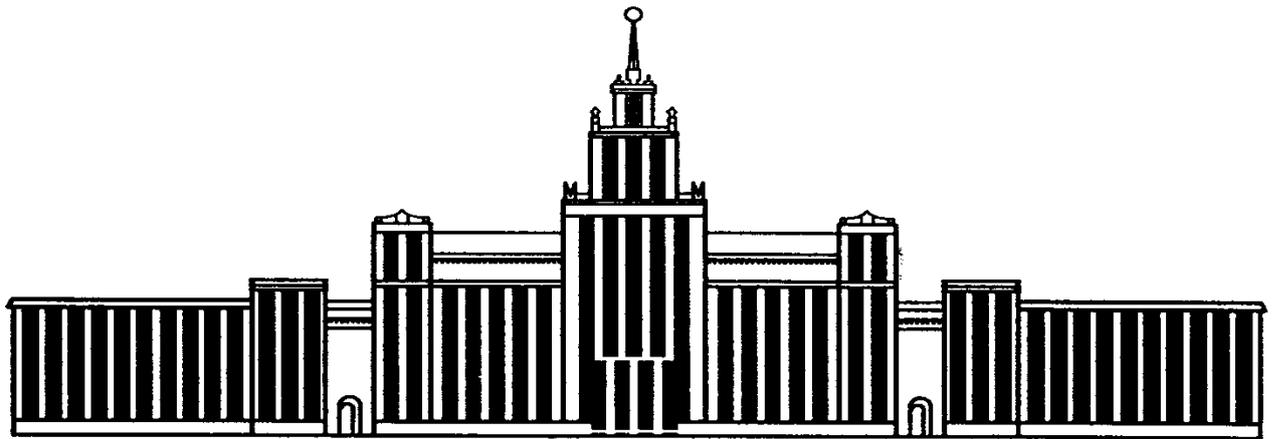


---

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---



---

ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

00(00)  
M000

## МОДЕЛЬ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторный практикум

---

Челябинск  
2015

---

**ББК Ч48+Ч61  
И724**

Лабораторный практикум «Модель гибридной силовой установки» / авторы: А.А. Андреев, Р.Ю. Илимбетов, В.А. Калмаков, под ред. А.Г. Возмилова – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 30 с.

Предназначена для студентов специальностей/направлений 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», 23.03.01 «Технология транспортных процессов», 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы», 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», 23.05.02 «Транспортные средства специального назначения».

**ББК Ч48+Ч61**

**© Издательский центр ЮУрГУ, 2015**

## **Лабораторная работа №1**

### **«Исследование работы последовательной комбинированной энергетической установки в режиме холостого хода при питании от аккумуляторной батареи»**

#### **Цель работы:**

Изучение устройства, принципа действия и основных характеристик тягового электропривода колёс в режиме холостого хода при питании от АКБ.

#### **Методический материал к лабораторной работе**

*Гибридный автомобиль* — это автомобиль, использующий для привода ведущих колёс разнородную энергию.

Гибридная силовая установка автомобиля - система эффективного взаимодействия двигателя внутреннего сгорания и электрических машин. Благодаря синергетическому (от греческого «*sinergos*» - совокупно действующий) комбинированному использованию ДВС и электрических машин гибридные автомобили имеют повышенный энергетический и динамический потенциал и отвечают самым жестким экологическим нормам. Именно поэтому силовые энергетические установки автомобилей Toyota Prius, Lexus RX400h, Lexus GS450h, Toyota Highlander Hybrid и др. имеют фирменное название Hybrid Synergy Drive, что в дословном переводе с английского означает "гибридный синергетический привод". В дальнейшем такую силовую энергоустановку будем называть гибридной силовой установкой, а сам автомобиль с такой установкой - гибридным.

Гибридный автомобиль (Hybrid) — это высокоэкономичный автомобиль, который приводится в движение не ДВС, а сложной системой «электродвигатель — двигатель внутреннего сгорания», питаемой как горючим, так и зарядом от электрического аккумулятора.

Гибридные автомобили берут все лучшее от обоих моторов: ДВС и электрического. Достоинство первого – в удобном энергоносителе, жидком топливе, а второго – в выдающихся моментных характеристиках. В отличие от ДВС, электромотор не нужно заводить и «раскручивать». Он может «стоять и ждать», не потребляя энергии. Но как только дали ток – сразу получили максимальную тягу на колесах. Электродвигатель эффективнее двигателя внутреннего сгорания в режиме частых стартов и остановок (т.е. при езде в городском цикле). Двигатель внутреннего сгорания, наоборот, более эффективен на постоянных, оптимальных для данного двигателя оборотах.

В гибриде оба двигателя работают друг на друга. ДВС крутит генератор и питает энергией электромотор. Тот, в свою очередь, позволяет ДВС работать без резких разгонных нагрузок, в наиболее благоприятных режимах. Практически все современные гибриды имеют систему рекуперации или, по-русски, «возврата энергии». Суть ее в том, что при торможении или при движении машины накатом, электродвигатели начинают крутиться от колес и работать как генераторы,

заряжая батарею. Отсюда экологичность и экономичность (особенно в городском цикле.) меньший износ.

Внимание конструкторов к транспортным средствам с электрической тягой поддерживается тем, что электрические машины имеют важное преимущество - отсутствие вредных выбросов в окружающую среду.

Так, коэффициент полезного действия (КПД) современного вентильного электрического двигателя достигает 90 ... 95%. КПД бензинового двигателя в оптимальном режиме составляет 30%, у дизельного - 40%, криогенных установок - 30 ... 35%, топливных элементов с конвектором - 50%, топливных элементов на водороде - 70% [1].

Так, современные технологии позволяют сделать мотор-колесо, в котором тяговый электродвигатель монтируется непосредственно в ступицу колес. При этом открываются широкие перспективы по электронному управлению каждым из колес отдельно. На рис. 1.1 представлено мотор-колесо электромобиля Colt EV, построенного на базе автомобиля Mitsubishi Colt.

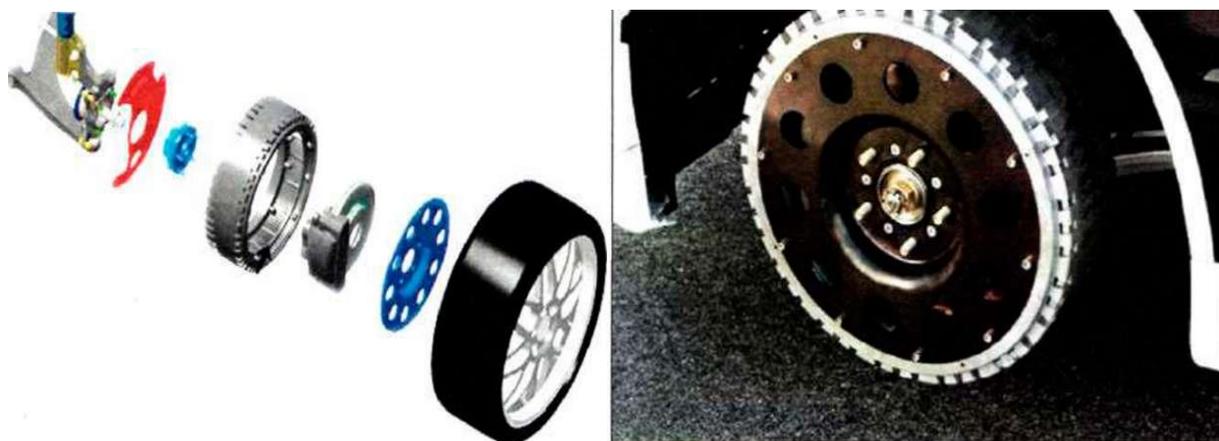


Рисунок. 1.1. Мотор-колесо электромобиля Mitsubishi Colt EV

Гибридные автомобили сложнее и дороже традиционных автомобилей с двигателями внутреннего сгорания. Аккумуляторные батареи имеют небольшой диапазон рабочих температур, не любят морозов, подвержены саморазряду. А «экономность» гибрида прямо связана с состоянием АКБ. Кроме того, существует проблема утилизации отработанных батарей. Гибриды дороже в ремонте, да и за сам ремонт возьмется далеко не каждый.

#### *Виды гибридов по мощности электродвигателя:*

По мощности используемых электродвигателей гибридные автомобили можно разделить на три группы:

- микрогибридные автомобили;
- автомобили с «мягким» гибридным приводом;
- автомобили с полным гибридным приводом.

#### *Микрогибридные автомобили*

Микрогибридные автомобили представляют собой первую ступень гибридных автомобилей. Мощность их генератора составляет от 2 до 3 кВт, и на них используется обычная АКБ 12 В. Вследствие низкой мощности и напряжения величина регенерации энергии торможения и движения накатом ограничена. Полученная электрическая энергия на микрогибридных автомобилях поступает в 12 - вольтовую бортовую сеть. Эти системы также могут иметь функцию запуска / выключения двигателя с обычным стартером или встроенным стартер - генератором.

Недостатком функции запуска/выключения двигателя является обусловленный частыми включениями высокий износ коленчатого вала, который с неподверженным трению подшипником рассчитан на длительное вращение. Сложность, повышенная масса и стоимость микрогибридных автомобилей ограничивают их использование. Кроме того, от них не стоит ожидать экономии энергии более 10 %. Строго говоря, микрогибридные автомобили не являются гибридными, так как они имеют всего один тип привода.

#### *«Мягкий» гибрид*

Классические системы «мягкого» гибрида работают с напряжением более 42 В. Сегодня напряжения в таких системах уже зачастую превышают 160 В. Мощность электродвигателя находится в диапазоне от 10 до 15 кВт. В системах «мягкого» гибрида, как правило, используются электродвигатели, которые при замедлении / торможении преобразуют часть кинетической энергии в электрическую. Системы «мягкого» гибрида, как правило, имеют функцию запуска и выключения двигателя, при которой электродвигатель используется для повторного запуска ДВС после отключения. В системах «мягкого» гибрида электродвигатель также используется для поддержки ДВС при трогании с места или ускорении. В некоторых системах «мягкого» гибрида подача топлива к ДВС отключается при достаточной степени заряда высоковольтной батареи и равномерном движении на скорости до 50 км/ч. В этом случае автомобиль движется только за счет электродвигателя, что и позволяет экономить топливо.

#### *Полный гибрид*

Системы полного гибрида отличаются возможностью трогания с места и движения даже при выключенном двигателе внутреннего сгорания. На системах полного гибрида используются высоковольтные энергоаккумуляторы с напряжением более 200 В. Поэтому эти системы позволяют трогаться с места только на электрическом приводе и одновременно использовать моменты ДВС и электродвигателя при сильном ускорении. Этот процесс обозначается как «boost» (ускорение) таблица 1.1.

Таблица 1.1. Виды гибридов по мощности электродвигателя [1]

	<b>Мощность электро- двигателя</b>	<b>Диапазон напряжения</b>	<b>Возможные функции</b>	<b>Экономия топлива</b>
Микрогибрид	от 2 до 3 кВт	12 В	- функция запуска/ выключения двигателя	менее 10 %
«Мягкий» гибрид	от 10 до 15 кВт	от 42 до 150 В	- функция запуска/ выключения двигателя - функция «boost» - регенерация	менее 20 %
Полный гибрид	> 15 кВт	> 100 В	- функция запуска/ выключения двигателя - функция «boost» - регенерация - движение на электричестве	более 20 %

По принципу взаимодействия электрической и топливной составляющих авто, гибридные приводы принято разделять на три вида: последовательный, параллельный и последовательно-параллельный.

### Список рекомендуемой литературы

1. Бажинов О.В., Смирнов А.П. и др. Гибридные автомобили. - Харьков, ХНАДУ, 2008. - 327 с.
2. К.Л. Богданов. Тяговый электропривод., Москва МАДИ 2009 г., с 56.
3. Ют В. Е. Электрооборудование автомобилей. - М.: Транспорт, 2000.

### Порядок выполнения работы

1. В процессе предварительной подготовки к работе в лаборатории ответить в письменной форме в рабочей тетради на контрольные вопросы методических указаний.
2. Ознакомиться с лабораторной установкой рис. 1.2:
  - изучить модули лабораторного стенда, ознакомиться с графическими обозначениями (рисунками) и действительными элементами стенда;
  - изучить очередность включения и выключения приборов для выполнения соответствующей работы;
  - изучить измерительные и регулировочные приборы необходимые для выполнения соответствующей работы;
  - при обесточенном стенде показать преподавателю порядок включения необходимых приборов и устройств.

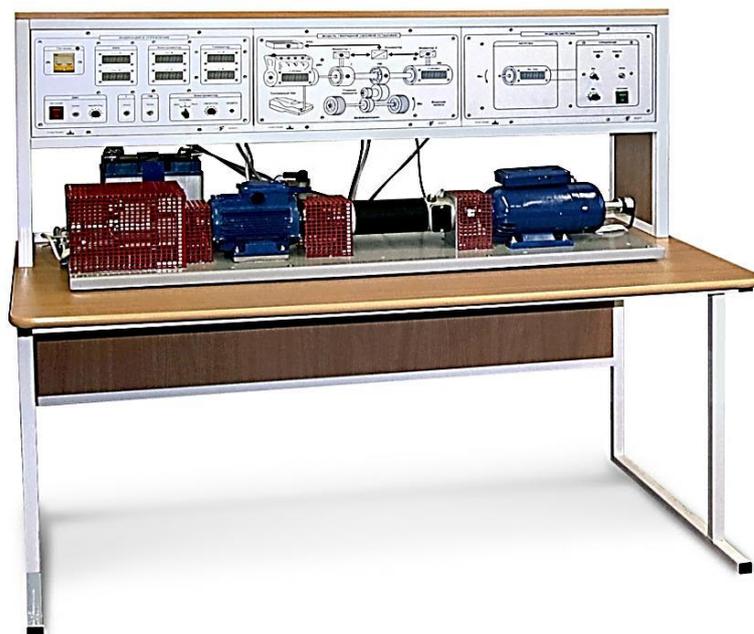


Рисунок 1.2. Учебно-исследовательский лабораторный комплекс  
«Модель гибридной силовой установки»

### 3. Оформить таблицу 1.2

Таблица 1.2 Результаты измерений тягового электропривода колёс

№ п/п	обороты, $n \text{ мин}^{-1}$	электромотор			высоковольтная батарея		
		напряжение, $V$	ток, $A$	мощность, $Вт$	напряжение $V$	ток, $A$	мощность, $Вт$
1	0						
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							

#### *Последовательность действий при проведении лабораторной работы*

Подготовить установку для снятия характеристик. Для этого на модуле «Индикация и управление» (рис. 1.3):

1. с помощью автоматического выключателя «Питание» подать напряжение на стенд  $\sim 220V$ ;

2. включить переключатель «РЕЖИМЫ» электромотора в двигательный режим «Двиг»;
3. проверка работоспособности лабораторного стенда;
4. убедиться, что на панели модуля «Модель гибридной силовой установки» (рис. 1.4) загорелись индикаторы «Красного» цвета «Высоковольтная батарея» - ВВБ → «Конвертор» → «Инвертор 2» → «Электрическая машина» - ЭМ;
5. регулятором «ОБОРОТЫ» электромотора устанавливать соответствующую скорость вращения от 0 до Максимальных ( $1500 \text{ мин}^{-1}$ ) с шагом  $150 \text{ мин}^{-1}$ ;
6. записать результаты измерений электромотора и высоковольтной батареи в таблицу 1 и расчётным путём определить мощность электромотора и АКБ;

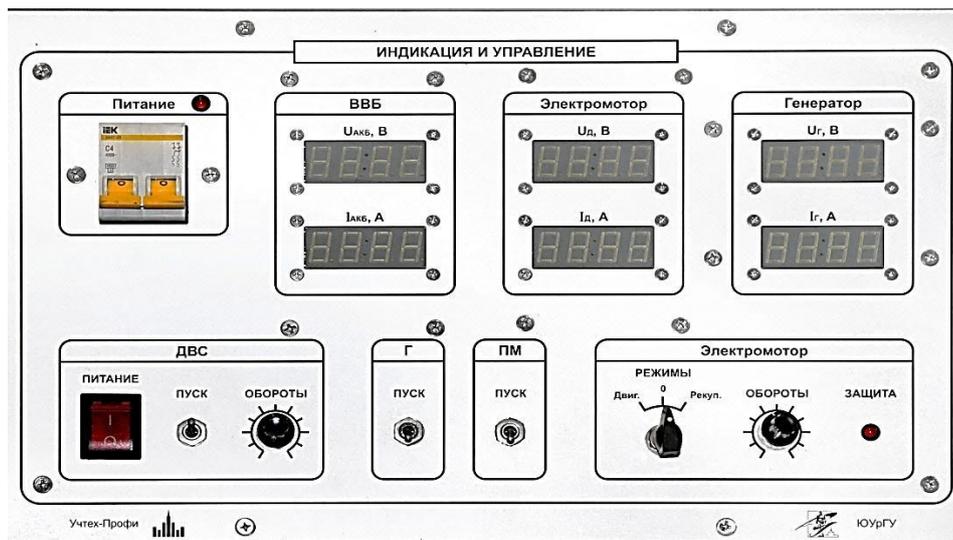


Рисунок 1.3. Передняя панель модуля «Индикация и управление»

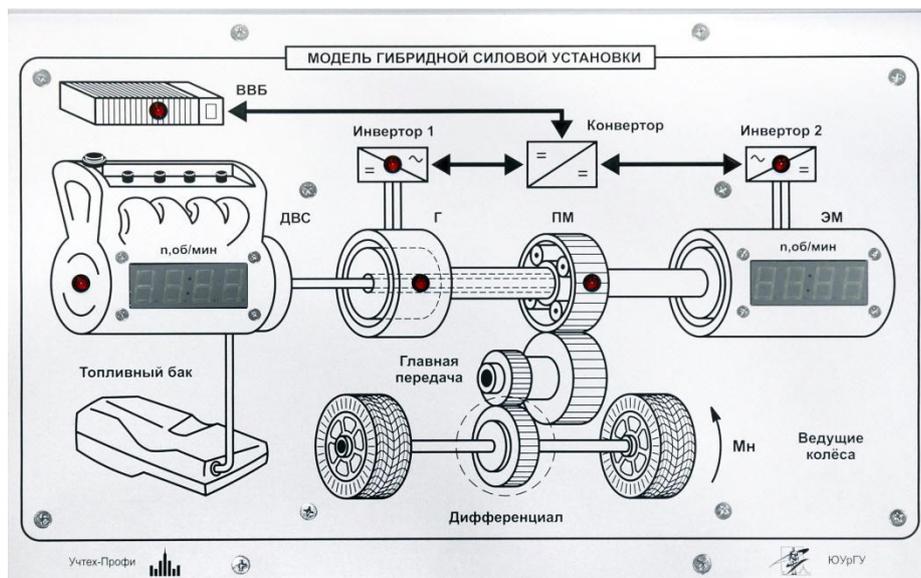


Рисунок 1.4. Передняя панель модуля «Модель гибридной силовой установки»

## Содержание отчёта

По результатам эксперимента:

1. построить электромеханическую характеристику тягового электромотора  $I = f(\omega)$ ;
2. построить вольт-амперную характеристику  $I = f(U)$  тягового электромотора и высоковольтной батареи, в одних координатных осях.
3. Построить мощностную характеристику  $P = f(\omega)$  тягового электропривода и АКБ.
4. По полученным результатам записать выводы.

## Контрольные вопросы

1. Поясните, что означает гибридный синергетический привод.
2. Какими преимуществами и недостатками обладают гибридные автомобили?
3. Какие коэффициенты полезного действия имеют известные двигатели, применяемые в автомобилях?
4. Поясните виды гибридных автомобилей по мощности электродвигателя.

## Лабораторная работа №2 «Исследование работы последовательной комбинированной энергетической установки в режиме гибридного способа движения»

### Цель работы:

Изучение принципа действия и основных характеристик последовательной комбинированной энергетической установки тягового привода колёс в гибридном режиме движения под нагрузкой.

### Методический материал к лабораторной работе

Последовательная схема комбинированной энергетической установки тягового привода ведущих колёс автомобилей это самая простая гибридная конфигурация. ДВС используется только для привода генератора, а вырабатываемая последним электроэнергия заряжает аккумуляторную батарею и питает электродвигатель, который и вращает ведущие колеса (рис.2.1). Это избавляет от необходимости в коробке передач и сцеплении.

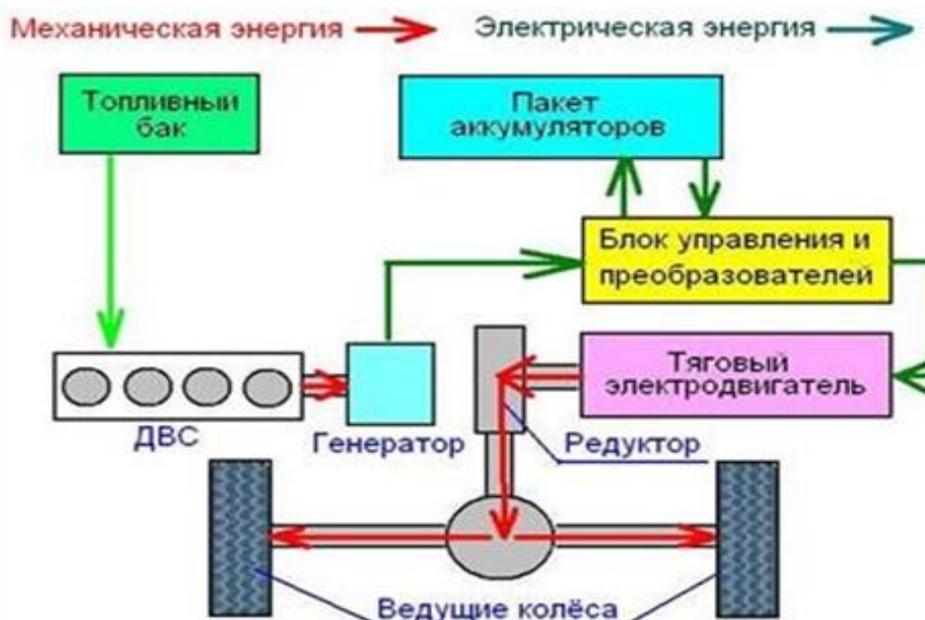


Рисунок 2.1. Последовательная схема комбинированной энергетической установки тягового привода ведущих колёс

Для подзарядки аккумулятора также используется рекуперативное торможение. Свое название схема получила потому, что поток мощности поступает на ведущие колеса, проходя ряд последовательных преобразований. От механической энергии, вырабатываемой ДВС, в электрическую, вырабатываемую генератором, и опять в механическую. При этом часть энергии неизбежно теряется. Последовательный гибрид позволяет использовать ДВС малой

мощности, причем он постоянно работает в диапазоне максимального КПД, или же его можно совсем отключить. При отключении ДВС электродвигатель и батарея в состоянии обеспечить необходимую мощность для движения. Поэтому они, в отличие от ДВС, должны быть более мощными, а, значит, они имеют и большую стоимость. Наиболее эффективна последовательная схема при движении в режиме частых остановок, торможений и ускорений, движении на низкой скорости, т.е. в городе. Поэтому используют ее в городских автобусах и других видах городского транспорта. По такому принципу работают также большие карьерные самосвалы, где необходимо передать большой крутящий момент на колеса, и не требуются высокие скорости движения.

Основные преимущества систем электропривода автомобилей, выполненных по последовательной схеме:

- электродвигатель механически изолирован от ведомых колес и управляем в любой точке своих характеристик, в том числе в пределах области максимальной эффективности;
- возможность использования быстродействующего электродвигателя;
- упрощение кинематической схемы трансмиссии;
- простота стратегии и реализации законов управления.

К недостаткам последовательной схемы следует отнести двойное преобразование энергии в осевой цепи привода и обусловленные этим повышенные потери в трансмиссии, а также значительные массогабаритные показатели электрооборудования.

Основные преимущества применения гибридного привода заложены в больших возможностях при достижении требуемых технических характеристик. Достижимо это стало благодаря новым технологиям, получившим развитие в последние 10-20 лет. Кроме этого дополнительными преимуществами гибридного привода являются:

1. Экономичность. Применение электропривода позволяет обеспечить снижение расхода топлива на 30% и более в сравнении с традиционными механическими системами, что помимо снижения затрат на топливо обеспечивает соответствующее увеличение максимального запаса хода на одном баке.

2. Компонувочные преимущества. Отсутствие жестких кинематических связей элементов трансмиссии позволяет их применять без существенного изменения существующей компоновки автомобиля. Применение электропривода идеально подходит для многоосных специальных шасси с практически неограниченными возможностями по вариантам базы автомобиля, количеству осей, колёсной формулы, типу и расположению энергетической установки (дизельный, бензиновый, газовый ДВС, газотурбинная установка).

3. Увеличение пробега без участия ДВС. Наличие на борту накопителя энергии, помимо существенного увеличения экономических (уменьшение расхода топлива и соответственно рост максимального запаса хода на одном баке) и динамических характеристик транспортного средства, позволяет обеспечить пусть и ограниченный, но важный пробег с выключенной или вышедшей из строя энергетической установкой.

4. Увеличенное полезное пространство салона. За счёт использования электромеханической трансмиссии, автомобиль освобождается от компонентов системы привода, в котором размещались механические детали. За счёт уменьшенных габаритных размеров силовой установки сокращается объём подкапотного пространства. Отсюда салон автомобиля становится просторнее, чем в машине с традиционным приводом, что является дополнительным преимуществом перед автомобилями в габаритах данного класса.

5. Возможность автоматизации. По своей сути привод электротрансмиссии является полностью автоматическим. Все воздействия водителя на органы управления автомобиля преобразуются в электрические сигналы системы управления.

6. Ремонтопригодность. Достигается благодаря модульности конструкции, которой обладает электропривод, и отсутствию механической связи энергетической установки и колёс, что является классическим примером гибридного привода.

7. Режим «электростанция». Энергетическая установка транспортного средства имеет возможность обеспечения внешних потребителей электроэнергией, эквивалентной мощности энергетической установки, что позволяет использовать автомобиль в бытовых условиях как мини электростанцию.

В гибридном автомобиле ДВС остался единственным источником энергии. На установившихся режимах движения автомобиля, когда мощность, потребляемая тяговым электродвигателем, ниже мощности, вырабатываемой генератором, излишняя электрическая энергия через элементы электрического управления, поступает в аккумуляторную батарею. На режимах частичной нагрузки, на которых автомобиль эксплуатируется большую часть времени, электрический двигатель работает на электрической энергии, поступающей от генератора, но в режимах энергичного ускорения или других высоких нагрузок этой электрической мощности может быть недостаточно. В этом случае недостающая энергия берётся от аккумуляторной батареи. Кроме этого во время торможения тяговый двигатель начинает работать в режиме генератора и вырабатываемая им электрическая энергия так же накапливается в аккумуляторной батарее. Наличие мощной аккумуляторной батареи позволяет уменьшить двигатель внутреннего сгорания. Этот двигатель может работать в наиболее приемлемых для него режимах работы, не зависимо от скорости движения и нагрузки автомобиля, что значительно улучшает топливную экономичность и уменьшает эмиссию двигателя. При этом ДВС имеет значительно меньший вес и более простую конструкцию, поскольку двигатель работает практически как стационарный, что позволяет не оборудовать двигатель различными системами, обеспечивающих работу двигателя на различных режимах работы.

По своим тяговым характеристикам электрический двигатель значительно отличается от двигателя внутреннего сгорания. Двигатель внутреннего сгорания развивает максимальную мощность и максимальный крутящий момент только на

высоких оборотах, а электрический двигатель развивает максимальный крутящий момент в самом начале вращения, кроме этого у электромотора отсутствует необходимость в холостом ходе. Электрический двигатель может вращаться в противоположном направлении. Это позволяет исключить из конструкции автомобиля сцепление и коробку передач, а при использовании не одного электродвигателя, а нескольких мотор-колёс, пропадает необходимость в использовании дифференциала. Отсутствие этих агрегатов значительно упрощает конструкцию автомобиля и уменьшает его вес, что частично компенсирует большой вес аккумуляторной батареи.

Гибридный автомобиль, зарядку которого можно осуществлять от постороннего источника электрической энергии имеет обозначение PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) Гибридный электрический автомобиль с возможностью зарядки от постороннего источника.

Примерами таких автомобилей являются Chevrolet Volt и Toyota Prius нового поколения (рис.2.2 и 2.3).



Рисунок 2.2. Гибридный автомобиль Toyota Prius 3 поколения



Рисунок 2.3. Гибридный автомобиль Chevrolet Volt нового поколения

Дальнейшее увеличение удельной ёмкости аккумуляторных батарей и значительное снижение их стоимости привело к тому, что движение автомобиля за счёт энергии, запасённой в аккумуляторной батарее, стало основным. А для привода генератора, необходимого для подзарядки аккумуляторных батарей, что требуется для увеличения общего пробега автомобиля, когда зарядки аккумулятора недостаточно для дальних поездок на автомобиль стали ставить не стандартный автомобильный двигатель, а упрощённый и облегченный двигатель внутреннего сгорания. Такие двигатели называются «Range Extender», а гибридный автомобиль с подобным двигателем получил наименование REEV (Range Extender Electric Vehicle).

### **Список рекомендуемой литературы**

1. Бажинов О.В., Смирнов А.П. и др. Гибридные автомобили. - Харьков, ХНАДУ, 2008. - 327 с.
2. К.Л. Богданов. Тяговый электропривод., Москва МАДИ 2009 г., с 56.
3. Ютт В. Е. Электрооборудование автомобилей. - М.: Транспорт, 2000.

### **Порядок выполнения работы**

1. В процессе предварительной подготовки к работе в лаборатории ответить в письменной форме в рабочей тетради на контрольные вопросы методических указаний.
2. Ознакомиться с лабораторной установкой рис.2.4:
  - изучить модули лабораторного стенда , ознакомиться с графическими обозначениями (рисунками) и действительными элементами стенда;
  - изучить очерёдность включения и выключения приборов для выполнения соответствующей работы;
  - изучить измерительные и регулировочные приборы необходимые для выполнения соответствующей работы;
  - при обесточенном стенде показать преподавателю порядок включения необходимых приборов и устройств.
3. Оформить таблицы 2.1, 2.2 и 2.3.

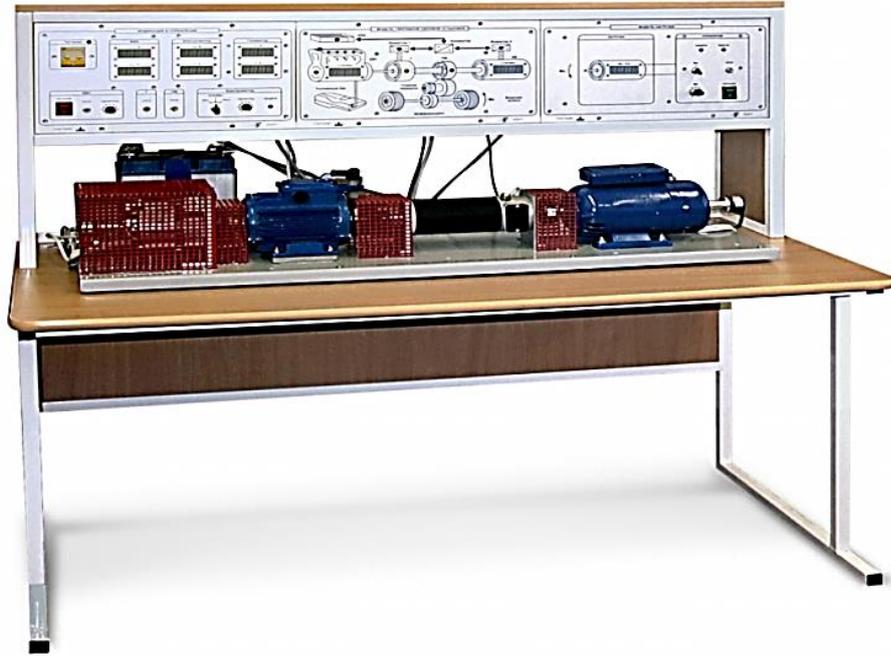


Рисунок 2.4. Учебно-исследовательский лабораторный комплекс  
«Модель гибридной силовой установки»

Таблица 2.1. Результаты измерений при оборотах ДВС > ЭМ

№ п/п	ДВС-генератор			электромотор			ВВБ		Момент сопротивления на ведущем колесе  <i>Мс, Н·м</i>
	<i>n,</i> <i>мин<sup>-1</sup></i>	<i>U, В</i>	<i>I, А</i>	<i>n,</i> <i>мин<sup>-1</sup></i>	<i>U, В</i>	<i>I, А</i>	<i>U, В</i>	<i>I, А</i>	
1	0			0					
2	300			150					
3	500			300					
4	900			450					
5	1200			600					
6	1500			750					
7	2100			900					
8	2400			1050					
9	2700			1200					
10	3000			1500					

Таблица 2.2. Результаты измерений при оборотах ДВС  $\approx$  ЭМ

№ п/п	ДВС-генератор			электромотор			ВВБ		Момент сопротивления на ведущем колесе
	$n$ , $\text{мин}^{-1}$	$U$ , В	$I$ , А	$n$ , $\text{мин}^{-1}$	$U$ , В	$I$ , А	$U$ , В	$I$ , А	$M_c$ , Н·м
1	0			0					
2	600			600					
3	700			700					
4	800			800					
5	900			900					
6	1000			1000					
7	1100			1100					
8	1300			1300					
9	1400			1400					
10	1500			1500					

Таблица 2.3. Результаты измерений при оборотах ДВС  $\leq$  ЭМ

№ п/п	ДВС-генератор			электромотор			ВВБ		Момент сопротивления на ведущем колесе
	$n$ , $\text{мин}^{-1}$	$U$ , В	$I$ , А	$n$ , $\text{мин}^{-1}$	$U$ , В	$I$ , А	$U$ , В	$I$ , А	$M_c$ , Н·м
1	0			0					
2	0			150					
3	0			300					
4	0			450					
5	600			650					
6	700			750					
7	800			850					
8	900			950					
9	1000			1050					
10	1100			1150					

### Последовательность действий при проведении лабораторной работы

Подготовить установку для снятия характеристик. Для этого на модуле «Индикация и управление» (рис.2.5):

1. «Питание» – с помощью автоматического выключателя подать напряжение на стенд  $\sim 220\text{В}$ ;
2. «ДВС» – включить «питание»; переключатель «пуск» перевести в верхнее положение;
3. «Г» – генератор – переключатель «пуск» перевести в верхнее положение;
4. «Электромотор» – установить переключатель «РЕЖИМЫ» электромотора в двигательный режим «Двиг»;
5. «Обороты» – установить соответствующую скорость вращения ДВС и электромотора от 0 до Максимальных ( $1500 \text{ мин}^{-1}$ );
6. На панели модуля «Модель нагрузки» (рис.2.7) включить «питание»; переключатель «пуск» перевести в верхнее положение;
7. По указанию преподавателя установить требуемое значение момента сопротивления  $M_c$  и регулятор  $\pm M_n$  перевести в положение «+»
8. убедиться, что на панели модуля «Модель гибридной силовой установки» (рис. 2.6) загорелись индикаторы (красного или зелёного цвета) «Высоковольтная батарея» - ВВБ  $\rightarrow$  «Конвертор»  $\rightarrow$  «Инвертор 2»  $\rightarrow$  «Электрическая машина» - «ПМ» и ДВС  $\rightarrow$  «Инвертор 1»;
9. записать результаты измерений в таблицы 2.1, 2.2 и 2.3.

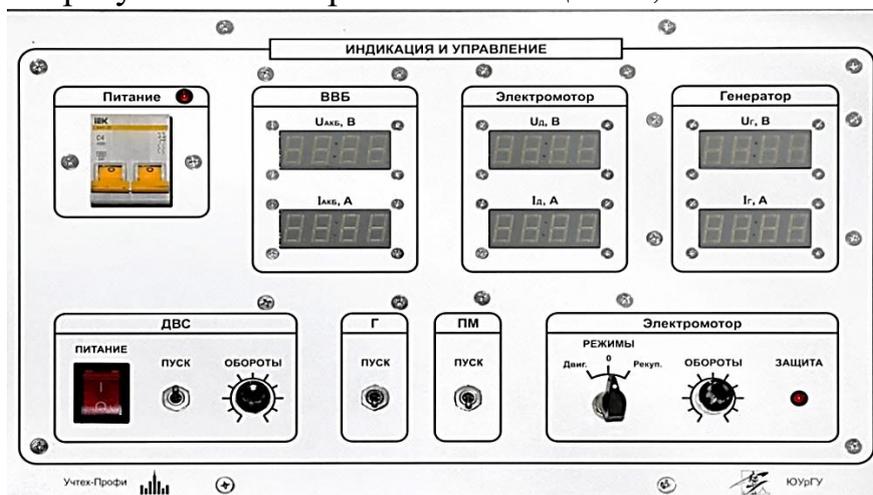


Рисунок 2.5. Передняя панель модуля «Индикация и управление»

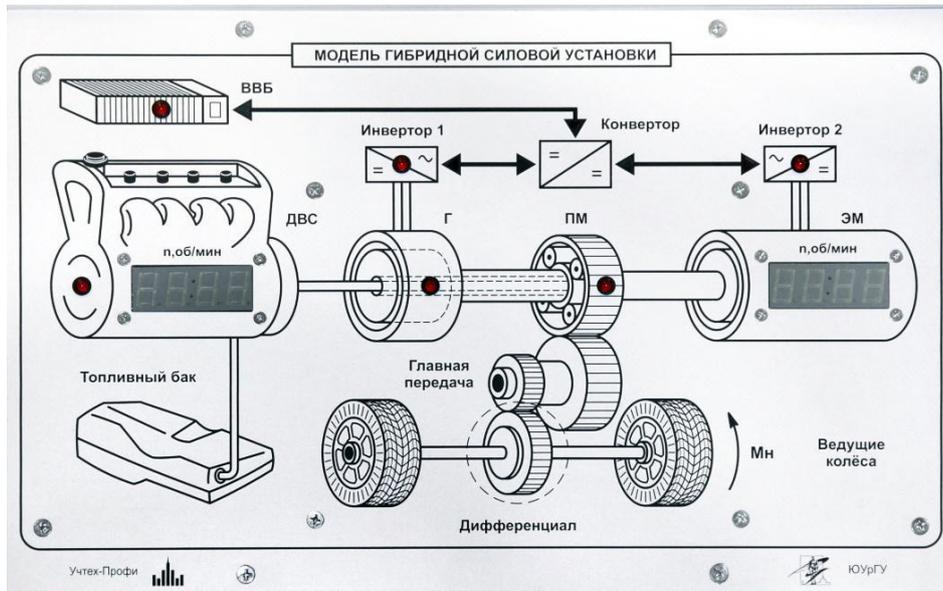


Рисунок 2.6. Передняя панель модуля «Модель гибридной силовой установки»

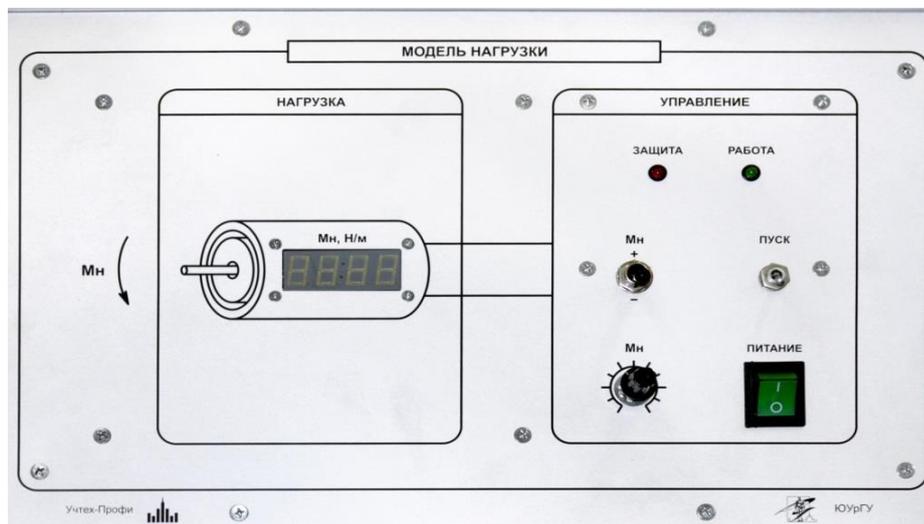


Рисунок 2.7. Передняя панель модуля «Модель нагрузки»

### Содержание отчёта

1. Построить электромеханическую характеристику  $I = f(n)$  для тягового электродвигателя, генератора и ВВБ.
2. Построить вольт-амперную характеристику  $I = f(U)$  для тягового электродвигателя, генератора и ВВБ, в одних координатных осях.
3. По полученным результатам записать выводы.

### Контрольные вопросы

1. Какими конструктивными преимуществами и недостатками обладает последовательная схема комбинированной энергетической установки (см. рис.2.5)?
2. Какими дополнительными преимуществами обладают гибридные

энергетической установки (последовательные, параллельные и смешанные) по сравнению с традиционной – ДВС?

3. Какими преимуществами обладает электродвигатель по сравнению с ДВС?

4. Приведите примеры автомобилей с последовательной схемой комбинированной энергетической установки.

5. Какие особенности имеют гибридные автомобили, имеющие обозначение PHEV?

6. Особенности гибридных автомобилей с обозначением REEV.

7.

**Лабораторная работа №3**  
**«Исследование работы последовательной комбинированной энергетической установки в динамическом режиме движения»**

**Цель работы:**

Изучение принципа действия и основных характеристик последовательной комбинированной энергетической установки тягового привода колёс в гибридном режиме движения под нагрузкой.

**Порядок выполнения работы**

- В процессе предварительной подготовки к работе в лаборатории ответить в письменной форме в рабочей тетради на контрольные вопросы методических указаний.
- Ознакомиться с лабораторной установкой рис.3.1:
- изучить модули лабораторного стенда, ознакомиться с графическими обозначениями (рисунками) и действительными элементами стенда;
- изучить очерёдность включения и выключения приборов для выполнения соответствующей работы;
- изучить измерительные и регулировочные приборы необходимые для выполнения соответствующей работы;
- при обесточенном стенде показать преподавателю порядок включения необходимых приборов и устройств.
- Оформить таблицы 3.1, 3.2 и 3.3.

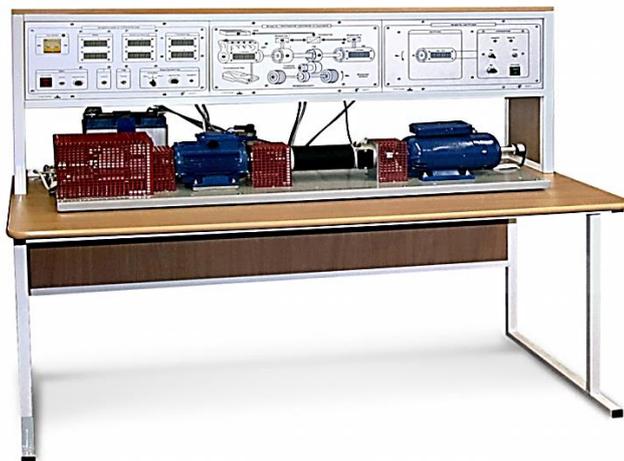


Рисунок 3.1. Учебно-исследовательский лабораторный комплекс  
«Модель гибридной силовой установки»

Таблица 3.1. Результаты измерений при оборотах ДВС &gt; ЭМ

№ п/п	ДВС-генератор				электромотор				ВВБ			Момент сопротивления на ведущем колесе
	$n, \text{мин}^{-1}$	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$P, \text{Вт}$	$n, \text{мин}^{-1}$	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$P, \text{Вт}$	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$P, \text{Вт}$	$M_c, \text{Н}\cdot\text{м}$
1	0				0							0
2	2500				500							
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Таблица 3.2. Результаты измерений при оборотах ДВС  $\approx$  ЭМ

№ п/п	ДВС-генератор				электромотор				ВВБ			Момент сопротивления на ведущем колесе
	$n, \text{мин}^{-1}$	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$P, \text{Вт}$	$n, \text{мин}^{-1}$	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$P, \text{Вт}$	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$P, \text{Вт}$	$M_c, \text{Н}\cdot\text{м}$
1	0				0							0
2	1200				1200							
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Таблица 3.3. Результаты измерений при оборотах ЭМ

№ п/ п	электромотор				ВВБ			Момент сопротивления на ведущем колесе
	$n, \text{мин}^{-1}$	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$P, \text{Вт}$	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$P, \text{Вт}$	$M_c, \text{Н}\cdot\text{м}$
1	0							0
2	400							
3								
4								
5								
6								
7								

### Последовательность действий при проведении лабораторной работы

Подготовить установку для снятия характеристик. Для этого на модуле «Индикация и управление» (рис.3.2):

1. «Питание» с помощью автоматического выключателя подать напряжение на стенд  $\sim 220\text{В}$ ;
2. «ДВС» – включить «питание»; переключатель «пуск» перевести в верхнее положение;
3. Г – генератор – переключатель «пуск» перевести в верхнее положение;
4. Электромотор – установить переключатель «РЕЖИМЫ» электромотора в двигательный режим «Двиг»;
5. «Обороты» – установить соответствующую скорость вращения ДВС и электромотора от 0 до Максимальных ( $1500 \text{ мин}^{-1}$ );
6. На панели модуля «Модель нагрузки» (рис.3.4) включить «питание»; переключатель «пуск» перевести в верхнее положение;
7. По указанию преподавателя установить требуемое значение момента сопротивления  $M_c$  и регулятор  $\pm M_n$  перевести в положение «+»
8. Убедиться, что на панели модуля «Модель гибридной силовой установки» (рис. 3.3) загорелись индикаторы (красного или зелёного цвета) «Высоковольтная батарея» - ВВБ  $\rightarrow$  «Конвертор»  $\rightarrow$  «Инвертор 2»  $\rightarrow$  «Электрическая машина» - «ПМ» и ДВС  $\rightarrow$  «Инвертор 1»;
9. Записать результаты измерений в таблицы 1, 2 и 3.

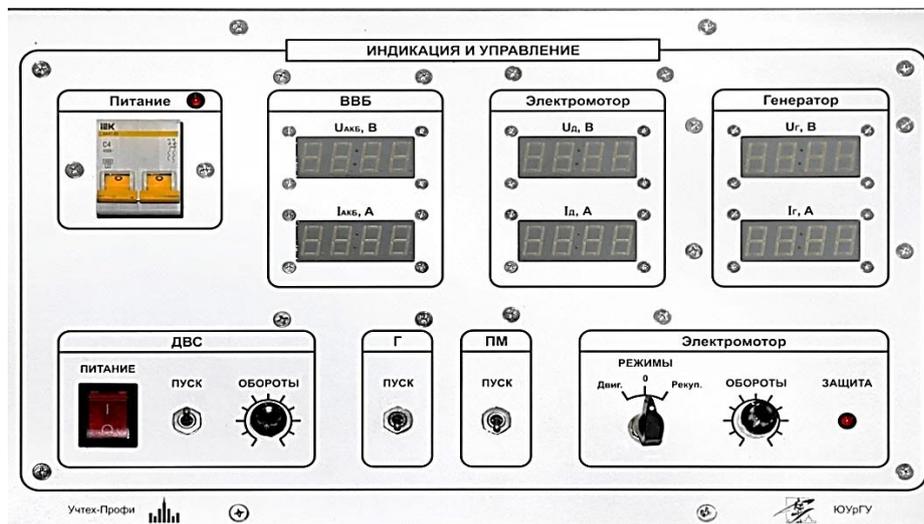


Рисунок 3.2. Передняя панель модуля «Индикация и управление»

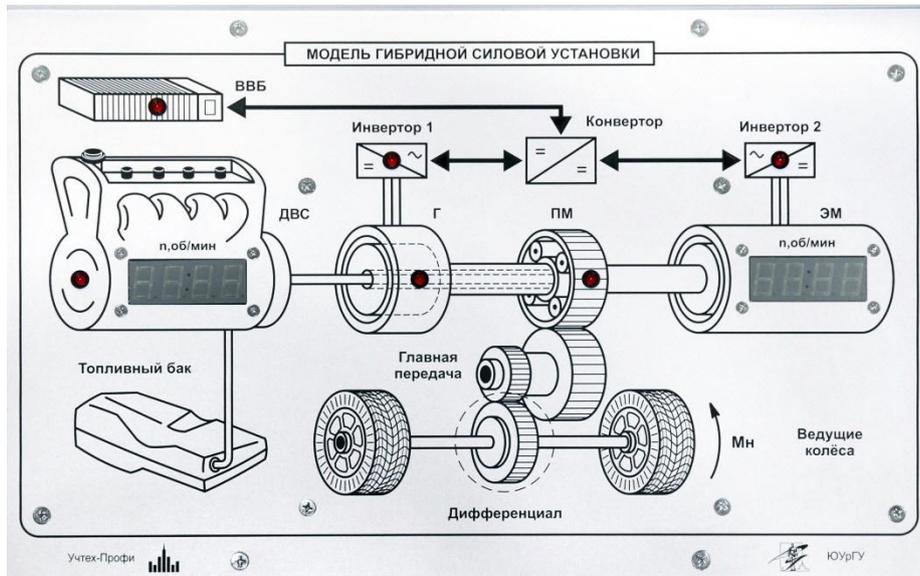


Рисунок 3.3. Передняя панель модуля «Модель гибридной силовой установки»

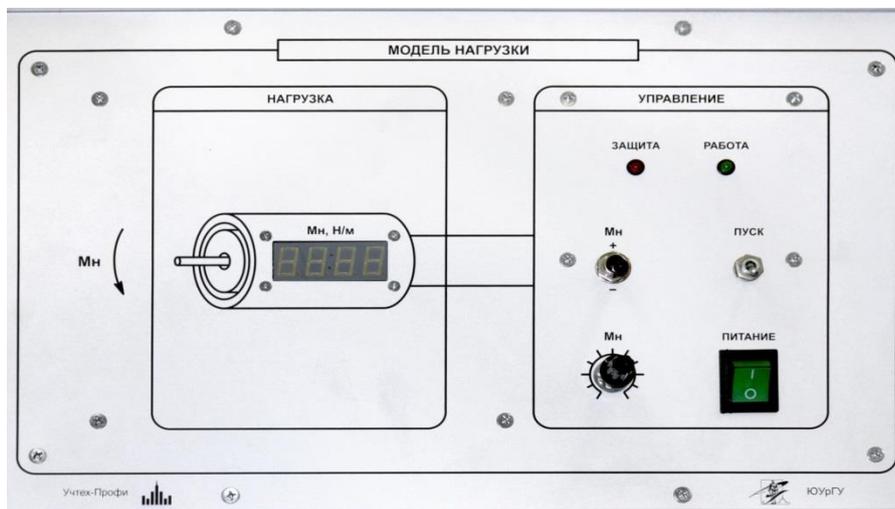


Рисунок 3.4. Передняя панель модуля «Модель нагрузки»

### Содержание отчёта

- 3.1. Построить электромеханическую характеристику  $I = f(n)$  для тягового электродвигателя, генератора и ВВБ.
- 3.2. По полученным результатам записать выводы.

### Контрольные вопросы

## Лабораторная работа №4 «Исследование работы параллельной комбинированной энергетической установки в режиме гибридного способа движения»

### Цель работы

Изучение принципа действия и основных характеристик параллельной комбинированной энергетической установки тягового привода колёс в гибридном режиме движения при постоянной нагрузке.

### Методический материал к лабораторной работе

В параллельной схеме электродвигатель и двигатель внутреннего сгорания устанавливаются таким образом, что они могут работать как самостоятельно, так и совместно. Это достигается путем соединения ДВС, электродвигателя и коробки передач с помощью автоматически управляемых муфт (рис.4.1).

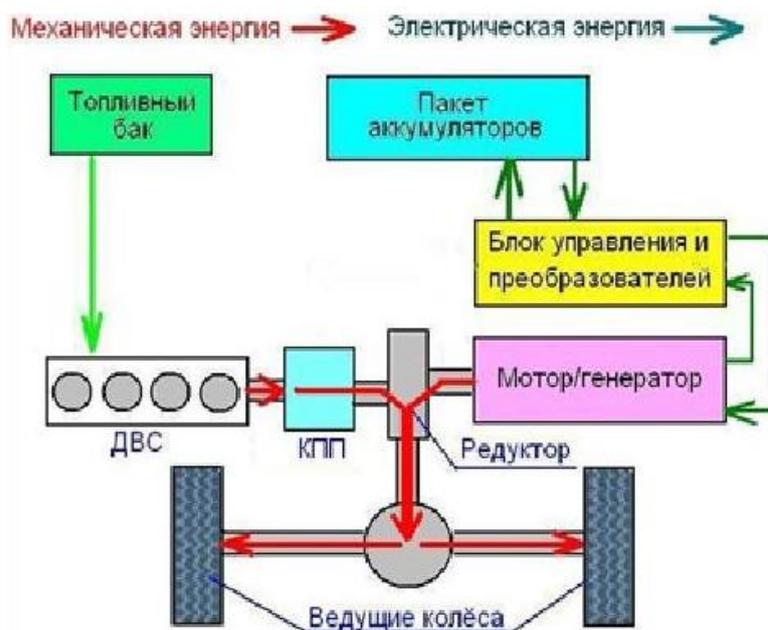


Рисунок 4.1. Параллельная схема с мотор-генератором

Гибридные автомобили, использующие параллельную схему, носят название умеренных гибридов (Mild Hybrid). В них используется электродвигатель малой мощности (порядка 20 кВт), который обеспечивает, как правило, дополнительную мощность при ускорении автомобиля. В большинстве конструкций электродвигатель, расположенный между ДВС и коробкой передач, выполняет также функцию стартера и генератора (рис. 4.2).

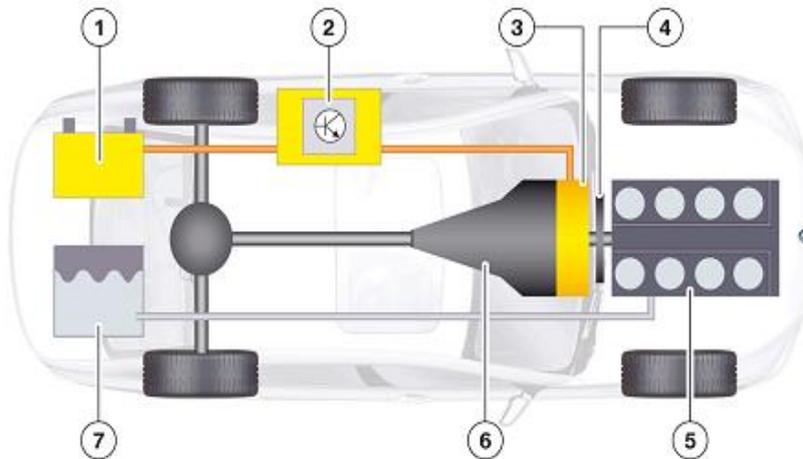


Рисунок 4.2. Параллельная схема с мотором-генератором-стартером

Известными гибридными автомобилями с параллельной схемой являются Honda Insight, Honda Civic Hybrid (рис. 4.3), BMW Active Hybrid 7, Volkswagen Touareg Hybrid, Hyundai Elantra Hybrid. Пионером в данной области является Honda и ее система Integrated Motor Assist, ИМА (дословно – интегрированный помощник двигателя).



Рисунок 4.3. Гибридный автомобиль с параллельной схемой Honda Civic Hybrid

При работе системы ИМА можно выделить следующие характерные режимы:

- работа от электродвигателя.
- совместная работа ДВС и электродвигателя.
- работа от ДВС с одновременной зарядкой аккумулятора от электродвигателя в режиме генератора.
- зарядка аккумуляторной батареи в режиме рекуперативного торможения.

Фирма Honda предусматривает, прежде всего, создание бензинового двигателя с увеличенным к.п.д. И только тогда, когда двигателю становится трудно, на помощь ему должен приходиться электрический мотор. В этом случае система не требует сложного и дорогостоящего силового блока управления, и, следовательно, себестоимость такого автомобиля оказывается ниже. Система ИМА

состоит из бензинового двигателя (который предоставляет основной ресурс мощности), электромотора, который предоставляет дополнительную мощность и дополнительной батареи для электромотора. Когда автомобиль с обычным бензиновым двигателем замедляется, его кинетическая энергия гасится сопротивлением мотора (торможение двигателем) или рассеивается в виде тепла при нагреве тормозных дисков и барабанов. Автомобиль с системой IMA начинает тормозить электромотором. Таким образом, электромотор работает как генератор, вырабатывая электричество. Сохранённая при торможении энергия запасается в батарее. И когда автомобиль вновь начнёт ускоряться, батарея отдаст всю накопленную энергию на раскрутку электромотора, который снова перейдёт на свои тяговые функции. А расход бензина уменьшится ровно настолько, сколько энергии было запасено при предыдущих торможениях. В общем, в компании Honda считают, что гибридная система должна быть максимально простой, электрический мотор выполняет лишь одну функцию — помогает двигателю внутреннего сгорания сэкономить как можно больше горючего.

Параллельная схема обеспечивает передачу энергии на колеса как от источника механической энергии (ДВС), так и — параллельно — от электродвигателя. При этом, накопитель энергии работает так же, как в последовательной схеме. Электродвигатель компенсирует неравномерности работы ДВС и недостатки момента, обеспечивая плавность хода и экономию топлива за счет энергии накопителя, полученную при рекуперативном торможении. При малых оборотах возможно движение транспортного средства только от электродвигателя, с включением в работу ДВС при наборе достаточной скорости движения. Схема имеет относительно высокий КПД и хорошие массогабаритные показатели, относительно недорого (применяется электрооборудование только на часть полной мощности). Недостатком схемы является сложность механического согласования работы ДВС и электропривода, ограничения в компоновке, необходимость применения устройств механического согласования (коробок передач специальной конструкции). Правда, от согласования работы ДВС и электропривода можно уйти, обеспечив передачу ими момента на разные оси (колеса), однако, такой прием не всегда приемлем по условиям размещения тягового оборудования и баланса масс транспортного средства. Также существенным недостатком схемы является нестабильность работы ДВС, соответственно ухудшение показателей выбросов по сравнению с последовательной схемой.

Применение параллельной схемы оправдано для транспортных средств, работающих на маршрутах со средней и более низкой интенсивностью движения (по сравнению с последовательной схемой) для обеспечения экономии топлива при торможениях, спусках, поворотах и т.п. Параллельная схема, очевидно, применима только с двигателями с вращающимся валом (ДВС) и не подходит для альтернативных источников энергии.

## Список рекомендуемой литературы

1. К.Л. Богданов. Тяговый электропривод, Москва МАДИ 2009 г., с 56.

## Порядок выполнения работы

1. В процессе предварительной подготовки к работе в лаборатории ответить в письменной форме в рабочей тетради на контрольные вопросы методических указаний.

2. Ознакомиться с лабораторной установкой рис.4.4:

- изучить модули лабораторного стенда , ознакомиться с графическими обозначениями (рисунками) и действительными элементами стенда;
- изучить очерёдность включения и выключения приборов для выполнения соответствующей работы;
- изучить измерительные и регулировочные приборы необходимые для выполнения соответствующей работы;
- при обесточенном стенде показать преподавателю порядок включения необходимых приборов и устройств.

3. Оформить таблицы 4.1, 4.2 и 4.3.

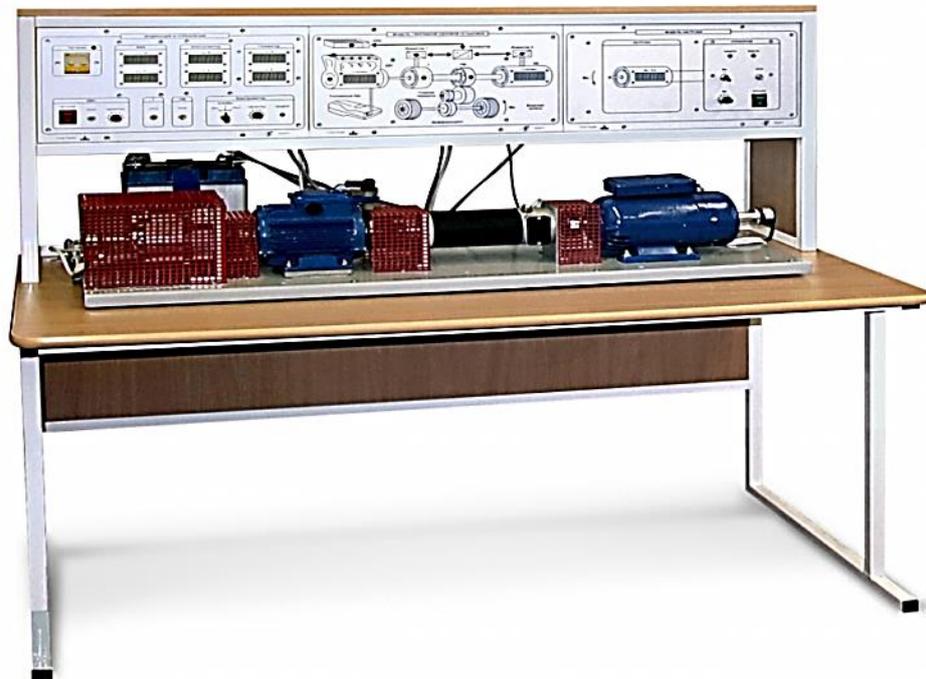


Рисунок 4.4. Учебно-исследовательский лабораторный комплекс «Модель гибридной силовой установки»



10	1500				1500							
----	------	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--

*Последовательность действий при проведении лабораторной работы*

В данной лабораторной работе требуется произвести имитацию работы параллельной комбинированной энергетической установки тягового привода автомобиля при следующих условиях работы:

- разгон автомобиля на электромоторе при работающем ДВС с зарядкой на ВВБ с постоянной нагрузкой во время движения (таб. 4.1);
- синхронная работа электромотора и ДВС при разгоне автомобиля с постоянной нагрузкой во время движения (таб. 4.2);
- разгон автомобиля на электромоторе с последующим включением ДВС с повышающейся нагрузкой во время движения (таб. 4.3).

Подготовить установку для снятия характеристик. Для этого на модуле «Индикация и управление» (рис.4.5):

1. «Питание» – с помощью автоматического выключателя подать напряжение на стенд  $\sim 220\text{В}$ ;
2. «ДВС» – включить «питание»; переключатель «пуск» перевести в верхнее положение;
3. «Г» – генератор – переключатель «пуск» перевести в верхнее положение;
4. «Электромотор» - установить переключатель «РЕЖИМЫ» электромотора в двигательный режим «Двиг»;
5. «ПМ» – планетарный механизм переключатель «пуск» перевести в верхнее положение;
6. «Обороты» – установить соответствующую скорость вращения ДВС и электромотора от 0 до Максимальных ( $1500 \text{ мин}^{-1}$ );
7. На панели модуля «Модель нагрузки» (рис.4.7) включить «питание»; переключатель «пуск» перевести в верхнее положение;
8. По указанию преподавателя установить требуемое значение момента сопротивления  $M_c$  и регулятор  $\pm M_n$  перевести в положение «+»
9. Убедиться, что на панели модуля «Модель гибридной силовой установки» (рис. 4.6) загорелись индикаторы (красного или зелёного цвета) «Высоковольтная батарея» - ВВБ  $\rightarrow$  «Конвертор»  $\rightarrow$  «Инвертор 2»  $\rightarrow$  «Электрическая машина» - «ПМ» и ДВС  $\rightarrow$  «Инвертор 1»;
10. Записать результаты измерений в таблицы 4.1, 4.2 и 4.3.

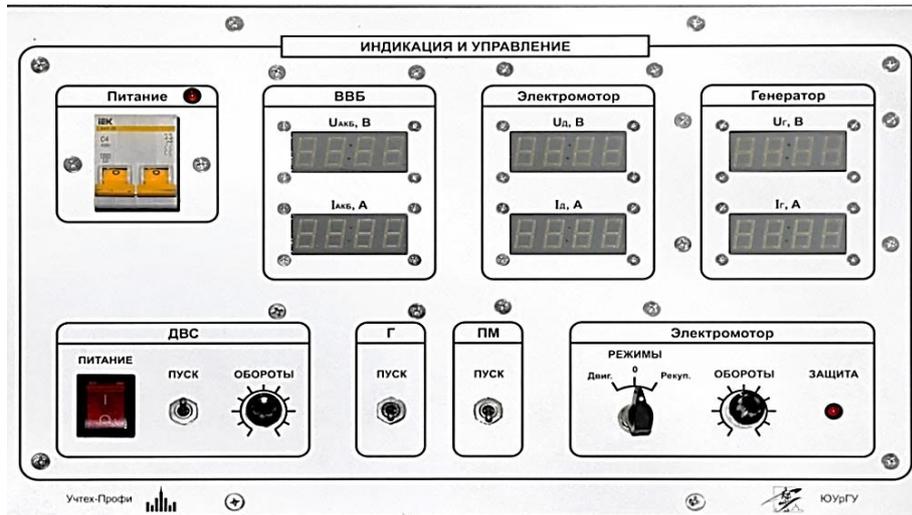


Рисунок 4.5. Передняя панель модуля «Индикация и управление»

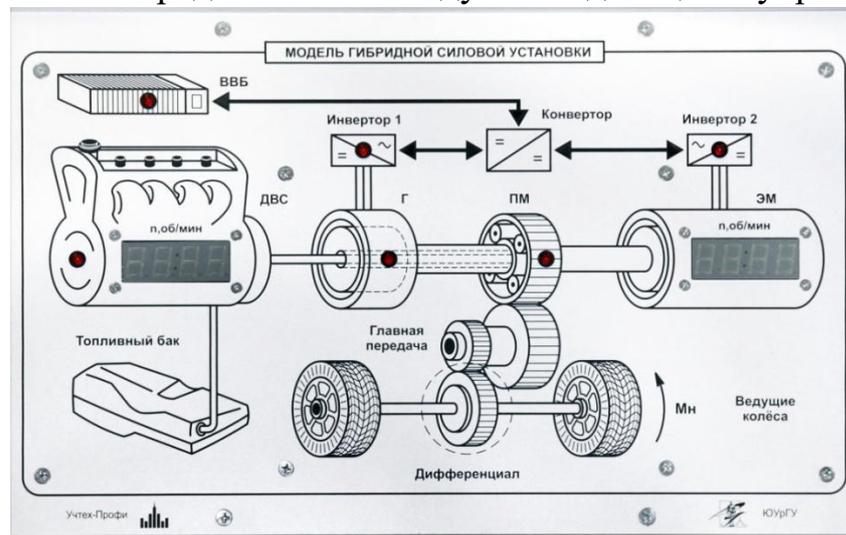


Рисунок 4.6. Передняя панель модуля «Модель гибридной силовой установки»

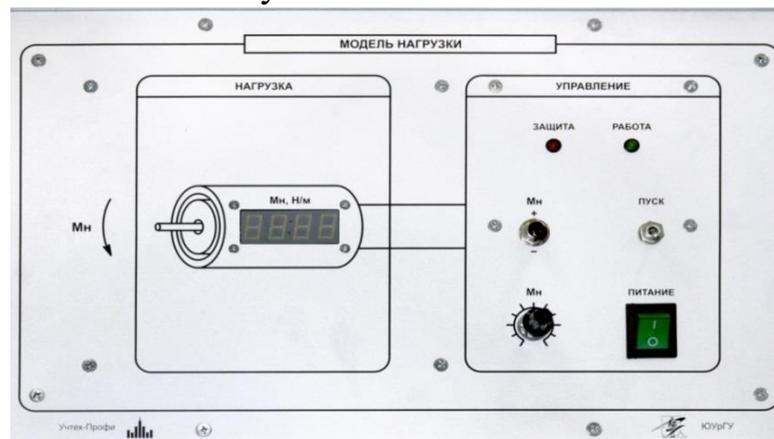


Рисунок 4.7. Передняя панель модуля «Модель нагрузки»

## Содержание отчёта

1. Построить характеристику  $I = f(n)$  для тягового электродвигателя, генератора и ВВБ.
2. Построить мощностную характеристику  $P = f(n)$  для тягового электродвигателя, генератора и ВВБ.
3. По полученным результатам записать выводы.

## Контрольные вопросы

1. Каковы конструктивные отличия параллельной схемы гибридной силовой установки по сравнению с последовательной?
2. Какими конструктивными преимуществами обладает параллельная схема комбинированной энергетической установки?
3. Какими конструктивными недостатками обладает последовательная схема комбинированной энергетической установки?
4. На примере рисунков 4.1 и 4.2 поясните конструктивные особенности этих схем, их достоинства и недостатки.
5. Опишите алгоритмы работы параллельной схемы на режимах:
  - работа от электродвигателя;
  - совместная работа ДВС и электродвигателя;
  - работа от ДВС с одновременной зарядкой аккумулятора от электродвигателя в режиме генератора;
  - зарядка аккумуляторной батареи в режиме рекуперативного торможения