораторном кабинете Д-118.

Момент инерции стенда можно определить двумя способами:

- теоретическим способом
- экспериментальным методом

Для теоретического способа определения момента инерции стенда были определены инерционные массы всех его элементов по следующей формуле:

$$Mgh = \frac{mr^2}{2} \quad (4.1)$$

где,  $m$  – масса груза, кг;

$r$  – радиус вала или шкива, м;

Таким образом, рассчитанный момент инерции стенда составил:  $10.84 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

Существует несколько методов определения момента инерции стэнда экспериментальным способом.

Определить момент инерции тел сложной конфигурации относительно произвольных осей вращения можно несколькими способами. Один из них заключается в следующем: тело устанавливают на ось вращения, относительно которой определяется момент инерции. Убирают опору и в процессе вращательного движения под действием момента от силы тяжести задают два угловых расстояния и измеряют два временных интервала, требуемых телу для прохождения этих расстояний. Повторяют подобную процедуру для тела с грузом, имеющим заранее известный момент инерции относительно оси вращения.

Следующий способ определения момента инерции, основан на последовательном подвешивании, на упругом стержне или струне сначала тела, момент инерции которого измеряется, а затем тела с известных моментов инерции, измерении и сравнении периодов их крутильных колебаний. Способ излишне сложен, требует знания расположения центра масс тела и может быть применен для определения моментов инерции небольших тел.

Меньшими недостатками обладает способ, также основанный на анализе движения тела и заключающийся в вывешивании тела на интересующей оси, обеспечении колебательного движения тела с малой амплитудой и измерении периодов этих колебаний сначала при наличии на оси вращения двух дополнительных, симметрично расположенных относительно тела, грузов с известными моментами инерции, а затем при их отсутствии. Способ позволяет измерять моменты инерции более крупных тел и не требует знания расположения центра масс. Однако в данном способе по-прежнему необходимо вертикально подвешивать тело, что ограничивает использование способа при определении моментов инерции крупногабаритных тел. В связи с необходимостью измерения периодов качания тела способ характеризуется большой длительностью измерений.



#### 4.4 Определение момента инерции стенда тяговых качеств экспериментальным способом

Наиболее приемлемый метод определения момента инерции для нашего стенда тяговых качеств заключается в следующем: На ролик намотан трос, который брошенный через блок к другому концу троса вешаем еще один груз, который будет раскручивать ролик. Отпустив заторможенный ролик, увидим, что он начал раскручиваться, постепенно набирая обороты. При этом приложенная к ролику сила передает ему энергию, которую можно рассчитать по формуле:

$$\begin{aligned} Mgh &= \frac{mv^2}{2} \\ J &= mr^2 \left( \frac{gt^2}{2h-1} \right) \end{aligned} \quad (4.2)$$

где,  $m$  – масса груза, кг;

$$Mgh = \frac{mr^2}{2}$$

$r$  – радиус вала или шкива, м;

$t$  – время опускания груза, с;

$h$  – высота опускания груза,

Для подтверждения теоретических расчётов был проведен эксперимент, заключающийся в следующем:

На ролик наматывался трос и пропускался через блок (рисунок), который фиксировался от прокручивания стопорным элементом. На ролики нанесена метка. На свободный конец троса устанавливался груз с массой 20 кг (рисунок 4.6). После разблокирования ролик начинал вращаться. При совмещении метки ролика со стрелкой на раме включался секундомер и

ровно через один оборот ролика (что составляет один метр) секундомер останавливался. Эксперимент был проведен пять раз, результаты проверок сведены в таблицу 4.1.



Рисунок 4.6 – Эксперимент, для подтверждения теоретических расчётов

Таблица 4.1 – Результат замеров

Номер замера	1	2	3	4	5
Время (с.)	2.18	2.15	2.14	2.16	2.17

Таким образом, среднее значение времени опускания груза на один метр составило 2.16 секунды. Подставив полученные значения в формулу получим, что момент инерции стенда равен  $10.84 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

## **5 Экспериментальные исследования**

### **5.1 Методы определения диагностических параметров современных гибридных силовых установок**

По возможностям передачи информации от контроллера на персональный компьютер современные гибридные электрические транспортные средства можно разделить на две основные группы:

- системы с простым контроллером, не имеющем интерфейса связи с персональным компьютером
- системы, обеспечивающие считывание информации с контроллера и выдачи ее на экран монитора в режиме онлайн.

В первом случае информацию о техническом состоянии транспортного средства и его силовой установки можно получить подключив к нему ряд датчиков, таких как:

- датчик потребляемого тока (токовые клещи)
- датчик частоты вращения ролика

Для определения напряжения, которое поступает на обмотки электродвигателя можно использовать цифровой вольтметр.

В процессе разгона ведущего колеса транспортного средства на стенде инерционного типа (рисунок) можно получить информацию о потребляемой мощности (произведение потребляемой силы тока на напряжение) и эффективной мощности на ведущем колесе (произведение крутящего момента на частоту вращения ролика). Соотношение эффективной и потребляемой мощностей позволяет определить коэффициент полезного действия системы и поставить диагноз об ее общем техническом состоянии (по принципу: исправна-не исправна).

## 5.2 Возможности считывания информации с контроллеров имеющих, интерфейс связи с персональным компьютером

Более дорогостоящие системы, такие как, Kelly Controls/ Part: KLS7245HC (рисунок 5.1) обеспечивают:



Рисунок 5.1 – Контроллер Kelly Controls/ Part: KLS7245HC

- расширенную диагностику и защиту. Светодиодный мигающий указывает источники ошибок. Клиенты могут читать код ошибки в программном обеспечении для ПК или планшете Android.

- контроль напряжения аккумулятора. Он перестанет ехать, если напряжение батареи слишком велико, и оно будет постепенно уменьшать мощность двигателя, когда напряжение батареи падает до тех пор, пока оно не полностью отключится при заданной настройке «Низкое напряжение батареи».

- Встроенная защита тока сверху и снизу.

- Настраиваемый диапазон защиты температур двигателя.
- Уменьшение тока при низкой температуре и высокой температуре для защиты аккумулятора и контроллера. Ток начинает снижаться при температуре корпуса 90, отключаясь при 100.
- Контроллер продолжает контролировать напряжение зарядки аккумулятора во время рекуперативного торможения.
- Максимальная скорость обратной и прямой скорости может быть задана между 20% и 100% соответственно и отдельно.
- 4-контактный разъем для порта RS232 и кабель USB-RS-232 Z-ТЕК позволяет настраивать, программировать и обновлять программное обеспечение с помощью планшета, который должен быть на ОС Android. Люди могут делать то же самое на программном обеспечении ПК, используя стандартный кабель USB для RS232.
- Предоставление выходного напряжения +5 вольт и +12 В для питания различных типов датчиков Холла.
- Переключающих входов, которые активируются при подключении к 12 В. По умолчанию переключатель ручки\педали газа, выключатель тормоза, реверсивный переключатель, передний выключатель и переключатель ускорения (Boost).
- 2 аналоговых входа 0-5 В, которые по умолчанию имеют вход от ручки\педали газа, и входной сигнал температуры двигателя
  - Копирует сигнал одного из датчиков Холла.
  - Настраиваемый повышающий переключатель. Обеспечивает максимальную выходную мощность, если переключатель включен.
- Вход для переключателя тормозов 12V используется в разных портах от датчика температуры двигателя. Вы можете одновременно использовать оба переключателя тормоза и функции датчика температуры двигателя в последней версии. Pin 25 - входной порт тормоза 12 В. Pin1 – входной порт датчика температуры двигателя.
- Дополнительная ручка газа - джойстика. Двусимметричный сигнал 0-

5 В как для прямого, так и для заднего хода.

- Конфигурируемое обнаружение и защита от перегрева двигателя с рекомендуемым термистором (датчиком температуры) КТУ84-130 или КТУ84-150.

- Входной сенсор от 3 позиционного датчика Холла. Открытый коллектор, в случае повышенного напряжения.

- Аналоговый режим рекуперативного торможения. В этом режиме рекуперации не требуется какой-либо дополнительный тормозной переключатель. Доступно только с версии программного обеспечения 0106. Контроллер KLS не может поддерживать повторную перепрошивку.

- Усовершенствованная функция рекуперативного торможения. Новая технология ABS обеспечивает мощный и плавную рекуперацию. Рекуперация может происходить с любой скорости до нулевой скорости.

Особенности:

- Интеллект с мощным микропроцессором.
- Синхронное выпрямление, сверхнизкое падение, быстрый SVPWM и FOC для достижения очень высокой эффективности.

- Электронное реверсирование.

- Контроль напряжения на трех фазах двигателя, шине и блоке питания.

- Контроль напряжения источников напряжения 12В и 5В.

- Чувствительность по току во всех трех фазах двигателя.

- Контур управления током.

- Аппаратная защита по току.

- Защита от перенапряжения оборудования.

- Конфигурируемый предел для тока двигателя и тока батареи.

- Низкая Электромагнитная совместимость.

- Код неисправности светодиода.

- Защита аккумулятора: уменьшение тока, предупреждение и выключение при конфигурируемом напряжении питания с высоким и низким напряжением.

- Прочный алюминиевый корпус для максимальной теплоотдачи и суровой окружающей среды.

- Прочные высокоточные токовые клеммы и прочные авиационные разъемы для малого сигнала.

- Тепловая защита: отключение тока, предупреждение и выключение при высокой температуре.

- Конфигурируемые датчики положения Холла 60 градусов или 120 градусов. Контроллер может выполнять автоматическую Идентификацию угла для разных углов датчиков Холла.

- Настраиваемая защита от высоких напряжений педалей: контроллер не будет работать, если при включении будет обнаружен высокий уровень от ручки\педали газа.

- Усиление по току: уменьшение тока от батареи, получение на выходе больше тока на двигатель.

- Простая установка: трехпроводный потенциометр будет работать.

- Стандартный ПК / портативный компьютер для программирования. Есть еще один выбор для клиентов, чтобы запрограммировать контроллер KLS. Стандартный планшет с ОС Android для программирования. Нужно подключить кабель USB для RS-232 Z-ТЕК для подключения к программе приложений в планшетном ПК,

- Предоставлена программа пользователя. Легко использовать. Без затрат для клиентов.

- Поддерживает двигатели с любым количеством полюсов.

- До 70 000 стандартных электрических об / мин. (Электрические обороты = механические обороты \* пары полюсов двигателя. Пары полюсов двигателя = полюсы двигателя / 2).

Основные Характеристики:

- Частота операций: 20 кГц.

- Ток батареи в режиме ожидания: <0,5 мА.

- Ток питания датчиков 5 В или 12 В: 40 мА.

- Контроллер поддерживает диапазон напряжения: PWR, от 18 В до 90 В для контроллеров с номинальным или меньшим напряжением, чем 72 В.

- Ток питания, PWR, 30 мА.

- Настраиваемый диапазон напряжения батареи, В +. Максимальный рабочий диапазон: от 18 В до  $1,25 * \text{Номинальное напряжение}$ .

- Стандартный вход ручки\педали газа: 0-5 вольт. Может использоваться 3-проводный резистивный потенциометр), 1-4 вольта (для датчиков Хола от ручки\педали газа).

- Вход ручки\педали газа: 0-5 В. Может использовать 3-проводный потенциометр для получения сигнала 0-5 В.

- Драйвер катушки контактора <2А.

- Полный диапазон рабочих температур: от 0 до 70 (температура MOSFET).

- Диапазон рабочих температур: от -40 до 100 (температура MOSFET).

- Ограничение тока двигателя, 20 секундное повышение: 120А, в зависимости от модели.

- Ограничение постоянного тока двигателя: 50А, в зависимости от модели.

- Максимальный ток батареи: настраивается.

### **5.3 Общая диагностика транспортного средства**

В результате измерения параметров, характеризующих общее состояние электрического мотоцикла производились замеры его эффективной мощности в процессе разгона на роликовом стенде инерционного типа. Параллельно с этим определялась, затрачиваемая мощность.

Мотор колесо 1000вт 48В (рисунок 5.2). Мощное мотор колесо от известного производителя Conhismotors. Также можете ознакомиться с нагрузочными графиками и параметрами мотора (рисунок 5.3) которые так же показаны в таблице 5.1.





Рисунок 5.2 – Мотор колесо электровелосипеда заднее 1000вт 48В  
 Conhismotor Direct Drive

График зависимости крутящего момента и мощности на ведущем колесе от частоты его вращения представлен на рисунке 5.3.

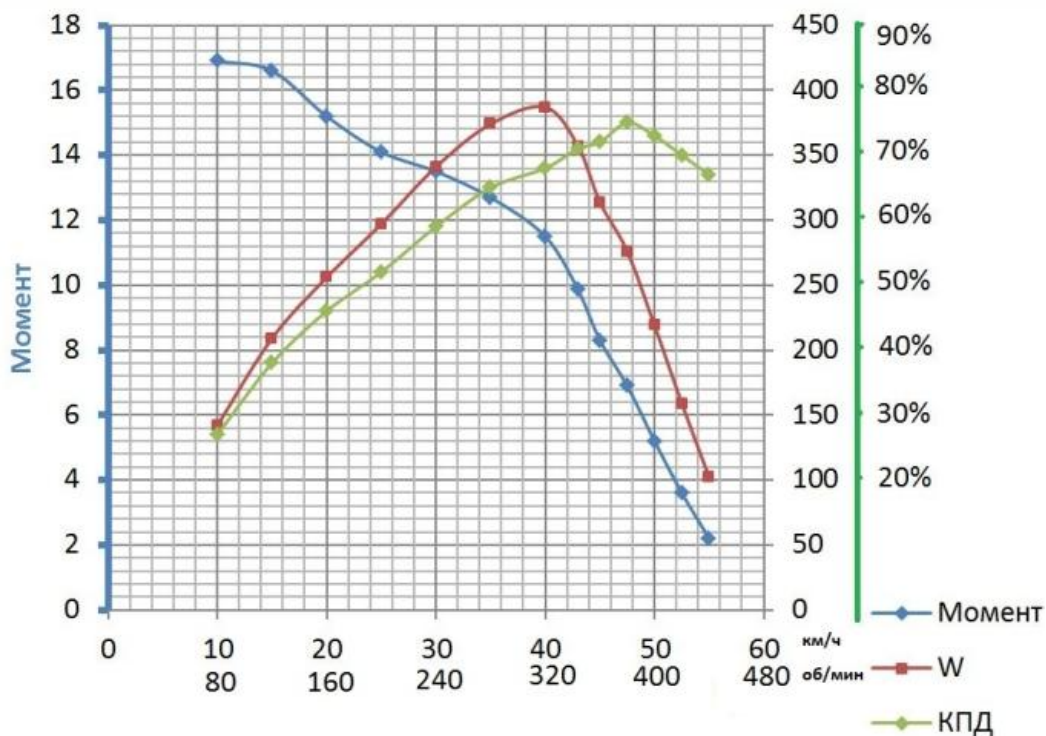


Рисунок 5.3 – Зависимость крутящего момента и эффективной мощности  
 мотор колеса

Испытание электровелосипеда и электро мотоцикла представлено на рисунке 5.4 и на рисунке 5.5 проводится в лабораторном кабинете на стенде ТЯГОВЫХ КАЧЕСТВ



Рисунок 5.4 – Определение мощности мотор колеса электровелосипеда по динамике разгона



Рисунок 5.5 – Определение мощности на ведущем колесе электрического мотоцикла по динамике разгона

Также изготовителем проведены испытания при различной фактической нагрузке. Как видно, мотор имеет отличный КПД в среднем и высоком диапазоне оборотов. Результаты измерений сведены в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты замеров механической и электрической мощностей мотор колеса

км/час	момент	W(Вт)	P(Вт)	КПД(%)	U(В)	I(А)
10	16,7	145	376	39	23,5	16
15	15,6	203	376	55	23,5	16
20	13,90	241	379	64	23,7	16
25	11,6	251	360	69	24	15
27	9,1	213	294	71	24,5	12
29	7,2	181	257	71	24,5	10,5
31,5	5	137	197	70	24,6	8
33	3,9	111	161	69	24,8	6,5
35	2,2	67	100	67	25	4

Магниты двигателя имеют ширину 30мм, скорость 50-60кмч на 48В в зависимости от размера обода, наличия режима 120% и других факторов, согласно наблюдениям, многих электровелосипедистов, и нашему опыту тоже. Мотор колесо для переделки велосипеда в электровелосипед имеет стандартные посадочные отверстия для тормозного диска и устанавливается в стандартный дропаут 135мм.

Мотор колесо в обновленном, менее заметном матовом корпусе. Это модель 2018 года выпуска. Фазные провода усилены на заводе. Вес колеса

составляет около 7 килограмм, что делает его одним из лидеров по соотношению веса и мощности. Мотор колесо оборудовано съемным кабелем в герметичном разъеме. Также этот мотор имеет оптимальное соотношение тяги и скорости. Мотор колесо комплектуется трещоткой shimano. Это мотор колесо позволит сэкономить, собрав его в обод самостоятельно.

Также настоятельно рекомендуем усилить раму в месте крепления мотор колеса, а также ограничить его мощность с помощью программируемого контроллера Infineon. При длительном движении на мощностях выше номинала необходимо контролировать температуру.

#### **5.4 Углубленная диагностика элементов гибридной силовой установки**

Если в процессе определения общего состояния транспортного средства делается заключение, что выходные параметры не соответствуют нормативным значениям - должна производиться углубленная диагностика элементов (рисунок 5.6), которые влияют на выходные параметры, определяемые в процессе его разгона на стенде инерционного типа. К ним относятся:

- аккумуляторная батарея с датчиками температуры
- электродвигатель с датчиками положения ротора
- контроллер с проводкой

Контроллер для электровелосипеда: функции и принципы его работы

Для запуска мотор-колеса, управления скоростью их вращения, и обеспечения контролируемой остановки применяются устройства, называемые контролерами.



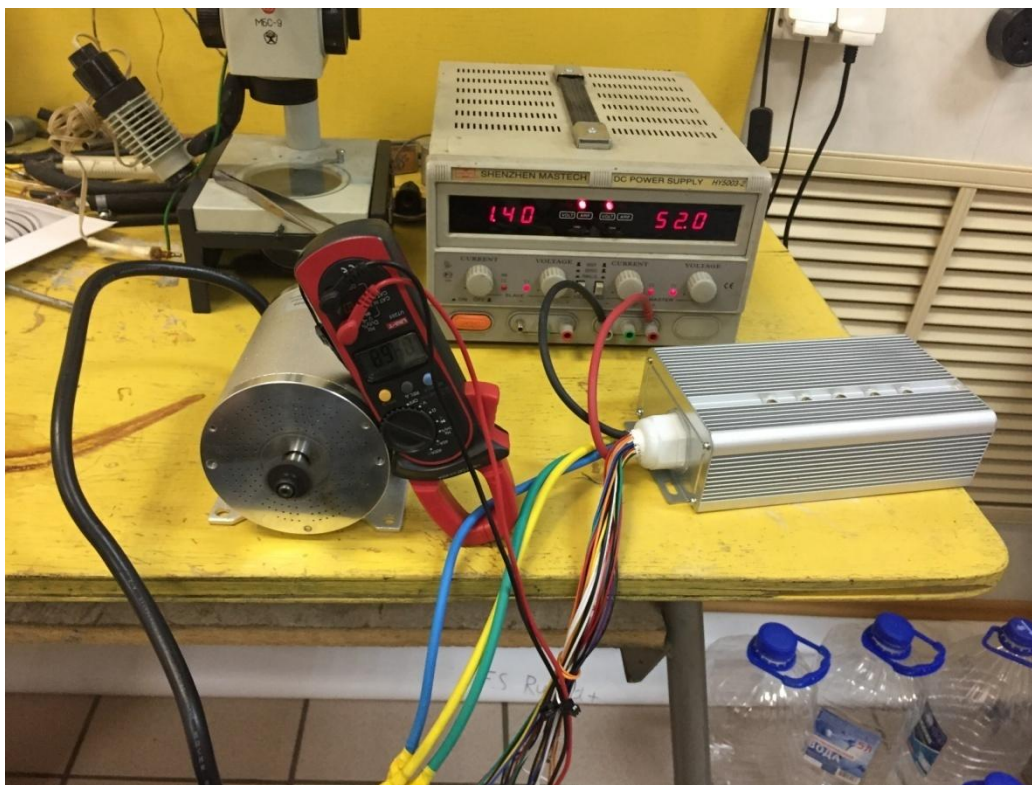


Рисунок 5.6 – Диагностика электродвигателя по току, потребляемому обмотками статора на режиме холостого хода

Контроллер – одна из главных составных частей бесперебойной работы Электровелосипед; это электронное устройство, отвечающее за работу мотор-колеса и управляющее ей. Контроллер выполняет функцию посредника между электромотором и рулевым управлением, он обеспечивает подачу токов к электродвигателю и электро комплектующим от аккумуляторов.

Принцип работы контроллера аналогичен мозговой деятельности. Первоначально контроллер воспринимает сигнал от электрооборудования, далее — анализирует принятую информацию, и в конечном итоге обеспечивает скоординированную работу электросистемы в соответствии с поставленными перед ним задачами. Контроллер использует широтно-импульсные модуляции для регулирования мощности мотор-колеса, обеспечивая точный контроль скорости и защищая электросистему от перенапряжения и перегрузки по току. Скорость вращения двигателя прямо зависит от амплитуды прилагаемого напряжения. Амплитуда сигнала, направляемого от контроллера к мотор-колесу, регулируется с помощью

широотно-импульсной модуляции (ШИП). Последовательность импульсов отображается изменением длительности сигнала, т.е. шириной импульса.

Контроллер предоставляет трехфазное электропитание велосипедного мотор-колеса, обеспечивает бесперебойное функционирование двигателя электровелосипеда.

При сборке электровелосипеда из комплектующих, следует брать во внимание, что компоненты велосипедного электронного набора должны иметь равную степень напряжения и мощности. Поэтому, нужно использовать только тот контроллер, который соответствует своим параметрам мощности электродвигателя. К контроллеру подключаются, как правило, все электрические комплектующие велосипедного набора. Многие модели контроллеров предполагают возможность подсоединения к ним, помимо стандартных электро комплектующих, также и охранной сигнализации. Контроллер электровелосипеда принимает сигналы от ручки акселератора, и на основе воспринятой информации управляет скоростью вращения мотор-колеса, регулируя ток, подаваемый к электродвигателю.

Принцип формирования руководящих сигналов для контроллера при управлении электровелосипедом довольно прост: при повороте ручки акселератора датчик Холла формирует управляющий сигнал для контроллера, на основании которого в последующем и происходит движение мотор-колеса с определенной частотой. Три датчика Холла мотор-колеса (SS41) обеспечивают обратную связь мотор-колеса с контроллером – они информируют контроллер о положении ротора, а также извещают его о необходимой периодичности подачи напряжения на электродвигатель. Воспринимая информацию от датчиков Холла о положении ротора, контроллер подает импульсы напряжения на обмотки статора, тем самым обеспечивая его вращение.

Контроллер, управляя работой электровелосипеда, обеспечивает:

- включение/выключение электроники,
- регулировку скорости вращения мотор-колеса,

- возможность ограничения скорости,
- круиз-контроль,
- возможность работы электродвигателя в трехскоростном режиме,
- функционирование системы рекуперативного торможения,
- поддержание тормозного момента электродвигателя,
- подключение и отображение на панели управления параметров работы электросистемы,
- реверс – обратный ход.

Основные, выполняемые контроллером функции управления работой электровелосипеда можно разделить на три группы:

- управление скоростью движения электровелосипеда,
- управление крутящим моментом,
- защита электродвигателя.

Электровелосипедный контроллер снижает уровень вибрации двигателя при старте, продлевая, таким образом, срок службы мотор-колеса. Благодаря возможностям контроллера можно регулировать не только скорость движения электровелосипеда, но и уровень регенерации энергии при торможении. В этом случае контроллер обеспечивает работу электродвигателя в качестве генератора энергии, создавая таким образом условия для частичного восстановления энергии батарей. Система рекуперативного торможения позволяет увеличивать пробег электровелосипеда от одного заряда аккумуляторных батарей, а также обеспечивает высокую энергетическую экономичность.

В основе функции рекуперативного торможения контроллера, положен электрический способ рекуперации кинетической энергии. Контроллер обеспечивает выполнение мотор-колесом функции рекуперации энергии при торможении и в момент движения электровелосипеда вниз по склону. При торможении велосипедное мотор-колесо начинает работать в генеративном режиме, в электродвигателе создается тормозной момент и вырабатывается

кинетическая энергия, которая запасается в аккумуляторных батареях, и используется в последующей работе электровелосипеда.

С целью повышения уровня безопасности водителя электровелосипеда на дороге, контроллер отключает мотор-колесо при торможении. Электровелосипедные контроллеры создают возможность регулирования скорости вращения мотор-колес в трехскоростном режиме. Благодаря функции круиз-контроля контроллера, при повороте ручки газа под определенным углом и удерживании её в данном положении в течении 8-10 секунд, электровелосипед набирает скорость и фиксирует её на определенном показателе до момента последующей регулировки скорости велосипедистом или же торможения. Иными словами, одной из функций контроллера является стабилизация частоты вращения мотор-колеса, благодаря чему велосипедисту не приходится постоянно пользоваться ручкой акселератора для поддержания определенного уровня скорости передвижения.

Контроллер обеспечивает оценку (мониторинг) уровня напряжения аккумуляторных батарей и отключает электронику, когда напряжение в батареях падает больше чем на 87,5 процентов с целью защиты аккумуляторов от чрезмерной разрядки. Для защиты FET транзисторов, контроллер электровелосипеда следит за их температурой и отключает мотор-колесо, если температура повышается выше допустимого уровня. В случае если на мотор-колесо подается слишком большой ток, контроллер уменьшает подачу тока. Внутри контроллер состоит из отдельных частей (например, конденсаторов, транзисторов и резисторов), поскольку электровелосипедный контроллер имеет дело с большими токами и напряжением. Максимальная частота вращения мотор-колеса обеспечивается благодаря установке в контроллере специального резистора.

Электровелосипедные контроллеры с каждым годом все больше и больше совершенствуются: увеличивается спектр их функциональных возможностей, уменьшаются их габаритные параметры. В последние годы



появились контроллеры, интегрированные в структуру электродвигателя, благодаря чему уменьшилось число внешних составных частей электровелосипеда, и, соответственно, количество проводов, проходящих через электровелосипед.

Конструкция электровелосипедных контроллеров очень надежна и прочна. Электронные схемы контроллеров устойчивы к вибрациям. Корпуса контроллеров, как правило, изготавливается из алюминиевого сплава, к тому же, в них обязательно обрабатываются соединительные места и область выхода наружу проводов специальным герметиком во избежание попадания внутрь корпуса воды или пыли.

Поскольку производители делают корпус контроллера непроницаемым, не стоит вскрывать его самостоятельно без веских на то причины, поскольку вряд ли вы сможете потом так же герметично его запечатать, и сделаете, таким образом, его более восприимчивым к попаданию воды в дождливый погоду. Поэтому, в случае каких-либо изменений в работе электроники контроллера, лучше проконсультируйтесь со специалистом о возможных способах устранения неисправностей или же обратитесь в специализированный сервисный центр.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из важнейших проблем является снижение влияния токсичных компонентов в продуктах сгорания углеводородного топлива на окружающую среду. Выше сказанное свидетельствует о необходимости применения в конструкции автомобилей современных технологий, заменяющих обще доступные в настоящее время источники энергии или позволяющих снизить использование в двигателях внутреннего сгорания бензина и дизельного топлива.

Одним из направлений, позволяющих снизить потребление углеводородного топлива является использование автомобилей с электромеханическим приводом.

Увеличение количества автомобилей с ГСУ связан с ужесточением в последнее время экологических требований, а также постоянным ростом цен на горюче-смазочные материалы. Кроме того, в Евросоюзе рассматривают проект закона, который к 2050 году вносит запрет на продажу углеводородного топлива и использование автомобилей с двигателями внутреннего сгорания городах.

В скором времени увеличится количество продаваемых автомобилей с гибридной силовой установкой. Это повышает актуальность исследований надежности этих автомобилей, разработки методов диагностики силовых генераторных установок и электропривода. Одновременно повышаются требования к методам, оборудованию и технологиям обеспечения работоспособности выше перечисленных автомобилей в процессе эксплуатации.

В настоящее время техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств на станциях технического обслуживания и автотранспортных предприятиях выполняется в соответствии с руководящим документом РД 37.009.026-92 "Положение о техническом обслуживании и ремонте автотранспортных средств, принадлежащих гражданам (легковые и

грузовые автомобили, автобусы, минитрактора)" утвержденным ещё в ноябре 1992 г. Поэтому в нем отсутствует информация по нормам автомобилей с гибридной силовой установкой. В технических регламентах отсутствует информация по методам определения технического состояния агрегатов с электромеханической трансмиссией. Имеющейся литературы недостаточно для выполнения качественного обслуживания и ремонта автомобилей с гибридными силовыми установками. Ведущие производители выше перечисленных автомобилей не заинтересованы в организации их обслуживания вне дилерских центров и предоставлении информации о методах определения технического состояния электромеханической трансмиссии и накопителя электрической энергии.

В процессе использования в связи износом деталей автомобилей снижением эффективности аккумуляторных батарей затраты на их содержание увеличиваются даже если вовремя и качественно проводить диагностику и техническое обслуживание. Однако, в связи с отсутствием нормативной документации и современных методов диагностики ГСУ на отечественных станциях технического обслуживания качество работ выполняемых с гибридными автомобилями существенно отстает от мирового уровня.

Разработка методов диагностики, позволяющих определять не только общее состояние транспортного средства, но и неисправности отдельных его агрегатов и систем существенно снизит трудоемкость выявления неисправных элементов и повысит эффективность эксплуатации гибридных автомобилей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. «О Транспортной стратегии Российской Федерации» [Электронный ресурс] Распоряжение Правительства РФ от 22.11.2008 N 1734-р (ред. от 12.05.2018) – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=297899&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.9808061509001043#03921691969460894>

(дата обращения: 25.05.2019).

2. "Об утверждении Правил перевозок грузов автомобильным транспортом" [Электронный ресурс] Постановление Правительства РФ от 15.04.2011 N 272 (ред. от 12.12.2017, с изм. от 22.12.2018) – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=285139&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.49102596724480474#08438536515436781>

(дата обращения: 25.05.2019).

3. "Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта" (последняя редакция) [Электронный ресурс] Федеральный закон N 259-ФЗ от 08.11.2007 – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=310119&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.28735546255247035#01976566331281986>

(дата обращения: 25.05.2019).

4. "О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля" (последняя редакция) [Электронный ресурс] Федеральный закон № 294-ФЗ от 26.12.2008 – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=322595&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.9539020393827844#07569799523793483>

(дата обращения: 25.05.2019).

5. «О Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года» [Электронный ресурс] Распоряжение Правительства РФ № 1662-р от 17.11.2008 (ред. от

28.09.2018)

–

URL:

<http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=308069&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.6512588699854689#06795633173612485>

(дата обращения: 25.05.2019).

6. "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом" [Электронный ресурс]. Приказ Ростехнадзора от 20.11.2017 № 488 – URL:

<http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=290975&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.17020175891755196#04034829398333266>

(дата обращения: 25.05.2019).

7. «Энциклопедия по экономике» [Электронный ресурс]. – URL: <https://economy-ru.info/info/135409/> (дата обращения: 25.05.2019).

8. Сайт АО «Самаранефтегаз» [Электронный ресурс]. – URL: [https://samng.rosneft.ru/about/Glance/OperationalStructure/Dobicha\\_i\\_razrabotka/Centralnaja\\_Rossija/samng/](https://samng.rosneft.ru/about/Glance/OperationalStructure/Dobicha_i_razrabotka/Centralnaja_Rossija/samng/) (дата обращения: 25.05.2019).

9. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды (с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5) [Электронный ресурс]. ГОСТ 15150-69. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003320> (дата обращения: 25.05.2019).

10. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP) (с Поправкой) [Электронный ресурс]. ГОСТ 14254-2015. (IEC 60529:2013) – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200136066> (дата обращения: 25.05.2019).

11. Средства и системы охранное телевизионные. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний. [Электронный ресурс]. ГОСТ Р 51558-2014. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200113776> (дата обращения: 25.05.2019).

12. ОР-33.160.00-КТН-152-14 Об организации работ по видеофиксации рабочей зоны – Введ. 2018–01–01. – АО «Самаранефтегаз», 2018. – 29 с.

13. "Об информации, информационных технологиях и о защите информации" [Электронный ресурс]. Федеральный закон № 149-ФЗ от 27.07.2006 (ред. от 18.03.2019) – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?rnd=AC54815F4D843BF5A5286BBB872010DA&req=doc&base=LAW&n=320457&dst=100168&fld=134&stat=refcode%3D16876%3Bdstident%3D100168%3Bindex%3D0#19twwd2aamc> (дата обращения: 26.05.2019).

14. "О Правилах дорожного движения" (вместе с "Основными положениями по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения") [Электронный ресурс]. Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 N 1090 (ред. от 04.12.2018) – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=312940&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.48905727684045996#0665280372910038> (дата обращения: 26.05.2019).

15. "Об утверждении требований к средствам аудио- и видеофиксации и порядка их использования при проведении проверок в ходе аттестации сил обеспечения транспортной безопасности в сфере дорожного хозяйства, автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта" (Зарегистрировано в Минюсте России 04.07.2016 N 42748) [Электронный ресурс]. Приказ Росавтодора от 04.04.2016 N 518 – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=201017&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.8556910820171963#039218166448052916> (дата обращения: 26.05.2019).

16. «Разъяснения по порядку использования результатов оценки уязвимости объектов транспортной инфраструктуры при разработке планов

обеспечения транспортной безопасности» [Электронный ресурс]. Письмо Минтранса России от 15.02.2017 № 11-05/2808-ИС – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=215700&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.915166643480769#036760011939221693>

(дата обращения: 26.05.2019).

17. «Об отражении в учете расходов на приобретение и эксплуатацию технических средств автоматизированной системы фото и видеофиксации нарушений правил дорожного движения» [Электронный ресурс]. Письмо Минфина России от 10 ноября 2016 г. N 02-05-11/65892– URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71458048/> (дата обращения: 26.05.2019).

18. Молодцов, В. А. Безопасность транспортных средств : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Технология транспортных процессов» (профили подготовки : «Организация и безопасность движения», «Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий») / В. А. Молодцов. –Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», Тамбов, 2013. – 236 с.

19. «О безопасности колесных транспортных средств» [Электронный ресурс]. Технический регламент Таможенного союза № ТР ТС 018/2011: сайт Евразийской экономической комиссии. – 2012 – URL: <http://www.tsouz.ru/db/techreglam/Documents/TR%20TS%20KolesnTrS.pdf>. (дата обращения: 26.05.2019).

20. Левиков, Г.А. Краткий толковый словарь по логистике, транспорту и экспедированию. Русско-английский и англо- русский / Г.А. Левиков. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2012. - 304 с.

21. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей : учебник для вузов/ Е.С.Кузнецов, А.П.Болдин, В.М.Власов и др.. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Наука, 2004. — 535 с.



22. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов/ Под ред. Г. В. Крамаренко. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1983. — 488 с.
23. Межгосударственный стандарт. Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки" (введен в действие Приказом Росстандарта от 18.07.2017 N 708-ст) [Электронный ресурс]. ГОСТ 33997-2016. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=294563&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.7823332111081864#0067846311688877> (дата обращения: 26.05.2019).
24. "О персональных данных" [Электронный ресурс]. Федеральный закон от 27.07.2006 N 152-ФЗ (последняя редакция) – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=286959&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.49983538217450096#016022103355644268> (дата обращения: 26.05.2019).
25. Xiaoxi, Liu. Keyframe-Based Vehicle Surveillance Video Retrieval / Xiaoxi Liu , Ju Liu, Lingchen Gu, Yannan Ren // International Journal of Digital Crime and Forensics (IJDCF) 10(4), Pages: 10, DOI: 10.4018/IJDCF.2018100104 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.igi-global.com/article/keyframe-based-vehicle-surveillance-video-retrieval/210136> (дата обращения: 26.05.2019).
26. Chernitsyn, S.A. Increase of efficiency of operation of vehicles by forecasting of requirement for spare parts / Chernitsyn S.A., Kovalev R.N., Stepanov A.S. // Scientific journal Fundamental research. – 2014. – № 6 (part 7) – P. 1361-1364 [Электронный ресурс]. – URL: <https://fundamental-research.ru/en/article/view?id=34341> (дата обращения: 26.05.2019).
27. Šarkan, B. Possibilities of measuring the brake specific fuel consumption in road vehicle operation / Šarkan B., Skrúcaný T., Majerová Z. // International Scientific Journals «Machines. Technologies. Materials». - Vol. 8 (2014), Issue 5, pg(s) 19-21.

28. István, Lakatos. Introduction of video surveillance systems in the performance of earthworks tracked vehicles / István Lakatos // International Scientific Journals «Machines. Technologies. Materials». - Vol.5 (2018), Issue 2, pg(s) 36-42.

29. Zhuang, Miao. Intelligent Video Surveillance System Based on Moving Object Detection and Tracking / Zhuang Miao, Shan Zou, Yang Li, Xiancai Zhang // The world's research. November 2016, pg(s) 494-502. DOI: 10.12783/dtetr/iect2016/3765 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/313885667\\_Intelligent\\_Video\\_Surveillance\\_System\\_Based\\_on\\_Moving\\_Object\\_Detection\\_and\\_Tracking](https://www.researchgate.net/publication/313885667_Intelligent_Video_Surveillance_System_Based_on_Moving_Object_Detection_and_Tracking) (дата обращения: 26.05.2019).

30. Chung-Hao, Chen. A novel performance evaluation paradigm for automated video surveillance systems / Chung-Hao Chen, Yi Yao, Andreas Koschan, Mongi Abidi // Central European Journal of Computer Science. December 2011, Volume 1, Issue 4, pp 430–441 [Электронный ресурс]. – URL: <https://link.springer.com/article/10.2478/s13537-011-0030-0> (дата обращения: 26.05.2019).