

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования

«ЮЖНО–УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(национальный исследовательский университет)

Политехнический институт

Факультет «Автотранспортный»

Кафедра «Колёсных и гусеничных машин»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

главный конструктор ООО «ДСТ-УРАЛ»

\_\_\_\_\_ А. А. Танин-Шахов

\_\_\_\_\_ 2019

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ В.Н. Бондарь

\_\_\_\_\_ 2019

Проект автомобиля с гибридной силовой установкой и исследование его  
динамики

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ-23.04.02.2019.037 ПЗ ВКР

Консультанты (должность)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Руководитель

к.т.н. доцент

\_\_\_\_\_ В.А. Козьминых

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Автор работы

студент группы П-206

\_\_\_\_\_ /Д.О. Кувалдина/

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Нормоконтролер (должность)

к.т.н. доцент

\_\_\_\_\_ /В.И. Дуюн/

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Челябинск 2019

## АННОТАЦИЯ

Кувалдина Д.О. Проект автомобиля с гибридной силовой установкой и исследование его динамики. – Челябинск: ЮУрГУ, АТ; 2019, 86 с. 44 – ил., 11 – табл., библиогр. список – 23 наим., 1 прил., 16 демонстрационных листов ф. А4

Ключевые слова: гибридная силовая установка, тягово-динамический расчет, топливно-экономические свойства.

В работе произведен обзор тенденций развития автомобиля с ГСУ, обзор существующих методик оценки тягово-динамических и топливно-экономических свойств автомобиля.

Разработана методика оценки тягово-динамических и топливно-экономических свойств, применимая к автомобилям с гибридными силовыми установками.

Произведены расчеты автомобилей с различными силовыми установками, показавшие целесообразность применения гибридной силовой установки на автомобилях.

Представлен разработанный проект автомобиля с ГСУ, состоящий из двигателя внутреннего сгорания (ДВС) мощностью 56 кВт и электрической машины (ЭМ) мощностью 9 кВт с измерительным комплексом для проведения экспериментальных исследований.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСА.....	8
1.1 История создания автомобилей с ГСУ.....	8
1.2 Схема взаимодействия работы электродвигателя и ДВС.....	11
1.2.1 Последовательная схема взаимодействия.....	11
1.2.2 Параллельная схема взаимодействия.....	13
1.2.3 Последовательно–параллельная схема взаимодействия.....	14
1.3 Обзор мировых устройств.....	15
1.4 Преимущества и недостатки гибридных автомобилей.....	17
1.5 Методики оценки динамических характеристик автомобиля с ГСУ.....	19
1.6 Топливная экономичность.....	21
1.7 Ездовые циклы.....	22
Выводы по разделу один.....	25
2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА АВТОМОБИЛЯ С ГСУ.....	26
2.1 Методика тягово-динамического расчета автомобилей с ГСУ..	26
2.1.1 Методика расчета ГСУ последовательной схемы.....	26
2.1.2 Методика расчета ГСУ параллельной схемы.....	29
2.2 Методика топливно-экономического расчета автомобилей с ГСУ..	31
Выводы по разделу два.....	40
3 РАСЧЕТ ТЯГОВО-ДИНАМИЧЕСКИХ И ТОПЛИВНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ.....	41
3.1 Тягово-динамический расчет автомобиля.....	41
3.1.1 Определение полной массы автомобиля.....	41
3.1.2 Подбор колеса и шин.....	41
3.1.3 Выбор максимальной мощности силовой установки.....	43
3.1.4 Выбор ДВС и построение внешней скоростной	

характеристики.....	44
3.1.5 Выбор ЭМ и построение внешней скоростной характеристики.....	47
3.1.6 Расчет согласующего редуктора и построение внешней скоростной характеристики ГСУ.....	50
3.1.7 Определение передаточных чисел.....	52
3.1.8 Расчет тягово-динамических показателей.....	52
3.1.9 Расчет ускорения.....	54
3.1.10 Определение времени, пути и разгона.....	60
3.2 Топливо-экономический расчет автомобиля.....	65
Выводы по разделу три.....	71
<b>4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЯ С ГСУ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА.....</b>	<b>72</b>
4.1 Выбор компонентов и кинематической схемы ГСУ для разрабатываемого автомобиля.....	72
4.2 Конструктивные особенности предлагаемой ГСУ.....	73
4.3 Объект исследования.....	75
4.4 Оцениваемые характеристики.....	75
4.5 Состав и технические характеристики измерительного комплекса.....	76
4.5.1 Аналогово-цифровой преобразователь LA-50USB.....	76
4.5.2 K-LINE ОРИОН (USB-OBD II).....	78
4.5.3 Инерциальный измерительный блок CHR-6d.....	81
Выводы по разделу четыре.....	82
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>83</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>84</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>87</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А. Данные о движении автомобиля с ГСУ.....</b>	<b>87</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом сегодня очень актуальна. На его долю приходится около 40% всех выбросов в атмосферу. В крупных городах этот показатель достигает 60 – 80%. В автомобилях используется также множество эксплуатационных жидкостей, необходимых для работы силового агрегата, в частности смазочных материалов, с утилизацией которых возникают проблемы. Отработавшие масла зачастую сжигают, загрязняя атмосферу, или попросту сливают прямо на землю, нанося значительный вред почвенному покрову.

Так же остро стоит проблема истощения нефтяных ресурсов. При нынешних темпах потребления по различным прогнозам, её хватит примерно на 90 – 110 лет.

Крупные производители автомобилей видят решение этих проблем в переходе на альтернативные источники энергии, и уменьшении доли работы бензиновых и дизельных двигателей в автомобиле, за счет применения совместно с ним электродвигателей (гибридные силовые узлы).

В современном мире гибридные автомобили набирают все большую популярность. У многих автопроизводителей уже есть гибридный автомобиль собственной разработки, а некоторые производители могут похвастаться целой линейкой гибридных силовых установок и автомобилей, использующих такие установки

Гибридный автомобиль это – высокоэкономичный автомобиль, движимый системой «электродвигатель – двигатель внутреннего сгорания» (далее двигатель), питаемой как горючим, так и зарядом электрического аккумулятора. Главное преимущество гибридного автомобиля – снижение расхода топлива и вредных выхлопов. Это достигается полным автоматическим управлением режима работы системы двигателей с помощью бортового компьютера, начиная от своевременного отключения двигателя во время остановки в транспортном потоке, с возможностью продолжения движения без его запуска, исключительно

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

на энергии аккумуляторной батареи, и заканчивая более сложным механизмом рекуперации – использования электродвигателя как генератора электрического тока для пополнения заряда аккумуляторов.

Для разработки проекта автомобиля с гибридной силовой установкой требуется доработка методики оценки его динамических и топливно-экономических свойств.

**Цель исследования** – оценка тягово-динамических и топливно-экономических свойств автомобиля с ГСУ.

**Задачи исследования:**

- 1) Разработать методику расчета тягово-динамических и топливно-экономических показателей с ГСУ с учетом особенностей его компонентов и условий работы.
- 2) Провести численный расчет по разработанной методике.
- 3) Разработать проект автомобиля с ГСУ и измерительного комплекса для оценки адекватности разработанной методики.

В работе произведен обзор тенденций развития автомобиля с ГСУ, обзор существующих методик оценки тягово-динамических и топливно-экономических свойств автомобиля. Разработана методика их оценки для применения к автомобилю с ГСУ. Произведен расчет различных автомобилей по разработанной методике. Представлен разработанный проект автомобиля с ГСУ, состоящий из двигателя внутреннего сгорания (ДВС) мощностью 56 кВт и электрической машины (ЭМ) мощностью 9 кВт с измерительным комплексом.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

# 1 ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСА

## 1.1 История создания автомобилей с ГСУ

Изобретение гибридных автомобилей (Hybrid Electric Vehicles, HEV) было одним из шагов автопроизводителей и послужило для осуществления двух стратегий – экономии топлива и удовлетворению растущего спроса на менее загрязняющих окружающую среду автомобилей. Бензиновые автомобили при эксплуатации создают проблему высокой цены топлива для клиентов, для электрических автомобилей (Electric Vehicles, EV) необходимы высокие начальные инвестиции для производителей и потребителей.

В этой ситуации автопроизводители изобрели гибридные автомобили, работающие на бензине и на электричестве (электрический двигатель).[1]

Несколько лет назад большинство людей верили, что «экологически чистый электрический автомобиль», в конечном счете, заменит автомобили с двигателями внутреннего сгорания и таким образом будут решены все наши проблемы, связанные с выбросами отработавших газов и риском исчезновения жидких видов топлива.

Люди, имевшие отношение к автомобилям, представляли себе, что они будут получать энергию от батарей, которые будут перезаряжаться всякий раз, когда разрядятся. Это была простая точка зрения, которая игнорировала один фактор: энергия для перезарядки должна быть получена от конкретной электростанции, и если она сжигает твердое топливо, лучшее из того, что может произойти, – это то, что загрязнение передается от того места, где ездят автомобили, в место, где находится электростанция.

Прототипы гибридных авто электромобили появились еще в середине XIX века. Самый первый из них, который использовал в качестве движущей силы электрическую энергию, в 1839 г. сконструировал шотландец Роберт Андерсон. В 1905 г. бельгиец Генри Пайпер запатентовал гибридную схему для авто, которая предусматривала использование электромотора наряду с бензиновым двигателем.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Вторым гибридным устройством был Lohner Electric Chaise (рисунок 1), созданный немцем Фердинандом Порше.

По одной версии Chaise приводилась в движение несколькими электрическими моторами и двигателем внутреннего сгорания с генератором, производившим это электричество. По другой – автомобиль работал от перезаряжаемой 44-элементной батареи. Заряда батареи хватало на 65 км пути. Машина двигалась хоть и медленно, но почти бесшумно.

Предпосылками возвращения гибридных автомобилей в конце 60-х годов было начало работ по рекуперации энергии во время торможения на электро-мобилях и гибридных автомобилях. Большим толчком стали нефтяные кризисы 70-х годов и появление методик оценки токсичности и экономичности транспортных средств. Было разработано большое количество гибридных концепт-каров многочисленными автопроизводителями. Но после завершения периода нефтяных кризисов интерес к гибридным автомобилям вновь уменьшился.

В конце 90-х годов несколькими из всемирно известных, крупных производителей автомобилей были приложены определенные усилия, чтобы организовать автомобильный рынок электрических автомобилей. Существенной причиной для их развития стало законодательное ужесточение экологических норм – появление в правилах для европейского рынка ЕЭК ООН №83 стандарта Евро-1, а в последующем и более жесткого Евро-2. Данные стандарты определяли норму содержания углеводородов в выхлопных газах 2,72 г/км и 0,29 г/км соответственно. А для американского рынка – появление стандарта LEV (Low emission vehicle) [15].

В западной Германии появились европейские гибридные автомобили производства Volkswagen. Концерн Toyota серьезно занялся разработкой максимально экономичных автомобилей с низкими показателями загрязнения окружающей среды.

Сейчас понятно, что эти усилия потерпели неудачу, частично из-за ограниченного запаса энергии всех аккумуляторов электрических транспортных

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



средств, но главным образом потому, что сами аккумуляторные батареи оказались очень дорогими в производстве и имели слишком маленький ресурс до необходимости их замены.

Некоторые исследователи также подвергали сомнению улучшение экологии в том случае, если большинство транспортных средств в мире будут электрическими, потому что производство (и переработка) батарей связаны с применением огромного количества недружелюбных металлов, таких, как свинец и кадмий.

Однако это не означает конец развития электрического автомобилестроения. Хотя вероятно что, они сохранятся только для выполнения специальных задач, подобно организации коммерческих поставок в городских центрах. Более правильно будет считать электрическим автомобилем тот, чьи колеса приводятся в действие электроэнергией, и затем уже разделить такие транспортные средства на три типа, к первому из которых принадлежит простой аккумуляторный электромобиль.

Первая альтернатива – автомобиль, в котором двигатель внутреннего сгорания приводит в действие генератор, который, в свою очередь, производит электроэнергию для привода колес. Это «гибридное» электрическое транспортное средство или HEV (Hybrid Electric Vehicle). Наконец, имеется транспортное средство, возможно, с самым ярким будущим, но в отдаленной перспективе, в котором электроэнергия обеспечивается топливным элементом. Мы можем называть такие транспортные средства FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle).

Очень похоже, что в течение следующей половины столетия автомобили на топливных элементах постепенно станут стандартным типом легкового автомобиля, а гибридные помогут сгладить переходный период. Двигатель внутреннего сгорания, в конечном счете, станет устаревшим и старомодным, и мы будем смотреть на него так, как мы сейчас смотрим на двигатель паровоза, в то время как небольшое количество аккумуляторных электромобилей будет

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

двигаться по технологическим маршрутам, которые не будут слишком далеки от мест их подзарядки.

## 1.2 Схемы взаимодействия работы электродвигателя и ДВС

В литературе различают большое количество разновидностей схем гибридных силовых установок в зависимости от взаимодействия двух видов энергии компонентов гибридной силовой установки между собой [23]. Но в целом их можно разделить на две группы.

Последовательную схему, в которой отсутствует механическая связь между электрической машиной и двигателем внутреннего сгорания, а присутствует электрическая. И параллельную, в которой электрическая машина и двигатель внутреннего сгорания имеют механическую связь между собой.

### 1.2.1 Последовательная схема взаимодействия

Последовательная схема является идеологическим продолжением развития электромобиля за счет оснащения его генераторной установкой для увеличения запаса хода.

При последовательной схеме взаимодействия источников энергии для привода автомобиля используется только электрическая машина (рисунок 2). Двигатель внутреннего сгорания, в свою очередь, вращает генератор, который вырабатывает электрическую энергию для питания электрической машины и заряда накопителей энергии. Последовательная схема гибридной силовой установки является смысловым продолжением электромеханической трансмиссии, а также классического электромобиля, отличаясь от них наличием накопителя энергии, заряжаемого генераторной установкой на основе двигателя внутреннего сгорания.

Преимуществом последовательной схемы является простейшая механическая трансмиссия, в которой отсутствует коробка переключения передач, и присутствует лишь главная передача, необходимая для согласования частоты вращения вала электрической машины и ведущих колес. Это обусловлено

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

внешней скоростной характеристикой электрической машины, максимально приближенной к тяговой характеристике автомобиля. Помимо этого, работа двигателя внутреннего сгорания в составе генераторной установки с постоянной частотой вращения и нагрузкой, позволяет ему работать в зоне максимальной эффективности. Последовательная схема характеризуется относительно простой системой управления.

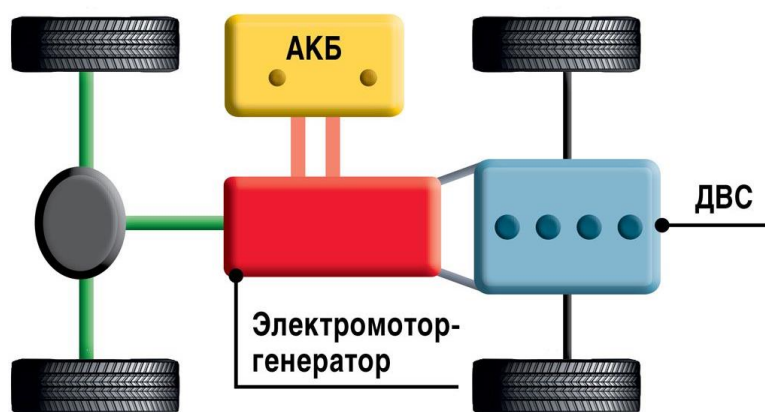
Недостатком данной схемы является тройное преобразование энергии в силовой установке, что уменьшает ее КПД в целом. Наличие трех преобразователей энергии увеличивает стоимость и вес силовой установки. Кроме того, такая схема требует наличия накопителя электрической энергии большой емкости.

Такая конструкция используется в модели BMW i3 REx, спорткупе Cadillac ELR и Chevrolet Volt 2015 модельного года, а также в автобусах с гибридными силовыми установками, например Toyota Coaster Hybrid.

### 1.2.2 Параллельная схема взаимодействия

Параллельная схема, в свою очередь является следующей ступенью развития автомобилей с двигателем внутреннего сгорания, где электрическая машина служит помощником для ДВС (рисунок 3).

Параллельная схема объединяет многообразие разновидностей взаимодействия компонентов гибридной силовой установки, общей чертой которых является возможность использования двух источников энергии для привода ведущих колес как вместе, так и по отдельности.



К преимуществу параллельной схемы можно отнести возможность использования одного электродвигателя малой мощности и одного двигателя внутреннего сгорания меньшей мощности, за счет использования двух двигателей для привода транспортного средства. Такая схема предусматривает наличие относительно небольшого накопителя энергии. Совокупность этих преимуществ обеспечивает меньшую стоимость силовой установки в целом, по сравнению с последовательной схемой.

Из недостатков параллельной схемы можно выделить сложность системы управления, которая должна обеспечить согласование работы электрической машины и двигателя внутреннего сгорания. Кроме этого, происходит усложнение традиционной трансмиссии согласующими устройствами.

### 1.2.3 Последовательно-параллельная схема взаимодействия

Название этой схемы указывает на то, что данный тип – это вариант совмещения двух ранее рассмотренных схем: последовательной и параллельной. Движение автомобиля на низкой скорости и его старт с места осуществляется только за счет силы электрической части. ДВС поддерживает работу генератора авто, как при последовательной схеме взаимодействия. Передача крутящего момента от ДВС на колеса происходит при движении на большой скорости.

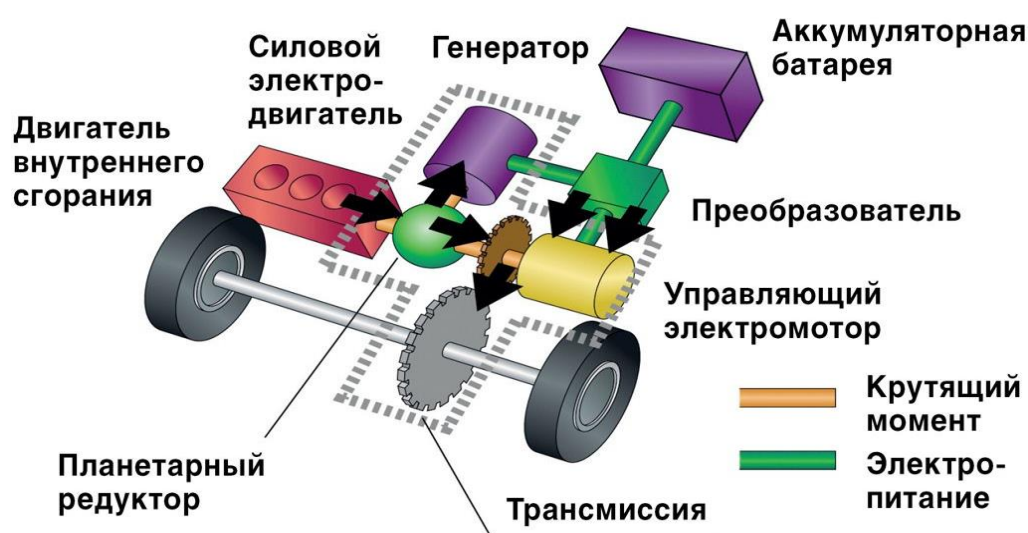


Рисунок 4 – Последовательно-параллельная схема

При высоких нагрузках, требующих повышенной мощности, генератор автомобиля может не выдать нужное количество энергии, и в таком случае электродвигатель питается дополнительно от аккумулятора, как при параллельной схеме взаимодействия.

В данной схеме предусмотрен дополнительный генератор, он подзаряжает АКБ. Электродвигатель необходим только для привода ведущих колес и для обеспечения рекуперативного торможения.

Часть крутящего момента, переходящая от двигателя внутреннего сгорания, уходит на ведущие колеса, а некоторая его часть – для работы генератора, который в свою очередь питает электродвигатель и заряжает АКБ.

За направление крутящего момента на колеса, генератор или электродвигатель и его соотношении отвечает планетарный механизм – распределитель мощности. Регулировкой подачи мощности из генератора и батареи занимается электронный блок управления автомобиля.

Неоспоримым плюсом данной схемы гибрида является его большая экономичность топлива в сочетании с хорошими мощностными характеристиками. Ценители природы оценят ее экологичность.

Среди отрицательного – более сложная конструкция по сравнению с предыдущими схемами, и как следствие, большая цена. Поскольку необходим дополнительный генератор, емкая АКБ и сложная электронная схема управления.

### 1.3 Обзор мировых устройств

Каждая рассмотренная выше схема нашла свое применение в опытном образце или серийной модели автомобиля с ГСУ. Рассмотрим наиболее распространенные и удачные из них.

К ярким представителям последовательной схемы можно отнести автомобили Lohner-Porsche, Chevrolet Volt.

Прародитель современных автомобилей с последовательной схемой ГСУ считается автомобиль фирмы Lohner-Porsche, разработанный Фердинандом

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Порше в 1901 г. Изначально это был электромобиль, оборудованный мотор-колесами. В последующем для увеличения запаса хода на него были установлены бензогенераторные установки, питающее мотор колеса и подзаряжающие аккумуляторы. Первая модификация получила название «Semper Vivus». Она была оснащена двумя двигателями внутреннего сгорания мощностью 1,85 кВт, вращающими два генератора. Они, в свою очередь, питали тяговые электродвигатели мотор-колес мощностью 2 кВт и подзаряжали накопители энергии. Автомобиль развивал максимальную скорость 35 км/ч и имел запас хода 200 км. За 5 лет было выпущено несколько моделей автомобиля, из которых в серийное производство пошла модель под названием «Mixte», их было продано 17 штук [22].

Представителем современной последовательной схемы является автомобиль Chevrolet Volt. Он оснащен электродвигателем мощностью 120 кВт с крутящим моментом 320 Нм, литий-ионными аккумуляторами мощностью 16,5 кВт. Время зарядки аккумуляторов от сети составляет 3 часа. Ускорение автомобиля до скорости 100 км/час происходит за 8,0 сек., максимальная скорость – 190 км/ч. Он оснащен генераторной установкой на основе 3 цилиндрового двигателя внутреннего сгорания мощностью 53 кВт, объемом 1 литр. Топливный бак автомобиля – 45 литров. Этого топлива и полной зарядки аккумуляторов достаточно для пробега 1000 км.

Из автомобилей, использующих параллельную схему, можно выделить получившие наибольшее распространение и являющиеся самыми массово производимыми Toyota Prius и Honda Insight.

Toyota Prius – самый продаваемый в мире гибридный автомобиль, поступил в продажу в 1997 году и сразу получил большую популярность среди потребителей. Его последнее поколение оснащено бензиновым двигателем объемом 1,8 литра мощностью 73 кВт, двумя мотор-генераторами суммарной мощностью 60 кВт и рабочим напряжением 650 В, соединенных планетарной передачей (скоростной муфтой). Емкость накопителя энергии составляет 1,3 кВтч. Суммарная выходная

мощность силовой установки в 100 кВт разгоняет автомобиль до 100 км/ч за 10 секунд. Расход топлива составляет 4,7 л на 100 км в комбинированном цикле US EPA[18].

Honda Insight является прямым конкурентом Toyota Prius. Первое поколение автомобиля по сегодняшний день возглавляет рейтинг US EPA как самый экономичный автомобиль с двигателем внутреннего сгорания. Последнее поколение автомобиля оснащено двигателем внутреннего сгорания объемом 1,3 литра мощностью 73 кВт. Его помощником на низких оборотах является электрический мотор мощностью 10 кВт, крепящийся на хвостовике коленчатого вала и питающийся от накопителя энергии емкостью 0,58 кВт ч. Силовая установка оснащена вариативной трансмиссией и разгоняет автомобиль до 100 км/ч за 10,3 сек. Расход топлива несколько увеличился и составил 5,6 л на 100 км в комбинированном цикле US EPA[21].

#### 1.4 Преимущества и недостатки гибридных автомобилей

##### Преимущества.

Главное преимущество гибридных автомобилей – это пониженное потребление топлива. Поскольку во время разгона машина вовсе не потребляет бензина, то в городском цикле экономия топлива составляет 25 – 35%. На одном только электроприводе гибрид эконом-класса может проехать до 80 км, а разогнаться до 50 – 60 км/ч. Такие показатели позволяют уменьшить почти на треть количество заездов на заправку. В режиме загородной трассы этот показатель достигает половины заездов. А это, помимо значительной экономии топлива, приводит к сокращению времени в пути. К примеру, на одном 45-литровом баке гибридной Toyota Prius можно проехать до 1000 км.

Во-вторых, за счет того, что в авто, по сути, два двигателя, для достижения мощности негибридного аналога достаточно установить менее мощный бензиновый мотор. Как правило, экономия достигает 30 – 50% от мощностей традиционной модификации. Например, мощность двухлитрового автомобиля

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

достигается в гибриде за счет работы 1,5-литрового мотора на пару с электродвигателем, коэффициент полезного действия которого составляет 90 – 95%. Сумма этих факторов приводит к тому, что гибридный автомобиль среднего класса потребляет не более 5 – 6 л/100 км в городском режиме, в то время как его негибридный собрат выходит в среднем на 11 – 12 л/100 км. Естественно, снижение потребления влечет за собой уменьшение выбросов вредных веществ в атмосферу. Гибриды выбрасывают в атмосферу на 90% меньше сажи и углеводородов, а оксидов азота – на 50%. Но подобный эффект достигается только при «среднестатистической» эксплуатации автомобиля, то есть на скорости не выше 70 – 80 км/ч в городском режиме и не более 120 – 130 км/ч на трассе.

Еще одно преимущество, связанное с экологией, состоит в том, что во время простоя в пробке автомобиль вообще не генерирует выхлопов за счет работы от аккумуляторной батареи. Электродвигатель обеспечивает мгновенный запуск и остановку, не имеет необходимости в холостом ходе, что дает еще одно важное преимущество – отсутствие механизма сцепления. В теории такой механизм вовсе может быть размещен непосредственно в колесе. И такие разработки уже существуют. Кроме того, на обогрев салона не тратится ресурс традиционного для негибридных авто отопителя салона, работающего на том же топливе, что и ДВС.

#### Недостатки

Основным недостатком гибридов сегодня, при всех выгодах и будущих экономиях, является их цена. В сравнении с аналогами «экологические» машины стоят на 15 – 20% дороже. Окупить эту разницу за счет экономии на топливе можно лишь за четыре – семь лет в зависимости от двигателя и интенсивности эксплуатации. Поэтому наиболее развитыми сегментами гибридных автомобилей являются бизнес-класс и люкс. Чем экономичнее гибрид, тем он дороже. Ведь чтобы сдерживать «прожорливость» ДВС как можно эффективнее, нужны более крупные батареи. А именно их цена – главная составляющая стоимости данных автомобилей.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Второй пункт – утилизация аккумуляторов. Батареи рано или поздно изнашивают свой ресурс перезарядов. Конечно, сегодняшние несколько десятков тысяч возможных «паспортных» перезарядок (около 100 000 км пробега) не идут ни в какое сравнение с несколькими сотнями, которыми обладали первые серийные батареи каких-то 15 лет назад. Однако даже такие долговечные аккумуляторы все равно когда-нибудь нужно будет утилизировать.

Среди бытовых «неурядиц», которые сулят гибридным авто – потенциальная невозможность работать в условиях сравнительно суровой зимы. Если температура будет ниже 15С, машина откажется заводиться. Однако практическая эксплуатация показала, что максимальным неудобством, которое может принести зимняя погода, для гибрида является увеличение расхода топлива, что в принципе характерно и для обычного автомобиля.

### 1.5 Методики оценки динамических характеристик автомобиля с ГСУ

Экспериментальных данных характеристик прототипов и серийных образцов, а также аналитического обзора существующих схем ГСУ недостаточно для проведения оценки и сравнения автомобилей, с целью разработки нового автомобиля с ГСУ, и выбора одного из частных случаев схем ГСУ и характеристик ее компонентов.

Для этих целей в теории автомобиля у традиционных автомобилей с двигателем внутреннего сгорания принято рассчитывать, оценивать и сравнивать тягово-скоростные свойства. Существуют различные методики их оценки, а также ряд нормативных документов.

Необходимые показатели для оценки скоростных свойств автомобиля – это максимальная скорость, время разгона, максимально преодолеваемый уклон.

Для их теоретического расчета применяется классический тягово-динамический расчет автомобиля, включающий в себя: определение полной массы автомобиля, подбор шин, построение внешней скоростной характеристики двигателя внутреннего сгорания, определение передаточных чисел трансмиссии,

построение тяговых и динамических характеристик, определение времени и пути разгона [5, 7, 8, 19].

Но классический тягово-динамический расчет автомобиля не может быть применен к автомобилям с ГСУ. Он также не соответствует реальным режимам движения, расчёт ведется для двигателя внутреннего сгорания, работающего на внешней скоростной характеристике, переключение передач которого происходит при максимальной частоте вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания.

Известна усовершенствованная методика тягово-динамического расчета автомобиля, учитывающая процесс переключения передач и управление двигателем [20]. Она лишена ряда недостатков классического тягово-динамического расчета, но не может быть применена к автомобилям с ГСУ.

Известна методика расчета основных показателей тягово-скоростных свойств автомобиля с комбинированной энергосиловой установкой. В данной методике приведен алгоритм и примеры расчета автомобиля с ГСУ. Этой методике присущи недостатки классического тягово-динамического расчёта, расчет ведется на режимах движения, не соответствующих реальной эксплуатации автомобиля с ГСУ, без учета управляющего воздействия. Так же к недостаткам можно отнести, что расчет скоростной характеристики ГСУ автомобиля, в методике приведен алгоритм и пример расчета скоростной характеристики ГСУ выполненной по параллельной компоновочной схеме, с согласующим цилиндрическим редуктором с передаточным отношением 1,4 между валами двигателей [11,18].

Можно сделать вывод, что методика тягово-динамического расчета требует доработки в применении для автомобиля с ГСУ.

#### 1.6 Топливная экономичность

Но в современных реалиях нельзя говорить о динамических характеристиках, не учитывая затраченную для их получения энергию. Для автомобилей с

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

двигателями внутреннего сгорания данный показатель характеризуется топливной экономичностью.

Показатель топливной экономичности определяется и контролируется рядом нормативных документов, отечественным ГОСТ 20306-90 и международным Правилами ЕЭК ООН №83 [9, 13].

Вследствие многообразия режимов работы автомобиля в нормативных документах выделяются частные показатели топливной экономичности: расход топлива в магистральном цикле, расход топлива в городском цикле, расход топлива на установившихся режимах движения.

В нормативных документах предполагается и описывается методика определения топливно-экономических показателей экспериментальным путем через измерение выбросов загрязняющих веществ.

Как и в случае с динамическими характеристиками определение данных топливной экономичности экспериментальным путем не позволит нам получить их на этапе проектирования автомобиля.

Методика расчета на установившихся режимах движения расхода топлива изложена в пособиях по теории автомобиля [7, 8, 17, 19]. Она сводится к определению часового расхода топлива и последующему выражению расхода в литрах на 100 километров пути.

При определении расхода топлива в магистральном и городском цикле нормативными документами регламентируются используемые ездовые циклы и оговорена точность их соблюдения при испытаниях.

Теоретический расчет расхода топлива в ездовом цикле изложен в Теории движения автомобиля В.П. Тарасика. Данная методика предполагает, что при разгонах двигатель работает по внешней скоростной характеристике, а, следовательно, и расход топлива вычисляется через удельный расход двигателя работающего на внешней скоростной характеристике. Такой расчет расхода топлива не соответствует данным нормативных документов, не совпадение времени разгона, а также реальным условиям эксплуатации автомобиля. Следовательно, и

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

значение расхода топлива будет несколько выше, чем в других условиях эксплуатации [16].

Также для расчета топливной экономичности автомобиля с ГСУ необходимо учитывать расход топлива на зарядку накопителей энергии, КПД преобразования энергии в электрической машине, как в прямом, так и в обратном направлении и расход энергии электромашины.

### 1.7 Ездовые циклы

Рассмотрим существующие ездовые циклы, используемые для экспериментального определения расхода топлива в городском, магистральном и смешанном цикле движения.

Ездовой цикл – последовательность значений, представляющих собой временную зависимость изменения скорости движения транспортного средства. Впервые он был разработан в 70-х годах XX века в США, для оценки и сравнения результатов токсичности и экономичности транспортных средств с целью их улучшения в разгар нефтяных кризисов.

В настоящий момент существует большое количество ездовых циклов разработанных в разных государствах и различными организациями.

Ездовые циклы принято делить по месту разработки: европейские, американские и японские. Так же существует классификация по их характеристике: модальные – включают длительную езду с постоянной скоростью, неустановившиеся – включают в себя множество изменений скорости [12].

Рассмотрим наиболее распространенные и применяемые ездовые циклы. New European Driving Cycle (NEDC) разработан в 1997 году на основе комбинации применяемых ранее в Европе ездовых циклов, регламентируется правилами ЕЭК ООН №83, в настоящее время используется на территории РФ. Этот ездовой цикл является модальным и включает в себя четыре городских цикла, представляющих три этапа разгона с последующим установившимся движением и торможением циклически возрастающих, и магистральный цикл, состоящий из ступенчатого

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

разгона, движения на заданной скорости и торможения (рисунок 5).

FTP 75 (Federal Test Procedure) американский ездовой цикл разработан «Агентством по охране окружающей среды» в 1978 году для измерения выбросов в выхлопных газах и расхода топлива. Представляет собой не установившийся цикл, состоящий из многочисленных разгонов и торможений. Можно отметить однотипный начальный и конечный этап для холодного и прогретого двигателя соответственно. Также можно наблюдать движение с ограничением скорости (рисунок 6).

JC08 ездовой цикл, используемый в Японии, был разработан 2010 году, аналогичен американскому FTP 75. Этот ездовой цикл также имеет испытания холодного и прогретого двигателя. Но в нем практически отсутствует движение с установившейся скоростью, которое имеет место в реальных режимах эксплуатации автомобиля (рисунок 7).

#### Выводы по разделу один

Рассмотрена история и предпосылки появления автомобилей с ГСУ, повлиявшие на конструктивные особенности ГСУ. Проведена классификация схем ГСУ по способу взаимодействия компонентов. Выявлены основные мировые тенденции в создание автомобиля с ГСУ. Обзор существующих методик оценки тягово-динамических и топливно-экономических свойств позволил сформировать цели и задачи исследования.

Обзор методик оценки тягово-динамических и топливно-экономических показателей автомобиля, выявил невозможность их применения для оценки тягово-динамических и топливно-экономических показателей автомобиля с ГСУ. Существующие методики оценки тягово-динамических показателей автомобилей с ГСУ применимы лишь для частных компоновочных схем ГСУ и не охватывают все существующее многообразие кинематических схем ГСУ. А существующие методики оценки топливно-экономических показателей автомобилей с ГСУ не учитывают реальных условий эксплуатации автомобиля.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА АВТОМОБИЛЯ С ГСУ

### 2.1 Методика тягово-динамического расчета для автомобилей с ГСУ

Методика традиционного тягово-динамического расчета включает в себя определение полной массы автомобиля, подбор шин, выбор двигателя внутреннего сгорания и построение его внешней скоростной характеристики, определение передаточных чисел, расчет тягово-динамических показателей, определение ускорения, времени пути разгона.

В применение к автомобилям с ГСУ методика тягово-динамического расчета требует доработки и должна учитывать взаимосвязь двигателя внутреннего сгорания и электрической машины, их взаимное расположение и вытекающие из этого особенности трансмиссии.

В зависимости от принципиальной схемы гибридной силовой установки различают последовательную и параллельную связь ДВС и ЭМ, рассмотренные в первой главе. Методика тягово-динамического расчета для каждой из схем имеет свои особенности. Расчет не рассмотренных пунктов производится аналогично методика тягово-динамического расчета автомобиля с ДВС [5,7, 8,19].

#### 2.1.1 Методика расчета ГСУ с последовательной схемой

Методика тягово-динамического расчета автомобиля с последовательной схемой ГСУ сводится к методике тягово-динамического расчета электромобиля. Она включает в себя такие расчеты как определение внешней скоростной характеристики ЭМ, передаточного числа главной передачи, мощностного и тягово-динамического баланса автомобиля, ускорения, время пути и разгона.

Алгоритм расчета автомобиля с ГСУ последовательной схемы имеет вид:

- 1) Определение полной массы автомобиля;
- 2) Подбор колеса и шин;
- 3) Выбор ЭМ и построение ее внешней скоростной характеристики;
- 4) Определение передаточных чисел;

- 5) Расчет тягово-динамических показателей;
- 6) Расчет ускорения;
- 7) Определение времени пути и разгона.

От классического алгоритма тягово-динамического расчета алгоритм расчета с ГСУ последовательной схемы отличается пунктами 3 и 4.

Выбор электрической машины производится аналогично выбору двигателя внутреннего сгорания. Для этого нужно найти необходимую мощность электрической машины для достижения максимальной скорости, воспользовавшись формулой 1:

$$N_{V_{max}} = \frac{\Psi_{V_{max}} G_a V_{max} + kF V_{max}^3}{1000 \eta_{mp.V_{max}}}, \quad (1)$$

где  $\Psi_{V_{max}}$  – коэффициент сопротивления дороги;

$\eta_{mp.V_{max}}$  – КПД трансмиссии при  $V_{max}$ ;

$kF$  – аэродинамический коэффициент.

В зависимости от типа ТС и условий эксплуатации устанавливают коэффициент запаса мощности электродвигателя, который определяют его максимальную мощность.

Выбрав подходящий двигатель, необходимо построить его внешнюю скоростную характеристику. Зачастую внешняя скоростная характеристика данной машины известна.

Если внешняя скоростная характеристика не приведена, а известны лишь частные значения мощности и момента, то необходимо рассчитать и построить внешнюю скоростную характеристику. В зависимости от типа электрической машины вид внешней скоростной характеристики может различаться.

На автомобилях и других транспортных средствах применяются тяговые электродвигатели с «мягкой» механической характеристикой, показанной на рисунке 8.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

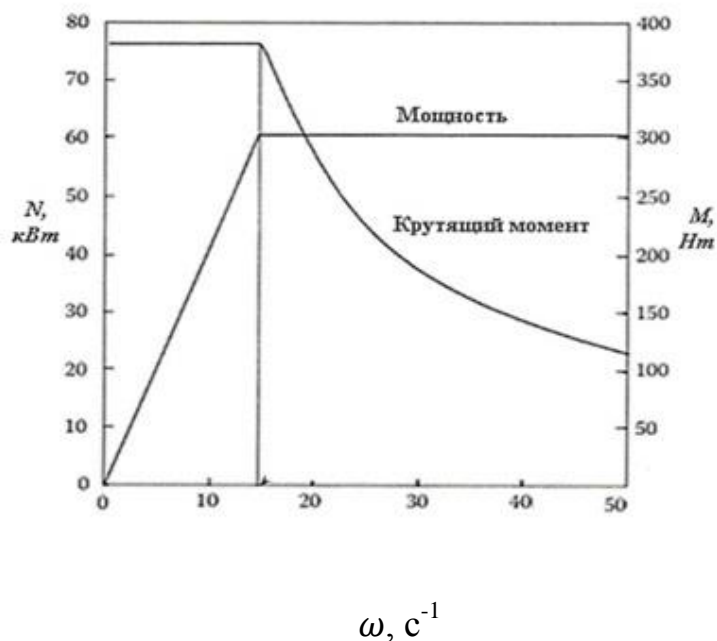


Рисунок 8 – Внешняя скоростная характеристика электрической машины

Такая характеристика описывается системой уравнений:

$$M_{кр} = M_{max} \text{ при } 0 \leq \omega \leq \omega_x \quad (2)$$

$$M_{кр} = \frac{M_{max} v_{max}}{v} \text{ при } \omega_x \leq \omega \leq \omega_{max} \quad (3)$$

Или

$$N_{кр} = \frac{M_{max} \omega}{\omega_x} \text{ при } 0 \leq v \leq v_x \quad (4)$$

$$N_{кр} = N_{max} \text{ при } \omega_x \leq \omega \leq \omega_{max}, \quad (5)$$

где  $M_{max}$  – максимальный крутящий момент ЭМ, Нм;

$N_{max}$  – максимальная мощность ЭМ, кВт;

$\omega_{max}$  – максимальная частота вращения вала ЭМ, 1/с;

$x$  – отношение максимальной частоты вращения к номинальной, характеризующей тип ЭМ.

$$x = \frac{\omega_{max}}{v_x} \quad (6)$$



Расчет тяговой ЭМ идет с допущениями, что накопитель энергии способен обеспечить ЭМ необходимой энергией.

Расчет передаточных чисел для последовательной схемы сводится к расчету передаточного числа главной передачи или расчету передаточных чисел бортовых редукторов, в зависимости от выбранных электрических машин и их расположения:

$$i_{гп} = 6,27 \frac{r_k V_{эдв}}{V_{max}}, \quad (7)$$

где  $r_k$  – радиус колеса, м;

$V_{эдв}$  – максимальная скорость вращения электродвигателя, м/с;

$V_{max}$  – максимальная скорость движения ТС, м/с.

### 2.1.2 Методика расчета ГСУ с параллельной схемой

Методика тягово-динамического расчета автомобиля с параллельной схемой ГСУ имеет ряд ключевых отличий, и включает в себя следующие пункты определение внешней скоростной характеристики ДВС, определение внешней скоростной характеристики ЭМ, определение характеристики ГСУ, определение передаточных чисел трансмиссии, определение мощностного и тягово-динамического баланса автомобиля, определение ускорения, время и пути разгона.

Алгоритм расчета автомобиля с ГСУ параллельной схемы примет вид:

- 1) Определение полной массы автомобиля;
- 2) Подбор колеса и шин;
- 3) Выбор максимальной мощности силовой установки;
- 4) Выбор ДВС и построение его внешней скоростной характеристики.
- 5) Выбор ЭМ и построение его скоростной характеристики.
- 6) Расчет согласующего редуктора.
- 7) Определение передаточных чисел.

- 8) Расчет тягово-динамических показателей.
- 9) Расчет ускорения.
- 10) Определение времени пути и времени разгона

В зависимости от взаимного расположения компонентов ГСУ параллельной схемы порядок расчета может различаться.

Максимальная мощность силовой установки определяется из условия достижения максимальной скорости по уравнению (1).

В зависимости от типа ТС и условий эксплуатации устанавливаются коэффициент запаса мощности силовой установки и определяют его максимальную мощность.

При выборе ДВС и ЭМ из условия достижения максимальной скорости необходимо определить соотношение их мощностей, являющееся основополагающим параметром для автомобиля с ГСУ параллельной схемы.

Расчет согласующего редуктора зависит от используемого устройства соединения тяговых двигателей. Различают два устройства соединения планетарную передачу и цилиндрический редуктор (и их комбинации).

Цилиндрический редуктор характеризуется равенствами:

$$MV = M_{\text{двс}} v_{\text{двс}} + M_{\text{эм}} v_{\text{эм}} \quad (8)$$

$$M = M_{\text{двс}} i_{\text{двс}} + M_{\text{эм}} i_{\text{эм}}, \quad (9)$$

где  $M_{\text{двс}}$ ,  $M_{\text{эм}}$  – крутящий момент ДВС и ЭМ, Нм;

$v_{\text{двс}}$ ,  $v_{\text{эм}}$  – частота вращения ДВС и ЭМ, 1/с;

$i_{\text{двс}}$ ,  $i_{\text{эм}}$  – передаточное отношение ДВС и ЭМ.

Из рассмотренных равенств можно выразить отношение скоростей вращения валов компонентов ГСУ:

$$V = \frac{v_{\text{двс}}}{i_{\text{двс}}} = \frac{v_{\text{эм}}}{i_{\text{эм}}} \quad (10)$$

А так же определить необходимые передаточные числа для согласования частот вращения и скорости движения автомобиля:

$$\frac{V}{r_k} i_{\text{тр}} = \frac{v_{\text{двс}}}{i_{\text{двс}}} = \frac{v_{\text{эм}}}{i_{\text{эм}}}, \quad (11)$$

где  $i_{\text{тр}}$ , – передаточное число трансмиссии.

В случае использования планетарной передачи равенство принимает следующий вид:

$$v_{\text{двс}} - (1 - i_{\text{впч}})V = i_{\text{впч}}v_{\text{эм}} \quad (12)$$

$$M_{\text{двс}} + M_{\text{эм}} + M = 0, \quad (13)$$

где  $i_{\text{впч}}$  – внутреннее передаточное число планетарной передачи.

Определение передаточных чисел сводится к определению внутреннего передаточного числа планетарной передачи:

$$i_{\text{впч}} = \frac{v_{\text{двс}} - \frac{V i_{\text{гп}}}{r_k}}{v_{\text{эм}} - \frac{V i_{\text{гп}}}{r_k}} \quad (14)$$

## 2.2 Методика топливно-экономического расчета для автомобилей с ГСУ

Топливо-экономический расчет автомобиля с ГСУ сводится к определению показателей топливной экономичности, регламентированных нормативными документами, отечественным ГОСТ 20306-90 и международным Правилom ЕЭК ООН №015. К данным показателям относятся контрольный расход топлива, расход топлива в магистральном и городском цикле, топливная характеристика установившегося движения.

Наибольшую актуальность представляют оценочные показатели топливной экономичности в городском и магистральном цикле, в наибольшей степени характеризующие реальные условия эксплуатации автомобиля.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Городской и магистральный цикл представлены в нормативных документах соответствующими ездовыми циклами. В нашей стране в настоящее время применяется на основании ГОСТ 20306-90 NEDC (New European Driving Cycle) описанный в Правилах ЕЭК ООН №015 (рисунок 9).

Ездовой цикл NEDC, описанный в предыдущей главе, представляет зависимость скорости движения автомобиля от времени. Он состоит из четырех городских и одного магистрального цикла. Его можно разделить на несколько типов движения: холостой ход, разгон, движение с постоянной скоростью и замедление [9, 13,14].

Так же в его описание приведены значения величин (рисунок 10) ускорения при разгоне и замедлении, что позволяет построить график зависимости ускорения автомобиля от времени за весь цикл (рисунок 11).

Зная зависимость ускорений от времени и значение скорости в ездовом цикле можно из уравнения движения автомобиля найти силу на ведущих колесах выбранного автомобиля.

$$P_u = P_k - P_d - P_b \quad (15)$$

$$P_k = \frac{M i_{тр} \eta_{тр}}{r_k} \quad (16)$$

$$P_d = \Psi mg \quad (17)$$

$$P_b = kFV^2 \quad (18)$$

$$P_u = m\delta a \quad (19)$$

$$\frac{M i_{тр} \eta_{тр}}{r_k} = \Psi mg + kFV^2 + m\delta a, \quad (20)$$

где  $P_k$  – сила на колесе, Н;

$P_d$  – сила сопротивления дороги, Н;

$P_b$  – сила сопротивления воздуху, Н;

$P_u$  – приведенная сила инерции автомобиля, Н.

$M$  – крутящий момент силовой установки, Нм;

$i_{\text{тр}}$  – передаточное отношение трансмиссии;

$\eta_{\text{тр}}$  – КПД трансмиссии;

$r_k$  – радиус колеса, м;

$m$  – масса автомобиля, кг;

$kF$  – фактор обтекаемости,  $\text{Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^2$ ;

$\delta$  – коэффициент учета вращающихся масс;

$V$  – скорость автомобиля, м/с;

$a$  – ускорение,  $\text{м} / \text{с}^2$ .

$$M = \frac{(\Psi mg + kFV^2 + m\delta a)r_k}{i_{\text{тр}}\eta_{\text{тр}}} \quad (21)$$

Приняв допущение, что буксование отсутствует, частота вращения и мощность будут соответствовать следующим равенствам:

$$v = \frac{Vi_{\text{тр}}}{6,28r_k} \quad (22)$$

$$N = 6,28 M\omega \quad (23)$$

В случае с традиционными автомобилями с ДВС это позволило определить режим работы ДВС в каждый момент времени. И по топливно-экономической характеристике рассчитать мгновенный расход топлива в каждый момент времени ездового цикла (рисунок 12).

Следовательно, часовой расход топлива в каждый промежуток времени определяется по формуле:

$$G = g_e N, \quad (24)$$

где  $g_e$  – удельный расход топлива двигателя, г/кВтч.

Путевой расход топлива за цикл в литрах на 100 км равен:

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Q = \frac{\int G dt}{3,6 \rho_T \int S dt} * 10^5, \quad (25)$$

где  $\rho_T$  – плотность топлива, кг/м<sup>3</sup>;

$S$  – путь, пройденный за цикл, км.

Для автомобиля с последовательной ГСУ аналогично автомобилю с ДВС, расчет топливно-экономических показателей за ездовой цикл определяется по режимам работы тяговой ЭМ в каждый момент времени. И по характеристике эффективности ЭМ рассчитать мощность, потребляемую электродвигателем.

$$N_{ТЭМ} = \frac{Mv}{\eta_{ЭМ}}, \quad (26)$$

где  $\eta_{ЭМ}$  – КПД ЭМ.

А также расход энергии за весь ездовой цикл:

$$E_{ЭМ} = \int N dt \quad (27)$$

Такое же количество энергии должна вырабатывать генераторная установка на основе ДВС.

$$E_{ЭМ} = E_{ГЭМ} \quad (28)$$

Приняв допущение, что режим работы генератора проходит в зоне максимальной эффективности, тогда энергия, выработанная ДВС, равна:

$$E_{ДВС} = E_{Г} \eta_{Гmax}, \quad (29)$$

где  $\eta_{Гmax}$  – максимальный КПД генератора.

А ДВС также работает в зоне максимальной эффективности, при минимальном удельном расходе, с часовым расходом:

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$G_{min} = g_{min} N, \quad (30)$$

где  $g_{min}$  – минимальный удельный расход топлива, г/кВтч.

Тогда путь расход топлива автомобиля с последовательной ГСУ равен:

$$Q = \frac{G_{min} E_{двс}}{3,6 \rho_T N_{gmin} \int S dt} 10^5, \quad (31)$$

где  $N_{gmin}$  – мощность ДВС при минимальном удельном расходе топлива, Вт.

Для автомобиля с параллельной ГСУ необходимо учитывать совместную работу ДВС и ЭМ. А именно алгоритм их совместной работы, характеристики согласующего устройства и отношение мощностей двигателей.

Зная значение крутящего момента силовой установки необходимого для движения в ездовом цикле, можно найти недостающее значение момента электрической машины в тяговом или генераторном режиме.

$$M_c = M_{двс} + M_{эм}. \quad (33)$$

В случае, если крутящий момент электрической машины в генераторном режиме превышает свое максимально значение, значение крутящего момента ДВС вычисляется по формуле:

$$M_{двс} = M_c - M_{эм max}. \quad (34)$$

Также если крутящий момент силовой установки меньше максимального крутящего момента ЭМ:

$$M_c \leq M_{эм max}. \quad (35)$$

Тогда транспортное средство приводится в движение только ЭМ:

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$M_{\text{ДВС}} = 0. \quad (36)$$

Также необходимо обеспечить поддержание заряда накопителя энергии за весь ездовой цикл, расход энергии не должен быть больше выработанной энергии.

$$E_{\text{ЭМ}} \leq 0. \quad (37)$$

$$E_{\text{ЭМ}} = \int N dt \quad (38)$$

Мощность электрической машины в тяговом и генераторном режиме:

$$N_{\text{ГЭМ}} = \frac{M v}{\eta_{\text{ЭМ}}} \quad (39)$$

$$N_{\text{ГЭМ}} = \frac{M v}{\eta_{\text{ЭМ}}} \quad (40)$$

А расход топлива ДВС по формулам (24) и (25).

Выводы по разделу два

Разработанная методика тягово-динамического расчета автомобиля с ГСУ применима для основных схем ГСУ, учитывает основные конструктивные особенности ГСУ и позволяет определить необходимые динамические характеристики.

Разработанная методика топливно-экономического расчета позволяет определить показатель расхода топлива за ездовой цикл, используемый на территории РФ. Данная методика применима к основным схемам ГСУ.



### 3 РАСЧЕТ ТЯГОВО-ДИНАМИЧЕСКИХ И ТОПЛИВНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

#### 3.1 Тягово-динамический расчет автомобиля

По предложенным методикам тягово-динамического и топливно-экономического расчетов предлагается произвести расчеты автомобилей с различными силовыми установками, мощность которых рассчитана на достижение идентичной максимальной скорости. Автомобиль с ДВС, электромобиль или автомобиль с ГСУ последовательной схемы, автомобиль с ГСУ параллельной схемы с соотношением мощностей ДВС и ЭМ 1 к 15. Для оценки использования данного соотношения мощностей, используемого в преобладающем большинстве ГСУ.

##### 3.1.1 Определение полной массы автомобиля

Полную массу автомобиля рассчитывают по формуле:

$$m_a = m_0 + (m_{\text{ч}} + m_6)n, \quad (41)$$

где  $m_0$  – масса снаряженного автомобиля с заправкой и снаряжением, но без пассажиров и водителя. Для нашего проекта  $m_0 = 1080$  кг;

$m_{\text{ч}} = 70 \dots 80$  кг – масса водителя или пассажира,  $m_{\text{ч}} = 75$  кг;

$n$  – число мест для сидения пассажиров,  $n = 5$ ;

$m_6$  – масса багажа,  $m_6 = 10$  кг на одного человека в легковых автомобилях.

Таким образом,  $m_{\text{двс}} = 1080 + (75 + 10) * 5 = 1505$  кг.

##### 3.1.2 Подбор колеса и шин

Для определения нагрузки на переднюю ось воспользуемся развесовкой автомобиля-прототипа при полной нагрузке, то есть 59/41.

$$m_1 = m_a * 0,59, \quad (42)$$

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где  $m_1$  – масса, приходящаяся на переднюю ось;

$m_a$  – полная масса автомобиля.

Для расчетов в работе  $m_1 = 1530 * 0,59 = 902,7$  кг.

Выбор шин осуществляется по максимальной скорости и нагрузке на колесо. Максимальная скорость автомобиля равна 167 км/ч, тогда индекс категории скорости Т, индекс нагрузки на шину – 82. Диаметр обода колеса выберем как у прототипа – 14 дюймов.

Пусть шина будет иметь следующий размер: 175/65R14 82Т.

где 175 – ширина профиля шин, мм;

65 – отношение высоты профиля к ширине в процентах;

R – радиальная шина;

14 – внутренний диаметр шины, соответствующий диаметру обода колеса в дюймах;

82 – индекс грузоподъемности;

T – индекс скорости.

Рассчитываем радиус качения колеса с выбранной шиной:

$$r_k = (0,9 \dots 0,95)r_c, \quad (43)$$

где  $r_c$  – статический радиус, определяемый по формуле:

$$r_c = 0,5d + \lambda_{ш} H, \quad (44)$$

где  $d$  – диаметр обода колеса, м;

$\lambda_{ш}$  – коэффициент, учитывающий вертикальную деформацию шины (для стандартных шин  $\lambda_{ш} = 0,88 \dots 0,9$ );

$H$  – высота профиля шины, м.

Рассчитываем данные для нашего проекта:

$$d = 14 * 2,54 = 0,355 \text{ м};$$

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\lambda_{ш} = 0,9$$

$$H = 0,102 \text{ м.}$$

Тогда:

$$r_c = 0,5 * 0,355 + 0,9 * 0,102 = 0,28 \text{ м,}$$

$$r_k = 0,95 * 0,28 = 0,266 \text{ м.}$$

### 3.1.3 Выбор максимальной мощности силовой установки

Максимальная мощность силовой установки определяется из условия достижения максимальной скорости:

$$N_{V_{max}} = \frac{\Psi_{V_{max}} G_a V_{max} + k F V_{max}^3}{1000 \eta_{mp.V_{max}}}, \quad (45)$$

где  $\Psi_{V_{max}}$  – коэффициент сопротивления дороги;

$\eta_{mp.V_{max}}$  – КПД трансмиссии при максимальной скорости.

$$\Psi_{V_{max}} = f = f_0 (1 + k_1 (0,36V)_{max}^2), \quad (46)$$

где  $f_0$  – коэффициент сопротивления качению, относящийся к малым скоростям;

для асфальтобетона  $f_0 = 0,012 \dots 0,015$ ;

$$k_1 = (4 \dots 5) 10^{-5}$$

$G_a = m_a * g = 1505 * 9,81 = 14749,3 \text{ Н}$  – вес автомобиля;

$$V_{max} = 47,25 \text{ м/с;}$$

$$kF = 0,353 \text{ Н с}^2/\text{м}^2;$$

$$\eta_{mp.V_{max}} = 0,9.$$

Тогда коэффициент сопротивления дороги при максимальной скорости

$$\Psi_{V_{max}} = f = 0,013 (1 + 4,5 * 10^{-5} * 175^2) = 0,03.$$

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

А мощность двигателя при выбранной максимальной скорости равняется:

$$N_{V_{max}} = \frac{0,3 * 14749,3 * 47,25 + 0.353 * 47,25^3}{1000 * 0,9} = 65,3 \text{ кВт}$$

### 3.1.4 Выбор ДВС и построение его внешней скоростной характеристики

В случае расчета автомобиля с ДВС и ГСУ параллельной схемы производится выбор ДВС из числа производимых с максимальной мощностью 65 кВт и 56 кВт соответственно. Под данные характеристики подходят двигатели ВАЗ-21124 и ВАЗ-2111.

Для дальнейших расчетов необходимо построить их внешние скоростные характеристики, воспользовавшись эмпирической зависимостью:

$$N_m = N_{max} \left[ a \left( \frac{n_m}{n_N} \right) + b \left( \frac{n_m}{n_N} \right)^2 - c \left( \frac{n_m}{n_N} \right)^3 \right], \quad (47)$$

где  $N_{max}$  определено по формуле (3.8);

$N_m$  – текущее значение мощности, кВт;

Коэффициенты  $a$ ,  $b$  и  $c$  определяются по следующим соотношениям для двигателей:

$$a = 2 - \frac{25}{M_3} \quad (48)$$

$$b = \frac{50}{M_3} - 1 \quad (49)$$

$$c = \frac{25}{M_3}. \quad (50)$$

Для ДВС ВАЗ-21124:  $v_{min} = 800 \text{ 1/с}$ ;  $v_{max} = 5600 \text{ 1/с}$ ;

Для ДВС ВАЗ-2111:  $v_{min} = 800 \text{ 1/с}$ ;  $v_{max} = 5400 \text{ 1/с}$ ;

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Зададим в интервале от  $v_{\min}$  до  $v_{\max}$  еще ряд значений  $v_m$ , найдём соответствующие значения  $N_m$  и построим кривую зависимости  $N_m = f(v_m)$ , а затем и  $M_m = f(v_m)$ , имея ввиду, что

$$M_m = \frac{1000 N_m}{v_m} N, \quad (51)$$

где  $N_m$  – мощность двигателя, кВт;

$n_m$  – число оборотов вала двигателя, об/мин;

Расчеты сведены в таблицу 1, 2 и отображены в графиках (рисунок 14, 15).

Таблица 1 – Данные внешней скоростной характеристики ДВС ВА3-21124

$v, 1/c$	$N, кВт$	$M, Нм$
13,33	6,14	73,34
20	10,61	84,48
26,67	15,74	93,93
33,33	21,29	101,71
40	27,09	107,79
46,67	32,89	112,19
53,33	38,50	114,91
60	43,70	115,94
66,67	48,29	115,29
73,33	52,04	112,95
80	54,75	108,93
86,67	56,21	103,23
90	56,40	95,75

Таблица 2 – Данные внешней скоростной характеристики ДВС ВАЗ-2111

$v$ , 1/с	$N$ , кВт	$M$ , Нм
13,33	7,31	87,23
20	12,38	98,49
26,67	18,11	108,08
33,33	24,29	115,99
40	30,72	122,23
46,67	37,17	126,79
53,33	43,45	129,68
60	49,34	130,90
66,67	54,64	130,44
73,33	59,12	128,31
80	62,58	124,51
86,67	64,81	119,02
93,33	65,60	111,87

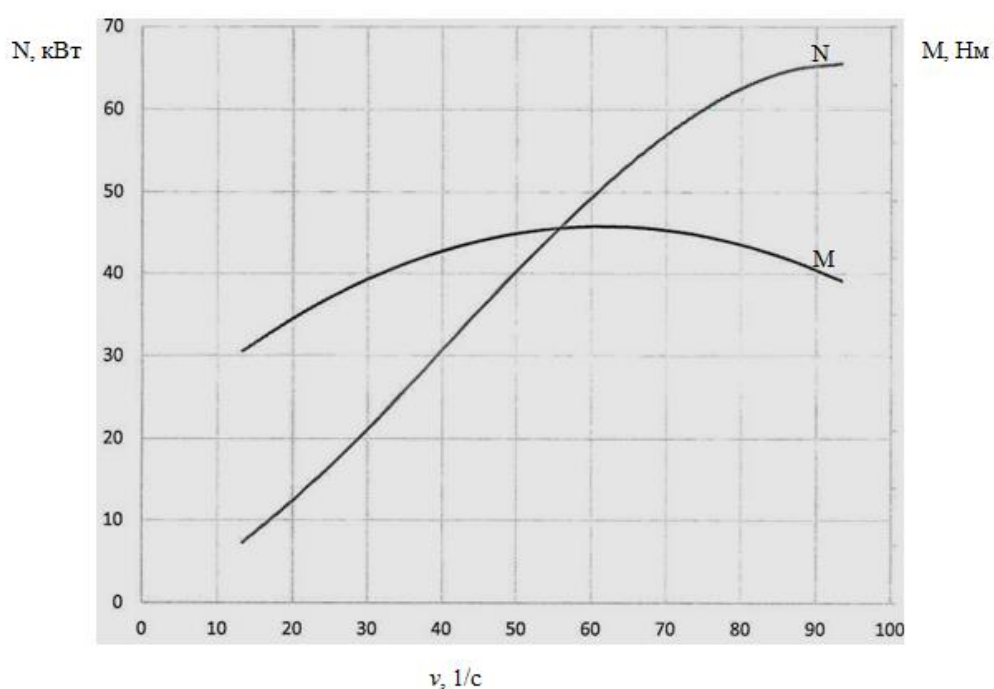


Рисунок 14 – Внешняя скоростная характеристика ДВС ВАЗ-21124

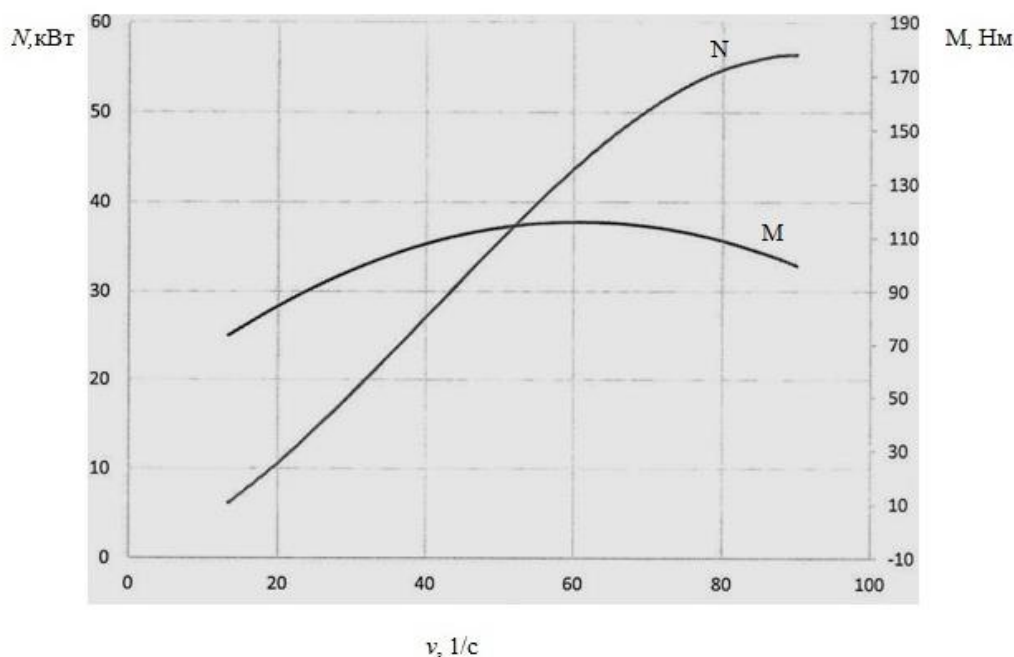


Рисунок 15 – Внешняя скоростная характеристика ДВС ВАЗ–2111

### 3.1.5 Выбор ЭМ и построение его скоростной характеристики

ЭМ для электромобиля (последовательной ГСУ) определяется из условия достижения максимальной мощности. А в случае ГСУ параллельной схемы из выбранного соотношения мощностей ДВС и ЭМ. ЭМ мощностью 65 и 9 кВт соответственно.

Внешняя скоростная характеристика описывается системой уравнений:

$$M_{кр} = M_{max} \text{ при } 0 \leq \nu \leq \nu_x \quad (52)$$

$$M_{кр} = \frac{M_{max} \nu_{max}}{\nu} \text{ при } \nu_x \leq \nu \leq \nu_{max}, \quad (53)$$

где  $M_{max}$  – максимальный крутящий момент ЭМ, Нм;

$\nu_{max}$  – максимальная частота вращения вала ЭМ, 1/с;

$x$  – отношение максимальной частоты вращения к номинальной, характеризующее тип ЭМ.

Значение  $x$  зависит от типа электрической машины, для данной электрической машины  $x = 3$ .

Расчеты сведены в таблицу 3 и таблицу 4, а также построены графики крутящего момента и мощности от угловой скорости (рисунок 20, 21).

Таблица 3 – Данные внешней скоростной характеристики ТЭМ

$\nu$ , 1/с	N, кВт	M, Нм
0	0,02	376,05
4,16	10,95	376,05
8,33	21,88	376,05
12,50	32,81	376,05
16,66	43,74	376,05
20,83	54,67	376,05
25	65,60	376,05
29,17	65,60	322,33
33,33	65,60	282,04
37,50	65,60	250,70
41,66	65,60	225,63
45,83	65,60	205,12
50	65,60	188,03
54,16	65,60	173,56
58,33	65,60	161,17
62,5	65,60	150,42

Таблица 4 – Данные внешней скоростной характеристики ЭМ ГСР–9000

$\nu$ , 1/с	N, кВт	M, Нм
0	0	21,48
10,71	1,285	21,48
21,42	2,57	21,48
32,14	3,85	21,48
42,85	5,14	21,48
53,56	6,43	21,48
64,28	7,71	21,48
74,99	9	18,50
85,71	9	16
96,42	9	14
107,13	9	12,50
117,84	9	11,50
128,56	9	10,70
139,27	9	10
149,98	9	9,55



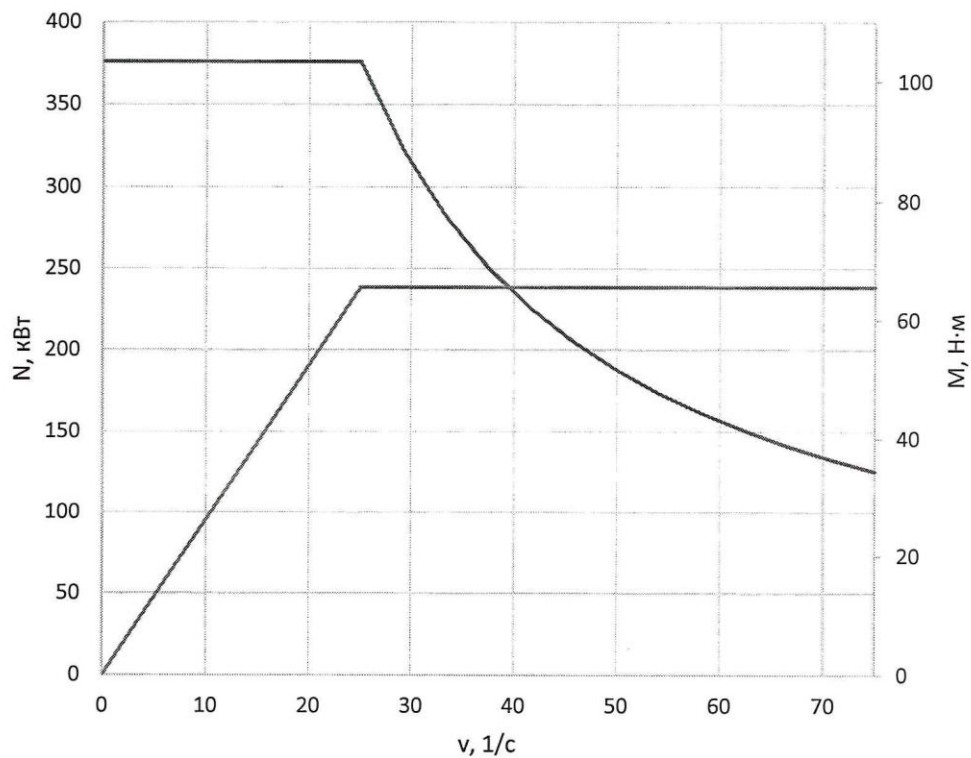


Рисунок 16 – Внешняя скоростная характеристика ТЭМ

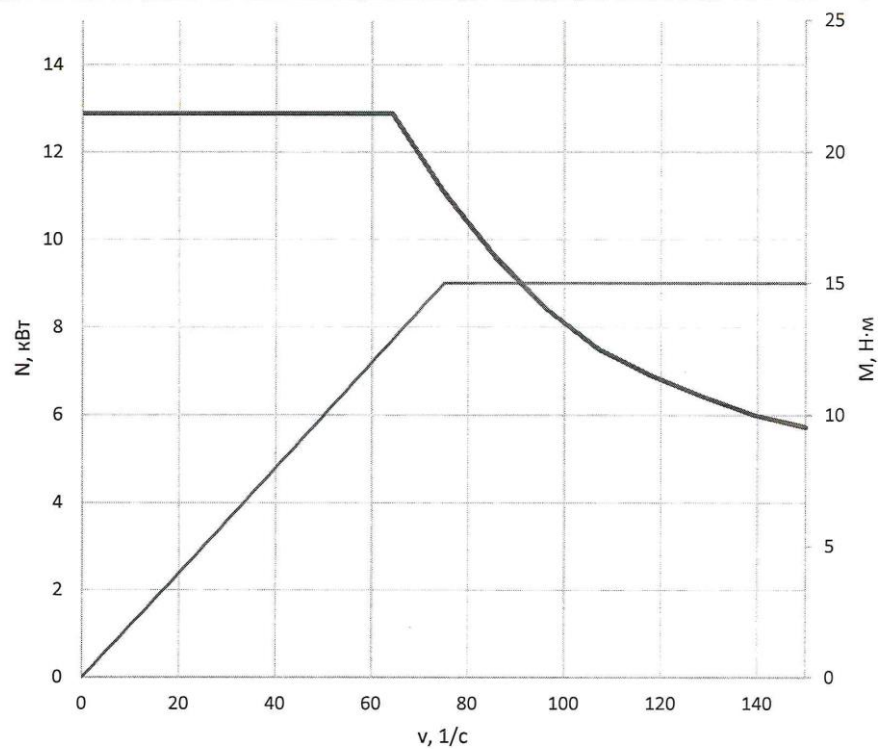


Рисунок 17 – Внешняя скоростная характеристика ЭМ ГСР-9000

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ 23.04.02.2019.037

### 3.1.6 Расчет согласующего редуктора и построение внешней скоростной характеристики ГСУ

В принятой схеме ГСУ для суммирования мощностей ДВС и ЭМ использовался первичный вал МКПП с подключенным устройством включения-отключения ЭМ. Данное соединение является муфтой крутящего момента, для расчета которой применяется уравнение:

$$\frac{V}{r_k} i_{\text{тр}} = \frac{v_{\text{ДВС}}}{i_{\text{ДВС}}} = \frac{v_{\text{ЭМ}}}{i_{\text{ЭМ}}}, \quad (54)$$

где  $V$  – скорость движения автомобиля, м/с;

$r_k$  – радиус колеса, м;

$i_{\text{тр}}$ , – передаточное число трансмиссии;

$v_{\text{ЭМ}}$ ,  $v_{\text{ДВС}}$  – частота вращения ДВС и ЭМ, 1/с;

$i_{\text{ГП}}$ ,  $i_{\text{тр}}$ ,  $i_{\text{ДВС}}$ ,  $i_{\text{ЭМ}}$  – передаточные отношения главной передачи, трансмиссии, ДВС и ЭМ соответственно.

Конструктивной особенностью принятой схемы является расположение ДВС непосредственно на валу муфты крутящего ( $i = 1$ ), исходя из этого, можно рассчитать передаточное отношение устройства включения-отключения ЭМ.

$$i_{\text{ЭМ}} = \frac{9000}{5400} = 1,66$$

Зная передаточные числа согласующего редуктора можно рассчитать и построить по данным расчетов в таблице 5 внешнюю скоростную характеристику ГСУ (рисунок 18):

$$\frac{V}{r_k} i_{\text{тр}} = \frac{v_{\text{ДВС}}}{i_{\text{ДВС}}} = \frac{v_{\text{ЭМ}}}{i_{\text{ЭМ}}} \quad (55)$$

$$M = M_{\text{ДВС}} i_{\text{ДВС}} + M_{\text{ЭМ}} i_{\text{ЭМ}}. \quad (56)$$

Таблица 5 – Данные внешней скоростной характеристики ГСУ

$v$ , 1/с	$N$ , кВт	$M$ , Нм
0	0	35,66
6,66	1,28	35,66
13,33	8,71	109,00
20	14,46	120,14
26,66	20,87	129,59
33,33	27,72	137,36
40	34,79	143,45
46,66	41,89	142,89
53,33	47,50	141,46
60	52,70	139,17
66,66	57,28	136,03
73,33	61,04	132,04
80	63,75	126,69
86,66	65,20	119,82
93,33	65,19	111,69

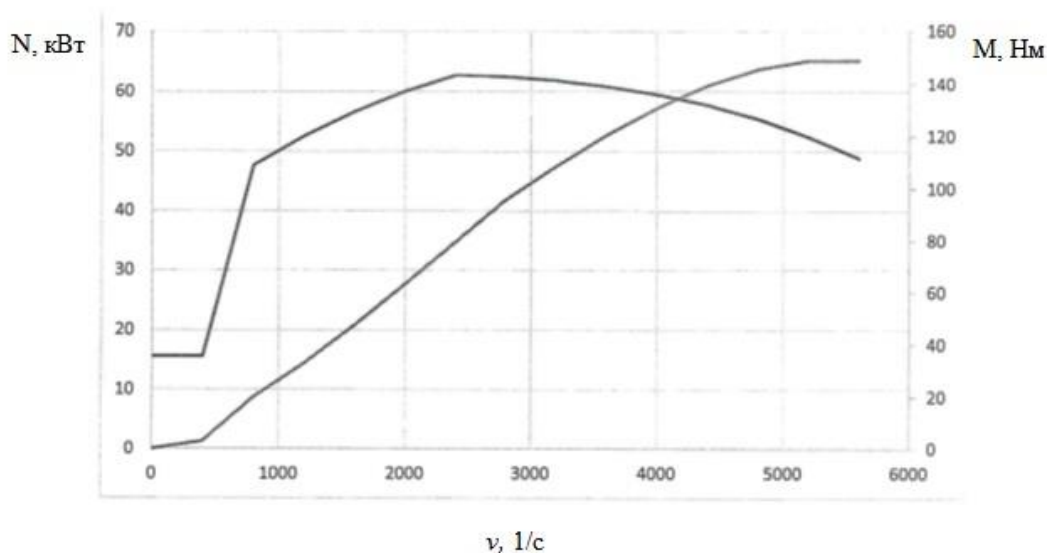


Рисунок 18 – Внешняя скоростная характеристика ГСУ

### 3.1.7 Определение передаточных чисел

Передаточное число главной передачи определяется из условия достижения максимальной скорости:

$$i_{ГП} = 6,27 \frac{r_k v_{эд}}{i_{кв} V_{max}}, \quad (57)$$

где  $v_V$  – частота, соответствующая максимальной скорости автомобиля;

ДВС  $v_V = 93,33$  1/с; для ГСУ  $v_V = 90$  1/с; для ЭМ  $v_V = 75$  1/с;

$i_{кв}$  – передаточное число коробки передач на высшей передаче,

$$i_{кв} = 0,784;$$

$$i_{двс} = 3,7;$$

$$i_{гсу} = 3,9;$$

$$i_{эм} = 2,57.$$

### 3.1.8 Расчет тягово-динамических показателей

Тяговая и динамическая характеристика представляет собой графики зависимостей:  $P_k = f(V)$  и  $D = f(V)$  на всех передачах, а также  $P_w = f(V)$ ;  $P_\psi = f(V)$  и  $\Psi = f(V)$  на горизонтальной дороге, и рассчитываются на основании следующих зависимостей.

Сила тяги на колесе:

$$P_k = \frac{M_T i_{тр} \eta_{тр}}{r_D}. \quad (58)$$

Скорость движения:

$$V = 0,376 \frac{r_k n_T}{i_{тр}}. \quad (59)$$

Сопротивление дороги:

$$P_{\psi} = \Psi G_a \quad (60)$$

$$\Psi = f = f_0(1 + k_1 V^2), \quad (61)$$

при  $\alpha = 0$ .

Сопротивление воздуха:

$$P_w = \frac{k F V^2}{13} (1 + k_3 \Pi). \quad (62)$$

Динамический фактор:

$$D = \frac{P_k - P_w}{G_a}, \quad (63)$$

где  $i_{mp} = i_k * i_0 * i_{\partial n}$  – передаточное число трансмиссии при наличии коробки передач, дополнительной или раздаточной коробки и главной передачи;

$r_d = r_k$  при движении без пробуксовывания;

$\Pi$  – количество прицепов или полуприцепов;

$k_3$  – коэффициент, учитывающий влияние прицепа или полуприцепа на сопротивление воздуха, оказываемого автопоезду;

$f_0$  – табличное значение коэффициента сопротивления дороги;

$f_0 = 0,016$  для сухого асфальтобетонного и бетона первой и второй категорий дорог.

$M$  – Н·м;

$n$  – об/мин;

$V$  – км/ч;

$r$  – м;

$G_a$  – Н;

$$kF - H \cdot c^2 / m^2;$$

$$k_1 = (4 \dots 5) \cdot 10^5.$$

Угол подъема, который преодолевает автомобиль на каждой передаче при разных значениях равномерной скорости и заданном коэффициенте сопротивления качению, определяется по уравнению:

$$\alpha = \arcsin \left( \frac{D - f \sqrt{1 - D^2 + f^2}}{1 + f^2} \right). \quad (64)$$

### 3.1.9 Расчет ускорения

Время равномерного движения автомобиля обычно мало по сравнению с общим временем его работы.

Показателями динамических свойств автомобиля при неравномерном движении служат величины ускорений, а также путь и время, необходимое для движения в определённом интервале изменения скорости.

Ускорение движения, которое может развивать автомобиль при заданных условиях, характеризует приемистость автомобиля: чем больше ускорение, тем выше при прочих равных условиях средняя скорость движения, а, следовательно, и производительность автомобиля.

Ускорение автомобиля находят из формулы:

$$a = (D - f) \frac{g}{\delta}. \quad (65)$$

При полной нагрузке, высоком КПД трансмиссии и отсутствии буксования можно воспользоваться приближенным выражением:

$$\delta = 1,03 + k_3 i_k^2 i_{дн}, \quad (66)$$

где  $k_4 = 0,06$ .

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Тогда:

$$\delta_1 = 1,824;$$

$$\delta_2 = 1,824;$$

$$\delta_3 = 1,824;$$

$$\delta_4 = 1,824;$$

$$\delta_5 = 1,824;$$

Вычисленные по формулам (59) – (67) значения занесены в таблицы приложения, и по этим результатам построены графики зависимостей  $P_k = f(V)$  и  $D = f(V)$  на всех передачах, а также  $P_w = f(V)$ ;  $P_\psi = f(V)$ ;  $\alpha = f(V)$  и  $\Psi = f(V)$  на горизонтальной дороге, изображенные на рисунка 19 – 27.

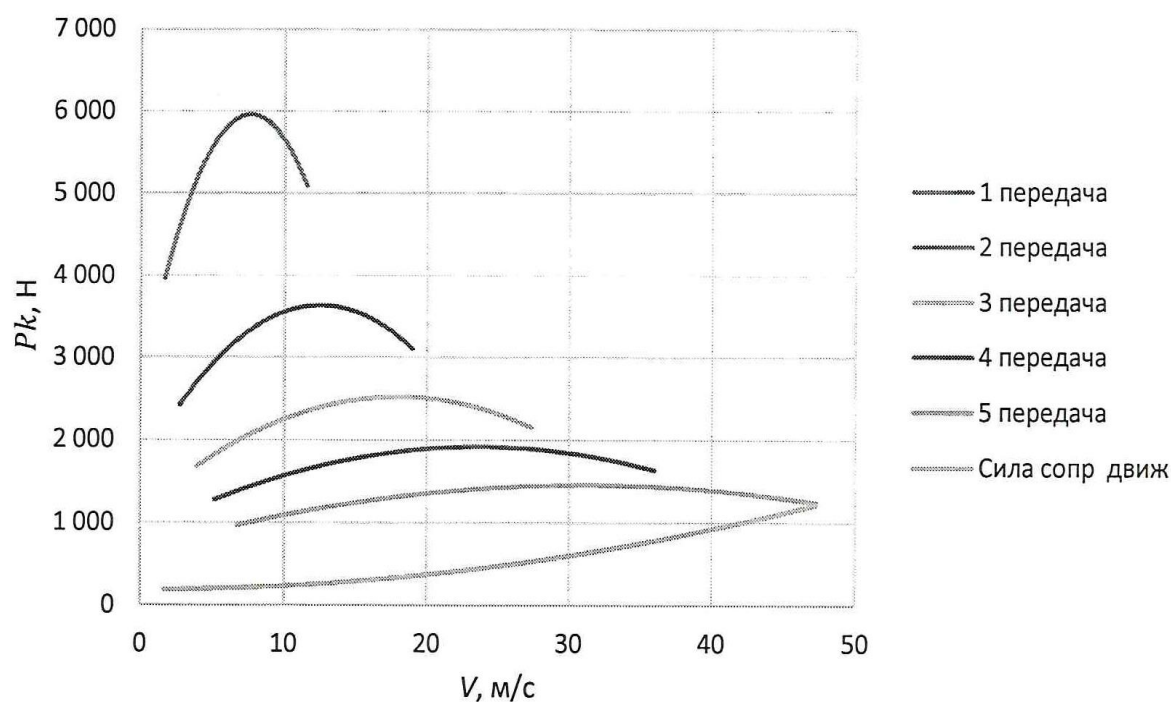


Рисунок 19 – Тяговый баланс автомобиля с ДВС

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

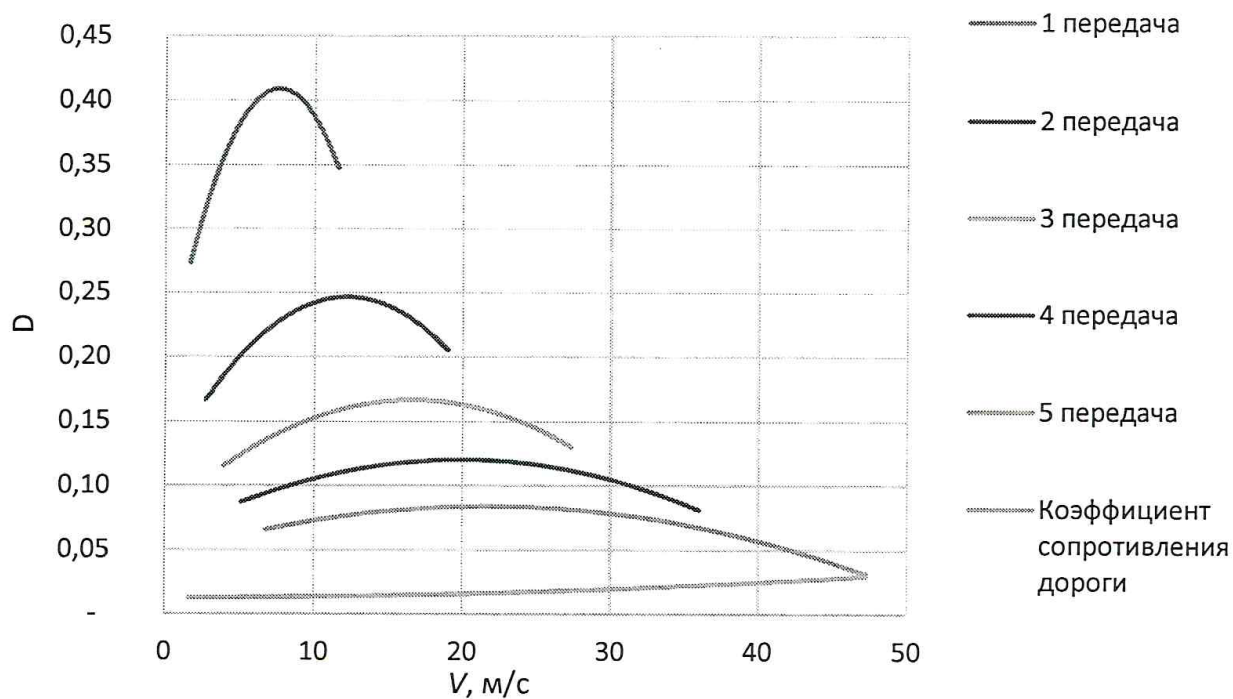


Рисунок 20 – Динамический баланс автомобиля с ДВС

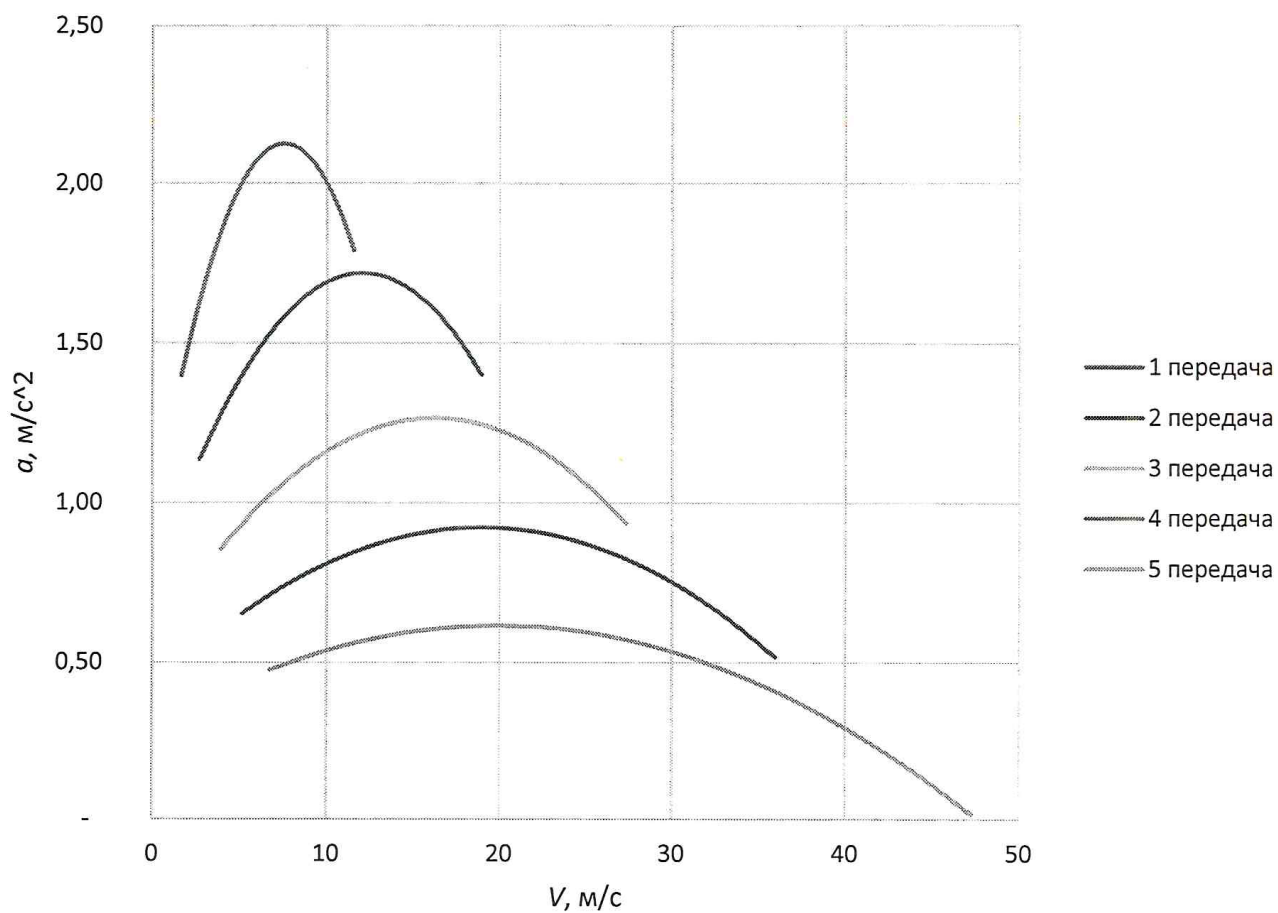


Рисунок 21 – Ускорение автомобиля с ДВС

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



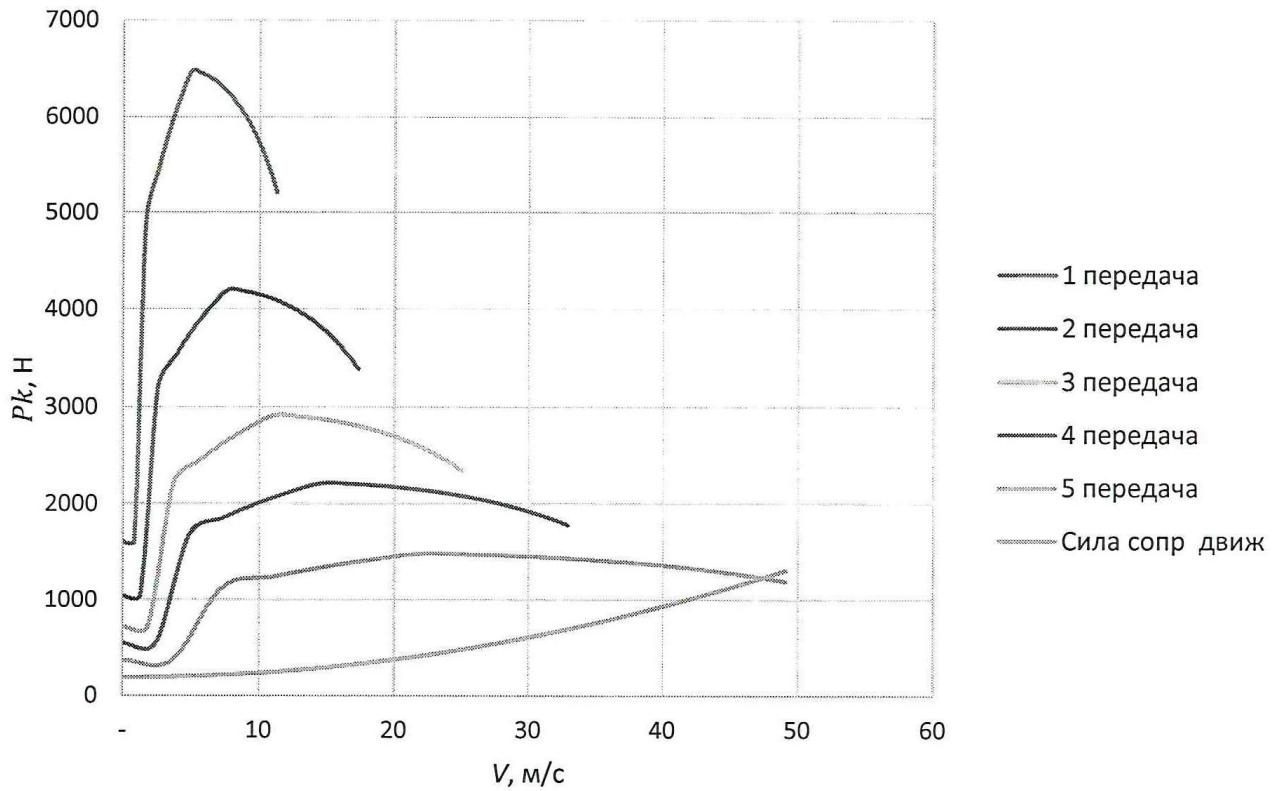
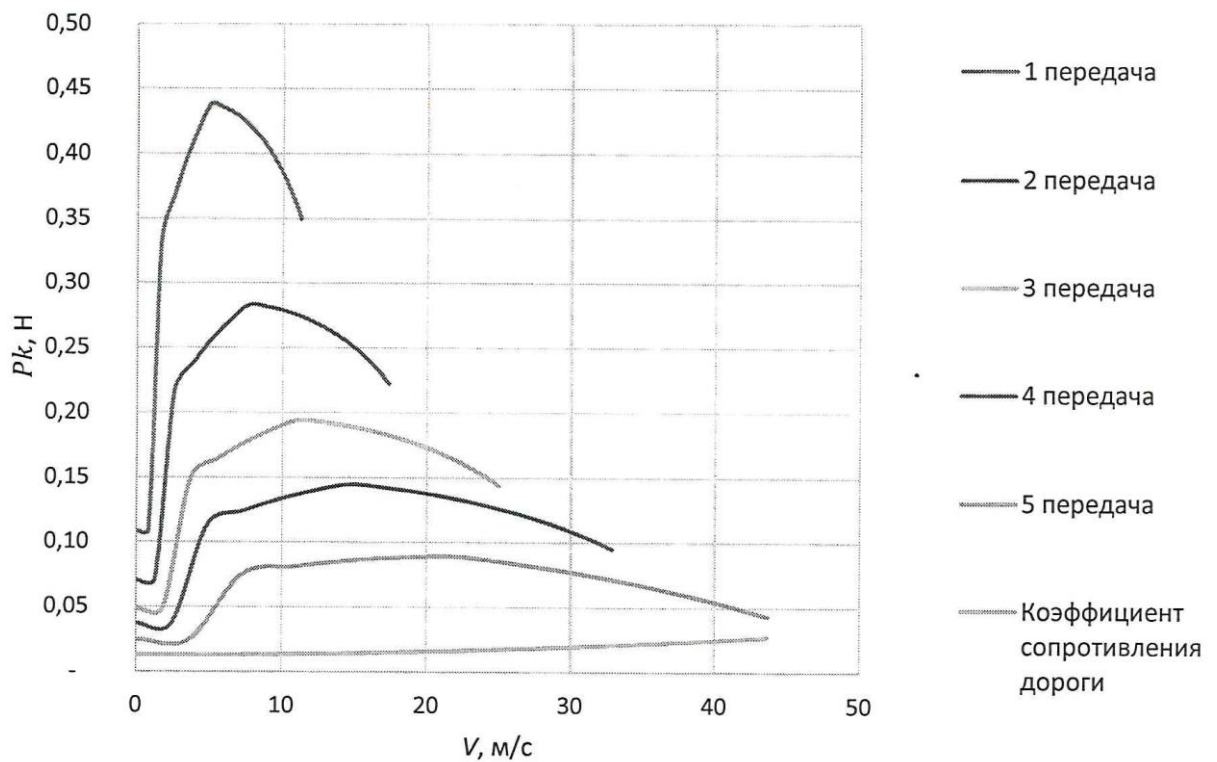


Рисунок 22 – Тяговый баланс автомобиля с параллельной ГСУ



### 3.1.10 Определение времени, пути и разгона

Ускорение, полностью характеризует способность автомобиля к быстрому разгону, но не даёт достаточно наглядного представления о приемистости автомобиля. Поэтому определяют время и путь разгона, которые позволяют выявить приемистость автомобиля в более наглядной форме и сравнить автомобили по этим показателям.

Так как отсутствует аналитическая связь между обратным ускорением ( $1/a$ ) и скоростью ( $V$ ), то время разгона обычно определяют графоаналитически.

Для построения зависимости времени разгона от скорости всю площадь под кривой  $1/a=f(V)$  разбивают вертикальными линиями на участки с интервалом 10 км/ч. Для упрощения под счета площадь каждого участка заменяют площадью равновеликого участка с высотой:

$$\frac{1}{a_{\text{cp}}} = \frac{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2}}{2}, \quad (67)$$

где  $1/a_1$  и  $1/a_2$  – обратные ускорения в начале и в конце интервала скорости.

Тогда для участка, например, при изменении скорости от  $V_1$  до  $V_2$  время разгона:

$$t_1 = \frac{V_2 - V_1}{3,6 \cdot a_{\text{cp}}}, \quad (68)$$

где  $a$  – ускорение, м/с<sup>2</sup>.

Аналогично определяем  $t_2, t_3, t_4 \dots t_n$  по остальным участкам.

Путь разгона определяют из соотношения  $V=dS/dt$ :

$$S = \int_{t_2}^{t_1} V dt. \quad (69)$$

Этот интеграл решают так же графоаналитически, используя график  $t=f(V)$ .

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для построения графика  $S=f(V)$  эту площадь разбивают горизонтальными линиями на несколько участков. Для упрощения подсчёта площадь каждого участка заменяют площадью равновеликого участка с тем же основанием и высотой:

$$V_{\text{cp}} = \frac{V_1 + V_2}{2}, \quad (70)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – скорости соответственно в начале и в конце участка. При изменении скорости от  $V_1$  до  $V_2$ .

$$S_1 = (t_2 - t_1) \cdot \frac{V_{\text{cp}}}{3,6}. \quad (71)$$

Аналогично определяем  $S_1, S_2, S_3 \dots S_n$ , по остальным участкам. Данные занесены в таблицы 6–8.

Таблица 6 – Время, путь и разгон автомобиля с последовательной ГСУ

$V, \text{ м/с}$	$t, \text{ с}$	$S, \text{ м}$
–		0
2,70	1,42	1,91
5,41	2,84	7,68
8,11	4,27	17,34
10,82	5,71	30,95
13,52	7,16	48,61
16,23	8,63	70,43
18,93	10,26	99,09
21,63	12,22	138,84
24,34	14,56	192,61
27,04	17,35	264,41
29,75	20,72	359,96
32,45	24,84	488,09
35,16	30,03	663,68
37,86	36,92	915,21
40,56	46,99	1 309,97
43,27	65,79	2 098,07

Таблица 7 – Время, путь и разгон автомобиля с ДВС

<i>V, м/с</i>	<i>t, с</i>	<i>S, м</i>
0	0	0
1,65	0,59	0,48
2,47	1,15	1,63
3,30	1,64	3,06
4,12	2,10	4,75
4,95	2,52	6,70
5,77	2,93	8,89
6,60	3,33	11,34
7,43	3,72	14,08
8,25	4,11	17,13
9,08	4,50	20,55
9,90	4,91	24,38
10,73	5,33	28,73
11,55	5,77	33,70
12,18	6,13	37,92
13,53	6,92	48,09
14,89	7,72	59,51
16,24	8,55	72,41
17,59	9,42	87,12
18,95	10,35	104,12
19,51	10,78	112,35
21,46	12,39	145,28
23,41	14,07	183,09
25,36	15,87	227,09
27,32	17,86	279,33
28,25	18,94	309,42
30,82	22,31	409,07
33,39	26,12	531,38
35,96	30,65	688,24

Таблица 8 – Время, путь и разгон автомобиля с параллельной ГСУ

$V$ , м/с	$t$ , с	$S$ , м
–	–	0
0,83	1,54	0,64
1,67	2,53	1,88
2,50	2,97	2,80
3,33	3,37	3,97
4,17	3,75	5,37
5,00	4,10	7,00
5,84	4,45	8,88
6,67	4,80	11,08
7,50	5,16	13,60
8,34	5,52	16,48
9,17	5,89	19,75
10,00	6,28	23,48
8,99	5,78	18,75
10,27	6,44	25,04
11,56	7,10	32,29
12,84	7,78	40,60
14,13	8,49	50,09
15,41	9,22	60,94
14,81	8,84	55,17
16,66	10,13	75,42
18,51	11,46	98,82
20,37	12,85	125,83
22,22	14,32	157,16
21,93	14,06	151,54
24,37	16,49	207,79
26,81	19,09	274,36
29,24	21,94	354,08
32,73	27,81	536,13
36,37	36,57	838,76
40,00	48,22	1 283,46
43,64	67,46	2 088,40

По найденным точкам строим кривые  $S=f(V)$  и  $t=f(V)$ , изображенные на рисунках 28 – 30.

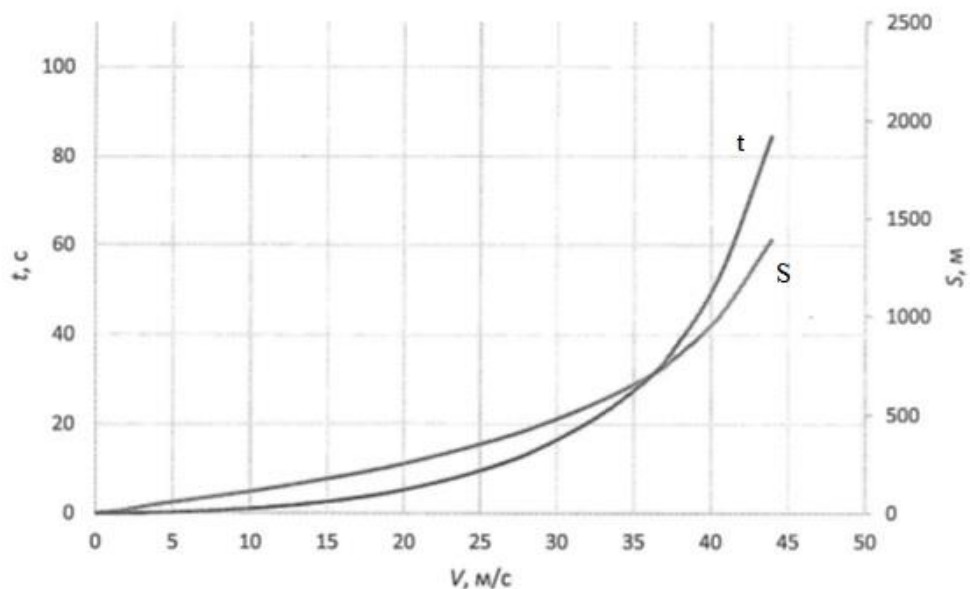


Рисунок 28 – Время, путь и разгон автомобиля с ДВС

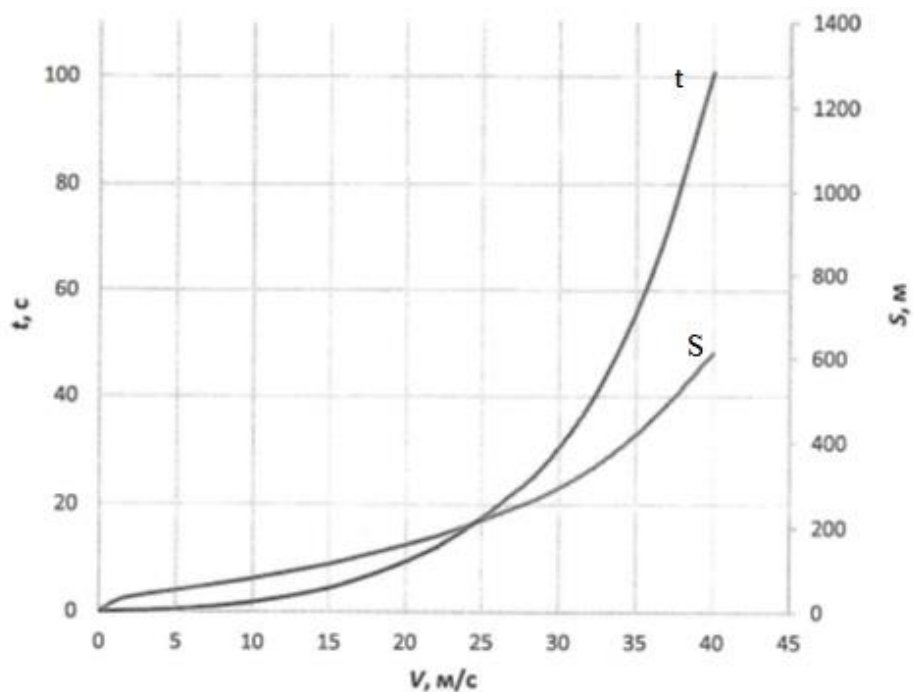


Рисунок 29 – Время, путь и разгон автомобиля с параллельной ГСУ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

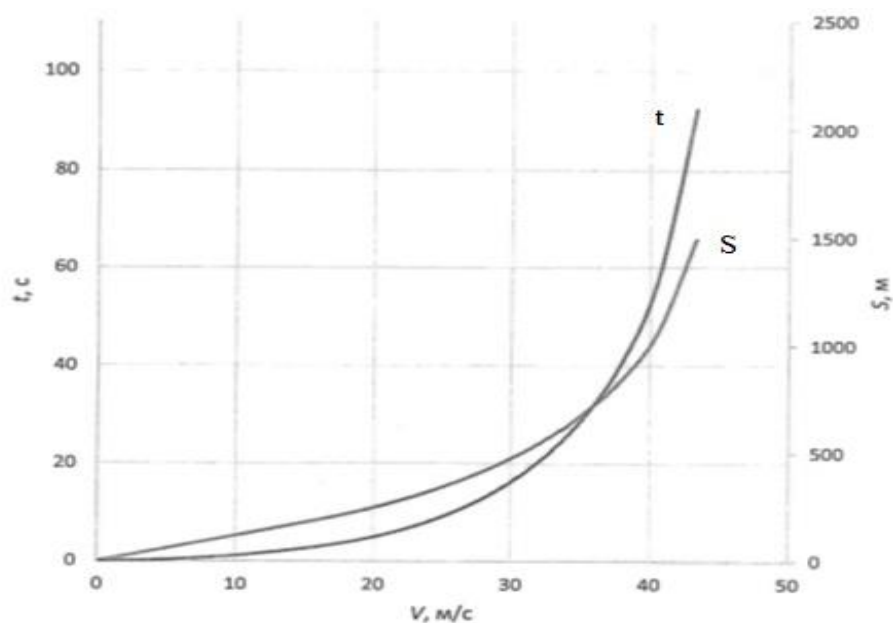


Рисунок 30 – Время, путь и разгон автомобиля с последовательной ГСУ

### 3.2 Топливо-экономический расчет

Топливо-экономический расчет автомобиля с ГСУ сводится к определению расход топлива, расход топлива в магистральном и городском цикле NEDC (New European Driving Cycle).

Из уравнения движения автомобиля находим силу на ведущих колесах автомобиля:

$$P_u = P_k - P_d - P_v, \quad (72)$$

где  $P_k$  – сила на колесе;

$P_d$  – сила сопротивления дороги, Н;

$P_v$  – сила сопротивления воздуху, Н;

$P_u$  – приведенная сила инерции автомобиля.

$$P_k = \frac{M i_{\text{тр}} \eta_{\text{тр}}}{r_k} \quad (73)$$

$$P_d = \Psi mg \quad (74)$$

$$P_B = kFV^2 \quad (75)$$

$$P_u = m\delta a \quad (76)$$

$$\frac{Mi_{\text{тр}}\eta_{\text{тр}}}{r_k} = \Psi mg + kFV^2 + m\delta a \quad (77)$$

где  $M$  – крутящий момент силовой установки, Нм;

$i_{\text{тр}}$  – передаточное отношение трансмиссии, для ДВС на каждой передаче

$i_{\text{мп}1} = 13,34; i_{\text{мп}2} = 8,7; i_{\text{тр}3} = 6; i_{\text{мп}4} = 4,57; i_{\text{мп}5} = 3,07;$

для ЭМ  $i_{\text{мп}} = 2,57$ .

$\eta_{\text{тр}} = 0,9$  – КПД трансмиссии;

$r_k = 0,266$  – радиус колеса, м;

$m = 1000$  – масса автомобиля, кг;

$kF = 0,45$  – фактор обтекаемости,  $\text{Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^2$ ;

$\delta = 1,29$  – коэффициент учета вращающихся масс;

Таким образом, зная передаточные числа трансмиссии, крутящий момент силовой установки в любой момент времени:

$$M(t) = \frac{(\Psi mg + kFV^2 + m\delta a)r_k}{i_{\text{тр}}\eta_{\text{тр}}} \quad (78)$$

$$v(t) = \frac{Vi_{\text{тр}}}{6,28r_k} \quad (79)$$

$$N(t) = 6,28 Mv. \quad (80)$$

В случае с традиционными автомобилями с ДВС это позволило определить режим работы ДВС в каждый момент времени. И по топливно-экономической характеристике рассчитать мгновенный расход топлива в каждый момент времени ездового цикла. Приняв допущение, что при отрицательных значениях крутящего момента и включенной муфте сцепления расход топлива равняется нулю, так как двигатель работает в тормозном режиме.

Следовательно, часовой расход топлива в каждый промежуток времени:

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



$$G = g_e N, \quad (81)$$

где  $g_e$  – удельный расход топлива двигателя, г/кВтч.

И путевой расход топлива за цикл в литрах на 1000 км:

$$Q = \frac{\int G dt}{3,6 \rho_T \int S dv} 10^5, \quad (82)$$

где  $\rho_T = 730$  – плотность топлива, кг/м<sup>3</sup>.

$S$  – путь, пройденный за цикл, км.

$$Q = 9,69 \text{ л/100км}$$

Для автомобиля с последовательной ГСУ аналогично автомобилю с ДВС, расчет топливно-экономических показателей за ездовой цикл определяется по режимам работы тяговой ЭМ в каждый момент времени. И по характеристике эффективности ЭМ рассчитать мощность потребляемую электродвигателем.

Расход энергии за весь ездовой цикл:

$$E_{ЭМ} = \int N dt \quad (83)$$

$$E_{ЭМ} = 0,135 \text{ кВтч.}$$

Такое же количество эергии должна выработать генераторная установка на основе ДВС:

$$E_{ТЭМ} = E_{ГЭМ} \quad (84)$$

Приняв допущение, что режим работы генератора проходит в зоне максимальной эффективности, тогда энергия, выработанная ДВС, равна:

$$E_{ДВС} = E_{Г} \eta_{Г \max} \quad (85)$$

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где  $\eta_{\text{гmax}} = 0,9$  максимальный КПД генератора.

$$E_{\text{двс}} = 0,15 \text{ кВтч.}$$

ДВС работает также в зоне максимальной эффективности, при минимальном удельном расходе с часовым расходом:

$$G_{\text{min}} = g_{\text{min}}N, \quad (86)$$

где  $g_{\text{min}} = 250$  – минимальный удельный расход топлива, г/кВтч.

$$G_{\text{min}} = 7,5 \text{ кг/ч}$$

Тогда путевой расход топлива автомобиля с последовательной ГСУ равен:

$$Q = \frac{G_{\text{min}}E_{\text{двс}}}{3,6 \rho_{\text{T}}N_{\text{gmin}} \int Sdv} 10^5, \quad (87)$$

где  $N_{\text{gmin}} = 30$  Нт – мощность ДВС при минимальном удельном расходе топлива.  $Q = 5,06 \text{ л/100км.}$

Для автомобиля с параллельной ГСУ необходимо учитывать совместную работу ДВС и ЭМ. А именно алгоритм их совместной работы, характеристики согласующего устройства и отношение мощностей двигателей.

Основополагающим фактором для большинства алгоритмов работы ГС является работа ДВС по характеристике минимальных удельных расходов  $M = f(n, g)$ .

Зная значение крутящего момента силовой установки, необходимого для движения в ездовом цикле, можно найти недостающее значение момента электрической машины в тяговом или генераторном режиме:

$$M_{\text{с}} = M_{\text{двс}} + M_{\text{эм}} \quad (88)$$

В случае если крутящий момент электрической машины в генераторном режиме превышает свое максимальное значение, значение крутящего момента ДВС вычисляется по формуле 89:

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$M_{\text{ДВС}} = M_{\text{с}} - M_{\text{ЭМmax}} \quad (89)$$

Так же если крутящий момент силовой установки меньше максимального крутящего момента ЭМ:

$$M_{\text{с}} \leq M_{\text{ЭМmax}} \quad (90)$$

Тогда транспортное средство приводится в движение только ЭМ и  $M_{\text{ДВС}} = 0$ .

Также необходимо обеспечить поддержание заряда накопителя энергии за весь ездовой цикл, расход энергии не должен быть больше выработанной энергии:

$$E_{\text{ЭМ}} \leq 0 \quad (91)$$

$$E_{\text{ЭМ}} = \int N dt \quad (92)$$

Мощность электрической машины в тяговом и генераторном режиме:

$$N_{\text{тЭМ}} = \frac{Mv}{\eta_{\text{ЭМ}}} \quad (93)$$

$$N_{\text{гЭМ}} = Mv \cdot \eta_{\text{ЭМ}} \quad (94)$$

А расход топлива ДВС по уравнениям 81 и 82:  $Q = 4,6$  л/100км.

Выводы по главе

Рассчитанные автомобили с силовыми установками с ДВС, ГСУ и ЭМ одной максимальной мощности имеют схожие динамические характеристики, время и путь разгона. Но их топливно-экономические характеристики в городском цикле кардинально отличаются друг от друга, что позволяет сделать вывод об эффективности использования той или иной силовой установки.

## 4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЯ С ГСУ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ

### 4.1 Выбор компонентов и кинематической схемы гибридной силовой установки для проектируемого автомобиля

Целью проектирования автомобиля с гибридной силовой установкой стала подготовка к проведению эксперимента для оценки тягово-динамических показателей и топливно-экономических характеристик автомобиля с ГСУ.

За основу был взят переднеприводный автомобиль малого класса Волжского автомобильного завода, силовая установка которого, состояла из ДВС ВАЗ-2111 мощностью 56 кВт и частотой вращения 90 1/с и пятиступенчатой механической коробки переключения передач.

При проектировании автомобиля, выборе принципиальной схемы и параметров компонентов ГСУ нужно учитывать не только тягово-динамические и топливно-экономические показатели, но и экономическую целесообразность. Для этого нужно учесть возможность использования максимального количества компонентов существующей силовой установки, минимального количества электрических машин минимальной мощности и накопителей энергии минимальной емкости.

Сочетание этих требований в случае организации производства позволит получить быструю организацию и экономическую целесообразность производства, что обеспечит низкую цену владения и, как следствие, увеличение конкурентоспособности на рынке.

Исходя из этих требований и анализа всех вариантов схем гибридных силовых установок, было решено остановиться на параллельной схеме ГСУ. Так как последовательная схема не позволяет использовать существующую установку, а также требует наличия двух электромашин высокой мощности.

В ходе проектирования была разработана кинематическая схема гибридной силовой установки с отключаемым ДВС. Кинематическая схема гибридной

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

силовой установки автомобиля содержит двигатель внутреннего сгорания (5) и, соединенные муфтой, сцепления (7) с входным валом (1) коробки переключения передач. Обратимой электрической машина (6) соединена также с входным валом (1) коробки переключения передач через блок промежуточных шестерен (4) (рисунок 35).

Произведенные тягово-динамический и топливно-экономический расчеты автомобиля с ГСУ с отношением мощностей ДВС и ЭМ 1 к 15 показали эффективность данного соотношения.

В качестве электродвигателя в составе гибридной силовой установки была выбрана ЭМ постоянного тока с максимальной мощностью 9 кВт, частота вращения которого составляет 150 1/с.

#### 4.2 Конструктивные особенности проектируемой ГСУ

Для согласования угловых скоростей ДВС и ЭМ необходим блок промежуточных шестерен с передаточным отношением 1,66.

$$i = \frac{v_{\text{ЭМ}}}{v_{\text{ДВС}}} = \frac{150}{90}. \quad (95)$$

Соединение ЭМ с входным валом коробки переключения передач осуществляется через шестерню пятой передачи. Для этого с МКПП снимается крышка пятой передачи. На ее место для закрепления ЭД относительно картера МКПП спроектирован кронштейн с блоком промежуточных шестерен, а также два кронштейна для крепления электродвигателя.

Кронштейн с блоком промежуточных шестерен электродвигателя можно изготовить из стального листа толщиной 10 мм лазерной резкой металла. Валы промежуточных шестерен можно изготовить из выходных валов МКПП ВАЗ. При установке шестерен использовать серийные роликовые подшипники, применяемые в МКПП ВАЗ. Для фиксации осевого габарита блока промежуточных шестерен применить латунные упорные подшипники.

Смазка блока промежуточных шестерен обеспечивается разбрызгивателем, установленным на выходном валу МКПП, обеспечивающим масляный туман в блоке промежуточных шестерен, совмещенном с картером МК1111.

Для обеспечения герметичности картера МКПП1 и блока промежуточных шестерен и исключения течи трансмиссионного масла необходима крышка блока промежуточных шестерен (рисунок 42).

Также незначительно изменится (из-за увеличения вертикального габарита силовой установки) система охлаждения ДВС, патрубки, которой проходят, огибая электродвигатель.

Благодаря тому, что традиционная силовая установка претерпела незначительные изменения, гибридная силовая установка устанавливается на штатные крепления в подкапотном пространстве макета автомобиля.

#### 4.3 Объект исследования

Объектом исследования являются характеристики проектируемой гибридной силовой установки. Гибридная силовая установка включает в себя двигатель внутреннего сгорания ВАЗ-2111 с электронным блоком управления, серийную механическую коробку переключения передач с доработанным картером, двигатель-генератор ГСР-9000 и блок промежуточных шестерен. Двигатель-генератор ГСР-9000 соединен с помощью блока промежуточных шестерен через шестерню пятовой передачи входного вала МКПП. Доработка картера МКПП включает в себя доработку картера сцепления и изготовление крышки блока промежуточных шестерен.

#### 4.4 Оцениваемые характеристики

Для оценки тягово-динамических и топливно-экономических характеристик автомобиля с гибридной силовой установкой необходимо оценить отклики, ускорение и топливную экономичность силовой установки.

Оценка ускорения, производится с использованием датчика инерционной си-

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

стемы.

Топливная экономичность автомобиля с гибридной силовой установкой оценивается совокупностью параметров таких, как расход энергии электромашин и расход топлива двигателя внутреннего сгорания.

Расход энергии электромашин оценивается совокупностью изменения параметров тока и напряжения во времени. В свою очередь величина тока оценивается через падение напряжения на шунтовом сопротивлении.

Энергия, расходуемая двигателем внутреннего сгорания, определяется из количества сжигаемого топлива, которое, в частности, зависит от времени открытия и закрытия форсунки.

Также необходимо фиксировать значение факторов, влияющих на автомобиль с гибридной силовой установкой.

#### 4.5 Состав и технические характеристики измерительного комплекса

Для получения оцениваемых характеристик необходимо собрать измерительный комплекс на основе аналогово-цифрового преобразователя LA-50USB, адаптера K-LINEOPHON (USB-OBDII) и ПЭВМ.

##### 4.5.1 Аналогово-цифровой преобразователь LA-50USB

Аналогово-цифровой преобразователь LA-50USB служит для получения величин, оцениваемых параметров во времени, описываемых постоянным напряжением.

В частности, АЦП LA-50USB служит для сбора параметров электродвигателя, тока и напряжения. Для измерения напряжения электродвигателя с помощью LA-50USB применен делитель напряжения (рисунок 43), регулируемый потенциометр, описываемый коэффициентом деления. Делитель необходим для совмещения диапазона изменения напряжения электродвигателя с диапазоном входного напряжения аналогового канала.

Для измерения тока его необходимо преобразовать в напряжение путем ввода

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

в цепь шунтового сопротивления, и измерения падения напряжения на его выводах (рисунок 44). Так как падение напряжения будет минимально необходимо также воспользоваться встроенным в АЦПЛА-50USB инструментальным усилителем, для совмещения диапазона изменения напряжения электродвигателя с диапазоном входного напряжения аналогового канала.

Исследуемый аналоговый сигнал подается на входы каналов 0–15. Аналогово-цифровой канал служит для преобразования исследуемого аналогового сигнала в цифровую форму. Обмен данным и аналогово-цифрового преобразования между ПЭВМ и АЦП осуществляется через интерфейс USB. ПЭВМ осуществляет обработку поступающих от АЦП данных и управление им также через интерфейс USB.

Для записи измеряемых параметров на ПЭВМ применяется программное обеспечение Saver2, поставляющееся вместе с АЦП. Оно позволяет как сохранять измеряемые параметры в текстовом формате CSV, так и просматривать их в реальном времени, (рисунок 39).

#### 4.5.2 K-LINEOPHON(USB-OBDII)

Адаптер K-LINEOPHON, изображенный на рисунке 46 предназначен для соединения электронного блока управления компонентами автомобиля и ПЭВМ посредством диагностической линии связи K-Line и шины USB. Эта линия связи применяется в протоколах ISO 9141-2 и ISO 14230, вошедших в стандарт OBD II.

Согласование сигналов линии K-line и последовательного порта RS-232 осуществляется за счет микросхемы MC 33199, а микросхема FT 232R обеспечивает последовательный обмен данными между микросхемой MC 33199 и шиной USB ПЭВМ. На рисунке 40 представлена схема адаптера K-LINEOPHON.

Стандарт OBDII предусматривает 10 режимов работы, возможно внесение изменений конкретным производителем. Считывание текущих параметров происходит в режиме 0x01 Showcurrentdata.

С помощью адаптера K-Line-USB возможно замерить такие исследуемые ха-

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



рактеристики как скорость автомобиля, скорость вращения двигателя внутреннего сгорания, величину подачи топлива, а так же расход топлива.

Для измерения скорости автомобиля и скорости вращения двигателя внутреннего сгорания применяются датчики, основанные на эффекте Холла (рисунок 41). Они определяют наличие или отсутствие магнитного поля при использовании ответной части с диэлектриком. Получаемую логическую величину, обрабатываемую ЭБУ, и записываем в готовое значение.

Расход топлива вычисляется из времени открытия форсунки и ее пропускной способности. Также обрабатывается ЭБУ и записывается в виде готового значения.

#### 4.5.3 Инерциальный измерительный блок CHR-6d

CHR-6d Inertial Measurement Unit датчик инерционной системы навигации. Этот узел от компании CHR obotics содержит трехосевой акселерометр, трехосевой гироскоп. Интегрированный 32-битный CPU считывает 16-битные значения датчиков, применяет настраиваемый фильтр, и сообщает о результатах через последовательный интерфейс TTL (UART). Устройство имеет открытый код программы.

Для записи текущих параметров системы на ПЭВМ в текстовом формате TXT, предназначенного для представления табличных данных, построения графиков можно использовать программное обеспечение IMU Control (Рисунок 44).

Выводы по разделу четыре

Предлагаемый проект макета автомобиля и измерительного комплекс позволит провести экспериментальные исследования тягово-динамических и топливно-экономических показателей автомобиля с ГСУ с необходимой точностью и незначительной трудоемкостью.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе проведена классификация схем ГСУ по способу взаимодействия компонентов, рассмотрены предпосылки, повлиявшие на конструктивные особенности.

Разработанная методика тягово-динамического расчета автомобиля с ГСУ применима для основных схем ГСУ, учитывает особенности используемых электромашин и согласующих устройств. Позволяет определить необходимые динамические свойства.

Разработанная методика топливно-экономического расчета позволяет определить показатель расхода топлива за ездовой цикл установленный ГОСТ 20306–90, используемый также и для экспериментальных исследований, применима к основным схемам ГСУ.

Расчетом установлено, что автомобили с силовыми установками с ДВС, последовательной ГСУ и параллельной ГСУ равной максимальной мощности 65 кВт имеют отличия динамических характеристиках, времени и пути разгона не превышающие 5%. Но их топливно-экономические характеристики в городском цикле кардинально отличаются друг от друга. Расход топлива в ездовом цикле автомобиля с ДВС, последовательной ГСУ и параллельной ГСУ составил 9,6, 5,1 и 4,6 литра на 100 км соответственно, что позволяет сделать вывод об эффективности использования ГСУ.

Предлагаемый проект макета автомобиля и измерительного комплекс позволит провести экспериментальные исследования тягово-динамических и топливно-экономических показателей автомобиля с ГСУ с необходимой точностью и незначительной трудоемкостью.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Антипов, С.И. Современные испытательные ездовые циклы и их актуальность при создании алгоритма работы системы управления автомобиля с КЭУ / С.И. Антипов, Ю.В. Дементьев // Известия ВолгГТУ. – 2013. – №10(113).– С. 8–11.
- 2 Арав, Б.Л. Анализ концепций гибридных моторно-трансмиссионных установок транспортных средств / Б.Л. Арав, В.И. Бондарь, А.В. Келлер, С.Н. Беседин // Журнал автомобильных инженеров. – 2011. –№5(70). – С. 35–39.
- 3 Бахмутов, С.В. Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками / С.В. Бахмутов, А.Л. Карунин, А.В. Круташов и др. – М.: Изд-во МАМИ, 2007. – 72 с.
- 4 Богданов, К.Л. Тяговый электропривод автомобиля / К.Л. Богданов. – М.: Изд-во МАДИ, 2009. – 57 с.
- 5 Вахламов, В.К. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей / В.К. Вахламов. – М.: Изд-во «Академия», 2007. 465 с.
- 6 Галиев, Р.М. Обоснование и выбор параметров конструкции комбинированной энергосиловой установки легкового автомобиля: канд. техн. наук / Р.М. Галиев. – Ижевск, 2002. – 170 с.
- 7 Галимзянов, Р.К. Теория автомобиля: Учебное пособие / Р. К. Галимзянов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 220 с.
- 8 Галимзянов, Р.К. Тяговый расчет автомобиля с механической трансмиссией: учебное пособие / Р. К. Галимзянов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1998.– 41 с.
- 9 ГОСТ 20306-90. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 42с.
- 10 Златин, П.А. Электромобили и гибридные автомобили / П.А. Златин, В.А. Кеменов, И.П. Ксенович. – М.: Агроконсалт, 2004. –478 с.
- 11 Лазарева, А.Н. Разработка методики расчета базовых параметров и характеристик гибридной энергосиловой установки параллельной компоновочной

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

схемы для легкового автомобиля: канд. техн. наук / А.Н. Лазарева. – Ижевск, 2006. – 164 с.

12 Маняшин, С.А. Моделирование расхода топлива автомобиля на базе ездового цикла в низкотемпературных условиях эксплуатации: канд. техн. наук / С.А. Маняшин. – Оренбург, 2013. – 172 с.

13 Правила ЕЭК ООН №83. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении выбросов загрязняющих выхлопных газов в зависимости от топлив, необходимого для двигателей – Минск: Госстандарт, 2005. – 338 с.

14 Правила ЕЭК ООН №84 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения дорожных транспортных средств, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения потребления топлива – Минск: Госстандарт, 1999. – 64 с.

15 Радмахер, У. Системные решения Бош по сокращению выбросов CO<sub>2</sub> и других компонентов ОГ / У. Радмахер, Й. Вагнер, Б. Менхер, Ш. Келлер // Журнал автомобильных инженеров. – 2011. – №4(69). – С. 35–39.

16 Тарасик, В.Н. Теория движения автомобиля / В.Н. Тарасик. – СПб: БХВ–Петербург, 2006. – 420 с.

17 Токарев, А.А. Топливная экономичность и тягово-скоростные качества / А.А. Токарев. – М.: «Машиностроение», 1982. – 224 с.

18 Филькин, Н.М. Гибридный автомобиль: основы проектирования, конструирования и расчета: монография / Н.М. Филькин, В.А. Умняшкин, Р.С. Музафаров. – М.: ФОРУМ: ИНФРА–М, 2014. – 240с.

19 Чудаков, Е.А. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков. М.: Государственное научно–техническое издательство машиностроительной литературы, 1950. – 350 с.

20 Юсупов, А.А. Совершенствование тягово-динамического расчета автомобиля путем учета процесса переключения передач и управления двигателем: канд. техн. наук / А.А. Юсупов. – Челябинск, 2013. – 121 с.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

21 Fuhs, A. Hybrid Vehicles: and the Future of Personal Transportation / A. Fuhs. – New–York: CRC Press, 2008. – 504 c.

22 Husain, I. Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals, Second Edition / I. Husain. – New–York: CRC Press, 2010. – 523 c.

23 Ehsani, M. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design, Second Edition / M. Ehsani, Y. Gao, A. Emadi. – New–York: CRC Press, 2009. – 557 c.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.037	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		