

ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ
АВТОТРАНСПОРТНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра: «Электромеханики и автоматики»

Утверждаю

Ректор ТАДИ

М А Икрамов

« ____ » _____ 2009 год

Индивидуальное задание

на магистерскую диссертационную работу.

Магистрант: Давлетов С.С.

Код и название специальности: 5А521315 «Электрооборудование
автомобилей тракторов»

Тема магистерской диссертации: **Исследование системы электрического
торможения тягового электропривода гибридного автомобиля ДАМАС**

Содержание магистерской диссертации:

Введение. Цели и задачи исследования.

Глава 1. Состояние вопроса и задачи исследования

1.1. Обзор и анализ существующих конструкций и систем тягового привода гибридных автомобилей.

1.2. Исследование технических характеристик гибридных автомобилей и их систем торможения.

Глава 2. Исследование способов электрического торможения тягового привода.

2.1. Исследование способов электрического торможения тягового привода постоянного тока гибридного автомобиля. Рекуперативный способ торможения

2.2. Исследование способов электрического торможения тягового привода переменного тока гибридного автомобиля. Рекуперативный способ торможения

Глава 3. Разработка эскизной компоновки и методики расчета силового электрического устройства с рекуперацией тормозной энергии.

3.1. Методика расчета силовой установки гибридного автомобиля по роду тока.

3.2. Разработка эскизной компоновки энергетической установки гибридного автомобиля Дамас.

Выводы

Литература

Приложение

Магистрант:

Научный руководитель:

Зав.кафедрой :

Эксперт:

С.С. Давлетов

доц. Н.Х. Ахроров

доц. А.П.Ахмедов

Оглавление:

| | |
|---|-----------|
| Введение. Цели и задачи исследования..... | 3 |
| Глава 1. Состояние вопроса и задачи исследования | |
| 1.1. Обзор и анализ существующих конструкций и систем тягового привода гибридных автомобилей..... | 7 |
| 1.2. Исследование технических характеристик гибридных автомобилей и их систем торможения..... | 22 |
| Глава 2. Исследование способов электрического торможения тягового привода. | |
| 2.1. Исследование способов электрического торможения тягового привода постоянного тока гибридного автомобиля. Рекуперативный способ торможения..... | 40 |
| 2.2. Исследование способов электрического торможения тягового привода переменного тока гибридного автомобиля. Рекуперативный способ торможения..... | 48 |
| Глава 3. Разработка эскизной компоновки и методики расчета силового электрического устройства с рекуперацией тормозной энергии. | |
| 3.1. Методика расчета силовой установки гибридного автомобиля по роду тока..... | 55 |
| 3.2. Разработка эскизной компоновки энергетической установки гибридного автомобиля Дамас..... | 62 |
| Выводы..... | 64 |
| Литература..... | 67 |
| Приложение | |

ВВЕДЕНИЕ

Цели и задачи исследования.

В последнее десятилетие в связи с ростом производства электромобилей до 10 млн. единиц в год в мире резко обострились энергетические и экологические проблемы во многих промышленно развитых странах, особенно страдают от ухудшения этих параметров крупные промышленные города. В среднем до 70% загрязненной атмосферы в крупных городах, на основании многих исследований, приходится на долю автомобильного транспорта. В рамках международных программ ЕЭК ООН и директив ЕЭС разработаны программы с конечной целью обеспечения в начале XXI века выбросов со сверхнизкой (ULEV – Ultra Low Emission Vehicle) (0,04г/моль) и нулевой токсичностью (ZEV – Zero Emission Vehicle) для автомобилей с ДВС и дизельным двигателем. [9. 20. 21.22].

На заводах «УзДЭУ», и «СамКочАвто» выпуск автомобилей и около 40 наименований комплектующих к ним на более 10 заводах, доказал справедливость столь ответственного решения в период перехода к рыночной экономике в Узбекистане. Президент Республики Узбекистан И.А. Каримов в своем выступлении отметил, что «Наше независимое государство стремительно идет по пути прогресса. И одна из первых успехов рождение совершенно новой для нашей экономики отрасли - автомобилестроения. Автопромышленность становится одним из столпов экономики Узбекистана» [1, 2, 3].

Следовательно, автомобиль является таким могучим источником повышенного загрязнения атмосферы, то необходимо разработать такой вид транспорта, который был бы не только экологически чистым, но и удовлетворял эксплуатационно-техническим параметрам, предъявляемым к автомобилю. Первый путь, по которому идут все автомобильные компании мира – это снижение в автомобилях токсичности и повышение экономичности,

совершенствование конструкций двигателей, применение всевозможных каталитических нейтрализаторов, электронных систем управления и применение новых материалов. Данный путь ведет к усложнениям конструкции систем управления двигателем, что приводит к значительному удорожанию автомобиля. Второй путь – это поиск альтернативных источников энергии, наиболее перспективными из которых являются накопители электрической энергии, применение которых позволит создать экологически чистый наземный транспорт. Во многих странах создание экологически чистого транспорта ведется по инициативе и при финансовой поддержке государственных властей и различных ответственных организаций.

Таким транспортом должен стать электромобиль и гибридный автомобиль. [19, 20].

Актуальность темы исследования по созданию гибридных автомобилей является в основном использование тормозной энергии транспортного средства, оборудованного электрической и топливной тяговой установкой. Опыт исследований показывает рост в потребности в гибридных автомобилях в областях народного хозяйства за рубежом и в нашей республике. В частности, автотранспортное обслуживание банков, инкассаторских служб, почты, магазинов и других подобных отраслей экономичнее электромобилями или гибридными автомобилями. В указанных отраслях использование автотранспортных средств обуславливает частые остановки и пуск двигателя внутреннего сгорания, расходующего большого количества топлива и смазочных материала и др. Следовательно, решение комплекса вопросов создания и освоения производства гибридных автомобилей, их отдельных агрегатов, систем для Республики Узбекистан является весьма актуальной. Вопросами исследования и создания гибридных автомобилей занимаются такие страны с развитой автомобильной промышленностью, как США, Англия, Германия, Япония, Франция, Россия, Китай, Корея и др.

Таким образом, проблема электрического тягового привода автомобильного транспорта с ее автономной энергоустановкой и рекуперацией

тормозной энергии потребует принципиально новых научно - технических решений и разработок.

Целью исследования является обоснование, разрабатываемых научно-технических рекомендаций, направленных по исследованию, расчету, выбору электромеханических параметров тягового привода в тормозных режимах, а также систем рекуперации тормозной энергии на примере гибридного автомобиля Дамас.

Предметом исследования является проблема разработки методики расчета и исследования электромеханических параметров тягового привода в тормозных режимах и систем рекуперации тормозной энергии относительно гибридного автомобиля Дамас.

Объектом исследования являются электромеханические параметры и характеристики электрического тягового привода автомобиля Дамас и система рекуперации тормозной энергии.

Целевая направленность, логика исследования обусловили постановку и решение следующих задач:

- Обзор и анализ типов современных гибридных автомобилей.
- Систематизация существующих гибридных автомобилей, относительно их систем тягового привода и энергетических установок;
- Исследование основных аспектов, характеризующих тяговую систему и энергетических установок гибридных автомобилей с использованием тормозной энергии.
- Выбор системы энергетической установки и схемы рекуперации тормозной энергии гибридного автомобиля.
- Разработка методики расчета тормозной энергии и качества использования получаемой энергии.
- Выбор и расчет типа двигателя по роду тока.
- Выбор типа и схемы управления тягового электрического двигателя.

Научная новизна полученных результатов выражается в обосновании методологических основ выбора и анализа гибридной энергоустановки (ДВС

ЭМ) с последующим использованием тормозной энергии автомобиля. Диссертация заполняет известный пробел в научных исследованиях, посвященных выбору систем рекуперации тормозной энергии, а также ее управления и использования.

Практическая значимость

Результаты работы создают основу для технической реализации гибридного автомобиля Дамас с использованием тормозной энергии. Использование расчетных параметров и изготовление требуемой по условиям эксплуатации сравнительно недорогой разработки позволит значительно экономить топливо и способствует улучшению свойств окружающей среды, а также даст возможность получения максимального количества полезной тормозной энергии.

Реализация результатов

Полученные результаты теоретических исследований и практических расчетных данных, использованы при разработке модели электромобиля, а также в учебном процессе ТАДИ.

ГЛАВА 1. Состояние вопроса и задачи исследования

1.1. ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ПРИВОДА ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Гибридные автомобили.

Гибридные транспортные средства (ТС) иногда предпочитают называть ТС с комбинированной энергоустановкой, представляют, нечто среднее между автомобилем и электромобилем. Т. е. транспортным средством, приводимым в движение электрическим двигателем, питаемым от бортовой источника электрической энергии и ДВС.

На современном этапе ведущие зарубежные фирмы проводят широкие исследования по созданию гибридного привода электромобилей - параллельно и последовательно.

В некоторых источниках информации параллельную схему привода называют комбинированной или же двойным приводом. При такой схеме привода требования к мощностям обоих двигателей существенно ниже. Особенно это касается электродвигателя, так как электрический привод может предназначаться для движения в городских условиях, когда не требуется больших мощностей. Возможны различные варианты этого привода:

- * механический и электрический приводы приводят в действие одни и те же колеса и не связаны друг с другом, приводя в действие разные колеса;

- * одновальная, когда оба привода объединены и могут работать одновременно;

- * интегральная схема, когда мощности обоих приводов объединяются в особом дифференциале.

Характерными примерами комбинированных электромобилей являются Audi Duo, Chico (VW), Golf . [95].

Audi Duo разработан на базе серийного автомобиля Audi 100. Двигатель внутреннего сгорания расположен спереди, а весь электропривод - сзади. Синхронный электродвигатель мощностью 21 кВт расположен перед дифференциалом. Аккумуляторные батареи установлены на месте запасного

колеса, для чего специально изменен пол кузова. Могут использоваться различные типы батарей. При использовании свинцовых батарей их масса достигает 323 кг. Никель-кадмиевые батареи легче – 256 кг. При использовании только электрического привода максимальная скорость составляет 65 км/час. Время разгона до 50 км/час – 12 сек. Запас хода составляет 80 км. Двигатель внутреннего сгорания 4 – цилиндровый мощностью 85 кВт с рабочим объемом 2л. Полная масса электромобиля 1800 кг.

Прогноз создания электромобилей по годам по соотношению к производству автомобилей

Таблица 1.1.

| Страны | 2000 год | | 2005 год | | 2100 год | |
|--------------|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
| | шт. (тыс) | % | шт. (тыс) | % | шт. (тыс) | % |
| Сев. Америка | 80,0 | 0,5 | 570,0 | 3,3 | 864,0 | 5,0 |
| Европа | 70,0 | 0,4 | 503,0 | 3,0 | 742,0 | 4,3 |
| Япония | 49,0 | 0,6 | 338,0 | 4,3 | 525,0 | 6,6 |

Интерес к электромобилям возрастает и сегодня характеризуется тем, что они создаются на базе конвертации серийных автомобилей, а в качестве автономного источника электроэнергии наиболее широкое распространение имеют традиционные электрохимические системы (кислотные, щелочные усовершенствованных конструкций). Перспективная задача развития до 2005 года предусматривает разработку концептуальных электромобилей с комбинированными энергетическими установками. Прогноз создания электромобилей (ЭМ) по годам по отношению к производству автомобилей составит (табл. 1.1.) [5, 6, 7, 9].

Отношение к гибридным ТС начало коренным образом изменяться в конце прошлого столетия [4-7].

В связи с энергетическим кризисом и экологическими проблемами во многих странах были рассмотрены программы энергосбережения и охраны окружающей среды. Анализ возможных путей повышения топливной эффективности показал, что существенную экономию топлива может дать использование у ТС тягового электропривода. Вопреки бытующему мнению о высокой экономичности аккумуляторных электромобилей, анализ показывает,

что химическая энергия топлива, сжигаемого на электростанциях, используется для движения транспортного средства всего на 15% и менее. Это происходит из-за потерь энергии в линиях электропередачи, трансформаторах, преобразователях, зарядных устройствах для аккумуляторов и самих аккумуляторах, электрических машинах, как в (двигательном) - тяговом, так и в (генераторном) – тормозном режимах, а также в тормозах при невозможности рекуперации энергии. Для сравнения, дизельный двигатель на оптимальном режиме преобразует в механическую энергию около 40% химической энергии топлива. При большом распространении аккумуляторных электромобилей, а особенно с учетом сказанного им просто не будет хватать электроэнергии, вырабатываемой электростанциями мира. Не следует забывать, что суммарная установочная мощность двигателей всех автомобилей намного превышает мощность всех электростанций мира.

Энергетические установки гибридных автомобилей

Накопители электрической энергии (НЭ) находят все более широкое применение в транспортных средствах. Под НЭ понимается устройство, позволяющее накапливать в нем энергию какого-либо вида в течение периода разряда ($t_{\text{раз}}$). Взаимосвязь накопителя при заряде и разряде определяется законом сохранения энергии, выражающем очевидное соотношение

$$P_3 t_3 \eta = P_p t_p \quad (1.1)$$

Где P_3 и P_p – среднее значение мощностей зарядного и разрядного процессов;

η - коэффициент полезного действия накопителя (КПД);

t_3 и t_p , - время заряда и разряда;

Значения t_3 и t_p , а также энергетические показатели при заряде и разряде могут сильно отличаться. Отсюда, существует несколько направлений использования накопителей энергии [10, 11].

Во-первых, их основная роль может сводиться к аккумулярованию избыточной энергии при отключении значительной части потребителей и последующему использованию накопленной энергии в периоды интенсивного

энергообеспечения. При этом t_3 и t_p имеют примерно одинаковый порядок, а показатели энергии при заряде и разряде достаточно близки.

Во-вторых, основным назначением накопителей может быть преобразование энергии различного вида в электрическую энергию.

В-третьих, накопители в соответствующих режимах обеспечивают преобразование необходимых показателей определенного вида. Например: если в НЭ любого вида $t_3 \ll t_p$, то из уравнения (1.1) следует, что $P_p \ll P_3$, т.е. мощность, отдаваемая накопителем к нагрузке, во много раз превышает мощность, потребляемую при заряде. Таким образом, НЭ являются промежуточным звеном между системами генерирования и системами распределения и потребления энергии. По своему предназначению и способу преобразования энергии НЭ классифицируются как: электрохимические, индуктивные, емкостные, с динамической активной зоной, механические, электромеханические, электродинамические.

Характеристики современных тяговых аккумуляторных батарей

Традиционно в качестве одного из источников энергии на электромобилях используются аккумуляторные батареи. В настоящее время наибольшее распространение получили лишь три типа батарей: свинцовые, никель-кадмиевые и натрий - серные. Сравнительные параметры аккумуляторов разного типа представлены в табл. 1.4. [10, 11, 12, 19, 21]

Таблица 1.2.

Параметры аккумуляторов

| Тип аккумулятора | Разрядное напряжение, В | Удельная энергия, ДЖ / г | Удельная мощность Вт / кг |
|---------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Свинцово-кислотная | 2,0 – 1,8 | 70 – 90 | 80 |
| Никель-кадмиевая | 1,3 – 1,0 | 90 – 125 | 80 |
| Железо-никелевая | 1,3 – 1,0 | 90 – 125 | 80 |
| Серебряно-цинковая | 1,5 – 1,3 | 350 – 700 | 150 |
| Серебряно-кадмиевая | 1,1 – 0,9 | 220 – 250 | 120 |
| Серно-натриевая | – | 600 – 800 | 150 |

Свинцово – кислотные аккумуляторы применяются до сих пор, несмотря на то, что имеют большую массу и малую мощность. В кислотных батареях привлекает их надежность, низкая стоимость. Свинцовые батареи используются на таком известном электромобиле как Impact (GM). Масса батарей составляет

400 кг (40% от снаряженной массы), емкость, емкость 13,6 кВтч. При полной массе 1160 кг электромобиль на таких батареях имеет максимальный запас хода 200 км. Аналогичные батареи широко применяются и на мелкосерийных электромобилях: Optima Sun, Pingvin, Mini-el, Pingvin Tavria.

На втором по применяемости месте стоят щелочные никель-кадмиевые батареи. Они обладают большей плотностью энергии, мощностью и способностью создания больших токов, что является особенно привлекательным для электромобилей. При использовании никель-кадмиевых батарей мощность двигателя не отражается на запасе хода, имеются определенные преимущества в возможности быстрой зарядки батарей (15 мин). Однако эти батареи имеют существенные недостатки: высокий саморазряд и высокая стоимость. Каждый, несмотря на все усилия по его утилизации, является экологически очень вредным веществом. Никель - кадмиевые батареи установлены на многие специальные и конвертированные электромобили, их использование на японском электромобиле IZA позволяет достигнуть величины запаса хода 548 км. Масса батарей 531 кг, что составляет 34% снаряженной массы электромобиля (1573 кг).

В последнее время на электромобилях стали применяться натрий – серные батареи, время заряда которых составляет от 0,5 до 1 часа. Они имеют очень высокую плотность энергии, однако, в связи с высокой рабочей температурой (свыше 300⁰С), требуются дополнительные затраты мощности, высокие расходы на изоляцию и управление. Натрий – серные батареи установлены на специальных электромобилях E1 и E2 фирмы BMW, масса батарей составляет 200кг, что составляет 22% от снаряженной массы (900 кг) и при этом запас хода достигается до 250 км на E1, а на E2 этот показатель еще выше - 430 км. [23, 24].

Анализируя глубину разряда вышеперечисленных аккумуляторов, можно сделать вывод, что наиболее устойчивыми параметрами обладают натриевой – серные аккумуляторы. Все другие типы батарей, также как бром - цинковые, моносульфид железо – никелевые, находятся еще в стадии разработки и

испытаний. У бром - цинковых батарей ожидается трехкратное увеличение плотности энергии по сравнению с кислотными, однако следует отметить, что бром относится к категории экологически вредных веществ. Большие надежды специалисты возлагают на литиевые батареи (Swing батареи), разрабатываемые фирмой Varta. В этих батареях ионы лития двигаются между анодом, выполняемым из углерода, и катодом из оксидов переходных металлов. В основу работы батарей положен колебательный процесс, создающий высокое напряжение ячеек – 3,5 В. Ожидается, что энергоемкость батареи будет сопоставима с энергоемкостью высокотемпературных натрий - серных батарей, но при этом не требуется высоких температур.

Топливные элементы. Проблемы снимаются при питании электромобилей от так называемых первичных источников электроэнергии, вырабатывающих энергию непосредственно из топлива. В первую очередь, такими источниками являются топливные элементы (ТЭ), потребляющие кислород и водород. Кислород можно забирать из воздуха, а водород, в принципе, можно запасать в сжатом или сжиженном виде, а также в так называемых гидридах. Но реальнее его получать из обычного автомобильного топлива прямо на электромобиле с помощью конвертора. Эффективность топливных элементов несколько снижается, но зато не меняется вся инфраструктура топливозаправочного хозяйства. КПД топливных элементов при этом все равно очень высок – около 50%. Такие топливные элементы и конверторы разработаны, в частности, и российскими предприятиями, с которыми сотрудничают авторы статьи. Однако электромобиль с питанием от топливных элементов не лишен общего недостатка – высокой массы тяговых электродвигателей транспортных средств, рассчитанных как на максимальные мощность и крутящий момент, так и на максимальную частоту вращения. При этом добавляются и специфические недостатки, характерные для топливных элементов. Это, во-первых, невозможность рекуперации энергии при торможении, так как топливные элементы не являются аккумуляторами, то есть они не могут заряжаться электроэнергией, а во-вторых, низкая удельная мощность топливных

элементов. При огромной удельной энергии топливных элементов (порядка 400...600 Вт·ч/кг), удельная мощность при экономичном разряде не превышает 60 Вт/кг. Это делает массу топливных элементов для реальных мощностей, необходимых автомобилям, очень большой. Например, для электромобиля с максимальной потребляемой мощностью 100 кВт и электробуса с максимальной потребляемой мощностью 200 кВт, это соответствует массам топливных элементов 1670 и 3330 кг, соответственно. Если прибавить массы тяговых электродвигателей, примерно равные 150 и 400 кг, соответственно, то получаются массы силовых агрегатов, совершенно неприемлемые для легкового электромобиля и требующие пятитонного прицепа для электробуса. Делаются попытки снижения массы топливных элементов с использованием в качестве промежуточных источников энергии конденсаторных накопителей энергии, обладающих высокой удельной мощностью. Однако, и этот путь недостаточно эффективен, так как лучшие современные конденсаторные накопители, доступные для автомобильной техники, имеют удельные энергетические показатели около 0,55 Вт·ч/кг и 0,8 Вт·ч/литр. В таком случае для накопления всего 2 кВт·ч энергии (это значение рекомендовано специалистами, как для электромобилей, так и для электробусов), потребуется около 3000 кг или 2,5 м³ конденсаторов, что нереально. Меньшие значения запасаемой энергии существенно снижают динамические качества машины. Кроме того, при коротком замыкании мощные конденсаторы могут загореться, что очень нежелательно для транспорта. Гораздо эффективнее использование в качестве промежуточного накопителя энергии супермаховика, соединенного с обратимой электромашиной.

Известные схемы. Супермаховик – маховик, изготовленный навивкой из волокон или лент на упругий центр. Удельная энергия супермаховика на порядок больше значений данного параметра для лучших монолитных маховиков, к тому же он обладает свойством безопасного разрыва, не дающего осколков. Такие схемы осуществлены в новейших опытных образцах гибридных электромобилей фирм Mechanical Technology Inc.(США), EDO

Energy (США), и известной Ливерморской национальной лаборатории (LLNL, США). Удельная энергия супермаховиков из кевлара и графита, достигающая сотен Вт·ч/кг, снижает его необходимую массу до нескольких килограммов (при удельной энергии 200 Вт·ч/кг, для накопления 2 кВт·ч потребуется супермаховик массой всего 10 кг). Однако электромашинный накопитель, необходимая здесь помимо тягового двигателя, и рассчитанная на максимальную мощность и поэтому весьма тяжелая, снижает эффективность этой схемы. К тому же она, как и тяговый двигатель должна быть обратимой (и мотором, и генератором), что дополнительно усложняет привод. Оригинальную схему гибридного силового агрегата с маховиковым накопителем и электромеханическим приводом предложила, изготовила и испытала фирма "BMW" (Германия). Несомненным преимуществом данного технического решения является наличие только одной электромашинной, что снижает массу и приближает его к автомобильным схемам (рис. 1). Тип маховика фирма "BMW" в отчете не уточняет, поэтому используемый накопитель условно назван просто «маховиковым».

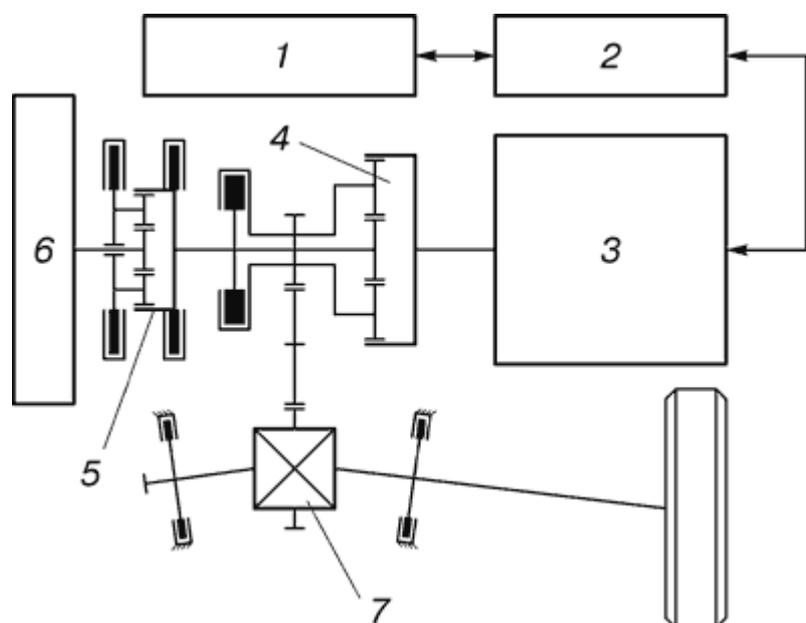


Рис. 1.1. Схема гибридного силового агрегата с маховиковым накопителем и электромеханическим приводом фирмы "BMW" (Германия): 1 – источник тока; 2 – система управления; 3 – обратимая электромашинная; 4 –

дифференциальный механизм; 5 – мультипликатор; 6 – маховиковый накопитель; 7 – главная передача.

Источник тока 1, связан с обратимой электромашинной 3, с помощью преобразователя и системы управления 2, рассчитанной на максимальную мощность электромобиля. Электрическая машина 3 через сложный дифференциальный механизм 4 с мультипликатором 5 связана с маховиком 6 накопителя и главной передачей 7. В результате масса источника тока 1, например, топливного элемента, может быть выбрана исходя из удельной энергии, а не удельной мощности, что снижает ее для электромобиля и электробуса с пробегом, соответственно, 400 и 600 км до 100...150 и 700...1000 кг. Это вполне приемлемо для данных транспортных средств. Однако неперенным недостатком всех схем с электроприводом остается наличие тяжелого и сложного обратимого электродвигателя. Это отражается на экономичности привода и его массе, включая систему преобразователей тока. Мощная электромашинная неэкономична при работе на малых мощностях, характерных для разгона (зарядки) маховикового накопителя. Кроме того, в схеме, помимо главной передачи, присутствует сложный по конструкции и управлению дифференциальный механизм с мультипликатором и тремя системами фрикционного управления (муфтами или тормозами), что усложняет и удорожает привод.

Емкостные накопители энергии. Проведенные исследования и обобщение информации по материалам печати дают возможность сделать вывод, что ЕНЭ являются одним из перспективных видов бортового источника питания электромобиля. Так, для легкового автомобиля малого класса достаточно иметь на борту емкостной буферный накопитель с запасаемой энергией около 200 кДж, при напряжении 120 – 130 В. До недавнего времени использование емкостных накопителей считалось малоперспективным и трудоемким из-за характеристики разряда. Появление емкостных накопителей, на основе целевых исследований, с большой удельной энергоемкостью позволяет рассматривать их как перспективный накопитель энергии [13. 24].

Основными преимуществами ЕН по сравнению с АБ являются:

- * экологическая чистота,
- * высокая динамичность,
- * способность разряжаться и заряжаться;
- * не требует ухода,
- * имеет большой срок службы

Взаимосвязь основных параметров конденсатора описывается в следующем виде

$$\begin{aligned}C &= K\xi A/d \\W &= 1/2CU^2 \quad (1.2) \\ \rho &= K_0E^2\end{aligned}$$

Где C – электрическая емкость конденсатора; K – относительная диэлектрическая постоянная; ξ - диэлектрическая проницаемость вакуума; A – площадь пластины, d – толщина диэлектрического слоя; U – напряжение; E – напряженность электрического поля, W – энергия; ρ - плотность энергии;

Исходя из вышеуказанных зависимостей, увеличение удельной энергоемкости можно достичь путем увеличения емкости C или достижением предельной напряженности электрического поля E , одновременно оптимизируя величины A/d и K

В решении этой задачи используется два основных подхода:

- * создание диэлектрических молекулярных пленок с высшими значениями K и E . Достижения молекулярной технологии позволяют увеличить удельные характеристики (удельную энергию) конденсаторов почти на порядок (табл. 1.3.,1.4.)

- * создание энергоемких конденсаторов путем оптимизации величины A/d , входящей в выражение для емкости C . Здесь усилия специалистов направлены на совершенствование технологии так называемых конденсаторов с двойным диэлектрическим слоем, применение которых благодаря их высоким удельным характеристикам представляется перспективным для создания мощных малогабаритных накопителей.

Таблица 1.3

Состояние и перспективные показатели ЕН по программе ДОЕ

| Технология | Разработчик | Современное состояние | | По проекту, Вт ч/кг, Дж/г |
|---|---------------------------------------|---|--|------------------------------------|
| | | Вт ч/кг | Описание | |
| Композиция уголь/металловолокно | Maxwell Aurubum | 1,5 - 2,0 (5,4 - 7,2) 8 - 10 (28,8 - 36) | уголь/никель водные, эл ячейки 20В, 20 см ³ , уголь/алюминий/огранич., эл. ячейки, 80 см ³ | 3-4 (11-14) 10-12 (36-43) |
| Монолит вспененный уголь | Lawtence Livermore Nat. Labori (LLNL) | 8 - 10 (28,8 - 36) | аэрогель – уголь, орган. эл., ячейки 80 см ³ , | 10-12 (36-43) |
| Смесь окислов металлов (керамики) на металл. фольге | Pinnaele Rescarch | 5 (18) 7,5 (27) | Оксид металлов, водная. Эл сборка на 32 и 100 В, 80 см ³ то же, сборка на 8 В | 5 (15) 10 (36) |
| Частицы пеноуглерода со связующим | Sandia Nat. Lab | 10 -15 (18-25,2) | улучшенный пеноуголь со связующим | 7 (25) |
| Двойные слои полимера на угольных листах | Los Alamos Nat. Lab | 9 - 15 (36 - 54) | Двойные полимеры с орган. эл. (тип 111) ячейка на 3,3 В | 15 (54) |
| Углерод по Z – осям | Federal Fabrics | 8 - 10 (28,8 - 36) | водн. Эл. 20 см ³ , ячейка на 20 В | 10 (36) |
| Многослойные наностружки | LLNL | 2 - 3 (7,2 - 10,8) | Пленки TiO ₂ 1 мм, 400И 50 см ² , потери < 0,1 | 3 (11) |
| Импульсная батарея из лития полимера | Standford Research Inst. | 50 - 70 (180 - 252) | 50 В, биполярная лента 7 мм, очень высокая мощность | 70 (250) |

Таблица 1.4

Характеристики ЕН, выпускаемых в России

| Тип | U _{ном} , В | W _{полезн} кДж | C _{ср} , Ф | R _{внутр} , Ом | τ _{RC} , сек | m, кг | S, мм | Изготовитель |
|---------------|----------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|-------|-------------|--------------|
| 24ПП-30/0,003 | 24-28 | 30-40 | 104,2 | 3,5·10 ⁻³ | 0,35 | 28 | 315x180x240 | АО «Элит» |
| 12ПП-4/0,03 | 12-14 | 4-5 | 50 | 3,5·10 ⁻³ | 0,18 | 5 | 170x85x164 | АО «Элит» |
| 12ПП-15/0,001 | 12-14 | 15-20 | 200 | 1,5·10 ⁻³ | 0,3 | 15 | 180x180x240 | АО «Элит» |
| 24ПП-15/0,005 | 24-28 | 15-20 | 50 | 5,5·10 ⁻³ | 0,3 | 15 | 180x180x240 | АО «Элит» |
| 30Н-0,003 | 24-28 | 30-40 | 100 | 3,5·10 ⁻³ | 0,35 | 28 | 315x180x240 | АО «Элит» |
| 24ТМ-50 | 24-28 | 50 | 150 | 0,17 | 0,25 | 18 | 360x125x235 | АО «Элит» |
| МИГ-25/30 | 24-28 | 38 | 120 | 0,0075 | 0,39 | 37 | 230x370x240 | |
| МАМИ-1 | 24 | 5,1 | 3,5 | 0,15 | - | 4,25 | - | |

Положительные результаты по разработке ЕН достигнуты и в России. К числу основных разработчиков ЕН в России относятся НПО «Элит» (г. Курск),

МАМИ (г. Москва), ГПО «Квант» (г. Москва). В таблице 1.10 представлены обобщенные систематизированные параметры ЕН Российских разработок. Сопоставление основных параметров энергоемких конденсаторов в режимах разряда и заряда показывает преимущество емкостного накопителя по отношению к АБ [14, 15, 16]

Электрохимические системы. ТАБ с электродами, основанными на использовании лития (литий-сульфид железа, литий - бисульфид железа, литий-полимер), считаются перспективными для применения на автомобилях ближайшего будущего. В этом направлении проводятся интенсивные исследовательские работы. Основными проблемами, ждущими своего решения, являются отвод тепла во время заряда и разряда ТАБ и вопросы производства. [17, 18, 19].

Комбинированные энергоустановки с ДВС — наиболее реальный путь достижения высоких показателей ТС в самом ближайшем будущем. При этом удастся обеспечить большую дальность пробега и сохранить существующую инфраструктуру заправки. Электропривод может использоваться в качестве мотор - генератора, соединенного с коленчатым валом ДВС и позволяющего выключать ДВС при непродолжительной остановке ТС и последующем пуске ДВС по команде водителя начать движение. Мотор-генератор целесообразно использовать не только для быстрого пуска ДВС, но и для создания электротяги при начале движения ТС. Причина этого очевидна: ДВС имеет высокую топливную эффективность и малый уровень выбросов в ограниченном диапазоне частот вращения, поэтому целесообразно отбирать от него мощность только после того, как машина уже наберет некоторую минимальную скорость. Мотор-генератор позволяет "сглаживать" пульсации развиваемого ДВС момента (что благоприятно сказывается на снижении вибраций) и увеличивать ресурс узлов трансмиссии. Одновременно может быть решена проблема дефицита мощности бортовой электросети, характерная для современных ТС. Гибридный автомобиль, построенный в 1916 г., имел на рулевой колонке два рычага управления: один для бензинового двигателя, другой - для

электромотора, который обеспечивал автомобилю скорость 32 км/ч, когда бензиновый двигатель отключался. Аккумуляторная батарея заряжалась также лёгким поворотом электрического рычага.

В настоящее время бензиновый и электрический двигатели, могут управляться компьютерной системой, в зависимости от режима движения автомобиля. При этом можно подключать их одновременно или по очереди в зависимости от условий эксплуатации. Кроме того, существует система рекуперации энергии при торможении. Автомобили с гибридным приводом не являются новыми, так как впервые такой автомобиль появился в конце XIX века у французской фирмы *Compagnie Parisienne des Voitures Electriques*. К 1920 г. гибридная технология практически была забыта. Нефтяной кризис в 1970-е годы возродил интерес к гибридным приводам для автомобильного транспорта. В сентябре 1975 г. специалист по электронике Гарри Грипке представил турбинно-электрический автомобиль, привод которого состоял из восьми 12-вольтовых аккумуляторных батарей и турбинного самолётного генератора, работающего на солнечной энергии. Весил он примерно 1590 кг и занимал много места, очень ограничивая пространство для пассажиров. Поэтому, рассматривая принцип работы гибридного автомобиля и его преимущества над обычными автомобилями, необходимо в первую очередь построить энергетический баланс обычного автомобиля. В таких автомобилях ДВС является преобразователем химической энергии сжигаемого топлива в механическую энергию. Основная часть этой энергии расходуется на привод ведущих колес, а некоторое количество этой энергии теряется. Например, в двигателе потери энергии возникают из-за трения тел соприкосновения (поршень, коленчатый вал, клапаны и подшипники качения). Кроме этого имеются тепловые потери, насосные потери и, следовательно, теоретический КПД двигателя снижается. Таким образом, от энергии сжигаемого топлива на полезную работу затрачивается в пределах до 70%. Даже во время торможения, наката и остановки двигатель продолжает сжигать топливо, потому что он продолжает работать в режиме холостого хода. Лучшие результаты и большую

гибкость управления дает схема тягового электрического двигателя с инвертором (кроме мотор - генератора), редуктором и механической муфтой (с электронным управлением), позволяющей реализовать тот или иной вид подвода момента к ведущим колесам.

Двигатели обычных автомобилей спроектированы на реализацию высокой мощности для обеспечения нормированной интенсивности разгона (например, 12 секунд 0-60 миль/ч минимально). Это примерно в 3-6 раз больше мощности необходимой для езды на постоянной скорости 60-70 миль/час.

Однако двигатель редко реализует максимальную мощность т.к. в основное время езды автомобиля, двигатель работает на промежуточных (низких) значениях мощности, где КПД двигателя относительно низкий. Даже при движении по дороге с 6,5% подъемом со скоростью 55 миль/час требуется 60-70% максимальной мощности.

Следовательно, применением многоступенчатой трансмиссии с ускоряющей передачей можно достигнуть работы двигателя в режимах малого удельного расхода топлива.

Параллельная гибридная система. Существуют и альтернативные схемы управления системой. Например, при использовании малой мощности из-за использования только электрического мотора гибридный автомобиль переходит на режим электромобиля. Т.е. мощность ДВС не используется для движения автомобиля. Следовательно, во время торможения электрический мотор переходит в генераторный режим и заряжает аккумуляторную батарею. Далее при высоких интенсивностях ускорения автомобиля электрический мотор включается параллельно с ДВС, добавляя свою мощность. При определенном снижении уровня емкости аккумуляторных батарей, ДВС работает одновременно и на подзарядку аккумуляторных, и на движение автомобиля. Таким образом, поддерживается режим работы двигателя на характеристике минимальных расходов топлива. По такой системе построена тяговая система гибридных автомобилей Toyota Prius и др.[8.]

Последовательная гибридная система. Другой альтернативной схемой соединения тяговых усилий является так называемый гибрид, с низкой степенью гибридизации (mild hybrid) или последовательное соединение тяговых усилий автомобильного транспорта. В этом случае электрический мотор служит только для рекуперации энергии торможения и реализации полученной добавочной мощности, повышая общую мощность системы и при этом возможность работы автомобиля, как электромобиль отсутствует.

Основным преимуществом последовательного гибридного автомобиля является то, что электрический мотор по размерам меньше чем в параллельном соединении, так как в параллельной схеме соединения тяговых усилий через электромотор передается вся энергия для движения автомобиля. Существующие гибридные автомобили Toyota Prius и Honda Insight (массовое производство этих автомобилей было осуществлено 1997 году) показали, что параллельное соединение тяговых усилий более эффективно. Оба автомобиля имеют высокую топливную экономичность и динамичность, оказывают меньший вред окружающей среде, нежели обычный автомобиль.

Преимуществами гибридного автомобиля с последовательным соединением тяговых компонентов являются: [18.]

- *ДВС механически не включается к ведущим колесам и работает с эффективной характеристикой;

- *возможность уменьшения размеров ДВС;

- *простота конструкции и управления системой.

Но и имеют следующие недостатки:

- *требуются две электрические машины (генератор и электромотор);

- *высокие потери из-за многоступенчатости преобразования энергии (механическая – электрическая - механическая).

Гибриды прошлого были автомобилями с маломощными двигателями, энергетические установки которых вырабатывали постоянную мощность, необходимую для движения при средних нагрузках.

В настоящее время требования, предъявляемые к автомобильному транспорту очень жесткие и, далеко превышает от выше указанных средних нагрузок. Для того чтобы удовлетворить эти требования необходимо увеличить размеры двигателя и энергетической установки, который делает предыдущую концепцию непрактичной.

В автомобиле Toyota Prius применена комбинированная силовая установка, т.е. она может работать, как по последовательной, так и по параллельной схеме. Силовая установка состоит из бензинового ДВС, электрического мотора, электрического генератора, преобразователя, аккумуляторные батареи и устройство распределения мощности (РУ).

1.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И ИХ СИСТЕМ ТОРМОЖЕНИЯ.

Известно, что при низких частотах вращения электрический мотор может работать с высокими технико-экономическими показателями, а эффективность двигателя внутреннего сгорания на низких оборотах не очень высокая. Поэтому, при малых нагрузках или движении с низкой скоростью автомобиль приводится в движение только от электрического привода, который питается от аккумуляторной батареи (рис 1.2).

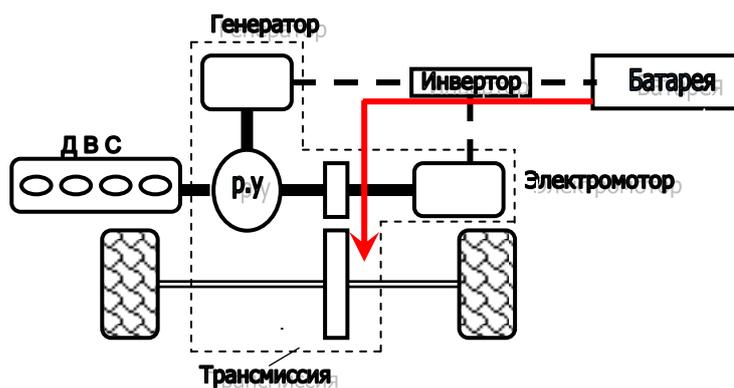


Рис.1.2. Циркуляция энергии при малой нагрузке

При установившемся движении крутящий момент двигателя разделяется на две части. Одна часть непосредственно вращает колеса, а другая вращает генератор, который производит электрическую энергию для электромотора, вращающего колеса автомобиля (рис. 1.3).

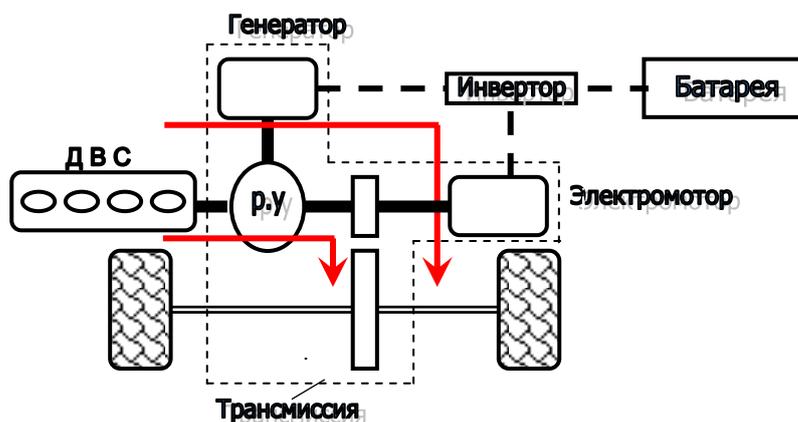


Рис. 1.3. Циркуляция энергии при установившемся режиме движения

При ускорении автомобиля или движении на подъем, как и в случае установившегося движения бензиновый ДВС вместе с электромотором вращают колеса, но при этом электромотор также питается от аккумуляторной батареи (рис. 1.4).

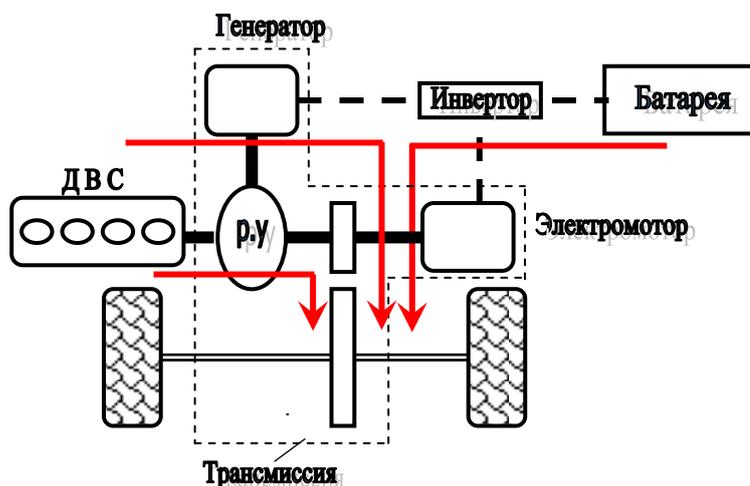


Рис. 1.4. Циркуляция энергии при ускорении автомобиля

Во время торможения или замедления автомобиля электромотор работает в режиме генератора и заряжает аккумуляторную батарею. Инвертор преобразует постоянный ток аккумуляторной батареи - переменный для электромотора или наоборот. Кроме этого инвертор регулирует напряжение заряда и тем самым продлевает срок службы батареи. Когда автомобиль стоит или начал тормозиться, ДВС автоматически выключается. Если степень заряженности (SOC) батареи близок 20% (нижний предел степени заряженности) то бензиновый двигатель продолжает работать. Это относится к

тому случаю, когда двигатель должен приводить в движение компрессор кондиционера (рис. 1.5).

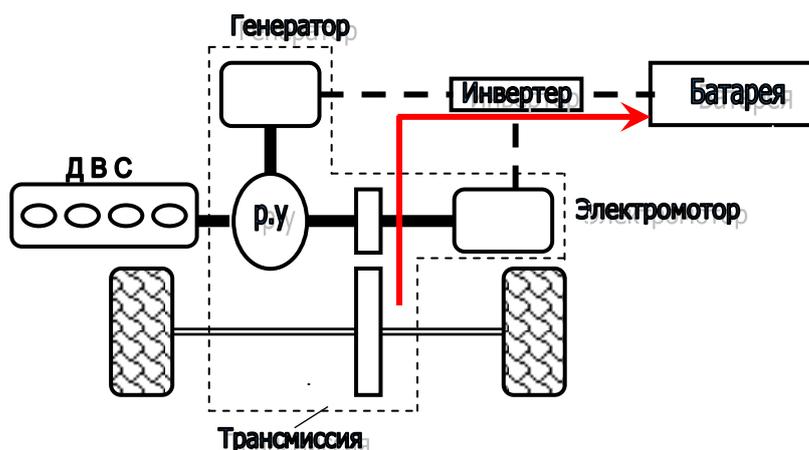


Рис. 1.5. Циркуляция энергии при торможении автомобиля

Двигатель реализует излишнюю мощность при установившемся движении, на зарядку аккумуляторных батарей, если степень их заряженности достиг нижнего предела (рис. 1.6).

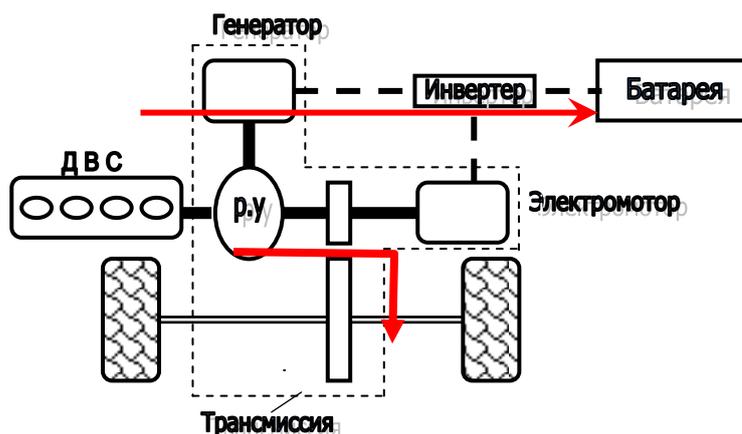


Рис. 1.6. Циркуляция энергии при зарядке аккумуляторной батареи

Европейские автомобилестроители не увлекаются «гибридными» силовыми агрегатами, а предпочитают совершенствовать дизельные двигатели или уже делают ставку на будущее, т.е. на водородное топливо. Тем более интересен проект ED (Efficient Dynamics-эффективная динамика), представленный от группы BMW на недавнем Vienna Motor Symposium – Венском симпозиуме моторостроителей в 2004г. Баварские автомобилестроители стремятся повышать экономичность и улучшать экологические характеристики своих моделей, не жертвуя при том фирменной динамикой и силового агрегата на «газ». Проведены экспериментальные

исследования автомобиля 745h с ДВС на водороде, где использован уникальный механизм газораспределения Valvetronic. Первый в истории мирового автомобилестроения бензиновый двигатель без дросселирования на впуске, благодаря чему сберегается около 10% горючего; В настоящее время в Мюнхене также обратили внимание на «гибридный» (бензин-электрический) силовой агрегат. Как всегда, по-своему; проект ED реализуется в виде экспериментального «внедорожника» X5, 4,4 - литровая «восьмерка» которого дооснащается соосным тяговым электрическим двигателем.

Обычный «частичный гибрид» - вроде хондовского IMA, но его особенность в том, что силовой агрегат обходится без тяжелого и дорогого тягового аккумулятора. Вместо него установлен пакет так называемых ультраконденсаторов, которые накапливают мощный заряд от электромашины, работающей в режиме генератора, и при необходимости отдают на ту же электромашину высокую накопленную мощность в режиме тягового мотора. Как считают у BMW, продолжительная работа тягового электродвигателя от аккумулятора неоправданна; нужны лишь короткие импульсы тяги при старте с места и интенсивном разгоне. Плюс рекуперирование части кинетической энергии при замедлении автомобиля и режим работы ДВС «старт-стоп». Такая схема экономит до 15% бензина, но не настолько сложна, как «полные гибриды» - вроде тойотовского Prius. И электролитический ультраконденсатор отличается неограниченным по сравнению с аккумуляторами (даже самыми прогрессивными никель-металлгидридными и литий-ионными)-ресурсом по количеству циклов заряд-разряд. Мощный тяговый электромотор выдает наибольший крутящий момент (около 650 Н.м) в диапазоне от 0 до 1200 об/мин - как раз там, где ДВС провисает. Суммарный крутящий момент комбинированной силовой установки достигает «на низах» 1000 Н.м; нелишне для тяжелого X5. Правда, на такую отдачу ультраконденсатор способен лишь на протяжении 10-20 сек.; разгон с места до «сотни», - и тут же быстрая перезарядка.

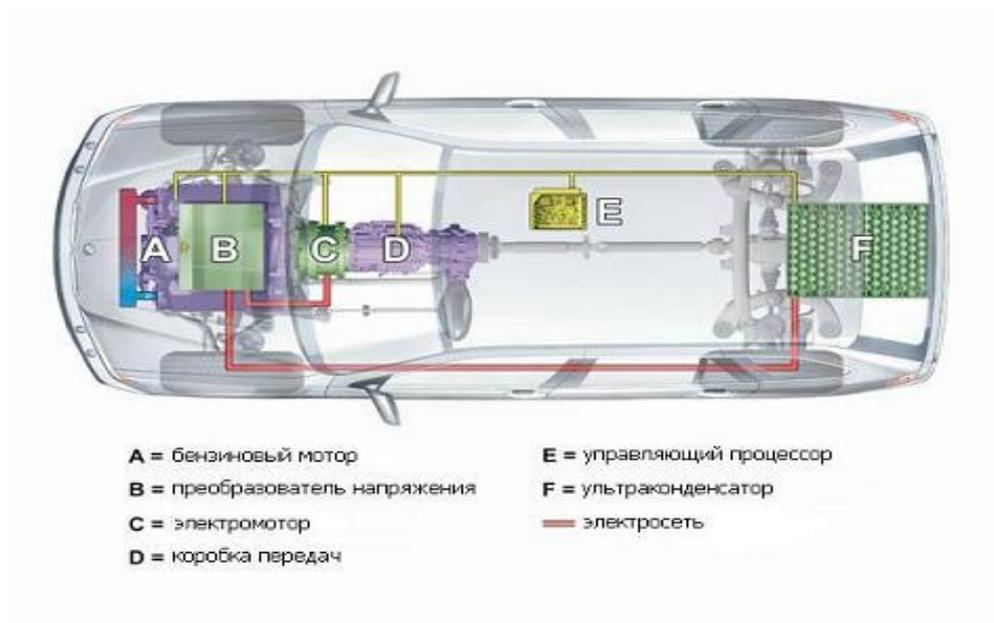


Рис.1.7. Гибрид BMW с ультраконденсатором

С ультраконденсатором работает экспериментальный хондовский FCX с топливными элементами (ТЭ) на водороде, а бензин-электрические «гибриды» пока все оснащаются аккумуляторами. Разве что грузовик Nissan Diesel Capacitor с дизель-электрическим «гибридом» и ультраконденсатором; он еще в 2002 получил приз министерства промышленности и экономики Японии за сбережение энергии. Так или иначе, BMW ED одна из первых европейских «ласточек». Кое-кто из специалистов убежден, что обозримая перспектива автомобилестроения именно «гибридные» силовые агрегаты, а не полуфантастические ТЭ (топливные элементы).

Новые гибридные автомобили от компании Mitsubishi. Компания Mitsubishi и её американское подразделение на Женевском автосалоне, который открылся 28 февраля 2006 г. в Швейцарии представила следующее поколение своего европейского электрокара Mitsubishi Colt CZC. Colt CZC – кабриолет со складываемой металлической крышей, которая убирается в задний отсек. Со сложенной крышей в кабриолете может разместиться 4 человека. Автомобиль, продемонстрированный публике, и вероятнее всего станет следующим поколением компактного кабриолета Colt CZC, получил название Mitsubishi Concept EZ MIEV.

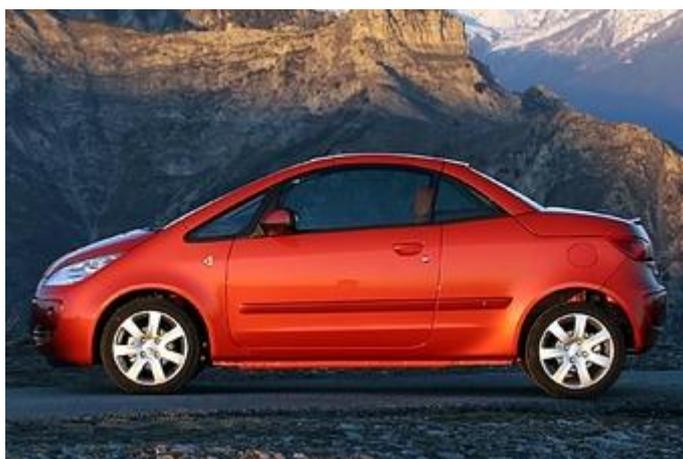


Рис.1.8. Электромобиль Mitsubishi Colt CZC.

В названии зашифрованы основные достоинства этого автомобиля. Аббревиатура EZ составлена из букв английского слова EASY и призвана отразить функциональное удобство и простоту салона, а окончание MIEV – Mitsubishi Innovative Electric Vehicle – это инновационная, по мнению Mitsubishi, система, которая позволяет наиболее эффективно использовать электрическую батарею и электрические двигатели, расположенные в колесах авто, в качестве полноценной силовой установки. Сам прототип представляет собой компактный автомобиль с четырьмя внутриколесными электромоторами, которые питаются от литиево-ионной батареи. Максимальная мощность одного электромотора составляет 20 кВт, а суммарная мощность четырех электромоторов составляет 80 кВт, что примерно равняется 107 л.с.

Ford выпускает гибридный автомобиль принципиально новой конструкции Авто-электроника | Опубликовано - 2006-02-15 10:42:11

Особенность автомобиля заключается в запатентованной системе HLA (Hydraulic Launch Assist), впервые опробованной в 2002 году на экспериментальной модели пикапа F-350 Tonka. Принцип работы системы основан в использовании давно известных гидравлических накопителей. В традиционных гибридных автомобилях энергия, выделяемая при торможении, преобразуется в электрический ток и запасается в аккумуляторных батареях.

Вместо традиционных для машин такого типа электродвигателей вспомогательная силовая установка является гидравлической. Как сообщает сайт Newtechspy.com, выпуск бензиново-гидравлического пикапа F-150 будет начат уже в 2008 году. При трогании с места или разгоне аккумуляторные батареи питают электромотор, который дополняет традиционный двигатель внутреннего сгорания.

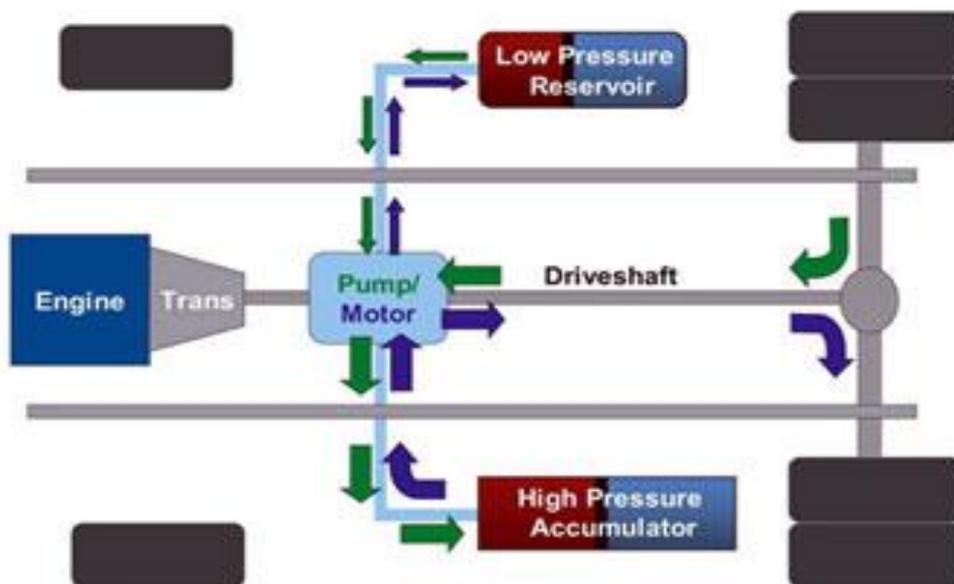


Рис.1.9. Бензин – гидравлический – гибридный автомобиль F-150

Система "Форда" позволяет избежать преобразования механической энергии в электрическую и связанных с этим потерь. На гибридном F-150 при торможении специальный насос перекачивает жидкость в резервуар, т.е. гидроаккумулятор, где газ, находящийся в нем сжимается. При движении с

места, когда накопленную энергию необходимо использовать, газ расширяется, направляя жидкость обратно к насосу. А насос, в свою очередь, становится гидравлическим двигателем, приводя в движение ведущие колеса. Говоря о том, что такая система более эффективна, чем традиционные бензин-электрические гибриды, создатели Ford F-150 сравнивают этот автомобиль с популярной гибридной машиной Toyota Prius. Ford F-150 с гидравлической гибридной установкой и вариатором на 65 процентов тяжелее "Приуса", однако расходует такое же количество топлива в городском цикле. А по сравнению с обычным F-150 расход топлива при движении в городе уменьшается в четыре раза.

Новинка сезона — гибридный Lexus RX400h с уникальным бензоэлектрическим силовым агрегатом. Lexus RX400h - во-первых, это более мощная, престижная и дорогая версия кроссовера RX300. А во-вторых,

это техническая альтернатива обычным автомобилям. Ведь по замыслу конструкторов, гибридная силовая установка HSD, Hybrid Synergy Drive (ранее ее называли THS, Toyota Hybrid System, но теперь она ставится и на автомобили Lexus), призвана совмещать высокую мощность с завидной топливной экономичностью [15].



Рис.1.10. гибридный Lexus RX400h.

Поэтому Lexus RX400h, оснащенный бензиновой V-образной «шестеркой» объемом 3,3 л, имеет в индексе цифру «400». Она указывает воображаемый рабочий объем, характерный для восьмицилиндровых двигателей. А Lexus — словно с другой планеты. Он не заводит, как BMW, и не нервнует, как Cadillac: небольшая заминка на старте — и ровное, но весьма напористое «бесступенчатое» ускорение. Ведь коробки передач здесь вообще

нет — роль вариатора выполняет электромеханическая трансмиссия, которая плавно изменяет передаточное отношение по командам электроники. Что с расходом топлива? На трассе бесспорный лидер — дизельный BMW. Средний расход солярки составил всего 9,2 л/100 км. Гибридный Lexus проигрывает, и немало — 14,2 л/100 км. А мощный Cadillac оказался самым прожорливым — 18,1 л/100 км. Получается победа дизельной техники над гибридной? Если говорить о топливной экономичности в дальней поездке, то дело обстоит именно так. Ведь длительное движение с высокими скоростями — это как раз тот режим, когда раскрываются все достоинства турбодизелей.



Рис. 1.11. Гибридная силовая установка: 1 — бензиновый двигатель V6 3.3, 2 — блок преобразователей, 3 — передний электромотор

А вся хитроумная электромеханика гибридной силовой установки, наоборот, оказывается почти бесполезной — Lexus RX400h удерживает крейсерскую скорость исключительно усилиями бензинового мотора, и расход возрастает до 16,7 л/100 км. Но в городских условиях ситуация меняется: расход солярки у BMW растет, а у гибридного Лексуса, наоборот, падает. Ведь если обычный автомобиль (неважно, бензиновый или дизельный) при

торможении превращает кинетическую энергию движения в бесполезный нагрев тормозов, то электромоторы «гибрида» позволяют сберечь часть этой энергии — и заряжать батарею. В итоге средний расход у Лексуса и BMW при городской езде получился примерно одинаковым — 11,9—12,1 л/100 км. Претензии заслужили лишь электрогидравлические тормоза — при нажатии на педаль первоначально реакции нет, а потом замедление наступает слишком резко. Кстати, именно Lexus при замерах показал самый большой тормозной путь со 100 км/ч — 45,2 метра.

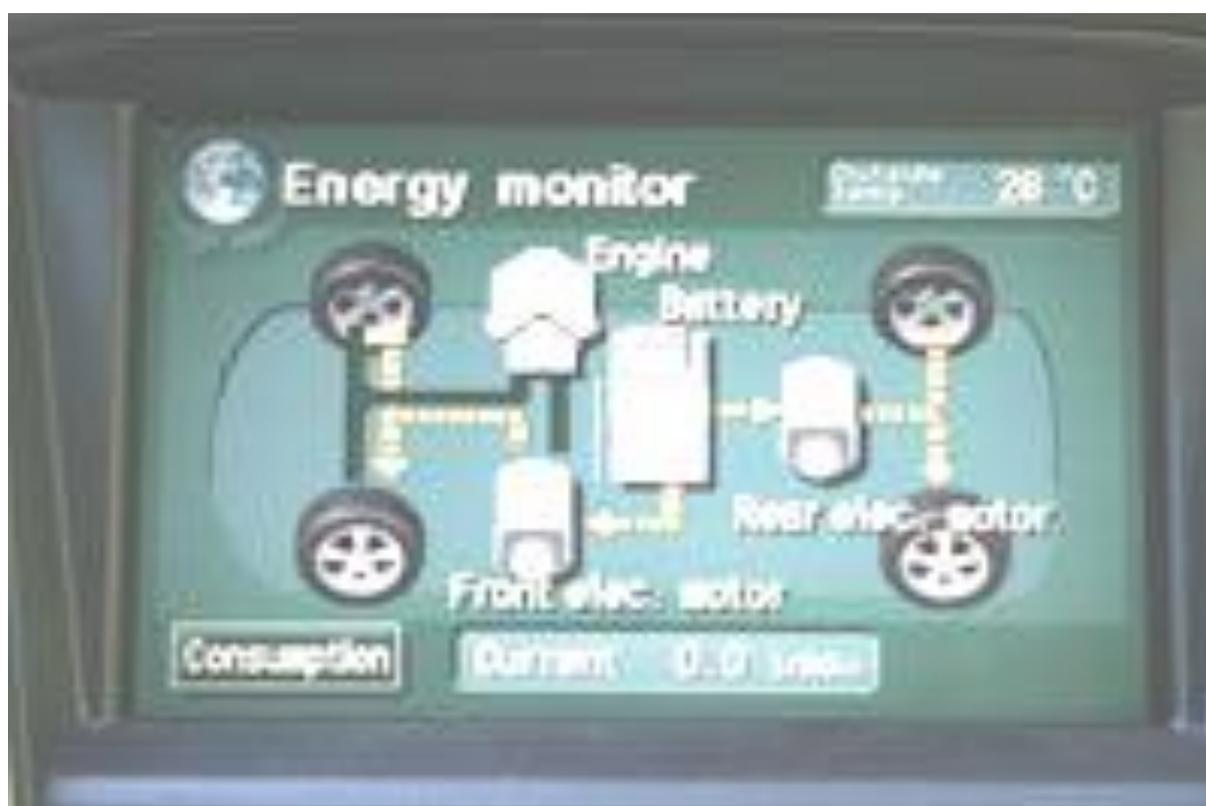


Рис. 1.16. Полный электропривод: на малой скорости Lexus, черпая энергию из батареи, использует только электродвигатели — передний или оба.

Измерения разгонной и тормозной динамики мы провели уже после возвращения из 2500-километрового пробега. Что выяснилось? Самый быстрый — конечно, Cadillac (222 км/ч «максималки» и 7,9 с времени разгона 0—100 км/ч). Турбодизельный BMW медленнее — 202 км/ч, 8,6 с. А Lexus, как оказалось, способен набрать 198 км/ч и разгоняется до «сотни» за 8,3 секунды.

На разгоне мобилизуются все возможности гибридной силовой установки: работают электродвигатель и ДВС. Установлено, что по динамике

разгона BMW X3 с трехлитровым турбодизелем и гибридный Lexus с двигателем объемом 3,3 л и двумя электромоторами на колесах примерно одинаковы. Причем это справедливо только в том случае, если тяговая батарея гибрида заряжена полностью или хотя бы наполовину. А если вы только что совершили ряд энергичных разгонов и бензиновый двигатель с помощью специального генератора еще не успел возобновить запас ампер-часов? Тогда время набора «сотни» у RX400h увеличится на целых две секунды.



Рис. 1.17. Типичная картина при движении по трассе: передний привод — комбинированный, при этом бензиновый мотор заряжает батарею.

По сути, в этот момент Lexus разгоняется только 211 лошадиными силами бензинового мотора. Огромный плюс Лексуса для россиян, — комфорт. Прекрасная плавность хода, отменная шумоизоляция — здесь RX400h выигрывает и у BMW, и у Кадиллака. Но вряд ли это можно отнести к достоинствам гибридного силового агрегата — ведь обычный RX300 не менее комфортабелен.

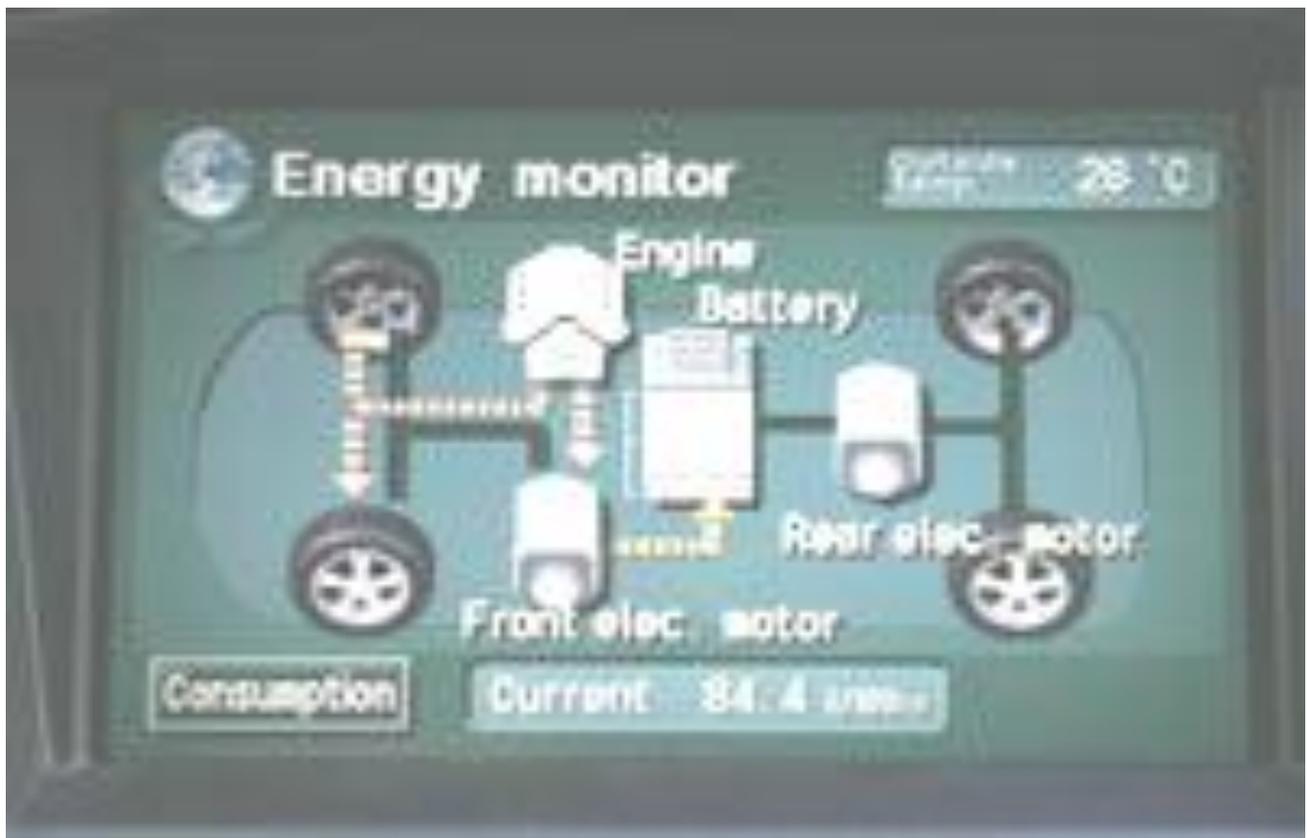


Рис. 1.18. При сильном разряде тяговой батареи единственным источником энергии остается двигатель внутреннего сгорания: он вращает, передние колеса и подзаряжает аккумуляторную батарею.

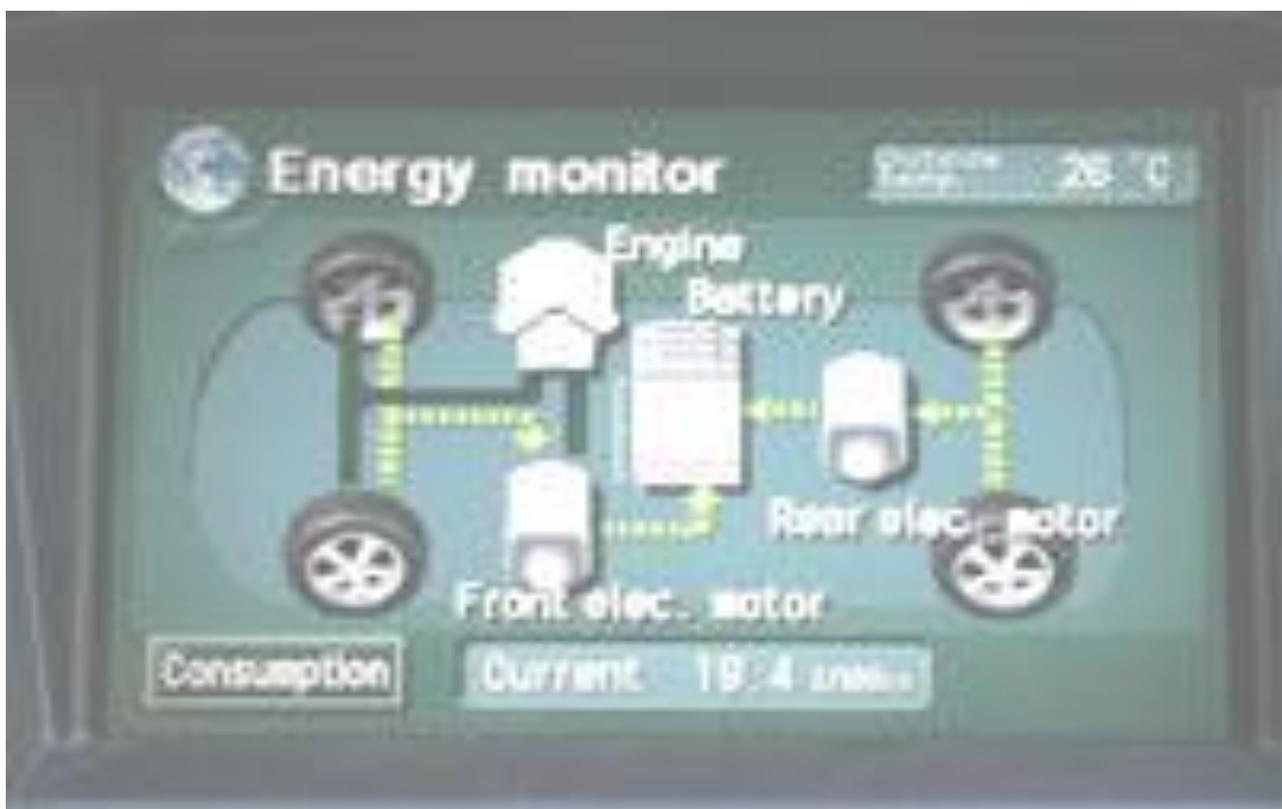


Рис. 1.19. Рекуперативное торможение гибрида — за пять минут в батарею передается до 200 ватт-часов электрической энергии.

После динамичной езды бензиновый мотор может продолжать зарядку аккумуляторных батарей на стоянке.



Рис.1.20. За пять минут езды в городе можно набрать максимум четыре «бонуса» — по 50 ватт-часов каждый.

Технические характеристики существующих гибридных автомобилей типа Toyota Prius

| | | |
|---|----------|--------------|
| Наименование модели | | Toyota Prius |
| Начало продажи | | 1997 – 2004 |
| Длина автомобиля (мм) | | 4315 |
| Ширина автомобиля (мм) | | 1695 |
| Высота автомобиля (мм) | | 1485 |
| База автомобиля (мм) | | 2550 |
| Колея автомобиля (мм) | передняя | 1475 |
| | задняя | 1480 |
| Клиренс (мм) | | 130 |
| Коэффициент аэродинамического сопротивления | | 0.29 |
| Полная масса (кг) | | 1256 |

| | |
|--|--|
| Тип двигателя | 1.5-литровый, 4-х цилиндровый, бензиновый 1NZ-FXE, DOHC |
| Мощность (кВт) | 53 при 4500 об/мин |
| Крутящий момент (Нм) | 115 при 4200 об/мин |
| Степень сжатия | 13.0 |
| Тип электрического мотора | Синхронная машина с постоянным магнитом |
| Мощность (кВт) | 33 при 1040-5600 об/мин |
| Рабочий объем двигателя (см3) | 1497 |
| Тип аккумуляторной батареи | NiMH (38 элементов) |
| Номинальное напряжение (В) | 274 |
| Трансмиссия | Бесступенчатая трансмиссия |
| Топливная экономичность (л/100км) город/магистраль | 4.6/4.2 |
| Подвеска (передняя / задняя) | Независимая |
| Разгон 0-100 км/ч (секунд) | 12.8 |
| Аудио система | AM/FM |
| Тормозная система | ABS, рекуперативный |

Технические характеристики существующих гибридных автомобилей типа Atrai Hybrid

| | | |
|-----------------------------------|---------------|--------------------|
| Наименование модели | | Atrai Hybrid |
| Длина автомобиля (мм) | | 3395 |
| Ширина автомобиля (мм) | | 1475 |
| Высота автомобиля (мм) | | 1830 |
| База автомобиля (мм) | | 2420 |
| Колея | Передняя (мм) | 1285 |
| | Задняя (мм) | 1290 |
| Полная масса (кг) | | 990 |
| Рабочий объем (л) | | 0,659 |
| Макс. Мощность (Вт) | | 43 при 5900 об/мин |
| Макс. Момент (Нм) | | 64 при 4000 об/мин |
| Тип батареи | | NiMH |
| Тип электродвигателя | | нд |
| Максимальная мощность (кВт) | | 10 |
| Трансмиссия | | Автоматическая |
| Шина | | 165/70R13 |
| Номинальное напряжение (В) | | |
| Топливная экономичность (л/100км) | | 5 |
| Цена | | н/д |

**Технические характеристики существующих гибридных автомобилей типа Honda
Insight Hybrid**

| Наименование модели | Honda Insight Hybrid |
|---|-------------------------------|
| Начало продажи | 2003 – 2004 |
| Длина автомобиля (мм) | 3937 |
| Ширина автомобиля (мм) | 1695 |
| Высота автомобиля (мм) | 1353 |
| База автомобиля (мм) | 2400 |
| Полная масса (кг) | 852 |
| Тип двигателя | 3-х цилиндровый, бензиновый |
| Мощность (кВт) | 50 при 5700 об/мин |
| Крутящий момент двигателя (Нм) | 91 при 4800 об/мин |
| Тип электрического мотора | н/д |
| Мощность (кВт) | 10 при 3000 об/мин |
| Рабочий объем двигателя (см ³) | 1000 |
| Тип аккумуляторной батареи | NiMH (120 элементов по 1.2 В) |
| Номинальное напряжение (В) | 144 |
| Трансмиссия | 5 –ступенчатая |
| Топливная экономичность (л/100км) город/магистраль | 3.2 |
| Разгон 0-100 км/ч (секунд) | 11.3 |
| Аудио система | AM/FM |
| Тормозная система | ABS, рекуперативный |
| Цена | \$19,080 - \$21,280 |

**Технические характеристики существующих гибридных автомобилей типа Ford Escape
Hybrid**

| Наименование модели | Ford Escape Hybrid |
|--|-----------------------------|
| Начало продажи | 2003 – 2004 |
| Длина автомобиля (мм) | 4395 |
| Ширина автомобиля (мм) | 2016 |
| Высота автомобиля (мм) | 1755 |
| База автомобиля (мм) | 2618 |
| Полная масса (кг) | н/д |
| Тип двигателя | 4-х цилиндровый, бензиновый |
| Мощность (кВт) | 28 |
| Тип электрического мотора | н/д |
| Мощность (кВт) | 65 |
| Рабочий объем двигателя (см ³) | н/д |
| Номинальное напряжение (В) | 300 |
| Тип аккумуляторной батареи | NiMH |

| | |
|---------------------------------------|---------------------|
| Трансмиссия | Электрическая |
| Топливная экономичность (миль/галлон) | 40 |
| Подвеска (передняя / задняя) | Независимая |
| Аудио система | AM/FM/CD |
| Тормозная система | ABS, рекуперативный |

Технические характеристики существующих гибридных автомобилей типа Nissan Tino

| | |
|---------------------------------------|---|
| Наименование модели | Nissan Tino |
| Длина автомобиля (мм) | 4268 |
| Ширина автомобиля (мм) | 1752 |
| Высота автомобиля (мм) | 1600 |
| База автомобиля (мм) | 2540 |
| Полная масса (кг) | 1498 |
| Тип двигателя | QG18DE (NEO), 4-х цилиндровый, бензиновый |
| Мощность (кВт) | 73 при 5200 об/мин |
| Крутящий момент (Нм) | 141 при 4000 об/мин |
| Тип электрического мотора | н/д |
| Мощность (кВт) | 17 при 1390-5600 об/мин |
| Крутящий момент (Нм) | 155 при 0-700 об/мин |
| Рабочий объем двигателя (см3) | 1769 |
| Тип аккумуляторной батареи | Li Ion (литий ион) |
| Номинальное напряжение (В) | 346 |
| Трансмиссия | Бесступенчатая трансмиссия |
| Топливная экономичность (миль/галлон) | 54 |
| Подвеска (передняя / задняя) | независимая |
| Разгон 0-100 км/ч (секунд) | 13.2 |
| Аудио система | AM/FM |
| Тормозная система | ABS, рекуперативный |
| Метод соединения | Последовательное |
| Цена | 3150000 иен |

| | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Наименование модели | General Motors ParadiGM Hybrid |
| Тип двигателя | V6 |
| Мощность (кВт) | 166 |
| Тип электрического мотора | н/д |
| Мощность (кВт) | 12 (два электромотора) |
| Рабочий объем двигателя (см3) | 3600 |
| Тип аккумуляторной батареи | Li Ion (литий ион) |

| | |
|---------------------------------------|------------------|
| Номинальное напряжение (В) | 46 |
| Трансмиссия | 6-ступенчатая |
| Топливная экономичность (миль/галлон) | 35 |
| Разгон 0-60 км/ч (секунд) | 7.3 |
| Метод соединения | Последовательное |

Выводы

* Исследование современных схем соединения приводов гибридных автомобилей и электромобилей показали, что автомобилестроение направлено на создание более экономичных и надежных транспортных средств, состоящих из электрического, топливного, а также гидравлического двигателя.

* Анализом технических, технико-экономических характеристик гибридных автомобилей и электромобилей развитых автомобильных стран, установлено, что для тягового привода используются двигатели постоянного и переменного тока, а для генераторов электрической энергии используются вентильные синхронные машины с постоянными магнитами цепи возбуждения. Выявлено, что основной рынок автомобилестроения пока не сильно реагирует на изменения в этой сфере. На выставках представляются и другие электромобили зарубежного производства (в том числе на гибридных двигателях и водородных), однако, основные проблемы гибридного автомобиля все еще не решены.

* Изучены современное состояние альтернативных источников энергии (накопителей энергии): супермаховики, конденсаторные накопители (суперконденсаторы), возможности использования солнечных батарей, электрохимические генераторы и комбинированные энергоустановки.

* Проведен анализ технических, технико-экономических данных энергоустановок. Свинцово – кислотные аккумуляторы применяются до сих пор, несмотря на то, что имеют большую массу и малую мощность. В кислотных батареях привлекает их надежность, низкая стоимость. Новые аккумуляторные батареи выпускаются на предприятиях швейцарско-шведского концерна “ ASEA Браун Бовери “ (ABB) совместным предприятием фирм

“Даймлер – Бенц“ (Германия) и “Англо Америкен холдингиз“ (ЮАР), фирмой RWE (Германия) и др.

* Выпускаемые натрий – серные батареи имеют 4 раза большую удельную мощность при той же массе, и обеспечивающей суммарный пробег около 21 тыс. км.

* Приведены некоторые технические и техника - экономические данные аккумуляторных батарей, используемых на гибридных транспортных средствах.

* Установлено, что, несмотря на все усилия научного мира разработка аккумуляторных батарей обеспечивающих все требования, предъявляемые к ним все еще не разработана.

* Приведены технические характеристики существующих гибридных автомобилей типа Toyota Prius, Honda CIVIC Hybrid, Atrai Hybrid, Honda Insight Hybrid, Ford Escape Hybrid, Ford Escape Hybrid, Honda Dualnote, Nissan Tino

Глава 2. Исследование способов электрического торможения тягового привода.

2.1. Исследование способов электрического торможения тягового привода постоянного тока гибридного автомобиля.

Рекуперативный способ торможения

В технике торможение двигателей постоянного тока осуществляются следующими способами: генераторное торможение с последующей передачей энергии в сеть (рекуперативное торможение); динамическое или генераторное торможение, с последующим гашением тормозной энергии на дополнительных тормозных реостатах; электромагнитное или обратное включение полюсов якоря или обмотки возбуждения. (рис.2.1.)

Рекуперативный способ торможения электропривода постоянного тока применим ко всем типам электрических двигателей постоянного тока, кроме

двигателей с последовательным возбуждением, т.к. при генераторном режиме работы $n > n_0$,

$E_{я} > U$, а ток и момент имеют отрицательные значения.

$$-I_{я} = \frac{U - E_{я}}{R_{я}}, \quad -M = C_M \cdot \Phi \cdot I_{я}. \quad (2.1.)$$

Следовательно, из-за отрицательного значения тормозного момента двигатель начинает тормозиться. В процессе торможения потенциальная энергия гибридного автомобиля преобразуется в кинетическую и через тяговый электропривод передается в бортовую сеть.

Как отмечено выше, такой способ торможения тягового привода гибридного автомобиля с электрическим двигателем постоянного тока с последовательным возбуждением применить нельзя из-за невозможности выполнения условия $n > n_0$. Таким образом, для применения двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением, как тяговый электропривод электромобиля с рекуперативным торможением необходимо иметь дополнительную обмотку, соединенную к бортовой сети. Ющорида

Динамическое торможение электропривода осуществляется путем отключения якорной обмотки от сети с последующим соединением ее к сопротивлению или к аккумуляторным батареям гибридного автомобиля с соответствующим регулированием количества аккумуляторов или их емкостей. При таком режиме работы двигатель также переходит в генераторный режим работы и отдает энергию в сеть или на зарядку аккумуляторных батарей. Данный процесс описывается уравнением:

$$-I_{я} = \frac{0 - E}{R_{я} + R_{дин.тор}} = \frac{C_e \Phi \cdot n}{R_{я} + R_{дин.тор}}, \quad (2.2)$$

При таком тормозном режиме ток и момент направлены в противоположную сторону и прямо пропорциональны частоте вращения якоря машины. Следовательно, с уменьшением частоты вращения якоря тягового привода (колеса автомобиля), требуется уменьшение значения тормозного сопротивления или количества аккумуляторов, что обеспечивает

стабильное значение тормозного момента и зарядки аккумуляторных батарей. В особых случаях с уменьшением частоты вращения до $n \approx 0$ можно применить дополнительные электромагнитные или другие способы торможения.

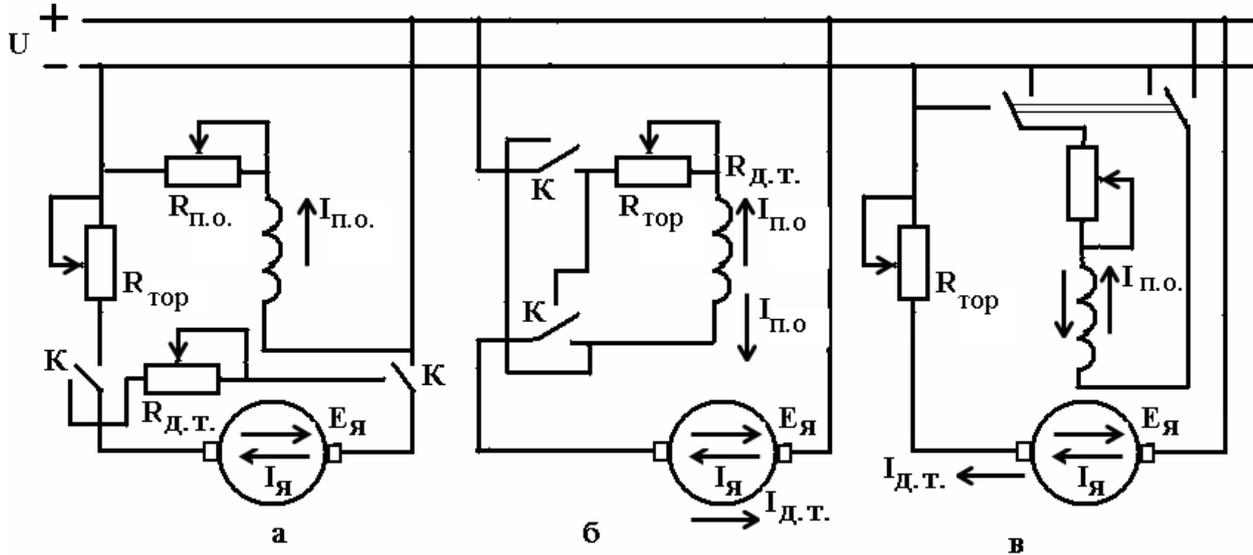


Рис. 2.1. Схемы торможения двигателей постоянного тока

Для двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением такой способ торможения осуществляется путем переключения полюсов якоря или обмотки возбуждения по отдельности. В противном случае созданная магнитодвижущая сила обмотки возбуждения может полностью компенсировать остаточную магнитодвижущую силу машины, которое может привести к полному размагничиванию электродвигателя.

Если торможение тягового привода осуществить способом обратного переключения полюсов тока якоря, то момент $M_{\text{тор}}$ тягового привода также меняет свое направление в обратную сторону. Здесь двигатель продолжает вращаться в прежнем направлении. Следовательно, момент инерции автомобиля и момент созданный электрическим приводом направлены напротив друг друга и появляется разность моментов, который начинает тормозить автомобиль. Отрицательной стороной данного способа торможения является дополнительная подача энергии на якорь. С другой стороны процесс торможения должен заканчиваться при частоте вращения $n \approx 0$. В противном случае двигатель начинает вращаться в обратную сторону.

Прежде всего, система тягового привода гибридного автомобиля должна обеспечивать не только, тяговые, но и тормозные характеристики транспортного средства – зависимости тормозного момента $M_{\text{тор}}$ на ведущих колесах от скорости движения v . В режиме электрического торможения необходимо осуществлять торможение на горизонтальных участках пути и на уклонах, а также подтормаживание, т.е. движение на затяжных спусках с постоянной скоростью. Этого требует реализация в системе тягового привода гибридного автомобиля устойчивых тормозных характеристик, при которых сумма тормозного усилия H и основного сопротивления движению W возрастает с увеличением скорости.

Максимальное тормозное усилие должно удовлетворять неравенству $H_{\text{макс}} \leq H_{\text{сц}}$, где $H_{\text{сц}}$ – усилие, предельное по сцеплению ведущих колес с грунтом. Как было указано выше, электрическое торможение гибридного автомобиля осуществляется переводом тягового электрического двигателя в генераторный режим с рекуперацией тормозной энергии обратно в бортовую энергосистему. Если все или группа параллельно соединенных двигателей постоянного тока при электрическом торможении работают на общий тормозной резистор или АКБ, то имеет место взаимное влияние тяговых электродвигателей друг на друга, которое может вызвать существенную неравномерность распределения нагрузок между ними и даже переход одного или нескольких электродвигателей обратно в тяговый режим. Поэтому здесь рассматривается схем подключения якоря каждого двигателя постоянного тока или группы n_k последовательно соединенных тяговых электродвигателей к отдельному тормозному резистору. Поле тормозных характеристик электроавтомобиля $H(v)$, реализуется полем характеристик электродвигателей $M_{\text{тор}}(\omega_d)$, рис. 2.2.

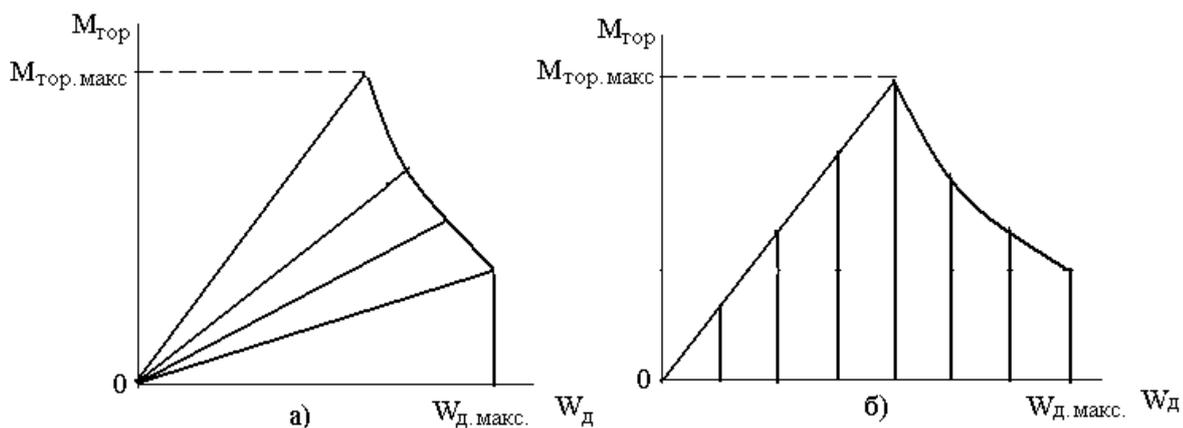


Рис.2.2. Семейства характеристик $M_{\text{тор}}(w_d)$ тяговых двигателей

Торможение может осуществляться двумя способами: *за счет изменения сопротивления тормозных резисторов или количества аккумуляторов или их емкостей; *за счет регулирования тока возбуждения двигателя. Первый способ требует дополнительной коммутационной аппаратуры или импульсного регулирования сопротивления резисторов и в настоящее время практически не применяется. Второй способ предусматривает неизменное сопротивление тормозных резисторов или количества аккумуляторов в процессе торможения и работу двигателя как генератора независимого возбуждения. Тормозные характеристики $M_{\text{тор}}(w_d)$ реализуются лишь с учетом ограничений по максимальному магнитному потоку двигателя постоянного тока, максимальной мощности на его зажимах $P_{\text{д.тор.макс}}$ (максимальному току и напряжению) и по коммутационно-потенциальным условиям на коллекторе. Значение сопротивления тормозного резистора или количества аккумуляторов рассчитывают, исходя из допустимых значений напряжения $U_{\text{д.тор.макс}}$ и тока $I_{\text{д.тор.макс}}$. В свою очередь, $I_{\text{д.тор.макс}}$ определяется длительностью и частотой повторения режима торможения. В некоторых случаях, когда от системы тягового привода не требуется обеспечения максимальных тормозных усилий, $R_{\text{тор}}$ можно выбирать, для предельной характеристики $I_{\text{д.тор.макс}}$ из условия получения наибольшей мощности на зажимах двигателя при $w_d = w_{\text{д макс}}$ с учетом ограничений по U и E , $R_{\text{тор}} = U_{\text{д.тор.макс}} / I_{\text{д.тор.макс}}$.

2.1.1. Методика расчета механических тормозных характеристик двигателей постоянного тока

Тормозные механические характеристики $M_{\text{тор}}(\omega_d)$, представляющие собой прямые, выходящие из начала координат, имеют место при неизменном для каждой из характеристик магнитном потоке. Известно, что ток якоря и электромагнитный момент двигателя постоянного тока описываются следующими выражениями

$$I_{\text{д.т.}} = a_{\text{н.т.}} E_{\text{д.т.}} / (R_{\text{т}} - \Sigma R_{\text{д}}) = a_{\text{н.т.}} \Phi_{\text{д}} \omega_d / (R_{\text{т}} + \Sigma R_{\text{д}}), \quad (2.3)$$

$$M_{\text{т.}} = \Phi_{\text{д}} I_{\text{д.т.}} = a_{\text{н.т.}} \Phi_{\text{д}}^2 \omega_d / (R_{\text{т}} + \Sigma R_{\text{д}}), \quad (2.4)$$

$$\text{При } \Phi_{\text{д}} = \Phi_{\text{д.макс.}}, \quad M_{\text{т.}} = M_{\text{т.пред.}} = a_{\text{н.т.}} \Phi_{\text{д.макс.}}^2 \omega_d / (R_{\text{т}} + \Sigma R_{\text{д}}), \quad (2.5)$$

где $a_{\text{н.т.}} = E_{\text{д.т.}} / I_{\text{д.н.}}$

Выражение (2.4) является уравнением частичных механических тормозных характеристик $M_{\text{тор.и.}}(\omega_d)$, а (2.5) – уравнением предельной характеристики $M_{\text{тор.пред.}}(\omega_d)$, соответствующей ограничению по максимальному току возбуждения и насыщению магнитной системы двигателя постоянного тока. Механические тормозные характеристики для двигателя постоянного тока типа ДК-210А3 приведены на рис. 2.3.

Предельную зависимость $M_{\text{тор.пред.}}(\omega_d)$, обусловленную ограничением по максимальной мощности, можно определить по выражению

$$M_{\text{тор.пред.}} = I_{\text{д.тор. макс.}} E_{\text{д.тор. макс.}} / \omega_d, \quad (2.6)$$

Здесь $E_{\text{д.тор. макс.}} = (U_{\text{д.тор. макс.}} + I_{\text{д.тор. макс.}} \Sigma R_{\text{д}}) / E_{\text{д.н.}}$

Магнитный поток, соответствующий ограничению по максимальной мощности $P_{\text{д.тор. макс.}}$

$$\Phi_{\text{д.}} = M_{\text{тор.}} / I_{\text{д.тор. макс.}} \quad (2.7)$$

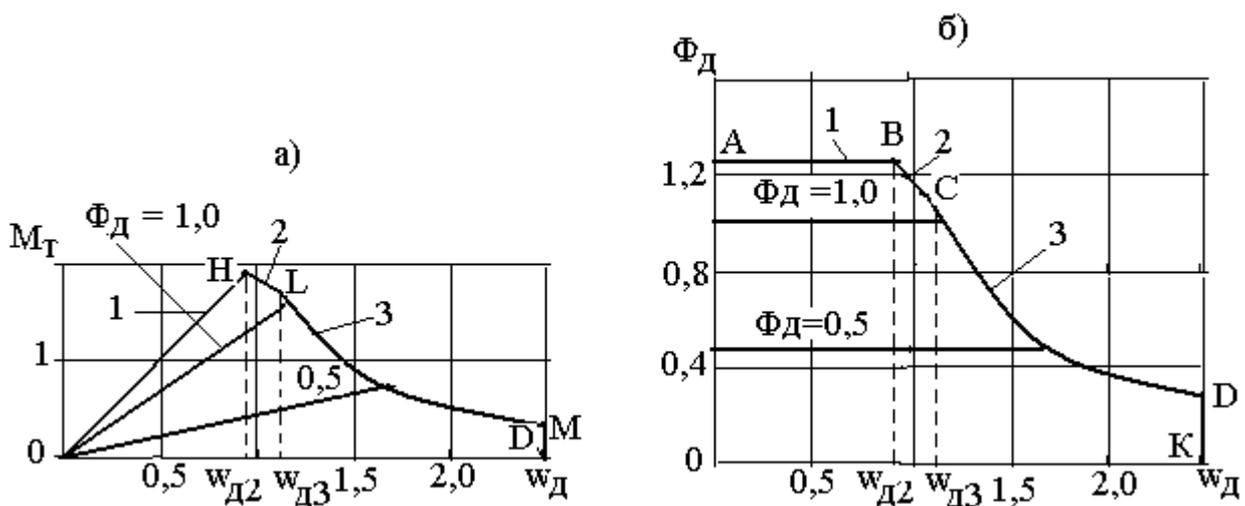


Рис. 2.3. Тормозные характеристики двигателей постоянного тока типа ДК-210А3

Критическая механическая тормозная характеристика показана линией ОН на рис.2.3. Зависимость $M_{\text{тор.пред.}}(w_D)$, определяемая по (2.6) указана кривой НЛ. Исходя из вышеизложенных факторов, можно вывести аналитическое выражение предельной механической тормозной характеристики, учитывающее ограничение по реактивной ЭДС. Ток якоря в соответствии с (2.3) можно описать

$$I_{\text{д.тор}} = E_{\text{реак.}} / (k_{\text{реак}} w_D) \quad (2.8)$$

Совмещая выражения (2.3) и (2.8), получим

$$\Phi_D = [(R_{\text{тор}} + \Sigma R_D) / a_{\text{н.т.}}] (E_{\text{реак.}} / (k_{\text{реак}}) / (1 / w_D^2)), \quad (2.9)$$

Тогда из выражений (2.8) и (2.9) определяется тормозной момент двигателя

$$M_{\text{тор.}} = [(R_{\text{тор}} + \Sigma R_D) / a_{\text{н.т.}}] (E_{\text{реак.}}^2 / (k_{\text{реак}}^2) / (1 / w_D^3)) \quad (2.10)$$

Характеристика $M_{\text{тор.пред.}}(w_D)$, вычисленная по (2.10) при $E_p = E_{p \text{ доп.}}$ показана кривой LM.

Ограничение по напряжению компенсации $U_{\text{компен.}}$ учтены следующим образом. У некомпенсированного двигателя постоянного тока выражение напряжения компенсации в режиме его работы генератором записывается в виде

$$U_{\text{компен}} = A^1 (1 + B_1 I_D / F_D) E_{\text{д.т.}}, \quad (2.11)$$

Где $A^1 = 2pU_{д.н.} / (\alpha_{п.п.}K)$; $B_1 = 0,45K I_{д.н.} / (4apF_{д.н.})$; K – число коллекторных пластин;

Для двигателей с компенсационной обмоткой

$$U_{компен} = A^1(1+B_2 I_{д.} / F_{д.}) U_{д.}, \text{ или}$$

$$[b_{т.}(\Phi_{д.} w_{д.})^2] / F_{д.} + A^1 \Phi_{д.} w_{д.} - U_{к} = 0, \quad (2.12)$$

Здесь $B_2 = 0,165[K/(aZ) + b_{пр}] I_{д.н.} / F_{д.н.}$; Z – число пазов якоря;

$b_{пр}$ – число эффективных проводников в пазу компенсационной обмотки; $b_{т.} = A^1 B_1 a_{н.т.} / (R_{гор} + \Sigma R_{д.})$;

Из (2.12) можно вывести выражение для угловой скорости двигателя

$$\omega_{д.} = \frac{-A' \Phi_{д.} + \sqrt{(A' \Phi_{д.})^2 + 4b_m \Phi_{д.}^2 U_{к} / F_{д.}}}{2b_m \Phi_{д.}^2 / F_{д.}}, \quad (2.13)$$

Задаваясь различными значениями МДС $F_{д.}$, по нагрузочным характеристикам двигателя постоянного тока определим магнитный поток $\Phi_{д.}$, а по (2.13) – соответствующую угловую скорость $w_{д.}$. Если, полученные значения $\Phi_{д.}$ и $w_{д.}$ подставить в (2.5), то можно вычислить зависимость $M_{т.}(w_{д.})$, с учетом ограничения по потенциальным условиям на коллекторе. Такая зависимость приведена в виде кривой LM на рис.2.3. Из двух указанных характеристик $M_{т.пред.}(w_{д.})$ с ограничениями по E_p и $U_{к}$ в качестве предельной в интервале угловых скоростей $3 \leq w_{д.} \leq w_{д.макс} \leq$ необходимо выбрать зависимость, удовлетворяющую ограничением как по коммутационным, так и потенциальным условиям на коллекторе. Ранее отмечалось что для двигателей постоянного тока без компенсационной обмотки ограничение по максимальному напряжению между соседними коллекторными пластинами является определяющим и именно оно лимитирует значения критического момента. У электродвигателей с компенсационной обмоткой момент $M_{гор}$ ограничен реактивной ЭДС коммутации.

2.1.2. Управление двигателем при генераторном торможении

В процессе торможения, как и в двигательном режиме, реализация тормозной характеристики $M_{\text{тор}}(\omega_d)$ осуществляется посредством задания соответствующих вариантов управления. Характеристики двигателя постоянного тока, работающей в режиме генератора независимого возбуждения для получения тормозной энергии определяются двумя переменными: угловой скоростью ω_d и магнитным потоком Φ_d . Поэтому характеристики $\Phi_d(\omega_d)$ или $\Phi_d(I_{d.t.})$ являются основными в режиме генераторного торможения.

Из графиков, приведенных на рис. 2.3 следует, что формирование $M_{\text{тор.пред.}}(\omega_d)$ обеспечивается следующими вариантами: в интервале угловых скоростей $0 \leq \omega_d \leq 1$ при $I_{в.д} = I_{в.д.макс}$ – поддержанием значения магнитного потока $\Phi_d = \Phi_{д.макс.}$; в интервале скоростей $1 \leq \omega_d \leq 3$ при $I_{в.д} = I_{в.д}(\omega_d)$ или $I_{в.д} = I_{в.д}(I_{д.т.})$ и $P_{д.т.} = P_{д.т.макс}$ – регулированием магнитного потока $\Phi_d = \Phi_d(\omega_d)$ или $\Phi_d = \Phi_d(I_{д.т.})$; в интервале скоростей $3 \leq \omega_d \leq \omega_{д.макс.}$ при $I_{в.д} = I_{в.д}(\omega_d)$ или $I_{в.д} = I_{в.д}(I_{д.т.})$ и $E_p = E_{р.доп.}$ или $U_k = U_{к.доп.}$ – регулированием магнитного потока $\Phi_d = \Phi_d(\omega_d)$ или $\Phi_d = \Phi_d(I_{д.т.})$.

Расчет критической характеристики $\Phi_d(\omega_d)$ с учетом ограничения по U_k (кривая CD, на рис.2.3. б) выполняют, задаваясь различными значениями МДС $F_d = I_{в.д}$ и определяя по кривой намагничивания поток, а по (2.13) – угловую скорость. Механические тормозные характеристики $\Phi_d(\omega_d)$ и $I_{в.д}(\omega_d)$ представляют собой прямые, параллельные оси абсцисс и лежащие внутри области, ограниченной осями координат и кривой ABCDK на рис.2.3.

2.2. Исследование способов электрического торможения тягового привода переменного тока гибридного автомобиля.

Рекуперативный способ торможения

Требования, предъявляемые к тяговым асинхронным двигателям (АД) по минимизации массы и размеров, обеспечению высокого КПД и необходимых значений k_w и k_m , аналогичны требованиям, предъявляемым к тяговым двигателям постоянного тока. Однако частотное управление АД, обусловленное широким диапазоном регулирования их угловой скорости, предопределяет необходимость рассмотрения ряда вопросов, присущих только АД. Характеристики АД при частотном управлении определяются тремя переменными: частотой напряжения питания f_1 или ее относительным значением $f_* = f_1 / f_{1н.}$, действующим значением напряжения U_1 или относительным значением напряжения $U_* = U_1 / U_{1н.}$ и частотой скольжения f_s или параметром абсолютного скольжения $f_{s*} = f_s / f_{1с.}$

В процессе анализа способов частотного управления в качестве критериев оптимальности принимают минимум тока, минимум потерь. А также максимум КПД и коэффициента мощности, минимум годовых приведенных затрат и др. Однако при этом рассматривают АД в общепромышленном электроприводе при регулировании частоты вниз от номинальной и питании от сети «бесконечной» мощности. Для тяговых АД требуется иной подход к выбору критериев, т.к. длительный режим их работы соответствует интервалу частот (угловых скоростей) существенно превышающих номинальное значение ($k_w = f_{1.макс.} = 3 - 4$ и более), а питание осуществляется от источника соизмеримой мощности, что обуславливает необходимость учета показателей тягового электропривода. У АД общепромышленных приводов оперируют минимумом суммы электрических потерь и потерь в стали. У тяговых АД значительную долю потерь в рабочем диапазоне частот составляют механические потери. Таким образом, на основании изложенного, а также учитывая варианты частотного управления АД, рассматриваемые обычно в литературе, целесообразно выбрать следующие варианты:

*поддержание постоянства магнитного потока ($\Phi_d = const$);

управление по «оптимальному закону» $\Phi_{d} = \sqrt{M_*}$;

*поддержание постоянства напряжения ($U_1 = const$);

*управление по максимуму КПД электродвигателя ($\eta = \eta_{д.макс.}$);

*управление по максимуму коэффициента мощности электродвигателя ($\cos\varphi_{д} = \cos\varphi_{д.макс.}$);

*управление по максимуму КПД силового электрооборудования привода ($\eta = \eta_{д.макс.}$);

2.2.1. Методика расчета механических тормозных характеристик двигателей переменного тока

Известно, что торможение двигателей переменного тока осуществляется следующими способами:

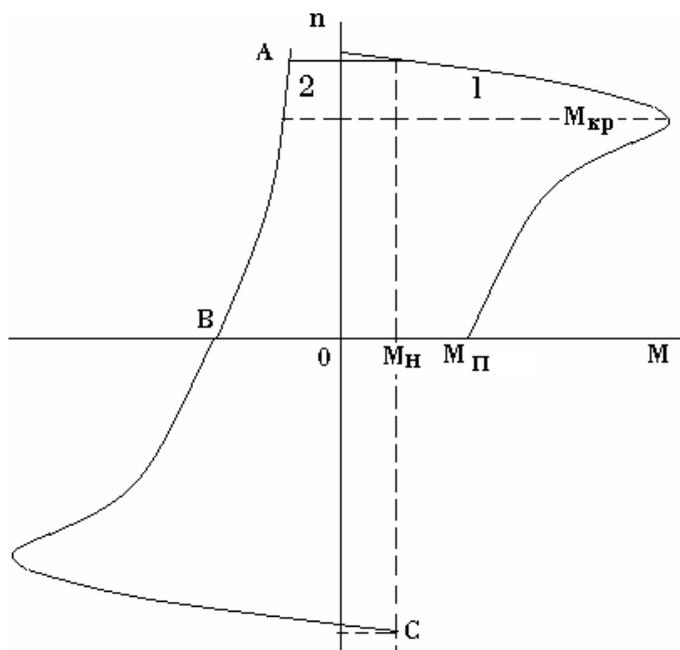
* генераторное или рекуперативное торможение;

* электромагнитное или обратное включение (противовключение);

* динамическое или реостатное торможение

Рекуперативное или генераторное торможение используется в электрическом транспорте, грузоподъемных машинах, электромобилях и гибридных автомобилях. При этом в процессе торможения асинхронный двигатель вращается со скоростью выше синхронной и переходит в генераторный режим, работающий параллельно с энергоустановками (рис.2.4. точка С). Переход частоты вращения асинхронного двигателя в сторону выше синхронной осуществляется за счет веса груза в подъемных механизмах или инерции транспортного средства. Таким образом, угловая частота асинхронного двигателя имеет отрицательное значение ($-\omega_2$), машина автоматически переходит в генераторный режим и преобразует механическую энергию колес или груза электрическую. Следовательно, частота вращения

ротора (n_2) превышает частоту вращения поля статора (n_1).



2.4. Механическая характеристика асинхронного двигателя в тормозном режиме

Обычно асинхронный двигатель в генераторном режиме для создания, вращающегося магнитного поля потребляет из сети реактивную мощность, где реактивный ток примерно равен току холостого хода, что является ощутимым значением для энергоустановки гибридного автомобиля. Таким образом, в этом случае технические параметры асинхронного двигателя намного уступают тем же параметрам двигателей постоянного тока, где для создания магнитного поля машины требуется сравнительно малые значения тока возбуждения. Указанные недостатки исключаются в транспортных средствах, где установлены значительное количество аккумуляторов (энергоустановки гибридных автомобилей), которые служат компенсирующим источником реактивной энергии во время торможения.

Электрическое торможение гибридного автомобиля, система тягового привода которого содержит тяговые частотно-регулируемые короткозамкнутые АД, осуществляют за счет их перевода в режим с частотой вращения ротора f_{1*} и отрицательным параметром абсолютного скольжения, т.е. $f_{1*} = f_* - f_{s*}$

При этом асинхронная машина развивает тормозной момент M_T в режимах противовключения, и динамического торможения или в генераторном режиме. Генераторный режим характеризуется рассеиванием запасенной в тяговых электродвигателях энергии в тормозных резисторах. В гибридных автомобилях тормозная энергия преобразуется в электрическую энергию и передается в ее энергоустановку, т.е. в бортовую сеть - аккумуляторные батареи.

При наличии в силовой цепи преобразователя частоты со звеном постоянного тока осуществить каждый из перечисленных способов электрического торможения, за исключением рекуперативного, удастся сравнительно просто. Действительно, торможение противовключением достигается бесконтактным реверсированием асинхронного двигателя посредством изменения порядка чередования фаз напряжения U_1 за счет изменения порядка следования фаз управляющих импульсов силовых вентилях автономного инвертора, формируемых системой управления преобразователя частоты. Резисторное торможение достигается подключением тормозных резисторов к силовым зажимам асинхронного двигателя либо во входную или промежуточные цепи преобразователя частоты. Для рекуперативного торможения необходимо наличие управляемого выпрямителя или преобразователя частоты с непосредственной связью в силовой цепи энергоустановки. Отсюда ясно, что наиболее эффективным для энергоустановки тягового привода гибридного автомобиля с асинхронными двигателями является резисторное (аккумуляторные батареи) торможение.

Независимо от точки подключения тормозных резисторов в силовой цепи привода выделяемая в них мощность определяется уравнением:

$$P_R = P_{ЭУР} + P_{АД}, \quad (2.14)$$

где $P_{ЭУР}$, $P_{АД}$ - активные мощности, поступающие в тормозные резисторы (аккумуляторы) от энергоустановки и асинхронного двигателя.

Тормозной момент M_T обусловлен мощностью $P_{АД}$ и потерями мощности в асинхронном двигателе. Мощность $P_{ЭУR}$ не создает тормозного момента, но загружает тормозные резисторы (аккумуляторы), что приводит к увеличению их установленной мощности и непроизводительному расходу энергии энергетической установки. Поэтому частотное управление системы тягового привода резисторного торможения наравне с основной функцией – формированием заданной тормозной характеристики электромобиля – должна обеспечивать минимальное потребление мощности от энергоустановки. В данном случае энергетическая установка является главным образом источником реактивной мощности, создающей магнитный поток, обуславливающий намагничивающий ток, тормозящийся асинхронную машину. Указанное свойство системы автоматического регулирования можно характеризовать следующим коэффициентом

$$K_{ЭУR} = P_{ЭУR} / P_{АД} \quad (2.15),$$

Представляющим собой относительное потребление активной мощности от энергетической установки при резисторном торможении. Из (2.14) и (2.15) получается

$$P_R = (1 + K_{ЭУR}) P_{АД} \quad (2.16)$$

Вводя коэффициент относительной загрузки тормозных резисторов

$$K_R = 1 + K_{ЭУR} \quad (2.17)$$

Решением (2.16) и (2.17) получим

$$P_R = K_R P_{АДR} \quad (2.18)$$

Расчет статических характеристик асинхронного двигателя в генераторном режиме проводим на основании Γ – образной схемы замещения асинхронной машины (рис.2.5) При малом потреблении энергии от энергетической установки в рассматриваемом режиме не существует ограничения по мощности энергоустановки.

Если для тягового режима параметры асинхронного двигателя определяются по достаточно сложным формулам, полученным с использованием T - образной схемы замещения двигателя, то применение

Γ - образной схемы упрощает расчетные формулы (рис.2.5).

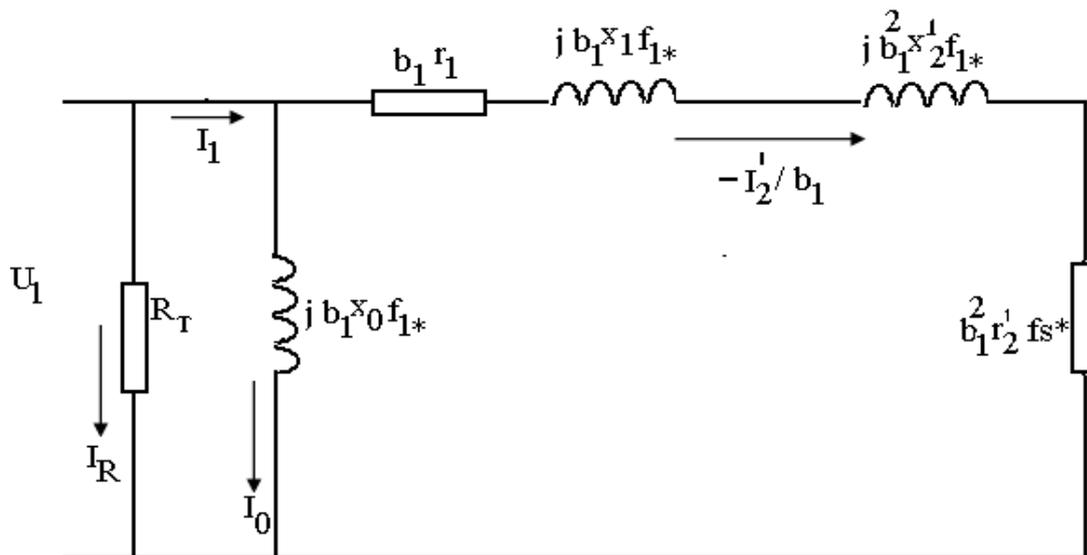


Рис.2.5. Γ -образная схема замещения одной фазы асинхронного двигателя

На практике осуществление плавного регулирования сопротивления R_T требует существенного усложнения схемы, например шунтирования тормозных резисторов или изменение количества аккумуляторов (емкости аккумуляторов) тиристорными ключами.

Поэтому предпочтительнее способ торможения с автоматическим регулированием параметра абсолютного скольжения при неизменном или дискретно изменяемом значении R_T .

Известно, что тормозной момент в зоне $f_{1*} \leq f_{1U*}$ уменьшается пропорционально f_{1*} ; если же принять, что предельная тормозная мощность равна произведению $M_{T.пред.*} \cdot f_{1*}$, то она снижается пропорционально квадрату частоты f_{1*} .

Это указывает на то, что эффективность резисторного торможения в зоне низких частот и даже невозможности обеспечить в ряде случаев полную остановку гибридного автомобиля.

Для увеличения эффективности указанного торможения при малых скоростях движения автомобиля, если поддерживается постоянное значение сопротивления R_T , следует форсировать параметр абсолютного скольжения до

значения, соответствующего максимальному пусковому току асинхронной машины в двигательном режиме.

Выводы

* Изучены и проведены исследования возможных способов электрического тягового привода постоянного тока гибридного автомобиля. Определены положительные и отрицательные свойства динамического, генераторного, обратного включения двигателей постоянного.

* Установлено, что кроме приводов постоянного тока в тяговых приводах гибридного автомобиля могут быть применены тяговые синхронные и асинхронные двигатели, управляемые частотными преобразователями.

* Предложена методика расчета механических тормозных характеристик двигателей постоянного и переменного тока, с отдачей энергии обратно в бортовую энергетическую систему.

* Результаты выполненных системных исследований позволяют не только установить наиболее благоприятные режимы работы силовых агрегатов с известными параметрами в определенных условиях движения электромобиля, но и целенаправленно изменить некоторые конструктивные показатели транспортного средства для достижения исследуемых характеристик его работы.

Глава 3. Разработка эскизной компоновки и методики расчета силового электрического устройства с рекуперацией тормозной энергии.

3.1. Методика расчета внешней характеристики силовой установки гибридного автомобиля ДАМАС.

Внешней характеристикой тягового привода принято называть зависимость эффективной мощности и вращающего момента с угловой скоростью вала привода. $N_e = f(\omega_e)$ и $M_e = f(\omega_e)$

Данная зависимость для электрических двигателей можно получить с помощью двух точек: номинальные значения момента $M_{ном}$ и угловой скорости $\omega_{ном}$; максимальные или критические значения $M_{макс}$, $\omega_{макс}$.

Для построения внешней скоростной характеристики двигателя ДАМАС воспользуемся справочными данными НИИАТ. $P_{макс} = 29$ кВт - максимальная мощность двигателя; $\omega_{макс} = 523,3$ сек⁻¹ максимальная угловая скорость; $P_{ном} = 22$ кВт; номинальная угловая скорость $\omega_{ном} = 314$ сек⁻¹;

Значение крутящего момента двигателя определяется из следующего выражения

$$M_e = M_N \left[a + b \left(\frac{\omega_e}{\omega_N} \right) - c \left(\frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2 \right] = 55.4 \left[0.82 + 1.07 \left(\frac{78.4}{523.3} \right) - 0.89 \left(\frac{78.4}{523.3} \right)^2 \right] = 49.4$$

$$M_{e2} = 56.5, M_{e3} = 60.9, M_{e4} = 61, M_{e5} = 55.4, M_{e6} = 46 \quad (3.1)$$

Здесь M_N – эффективный момент соответствующий максимальному моменту двигателя

$$M_N = 1000 \frac{N_{e \max}}{\omega_N} = 1000 \frac{29}{523.3} = 55.4 \quad (3.2)$$

$$a = K_M - \frac{\omega_m^2(K_M - 1)}{(\omega_N - \omega_M)^2} = 1.15 - \frac{314^2 - (1.15 - 1)}{(523.3 - 314)^2} = 0.82$$

$$b = \frac{2 \cdot \omega_M(1 - a)}{2 \cdot \omega_M - \omega_N} = \frac{2 \cdot 314(1 - 0.82)}{2 \cdot 314 - 523.3} = 1.07 \quad (3.3)$$

$$c = -\frac{b \cdot \omega_N}{2 \cdot \omega_M} = -\frac{1.07 \cdot 523.3}{2 \cdot 314} = -0.89$$

коэффициенты уравнения.

K_M – коэффициент совместимости двигателя по моменту.

$$K_M = \frac{M_{e \max}}{M_N} = \frac{64}{55.4} = 1.15 \quad (3.4)$$

Значения угловой скорости коленчатого вала, (ω), участвующей в выражениях (3.1) и (3.2) разобьем на пределы от ω_{\min} до ω_{\max} .

$$\omega_1=78.4, \omega_2=157, \omega_3=314, \omega_4=235.4, \omega_5=523.3, \omega_6=600 \text{ сек}^{-1} \quad (3.5)$$

Пределы мощности двигателя определяются по выражению.

$$N_e = \frac{M_e \cdot \omega_e}{1000} = \frac{49.9 \cdot 78.4}{1000} = 3.8 \quad (3.6)$$

$$N_{e2} = 8.8, N_{e3} = 14.3, N_{e4} = 19.1, N_{e5} = 29, N_{e6} = 27.6$$

Результаты вычисления сведены в таблицу, № 3.1.

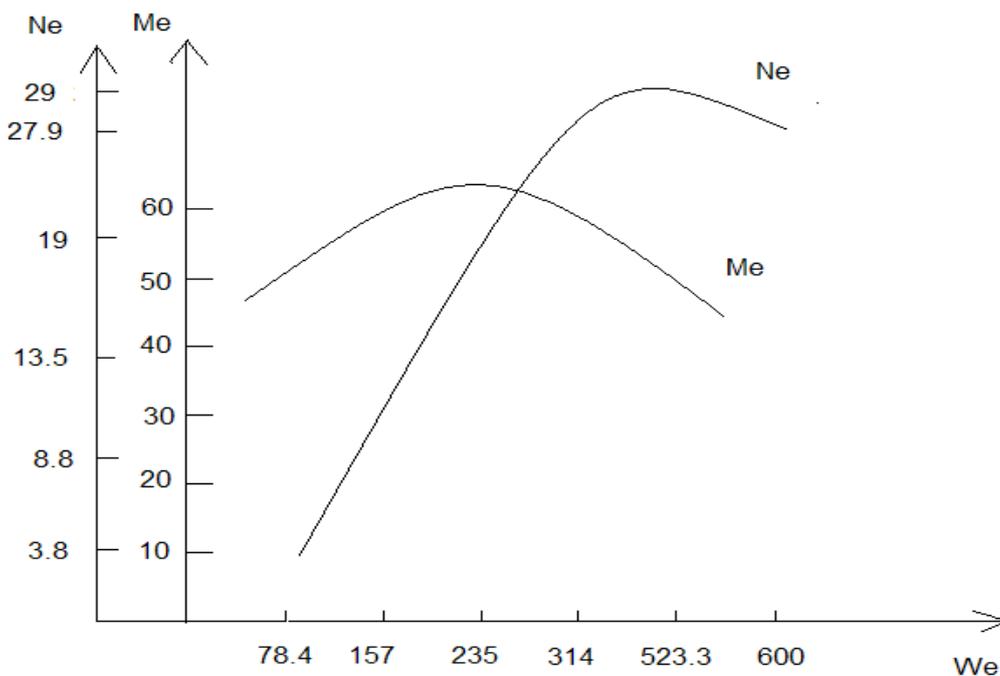


Рис 3.1 Внешняя характеристика двигателя.

Таблица 3.1.

| | | | | | | |
|--------------|------|------|-------|------|-------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ω 1/с | 78.4 | 157 | 235.4 | 314 | 523.3 | 600 |
| М, Н.м. | 49.4 | 56.5 | 60.9 | 61 | 55.4 | 46 |
| Р кВт | 3.8 | 8.8 | 14.3 | 19.1 | 29 | 27.6 |

Определение скорости автомобиля.

Скорость автомобиля при различных ступенях передач можно определить следующим выражением

$$V_a = \frac{\omega_e \cdot r_k}{U_{кл} \cdot U_0} = \frac{78,4 \cdot 0,2368}{3,757 \cdot 5,125} = 0,9 \quad (3.7)$$

где ω_e - угловая скорость коленчатого вала при различных переделах;
 $U_{к.п}$ - количество ступеней передач; U_0 - действительное количество передач коробки; r_k - радиус вращения колеса;

$$r_k = 0.5 \cdot d + \Delta \cdot B \cdot \lambda = 0.5 \cdot 0.3 + 0.8 \cdot 0.155 \cdot 0.7. \quad (3.8)$$

где d - диаметр обода колеса; B - ширина профиля шины;
 Δ - отношение высоты профиля шины на ширину; λ - радиальный коэффициент сжатия шины.

Результаты вычислений сведены в таблицу № 3.2.

Таблица № 3.2.

| | V_{a1} | V_{a2} | V_{a3} | V_4 | V_{a5} |
|---|----------|----------|----------|-------|----------|
| 1 | 0,9 | 1,9 | 2,9 | 3,8 | 6,4 |
| 2 | 1,6 | 3,3 | 5 | 6,6 | 11,1 |
| 3 | 2,4 | 4,9 | 7,4 | 9,9 | 16,6 |
| 4 | 3,6 | 7,2 | 10,8 | 14,4 | 24 |
| 5 | 4,3 | 8,6 | 12,9 | 17,2 | 29 |

3.1.2 Расчет тягового баланса автомобиля.

а) Тяговая характеристика автомобиля.

Зависимость тяговой силы P_T автомобиля с его скоростью, v_a называется тяговой характеристикой.

Здесь P_T определяется следующим образом:

$$P_T = \frac{M_e \cdot \eta_T \cdot U_0 \cdot i_{кл} \cdot i_D}{R_K} = \frac{49.4 \cdot 0.9 \cdot 5.125 \cdot 3.757}{0.2368} = 3615,1 \quad (3.9)$$

$$P_{T1} = 2101,5; P_{T2} = 1405,8; P_{T3} = 962,2; P_{T4} = 820;$$

где M_e - промежуточное значение момента вращения двигателя;
 $i_{к.п}$ - передаточное число коробки передач при включении; i_D - передаточное число дополнительной коробки; R_K - радиус колеса; η_T - КПД трансмиссии.

Коэффициент полезного действия η_T - учитывает потери мощности (силы) в трансмиссии от двигателя до колес автомобиля. Среднее значение данного коэффициента задаются в справочниках для легковых автомобилей типа 4x2 в пределах 0,9...0,92. Значения сил для каждой передачи сведены в таблицу № 3.3. Таблица № 3.3.

| | P_{T1} | P_{T2} | P_{T3} | P_{T4} | P_{T6} |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 3615,1 | 4134,7 | 4456,6 | 4464 | 4054,2 |
| 2 | 2101,5 | 2403,5 | 2590,7 | 2594,9 | 2356,7 |
| 3 | 1405,8 | 1607,8 | 1733 | 1735,9 | 1576,5 |
| 4 | 962,2 | 1100,5 | 1186,2 | 1188,1 | 1079,1 |
| 5 | 820 | 938,7 | 1011,8 | 1013,5 | 920 |

Используя данные таблиц № 3.2 и № 3.3 построим зависимость $P_T = f(V_a)$.

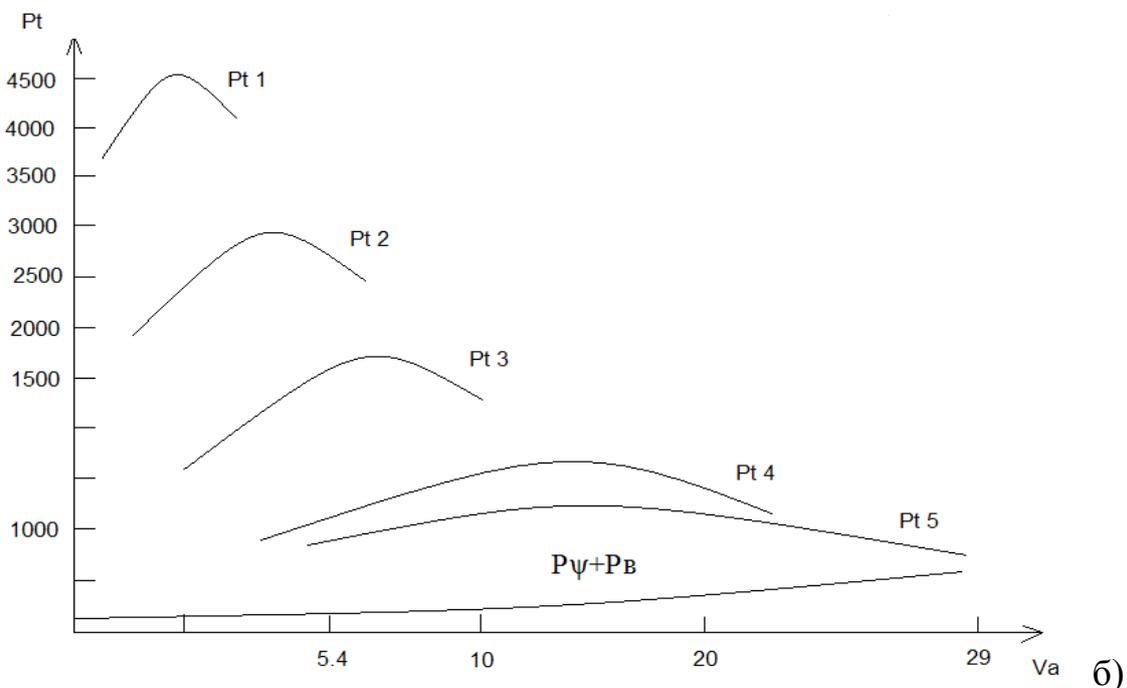


Рис 3.2 Скоростная характеристика автомобиля.

б) Тяговый баланс автомобиля

Тяговым балансом автомобиля называется распределение тяговой силы между силами сопротивлений при движении автомобиля.

$$P_T = P_{\psi} + P_{\epsilon} + P_u \quad (3.10)$$

Здесь P_T - тяговая сила автомобиля; P_{ψ} - сила сопротивления дороги; P_{ϵ} - сила сопротивления воздуха; P_u - сила инерции.

Сила сопротивления дороги P_{ψ} определяется выражением:

$$P_{\psi} = M_a \cdot g \cdot \varphi = 1195 \cdot 9.8 \cdot 0.014 = 163.9 \quad (3.11)$$

где M_a - полная масса автомобиля, кг; g - скорость свободного падения, м/с
 φ - коэффициент сопротивления дороги.

$$\Psi = f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha = 0.014 \cdot 1 + 0 = 0.014 \quad (3.12),$$

где α - угол наклона дороги ; f - коэффициент сопротивления вращения.

Сила сопротивления воздуха определяется, следующим выражением

$$P_{\epsilon} = K \cdot F \cdot V_a^2 = 0.2 \cdot 2 \cdot 0.81 = 0.3 \quad (3.13).$$

Здесь K - коэффициент сопротивления воздуха на переднюю площадь автомобиля; V_a - скорость автомобиля.

Значение F определяется $F = 0.78 \cdot B \cdot H = 0.78 \cdot 1.4 \cdot 1.92 = 2.09 \quad (3.14)$

Здесь: H - высота автомобиля, м; B - ширина автомобиля, м;

Расчетные величины P_{ψ} для всех передач приведены в № 3.4

Таблица № 3.4.

| | $P_{\psi 1}$ | $P_{\psi 2}$ | $P_{\psi 3}$ | $P_{\psi 4}$ | $P_{\psi 5}$ |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 0,3 | 1,4 | 3,3 | 5,7 | 16,3 |
| 2 | 1 | 4,3 | 10 | 17,4 | 49,2 |
| 3 | 2,3 | 9,6 | 21,9 | 39,2 | 110,2 |
| 4 | 5,1 | 20,7 | 46,4 | 82,2 | 230,4 |
| 5 | 7,3 | 29,5 | 66,5 | 118,3 | 336,4 |

Используя данные таблиц № 3.2, № 3.3, № 3.4 построены зависимости.

$$P_T = f(V_0), P_{\psi} = f(V_0), P_{\epsilon} = f(V_0) \quad \text{рис. 3.1. , 3.2.}$$

Результаты выполненных системных исследований позволяют не только установить наиболее благоприятные режимы работы силовых агрегатов ЭМ с известными параметрами в определенных условиях движения электромобиля, но целенаправленно изменить некоторые конструктивные показатели

транспортного средства для достижения исследуемых характеристик его работы.

Исследование взаимосвязей и процессов по приведенным выше формулам дает возможность рационально выбрать параметры и характеристики силового электрооборудования тяговых систем электромобилей малого класса с полной массой транспортного средства от 800 до 1000 кг. В первую очередь определяется мощность тягового электродвигателя и комбинированной энергоустановки для стационарных режимов работы, т.е. при движении с постоянной скоростью.

Здесь, диапазон изменения статических нагрузок принимается от $P_{ТЭД\text{мин}} = 262$ Вт для ЭМ с массой 800 кг до $P_{ТЭД\text{мин}} = 6192$ Вт для электромобилей с массой 1200 кг при скорости $v_{\text{макс}} = 100$ км/ч.

На рис.3.3 приведены изменения во времени ускорения, скорости и мощности при разгоне электромобиля массой 1200 кг до 60 км/час за 15с согласно техническим требованиям для электромобилей этого класса. Результаты расчетов сведены в таблицу 3.5.

Результаты расчетов разгона транспортного средства по экспоненциальному закону изменения скорости во времени показывает, что имеется временной интервал постоянного ускорения, соответствующий постоянному моменту на валу ТЭД. Следовательно, данную закономерность можно получить с помощью двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.

Для определения максимальной мощности такого класса ТЭД получены расчетные данные разгона от нуля до 60 км/ч за 15 с, которые соответственно равны для ЭМ с $m = 800$ кг, $P_{\text{макс}} = 20510$ Вт, $m = 1000$ кг $P_{\text{макс}} = 24412$ Вт и $m = 1200$ кг, $P_{\text{макс}} = 28315$ Вт. Следовательно, исходя из полученных данных статистических и предельных динамических режимов, выбираем тяговый электродвигатель постоянного тока с независимым возбуждением.

Данные тягового двигателя постоянного тока для автомобиля ДАМАС.

Тип 3ДТ (ПТ125), $P_{\text{ном}} = 21\text{кВт}$,

$$U_H = 110B, \quad I_{НОМ} = 230A,$$

$$n_{НОМ} = 3600 \frac{об}{мин}, \quad n_{МАКС} = 5500 \frac{об}{мин},$$

$$G = 125 кг, \quad \eta = 83\%$$

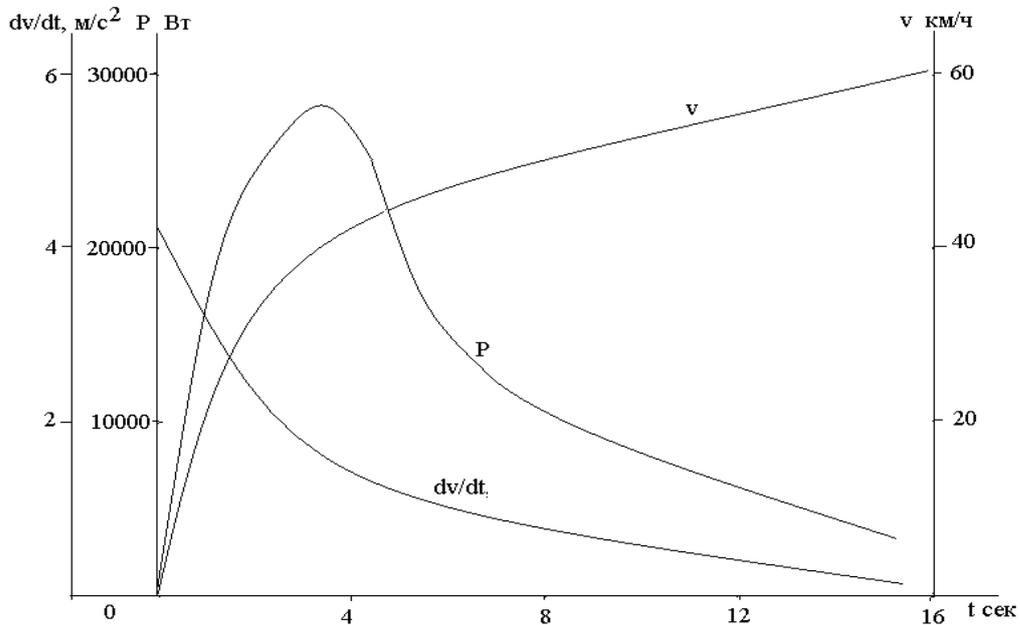


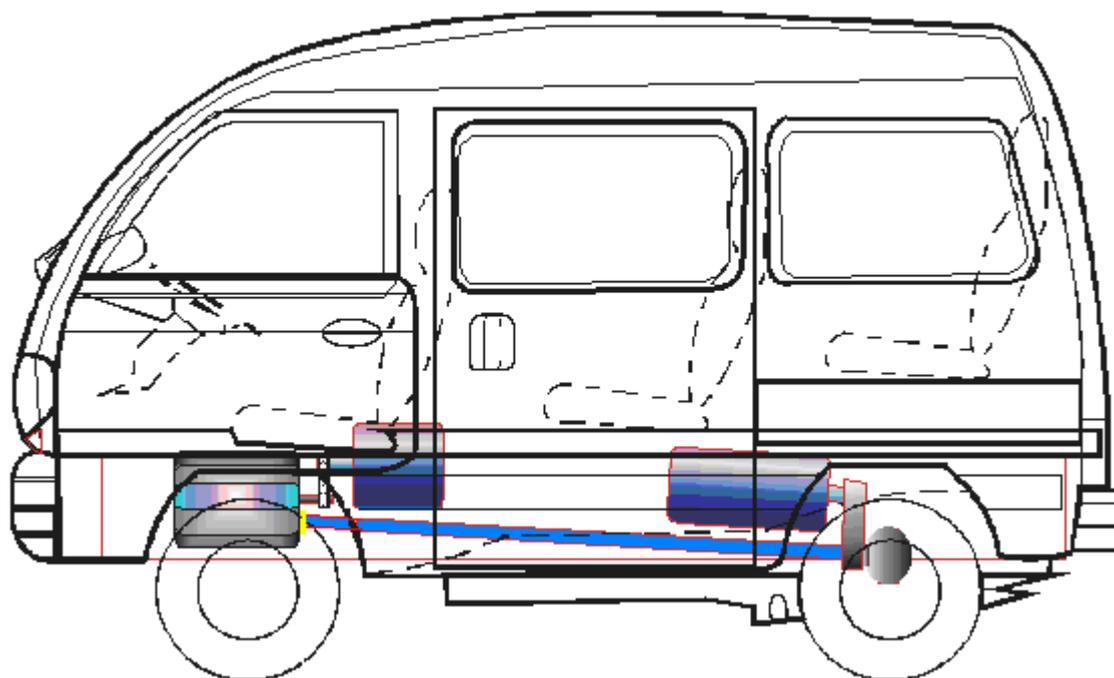
Рис.3.3 График разгона ЭМ массой $m=1200$ кг до 60 км.ч за с
Результаты расчетов мощности ТЭД и комбинированной энергетической

установки при $v = \text{const}$

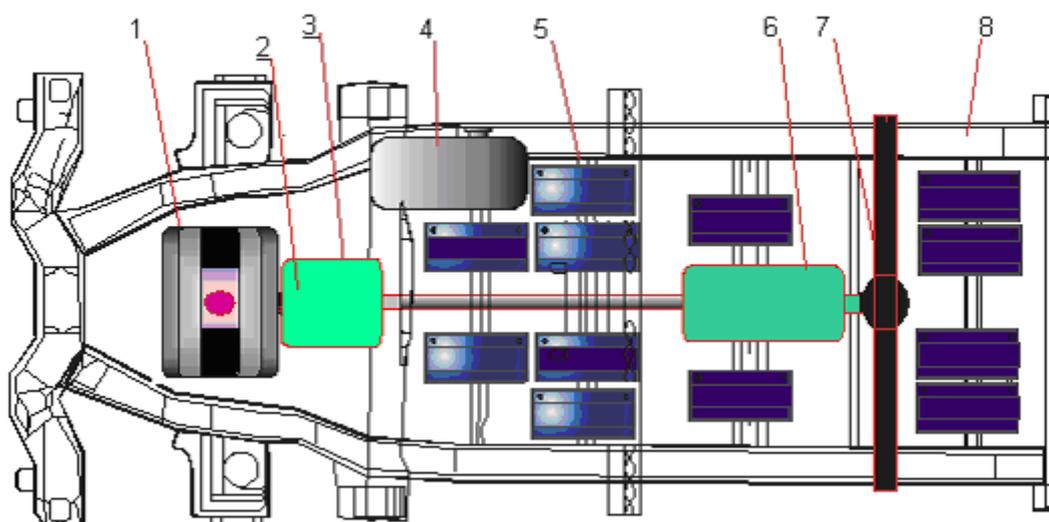
Таблица 3.5.

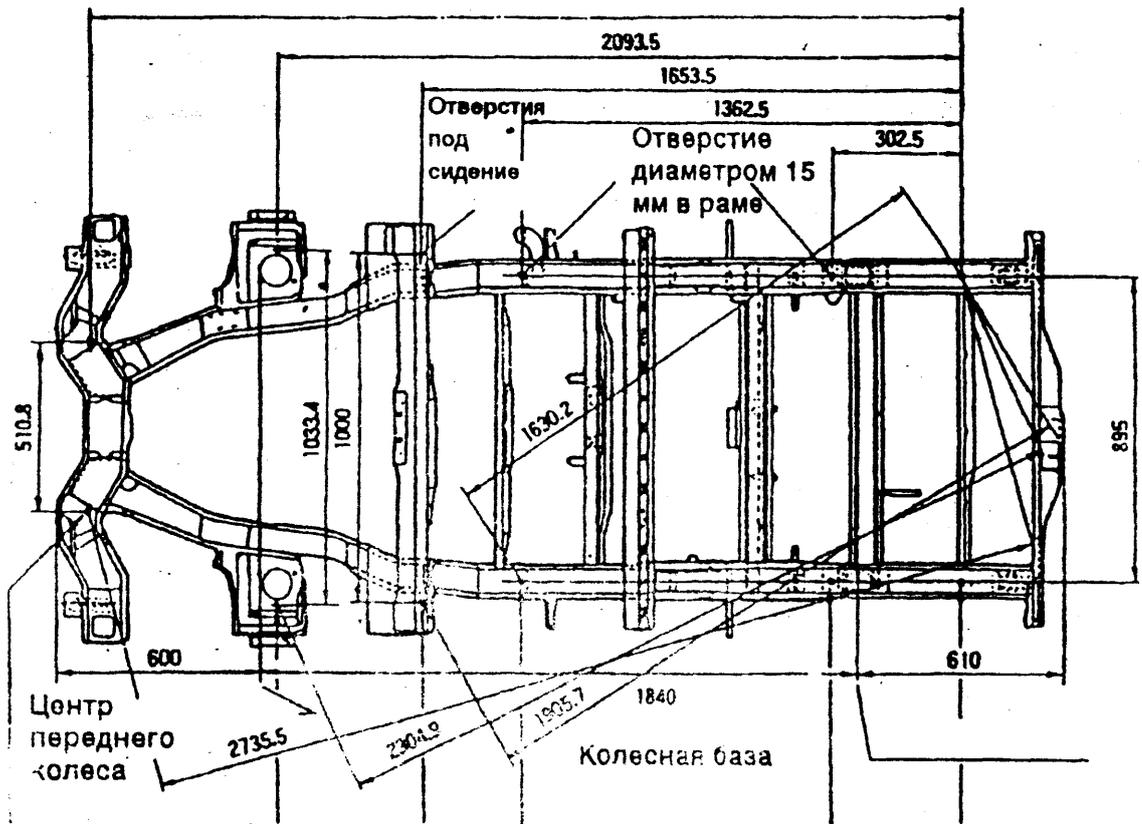
| $v_{\text{макс}}$ км/ч | 100 | 80 | 60 | 40 | 20 | 10 |
|---------------------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $m_{\text{ЭМ}}$, кг | $P_{\text{к.макс}}$, Вт | | | | | |
| 800 | 3235,56127 | 2410,015364 | 1703,425231 | 1086,05192 | 528,1564901 | 262,2195613 |
| 1000 | 3889,56127 | 2933,215364 | 2095,825231 | 1347,65192 | 658,9564901 | 327,6195613 |
| 1200 | 4543,56127 | 3456,415364 | 2488,225231 | 1609,25192 | 789,7564901 | 393,0195613 |
| $m_{\text{ЭМ}}$, кг | $P_{\text{кЭУмакс}}$, Вт | | | | | |
| 800 | 4388,510819 | 3268,792539 | 2310,418337 | 1473,052192 | 716,3580866 | 355,6580421 |
| 1000 | 5275,55509 | 3978,427956 | 2842,644899 | 1827,869901 | 893,7669407 | 444,3624692 |
| 1200 | 6162,599361 | 4688,063373 | 3374,871462 | 2182,687609 | 1071,175795 | 533,0668962 |

3.2. Разработка эскизной компоновки энергетической установки гибридного автомобиля Дамас.



1. ДВС;
2. Синхрон генератор;
3. Кардан ўқи;
4. Бензин баки;
5. Аккумуляторлар батареялари;
6. Электр мотори;
7. Орқа кўприк;
8. Рама.





Выводы

* Исследование современных схем соединения приводов гибридных автомобилей и электромобилей показали, что автомобилестроение направлено на создание более экономичных и надежных транспортных средств, состоящих из электрического, топливного, а также гидравлического двигателя.

* Анализом технических, технико-экономических характеристик гибридных автомобилей и электромобилей развитых автомобильных стран, установлено, что для тягового привода используются двигатели постоянного и переменного тока, а для генераторов электрической энергии используются вентильные синхронные машины с постоянными магнитами цепи возбуждения. Выявлено, что основной рынок автомобилестроения пока не сильно реагирует на изменения в этой сфере. На выставках представляются и другие электромобили зарубежного производства (в том числе на гибридных двигателях и водородных), однако, основные проблемы гибридного автомобиля все еще не решены.

* Изучены современное состояние альтернативных источников энергии (накопителей энергии): супермаховики, конденсаторные накопители (суперконденсаторы), возможности использования солнечных батарей, электрохимические генераторы и комбинированные энергоустановки.

* Выпускаемые натрий – серные батареи имеют 4 раза большую удельную мощность при той же массе, и обеспечивающей суммарный пробег около 21 тыс. км.

* Приведены некоторые технические и технико-экономические данные аккумуляторных батарей, используемых на гибридных транспортных средствах. * **Проведен анализ технических, технико-экономических данных энергоустановок. Свинцово – кислотные аккумуляторы применяются до сих пор, несмотря на то, что имеют большую массу и малую мощность. В кислотных батареях привлекает их надежность, низкая стоимость. Новые аккумуляторные батареи выпускаются на предприятиях швейцарско-шведского концерна “ ASEA Браун Бовери “ (ABB) совместным**

предприятием фирм “Даймлер – Бенц“ (Германия) и “Англо Американ холдингз“ (ЮАР), фирмой RWE (Германия) и др.

* Установлено, что, несмотря на все усилия научного мира разработка аккумуляторных батарей обеспечивающих все требования, предъявляемые к ним все еще не разработана.

* Приведены технические характеристики существующих гибридных автомобилей типа Toyota Prius, Honda CIVIC Hybrid, Atrai Hybrid, Honda Insight Hybrid, Ford Escape Hybrid, Ford Escape Hybrid, Honda Dualnote, Nissan Tino

* Изучены и проведены исследования возможные способы применения электрического тягового привода постоянного тока гибридного автомобиля.

Определены положительные и отрицательные свойства способов торможения - динамического, генераторного, обратного включения двигателей постоянно.

* Установлено, что кроме приводов постоянного тока в тяговых приводах гибридного автомобиля могут быть применены тяговые синхронные и асинхронные двигатели, управляемые частотными преобразователями.

* Предложена методика расчета механических тормозных характеристик двигателей постоянного и переменного тока, с отдачей энергии обратно в бортовую энергетическую систему.

* Результаты выполненных системных исследований позволяют не только установить наиболее благоприятные режимы работы силовых агрегатов с известными параметрами в определенных условиях движения электроавтомобиля, но и целенаправленно изменить некоторые конструктивные показатели транспортного средства для достижения исследуемых характеристик его работы.

* Предложена методика расчета внешней характеристики силовой установки гибридного автомобиля ДАМАС, с помощью которой определены внешняя характеристика тягового электрического двигателя, тяговая и скоростная характеристики гибридного автомобиля.

* Исследование взаимосвязей и процессов по приведенным выше формулам дает возможность рационально выбрать параметры и характеристики

силового электрооборудования тяговых систем электромобилей малого класса с полной массой транспортного средства от 800 до 1000 кг. В первую очередь определяется мощность тягового электродвигателя и комбинированной энергоустановки для стационарных режимов работы, т.е. при движении с постоянной скоростью.

Литература.

1. Каримов И.А. Жаҳон молиявий-иқтисодий инқирози, Ўзбекистон шароитида уни бартараф этишнинг йўллари ва чоралари. - Т.: Ўзбекистон, 2009 й.
2. И.А. Каримов “Ўзбекистан на пороге 21 века“ угроза безопасности, условия стабильности и гарантии развития -Т :Уз 1999 г.
3. Автомобильный транспорт, № 8, 2002, 44-45тр.
4. Энергетика процесса заряда конденсатора от генератора переменного тока через выпрямитель. Бертинов А.И., Мизюрин С.Р., Сериков В.А. и др. Электричество, № 8. 1967.
5. Rose M.F. Compact Capacitor Powered Railqum System. IEEE Transaction Magectics. 1986. Vol/VAQ-22.
6. Бортовые энергосистемы космических аппаратов на основе солнечных химических батарей. Ч.1.2. Бекан Н.В., Безручко К.В., Елисеев В.Б., Ковалевский В.В., Федоровский А.Н. Учебное пособие. Харьков., ХАИ. 1992.
7. Накопители энергии. Учебное пособие для втузов. Бут Д.А., Алиевский М.Л., Мизюрин С.Р., Васюкевич П.В., под ред. Бут Д.А. М. Энергоатомиздат, 1994.
8. К.М. Сорокин, П.П. Карин, Я. Н. Сегал, Дорожные испытания нового автомобиля — гибридный Lexus RX400h. Интернет данные.
9. Ставров О.А. Перспективы создания эффективного электромобиля. М.Наука, 1984.
10. Исследование тяговой никель-цинковой батареи для электромобиля. Дениченко С.Л., Козлов А.Ю., Техническая электродинамика, № 3, 1992.
11. Состояние и перспективы развития никель-железных и никель-кадмиевых аккумуляторов. Шакот М.Б., Ужиков Б.И., Константинов В.Н., Дробышевский В.Н. Сборник работ по химическим источникам тока. Л., Энергия, 1984.
12. Состояния и перспективы научных исследований и разработок в области технологии тяговых аккумуляторов. М. Информэлектро, 1980

13. Конденсаторные системы пуска. Фесенко М.Н., Хортов В.П., Чижков Ю.П. М. Автомобильная промышленность 1986.
14. Системы электростартерного пуска ДВС с конденсаторными батареями. Фесенко М.Н., Хортов В.П., Чижков Ю.П. Межвуз. Сборник научных работ. Вып. 8. М. МАМИ. 1987.
15. Результаты экспериментального исследования автомобильного двигателя при использовании конденсаторной батареи. Чижков Ю.П., Малеев Р.А., Квай С.М. Межвуз. Сборник научных работ. Вып. 11. М. МАМИ. 1987.
16. Фесенко М.Н., Копелинский А.В. Электропривод с емкостным накопителем энергии. М. МАМИ. 1992. Литература
17. Лидоренко Н.С., Мучник Г.Ф. Электрохимические генераторы М. Энергоиздат. 1982.
18. Петленко Б.И., Гурьянов Д.И. Транспортные средства с бортовыми источниками энергии различной физической природы. М. МАМИ. 1994.
19. Экспериментальные исследования бортовых источников энергии различной физической природы. Гурьянов Д.И., Дижур М.М., Прохоров В.А., Паршков Ю. В., Тауфик А.М. Сборник научных трудов. М. МАМИ 1994.
20. Эйдинов А.А., Дижур М.М. Новые направления развития источников тока для электромобилей. М., Автомобильная промышленность № 2, 1983
21. Электромобили. Проблемы, поиски, решения. Поляк Д.Г., Эйдинов А.А., Козловский А.Б. М., Автомобильная промышленность, № 5, 1994.
22. Литература Дасоян М.А., Агуф И.А., современная теория свинцового аккумулятора .Л.Энергия, 1975.
23. Электромобили. Лидоренко Н.С., Лучнин Г.Ф., Бортников Ю.С., Жданов А.М., Постаногов В.П., М., ВНИЦентр, 1984.
24. Козловский А.Б., Яковлев А.И. Метод теоретической оценки технико-экономических параметров электромобилей. М., Автомобильная промышленность № 1, 1979.

25. Тяговые системы электромобилей с повышенными показателями. Воротников В.П., Макаров А.К., Паршков Ю.В., Шастина С.Ю.. Тезисы докл. Научно-технической конференции. М. МАМИ, 1994.

26. Применение в сети электромобиля емкостных накопителей. Чижков Ю.П., Малеев Р.А., Гурьянов Д.И., Макаров А.К., Тезисы докл. Научно-техн. конференции. М. МАМИ, 1994.

27. Ахраров Х.Н., Лебедев О.В., Султанов Ш.Ф., Хамидов Н.А. Возможности повышения экономичности использования энергии топлива в колесных машинах. Международная научно-практическая конференция АТК. Проблемы и перспективы развития. МАДИ (ТУ). 2000г.

28. Ахраров Х.Н., Эшматов И.Е. Алимов М. Разработка тягового привода гибридного автомобиля «ДАМАС»

**Отзыв на диссертационную работу магистранта Давлетова С.
по специальности 5А521315 «Электрооборудование автомобилей и
тракторов» на тему «Исследование системы электрического торможения
тягового электропривода гибридного автомобиля ДАМАС»**

В настоящее время загрязнения окружающей среды, а также топливной недостаток вынуждают приложить усилия достичь экономии топлива за счет развития конструкций и технологических возможностей по улучшению характеристик автомобильных тяговых систем. В магистерской диссертации рассматривается вопрос научно-технического исследования тягового привода и систем их торможения. Несомненная актуальность темы исследования по созданию гибридных автомобилей, оборудованных электрической и топливной тяговой установкой указывают на ведение научно-технических исследований в этой области т. к. автомобильный транспорт и автомобилестроение являются движущей силой структурных преобразований в промышленности нашей республики.

В первой главе диссертационной работы проведен общий научно-технический обзор и анализ существующих типов гибридных автомобилей, их тормозных систем, а также некоторые виды современных электромобилей. Приведены намеченные цели для исследования, обобщение типов гибридных тяговых систем, их тормозные свойства и некоторые рекомендации по применению комбинированных энергетических систем.

Во второй главе проведены исследования возможные способы применения электрического тягового привода постоянного и переменного тока гибридного автомобиля с целью рекуперации тормозной энергии. Определены положительные и отрицательные свойства способов торможения - динамического, генераторного, обратного включения двигателей постоянного.

В третьей главе предложена методика расчета механических тормозных характеристик двигателей постоянного и переменного тока, с отдачей энергии обратно в бортовую энергетическую систему. Кроме того, результаты исследования по использованию в гибридных автомобилях тяговых

синхронных и асинхронных двигателей, управляемые частотными преобразователями, эскизная компоновка тягового оборудования автомобиля ДАМАС.

Результаты выполненных системных исследований позволяют не только установить наиболее благоприятные режимы работы силовых агрегатов с известными параметрами в определенных условиях движения электромобиля, но и целенаправленно изменить некоторые конструктивные показатели транспортного средства для достижения исследуемых характеристик его работы.

Выражая несомненное качество выполнения диссертационной работы, считаем уместным, указать на следующие недостатки:

Как уменьшить общий вес гибридного автомобиля?

Можно ли указать конкретный срок разработки гибридного автомобиля в нашей республике?

В целом диссертационная работа магистранта С. Давлетова решает поставленную перед ней задачу и отвечает требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям, выполнена на высоком теоретическом и практическом уровне, автор достоин присвоения ему ученой степени магистра наук по специальности 5А521315 «Электрооборудование автомобилей и тракторов»

Рецензент, д.т.н.

Хамидов Н.А.

**Отзыв на диссертационную работу магистранта Давлетова С.
по специальности 5А521315 «Электрооборудование автомобилей и
тракторов» на тему «Исследование системы электрического торможения
тягового электропривода гибридного автомобиля ДАМАС»**

Проблема загрязнения окружающей среды, а также дороговизна топлива побуждают приложить усилия достичь экономии топлива за счет развития конструкций тяговой системы автомобиля и технологических возможностей достичь полноты сгорания топлива, уменьшить токсичности выбросов, экономить топливные ресурсы, снизить шум являются актуальной и своевременной проблемой.

Актуальность темы исследования по созданию гибридных автомобилей, оборудованных электрической и топливной тяговой установкой обусловлена тем, что существует определенный рост в потребности гибридных автомобилей в областях народного хозяйства нашей республики. В частности, автотранспортное обслуживание банков, почты, магазинов и других отраслей экономичнее электромобилями или гибридными автомобилями.

Недостаточная изученность и дискуссионный характер ряда вопросов теории и практики электрического рекуперативного торможения тягового привода гибридных транспортных средств обусловили выбор темы настоящей магистерской диссертационной работы на примере автомобиля ДАМАС.

Целью исследования является обоснование научно-технических рекомендаций, направленных по исследованию, расчету, выбору тормозных электромеханических параметров тягового электрического привода с гибридной энергоустановкой.

Предметом исследования является проблема разработки методики расчета и исследования тормозных электромеханических параметров и схем управления тягового привода и автономной энергетической установки, гибридного автомобиля ДАМАС.

Объектом исследования является электрический привод тяговой системы гибридного автомобиля в тормозных условиях.

В первой главе проведен общий научно-технический обзор и анализ существующих типов гибридных автомобилей, а также электромобилей. Приведены намеченные цели для исследования способов торможения, обобщение типов гибридных тяговых систем и некоторые рекомендации по выбору режимов их работы.

Во второй главе приведены результаты исследования по применению электрического торможения тягового привода постоянного и переменного тока гибридного автомобиля с целью рекуперации тормозной энергии. Определены положительные и отрицательные свойства способов торможения - динамического, генераторного, обратного включения электрического привода постоянного и переменного тока.

В третьей главе дается характеристика тяговым свойствам автомобиля ДАМАС в режимах торможения. Предложена методика расчета механических тормозных характеристик двигателей постоянного и переменного тока, с отдачей энергии обратно в бортовую энергетическую систему. Разработана эскизная компоновка тягового оборудования автомобиля ДАМАС.

Работая над диссертацией, магистрант Давлетов С. проявил самостоятельность и способность к научно - исследовательским работам, показал лучшие знания предмета исследования по гибридным автомобилям.

В целом диссертационная работа магистранта С. Давлетова раскрывает поставленную задачу и отвечает требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям, выполнена на высоком теоретическом и практическом уровне, автор достоин присвоения ученой степени магистра по специальности 5А521315 «Электрооборудование автомобилей и тракторов»

Научный руководитель, доц., к.т.н.

Ахраров Х.Н.

ОТЗЫВ

**на диссертационную работу магистранта Давлетова С.
по специальности 5А521315 «Электрооборудование автомобилей и тракторов» на тему «Исследование системы электрического торможения тягового электропривода гибридного автомобиля ДАМАС»**

Современное автомобилестроение идет по пути улучшения экологии окружающей среды, путем полного использования топливной смеси, а также использования внутренних резервов автомобильного транспорта, в частности использования тормозной энергии транспортных средств. Следовательно, достичь полноты сгорания топлива, уменьшить токсичности выбросов, экономить топливные ресурсы, снизить шум являются актуальной и своевременной проблемой.

В диссертационной работе рассматриваются некоторые виды тяговых средств гибридных автомобилей и электромобилей с использованием тормозной энергии. Опыт исследований показывает на определенный рост в потребности в гибридных автомобилях в областях народного хозяйства и в нашей республике.

В результате проведенных исследований и разработки рекомендаций по применению генераторного способа торможения тягового электрического привода гибридных автомобилей на основе отечественного микроавтобуса ДАМАС определены некоторые теоретические и практические параметры тяговой установки. Следовательно, результаты исследования настоящей работы, несомненно, внесут определенные коррективы в теорию и практику гибридных автомобилей.

В первой главе проведен общий научно-технический обзор и анализ существующих типов гибридных автомобилей, а также электромобилей. Приведены намеченные цели для исследования, обобщение типов гибридных тяговых систем и некоторые рекомендации по их расчету и торможении.

Во второй главе приведены результаты исследований торможения электрических приводов постоянного и переменного тока гибридного автомобиля. Определены положительные и отрицательные свойства способов торможения - динамического, генераторного, обратного включения двигателей постоянного.

Установлено, что кроме приводов постоянного тока в тяговых приводах гибридного автомобиля могут быть применены тяговые синхронные и асинхронные двигатели, управляемые частотными преобразователями.

В третьей главе дается характеристика тяговым свойствам автомобиля ДАМАС в режимах торможения и рабочая эскизная компоновка тягового оборудования автомобиля ДАМАС.

По работе возникают следующие вопросы:

* Приблизительный срок разработки конкретной модели автомобиля?

*Сравнение технико-экономических свойств данной модели с существующими автомобилями?

В целом диссертационная работа магистранта С. Давлетова полностью раскрывает поставленную задачу и отвечает требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям, выполнена на высоком теоретическом и практическом уровне, автор достоин присвоения ученой степени магистра по специальности 5А521315 «Электрооборудование автомобилей и тракторов»

Рецензент, доц.

Мирсоатов Р.

РЕФЕРАТ

Диссертационная работа состоит из введения, 75 стр. машинописных листов, 30 рисунка, 16 таблиц, заключения и 28 списка использованных литератур.

Работа посвящена научно-техническому исследованию тормозных свойств электрического привода гибридного автомобиля на базе ДАМАС, оборудованного одновременно электрической и топливной тяговой установкой.

В объем диссертационной работы включен анализ технических, технико-экономических характеристик гибридных автомобилей и электромобилей развитых автомобильных стран. Проведен анализ тягового электрического привода постоянного и переменного тока, в условиях рекуперативного торможения. Выявлено, что основной рынок автомобилестроения пока не сильно реагирует на изменения в этой сфере. На выставках представляются и другие электромобили зарубежного производства (в том числе на гибридных двигателях и водородных), однако, основные проблемы гибридного автомобиля все еще не решены.

Установлено, что в настоящее время тяговые электрохимические энергоустановки не могут быть сравнимы с ДВС, поэтому ведутся исследования по созданию комбинированных энергетических установок и специальных электрических машин, включающих источники энергии различной физической природы с использованием тормозной энергии транспортного средства. Результаты выполненных системных исследований позволяют не только установить наиболее благоприятные режимы работы силовых агрегатов с известными параметрами в определенных условиях движения гибридного автомобиля, но и целенаправленно изменить некоторые конструктивные показатели транспортного средства для достижения исследуемых характеристик его работы

По диссертационной работе опубликованы три научные статьи.