

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ “МАМИ”**

**С.В. Бахмутов, А.Л. Карунин, А.В. Круташов, В.В. Ломакин,
В.В. Селифонов, К.Е.Карпухин, Е.Е. Баулина, Ю.В. Урюков**

КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ АВТОМОБИЛЕЙ С ГИБРИДНЫМИ СИЛОВЫМИ УСТАНОВКАМИ

Допущено УМО ВУЗов РФ по образованию в области транспортных машин
и транспортно-технологических комплексов в качестве учебного пособия для
студентов, обучающихся по специальности "Автомобиле- и
тракторостроение"

**Москва
2007**

Бахмутов С.В., Карунин А.Л., Круташов А.В., Ломакин В.В. Селифонов В.В., Карпухин К.Е., Баулина Е.Е., Урюков Ю.В.

Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками: Учебное пособие. – М.: МГТУ «МАМИ», 2007 – 71 с.

Обобщена и систематизирована информация по автомобилям, оснащенным гибридной силовой установкой (ГСУ), для последующего применения при обучении студентов и разработке автомобилей данного типа.

Проведен анализ конструкций автомобилей с ГСУ, определены предпосылки появления автомобилей данного типа. Рассмотрена классификация ГСУ, выявлены преимущества и недостатки, присущие различным схемам ГСУ. Представлен российский опыт создания подобных автомобилей.

Предназначено для студентов ВУЗов, обучающихся на автомобильных специальностях. Может быть рекомендовано для инженерно-технических работников, проектирующих автотранспортные средства.

Табл.5. Рис. 44. Библиография 5 назв.

Рецензенты: д.т.н. проф. МГУПИ Галевский Е.А.

к.т.н., доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана Афанасьев Б.А.

©Бахмутов С.В., Карунин А.Л., Круташов А.В., Ломакин В.В.

Селифонов В.В., Карпухин К.Е., Баулина Е.Е., Урюков Ю.В. 2007

© Издательство МГТУ «МАМИ», 2007

Введение

Ухудшение экологической обстановки, обусловленное вредным воздействием автотранспорта, в городах носит катастрофический характер, в первую очередь в связи с загрязнением воздушного бассейна выбросами вредных веществ автомобильных двигателей, поэтому приоритетной задачей проектирования городских автомобилей является снижение количества выбросов вредных веществ и улучшение топливно-экономических показателей проектируемых автомобилей.

В первые годы после появления автомобиля примерно половина выпускаемых моделей имела электрический привод. Однако через несколько лет он был практически полностью вытеснен двигателем внутреннего сгорания (ДВС), хотя кривая протекания крутящего момента электрического двигателя, как нельзя лучше подходит автомобилю и позволяет отказаться от сцепления и коробки передач. Максимальный крутящий момент электрический двигатель развивает при трогании с места, а с ростом оборотов его величина плавно убывает. Основными проблемами электромобиля до сих пор являются источники питания и система регулирования и управления приводом. Поэтому вспоминают об электроприводе только как об экологически чистой альтернативе автомобилю с ДВС в городах. Однако не одна созданная в мире конструкция электромобиля не смогла еще удовлетворить даже самого невзыскательного потребителя: причиной тому и малый пробег без подзарядки, и небольшая максимальная скорость, и плохая динамика, и сложности с зарядкой.

Известно, что современный автомобиль имеет достаточно хорошие показатели топливной экономичности и экологичности при равномерном движении в достаточно широком диапазоне рабочих скоростей. В то же время, при движении в режиме городского цикла, представляющего собой постоянное чередование фаз разгона, равномерного движения, замедления и стоянки с работающим на холостом ходу двигателем, эти же показатели существенно ухудшаются. Причин этому несколько - недостаточное использование потенциальной мощности двигателя при движении с ограниченной в условиях города скоростью, вследствие чего двигатель работает с повышенными удельными расходами, постоянные затраты энергии на накопление автомобилем кинетической энергии, которая затем через короткий промежуток времени переводится в тепло и безвозвратно теряется в фазе служебного замедления автомобиля, бесполезная трата энергии при работе двигателя в режиме холостого хода на служебной остановке при движении в режиме городского цикла.

С перечисленными недостатками можно вести борьбу разными методами - внедрением системы "стоп - старт", позволяющей исключить

работу двигателя при служебной стоянке в режиме городского цикла, внедрением систем рекуперации энергии торможения, гасящих накопленную при разгоне кинетическую энергию не фрикционными тормозами, а системой рекуперации, позволяющей в дальнейшем использовать эту энергию для разгона автомобиля. Можно увеличить степень использования мощности двигателя при равномерном движении с относительно невысокой скоростью городского цикла путем применения бесступенчатой передачи вместо ступенчатой трансмиссии, осуществляя при этом регулирование скорости равномерного движения не дросселированием двигателя, как это осуществляется при ступенчатых трансмиссиях, а путем регулирования частоты вращения ДВС при работе его по характеристике минимальных расходов.

Все перечисленные пути улучшения характеристик автомобиля при его работе в городском цикле ведут к значительному усложнению и удорожанию конструкции автомобиля, поэтому до настоящего времени не нашли широкого применения в массовом автостроении, кроме пожалуй бесступенчатых трансмиссий, однако и они еще недостаточно распространены.

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений решения проблемы городского автотранспорта является применение гибридных силовых установок, позволяющих достичь требуемого улучшения экологических показателей автомобиля за счет сочетания преимуществ основного и электрохимического источника энергии путем разработки систем и оптимизации алгоритма их совместной работы, в основу которых положено движение автомобиля в городском цикле. Энергия основного источника (ДВС, топливные - и полутопливные элементы) непрерывно расходуется в течение длительного времени, предназначена для преодоления силы сопротивления движения автомобиля. Энергия пикового (электрохимический) источника, обладающего свойствами накопителя, затрачивается на преодоление сопротивления силы инерции (разгон автомобиля). Пиковый источник энергии (накопитель) заряжается за счет избыточной (нереализуемой при движении в данной стадии городского цикла) энергии основного источника, а также за счет рекуперации кинетической энергии при замедлении и во время рабочих остановок.

В рамках данной работы под гибридной силовой установкой следует понимать сочетание в качестве основного источника энергии двигатель внутреннего сгорания, работающий, как правило, на режиме минимально возможного удельного расхода топлива и электрохимического накопителя электроэнергии используемого также в качестве пикового источника. Это сочетание позволяет оптимизировать условия их работы для комбинирования преимуществ обоих источников, По прогнозам экспертов такой гибридный автомобиль будет конкурентоспособен вплоть до 2020 года, после чего доминирующее положение займут автомобили с топливными элементами в качестве основных источников энергии.

В настоящее время многие зарубежные автомобилестроительные фирмы ведут интенсивные исследовательские и конструкторские работы по созданию и совершенствованию автомобилей с гибридными силовыми установками (ГСУ), потому что интерес к таким автомобилям проявляют как городской транспорт, так и заказчики военной техники. Правда, цели в этих двух случаях разные, но пути их реализации имеют много общего. Однако наша автомобильная промышленность разработкой АТС с ГСУ, несмотря на заинтересованность отечественных потребителей, к сожалению, практически не занимается. Проводившиеся до последнего времени исследовательские работы в научных подразделениях вузов и отраслевых НИИ в связи с невостребованностью их результатов автозаводами фактически прекращены. Хотя возможностей у нас не меньше, чем за рубежом.

1. Конструктивные схемы ГСУ

Центральным элементом ГСУ является комбинированная микропроцессорная система управления, обеспечивающая работу двигателя внутреннего сгорания на постоянном режиме минимального удельного расхода топлива при всех скоростных и нагрузочных режимах транспортного средства путем регулирования работы электроагрегатов и механических узлов силовой установки.

Современные гибридные силовые установки включают ДВС или двигатель – генераторные агрегаты и тяговые накопители энергии, которые совместно с комбинированными электромеханическими трансмиссиями строятся по принципу последовательной или параллельной архитектуры, а также по схеме «сплит», реализующую последовательно-параллельную систему. Анализ современных гибридных автомобилей показывает, что мировыми автомобилестроительными фирмами разработаны опытные образцы гибридных автомобилей всех структурных схем.

В случае последовательной схемы двигатель внутреннего сгорания отдает энергию только генератору, который либо питает только тяговый электродвигатель, либо дополнительно заряжает накопитель энергии. При нехватке энергии генератора для обеспечения необходимого режима работы автомобиля тяговый электродвигатель получает дополнительную энергию от накопителя энергии, при избытке ее - отдает избыток в накопитель. При желании возможно на ограниченном протяжении пути движение в режиме электромобиля с выключенным двигателем внутреннего сгорания.

В случае параллельной схемы двигатель внутреннего сгорания через соответствующую механическую трансмиссию отдает энергию ведущим колесам автомобиля и через специальную систему отбора мощности может при избытке энергии через генератор питать накопитель энергии, а при дефиците энергии через эту же систему получать дополнительную энергию от накопителя через элементы электротрансмиссии.

Далее проводится рассмотрение трех структурных схем ГСУ последовательной, параллельной, и схемы "сплит", которую нужно считать симбиозом параллельной и последовательной схемы.

1.1. Последовательная схема гибридной силовой установки

В этом случае двигатель внутреннего сгорания работает только на генератор, при этом выбирается режим минимального расхода топлива. Энергия, вырабатываемая генератором, подается либо на тяговый электродвигатель, либо в накопитель энергии и на тяговый электродвигатель, либо только в накопитель энергии. Тяговый электродвигатель обеспечивает весь необходимый силовой и скоростной диапазоны транспортного средства и при замедлении транспортного средства работает в режиме генератора,

обеспечивая рекуперацию энергии торможения. Принципиальная схема последовательной ГСУ представлена на рисунке 1.

Достоинствами последовательной схемы являются возможность работы первичного двигателя (ДВС) на постоянном режиме минимального расхода топлива, простота управления силовой установкой и отсутствие специальных узлов трансмиссии, широкие компоновочные возможности, позволяющие легко скомпоновать силовую установку в подкапотном пространстве существующего автомобиля.

Недостатками последовательной схемы является слишком малый КПД системы превращения энергии от ДВС до приводных колес из – за двукратного превращения одного вида энергии в другой: механической в электрическую и затем электрической в механическую и обязательное наличие двух электромашин большой мощности.

1.2. Параллельная схема гибридной силовой установки

В этом случае ДВС и тяговый обратимый электродвигатель, питаемый от аккумуляторной батареи (АКБ) через трансмиссию связаны с ведущими колесами (рис. 2).

Достоинством параллельной схемы является более высокий КПД передачи энергии от первичного двигателя к ведущим колесам в сравнении с последовательной схемой и возможность применения одной электромашины вместо двух.

Недостатком является обязательное усложнение трансмиссии для обеспечения отбора (подвода) мощности электрической машины, отход первичного двигателя от режима минимального расхода топлива при применении ступенчатой механической трансмиссии при регулировании скорости движения транспортной машины и определенное усложнение системы управления силовой установкой.

Возможен вариант параллельной схемы, когда обратимая электромашина устанавливается в приводе другого ведущего моста, чем ведущий мост трансмиссии первичного ДВС (рис. 3). Например, при переднеприводной схеме трансмиссии первичного двигателя обратимый электрический мотор устанавливается в приводе заднего моста. Достоинством такого варианта следует считать определенное упрощение трансмиссии первичного двигателя, недостатком - использование колесного движителя в качестве элемента системы превращения энергии.

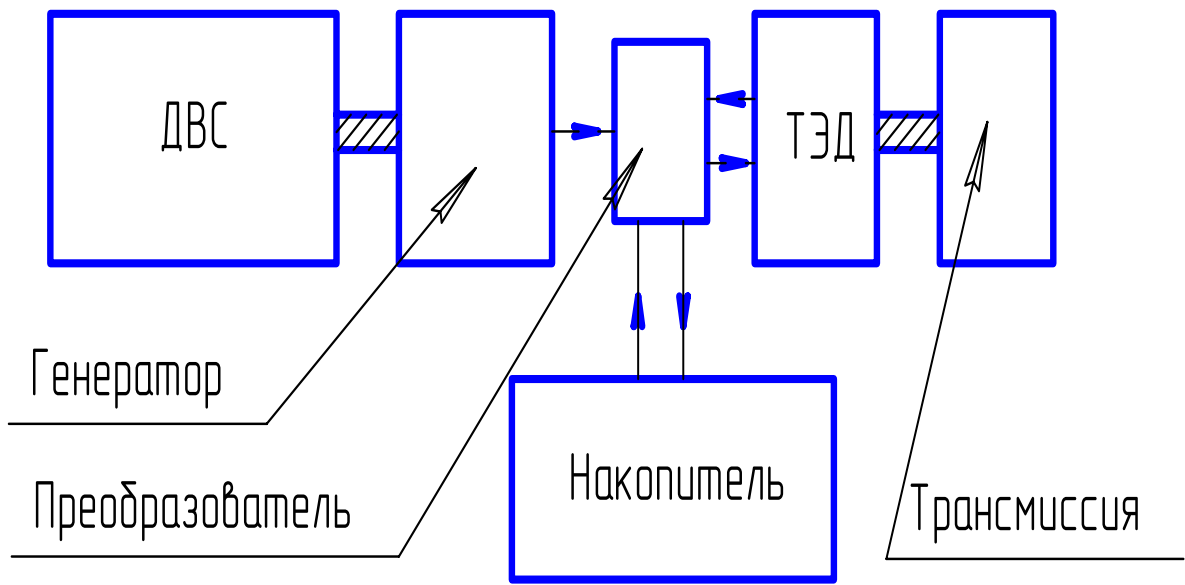


Рис. 1. Принципиальная схема последовательной ГСУ

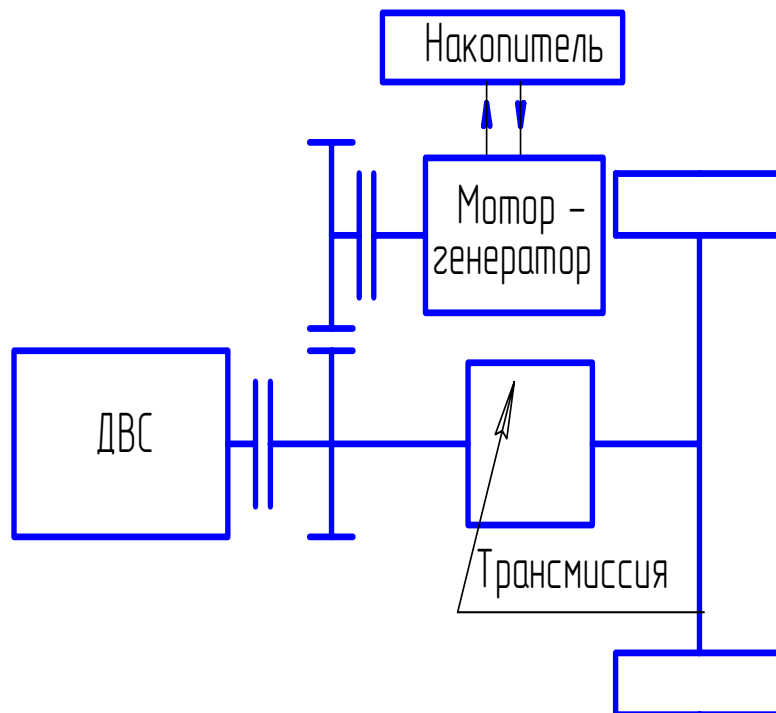


Рис. 2 Принципиальная схема параллельной ГСУ (вариант 1)

1.3. Гибридная силовая установка системы "сплит"

В этом случае первичный двигатель, генератор и выходной вал передачи, который связан с валами привода ведущих колес и на который передает энергию тяговый электродвигатель, связаны через планетарную передачу, при этом первичный двигатель работает на постоянном режиме минимального расхода топлива, а регулирование скорости выходного вала передачи осуществляется изменением частоты вращения вала тягового электродвигателя за счет соответствующего управления, при этом необходимо синхронно управлять мощностью на валу генератора для обеспечения постоянного режима работы ДВС с минимальным расходом топлива и минимальной токсичностью. К достоинствам системы "сплит" следует отнести достаточно высокий КПД при передаче энергии от первичного двигателя к ведущим колесам и возможность работы первичного двигателя на постоянном режиме минимального расхода топлива, к недостаткам - усложнение механической части трансмиссии (установка дополнительной планетарной передачи) и усложнение системы управления автомобилем.

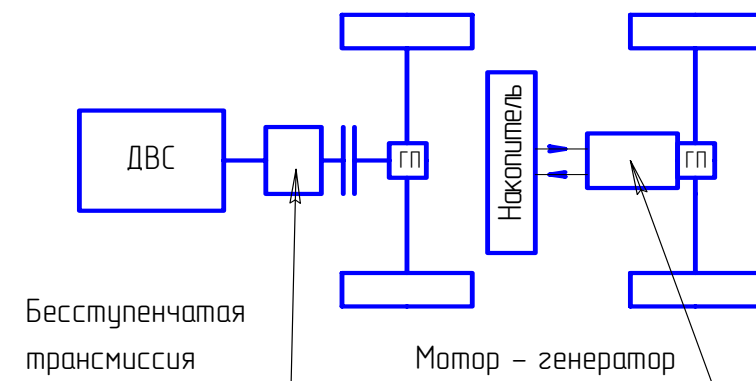


Рис. 3 Принципиальная схема параллельной ГСУ (Вариант 2)

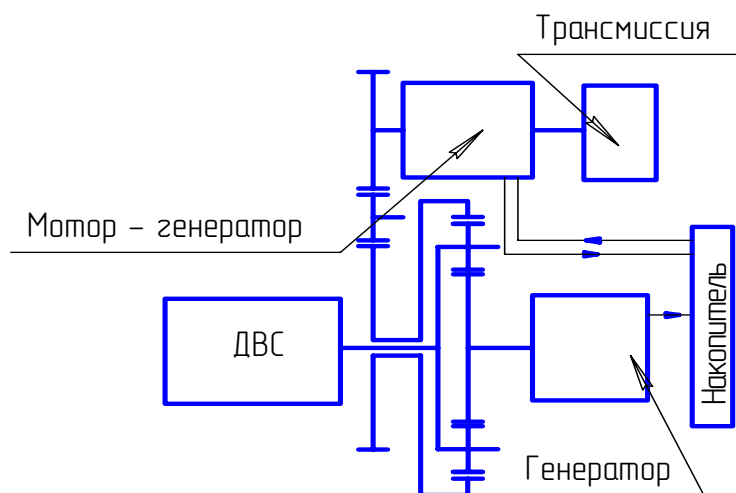


Рис. 4 Принципиальная схема ГСУ системы «сплит»

2. Мировой опыт создания гибридных автомобилей

Toyota Prius

Самый популярный автомобиль с ГСУ в мире – начиная с 1997 года выпущено более 360000 автомобилей.

ГСУ данной машины является характерным образцом системы «сплит».

В гибридной силовой установке автомобиля объединены 1,5-литровый двигатель внутреннего сгорания, генератор переменного тока, в качестве тягового электродвигателя обратимая электромашина переменного тока и аккумулятор.

Оба двигателя через согласующий редуктор передают крутящий момент на передние ведущие колёса. Установленный за ДВС планетарный механизм разделяет поток мощности на две ветви: одна идёт к редуктору главной передачи, другая – к генератору переменного тока, который через преобразователь заряжает накопитель, от которого при необходимости питается и тяговый электромотор.

При торможении электромотор действует в режиме генератора и через преобразователь пополняет запас энергии в батарее. А при пуске ДВС он играет роль стартера.

Всего для “Prius” существует пять режимов работы (рис. 6).

Первый режим: начало движения, трогание с места, движение со скоростью не больше 16 км/ч происходит за счет электродвигателя, использующего энергию накопителя.

Второй режим: нормальное движение – планетарный механизм один поток мощности направляет через редуктор к ведущим колёсам, а второй – к генератору, который вырабатывает энергию для электромотора, передающего через редуктор свою часть крутящего момента к ведущим колёсам, аккумулятор бездействует.

Третий режим: разгон с максимальной интенсивностью, алгоритм работает такой же, как во втором режиме, только теперь в действие вступает аккумулятор, отдающий дополнительную энергию электромотору. Доля последнего в общем крутящем моменте заметно возрастает, она постоянно регулируется компьютером для достижения максимальной отдачи.

Четвёртый режим: замедление: накопленная кинетическая энергия движения автомобиля преобразуется обратимой электрической машиной, работающей в режиме генератора в электрическую, которая через преобразователь рекуперируется в накопителе.

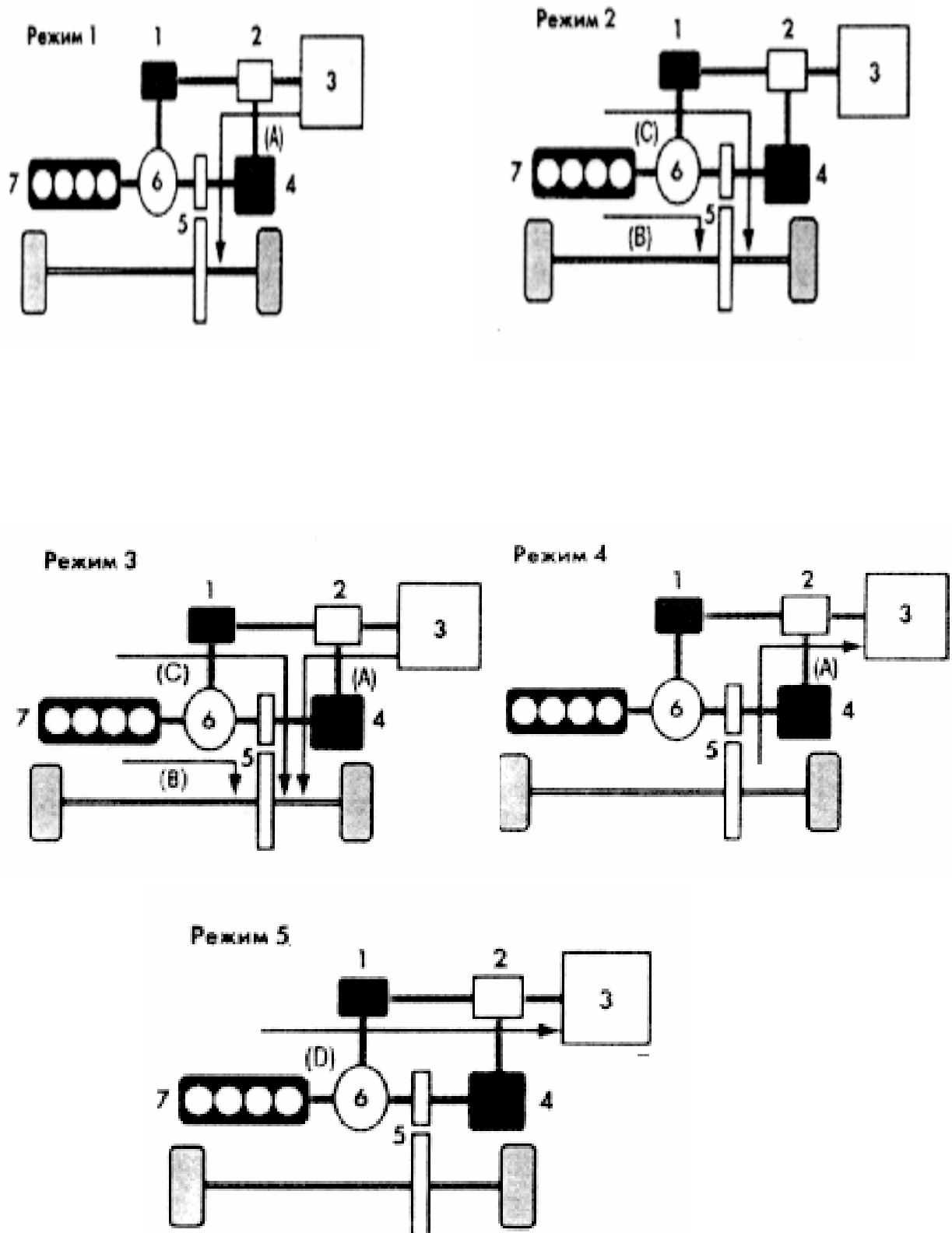
Пятый режим: зарядка

При остановке автомобиля ДВС автоматически заглушается.

В гибридной трансмиссии важную роль играет планетарный механизм. Он регулирует направление потоков мощности. Колеса через дифференциал и понижающую пару шестерен жестко связаны с 30-киловаттным синхронным мотор – генератором переменного тока и одновременно с внешней шестерней планетарной передачи. Обойма шестерен – сателлитов (водило) напрямую соединена с коленчатым валом двигателя, а центральная (солнечная) шестерня - с отдельным генератором. В зависимости от обстановки, каждое звено можно сделать неподвижным, остановив ленточным тормозом по команде управляющего контроллера.

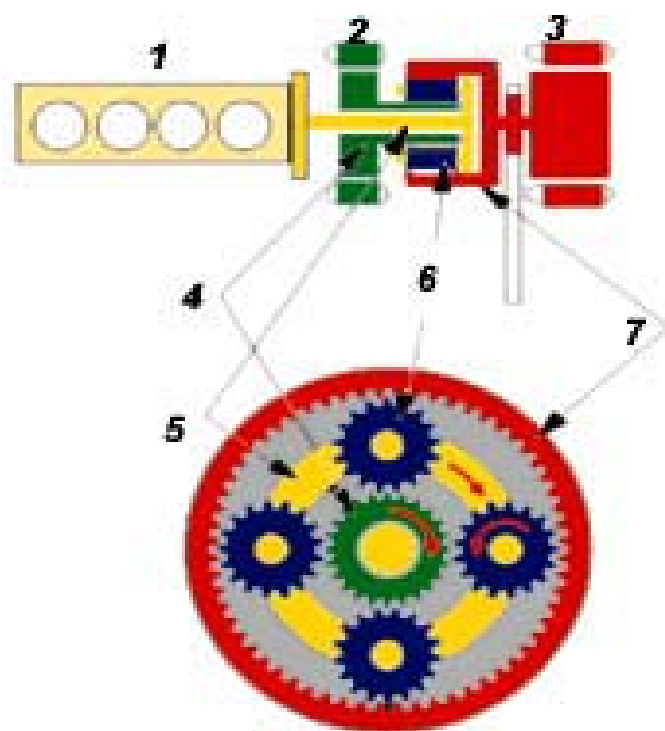


Рис. 5. Общий вид автомобиля Toyota Prius

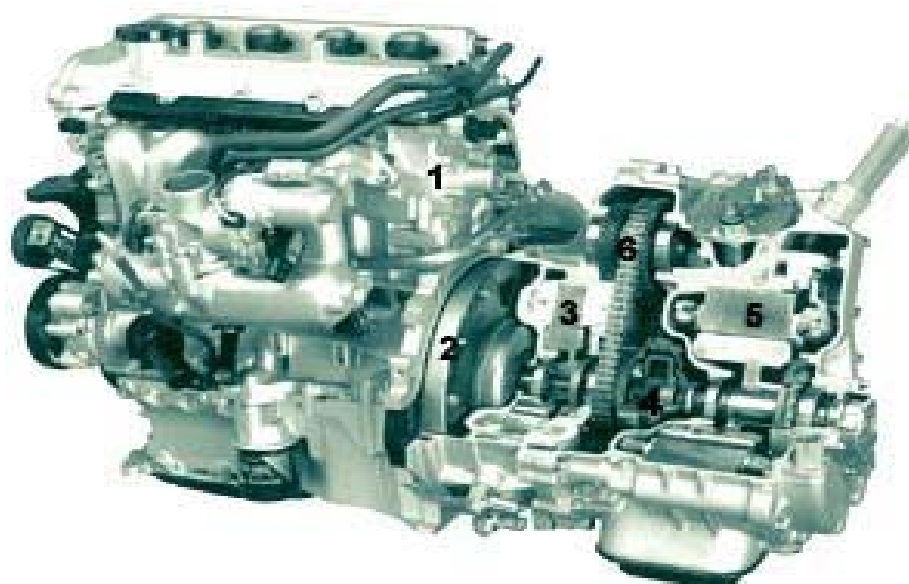


1.генератор; 2.преобразователь тока; 3.АКБ; 4.тяговый электродвигатель;
5.редуктор; 6.планетарный механизм; 7.бензиновый двигатель.

Рис.6 Характерные режимы работы силовой установки Toyota Prius.



1.двигатель; 2.генератор; 3.электромотор; 4.солнечная шестерня;
5.водило (ДВС); 6.сателиты; 7.планетарная шестерня (электромотор, колеса).



1.двигатель; 2.маховик; 3.генератор; 4.планетарная передача; 5.электромотор; 6.цепная передача к трансмиссии.

Рис.7 Общий вид и структурная схема силовой установки «сплит».

Четырехцилиндровый ДВС примененный в СУ имеет рабочий объем 1,5 литра и развивает мощность 43 кВт при 4000 об/мин. Данный двигатель работает по циклу Аткинсона характеризующемуся переменной степенью сжатия, он оснащён двумя распределительными валами, четырьмя клапанами на цилиндр, системой изменяемых фаз газораспределения и электронным распределённым впрыском топлива.

Как уже было сказано в ГСУ используются две электрические машины: 30 – киловаттный синхронный мотор – генератор переменного тока и генератор встроенный в маховик ДВС.

В качестве накопителя электроэнергии применена никель – металлгидридная батарея из 40 банок на 240 ампер – часов, разработанная совместно с компанией Panasonic

Общий вид и структурная схема гибридной силовой установки системы «сплит» представлена на рисунке 7.

Согласно результатам испытаний автомобиль выбрасывает в атмосферу в 12,5 раз меньше монооксида и в 4,7 раза меньше углеводородов, чем того требуют действующие нормы Евро - 3. Расход топлива в городском цикле составляет около 3,6 л/100 км, что в два раза меньше, чем у одноклассника Toyota Corolla с 1,5-литровым двигателем.

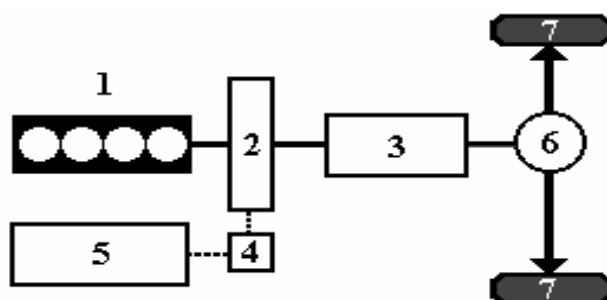
Honda Insight

Конкуренты не заставили себя ждать. В 1999 году Honda Motor начала продажи гибридного автомобиля Honda Insight (рисунок 8). Эта машина представляет собой другой подход к проблеме и её решению: данная ГСУ выполнена по последовательной схеме.

На коленчатом валу 3 – цилиндрического двигателя объемом 1,0 л и мощностью 50 кВт вместо маховика установлен очень компактный, толщиной всего 60 мм, 10-киловаттный электромотор – генератор, который через управляющий контроллер соединён с блоком никель – металлгидридных аккумуляторов общим напряжением 144В. Батареи установлены под полом багажника, а общий вес системы, названной конструкторами Integrated Motor Assist, составляет всего 75 кг.

При размеренной езде он ведёт себя как обычный бензиновый автомобиль, а при интенсивных ускорениях включается электромотор, помогая ДВС, обеспечивая прибавку в 8 л.с. и 12 Нм. Кроме того, электродвигатель выполняет функции

Honda Insight



1.ДВС; 2.электромотор-генератор; 3.механическая коробка передач или бесступенчатый вариатор; 4.электронный контроллер; 5.блок АКБ; 6.главная передача; 7.колеса.

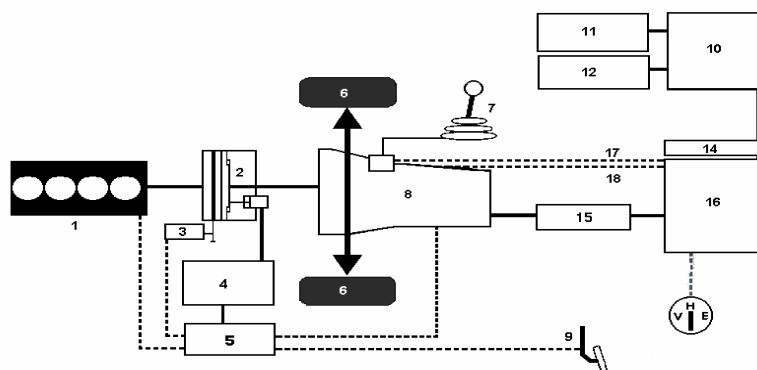


Рис.8 Общий вид и принципиальная схема Honda Insight и Audi Duo.

стартера, причём делать это ему приходится чаще, чем стартеру обычного автомобиля, так как при остановке, электроника автоматически глушит двигатель, чтобы уменьшить расход топлива и выбросы вредных веществ. Это одна из причин того, что автомобиль потребляет только 3,4 л/100 км. Вторая причина заложена в конструкции алюминиевого кузова массой всего 162 кг, который в полтора раза легче и жестче, чем стальной кузов трехдверного хэтчбека Honda Civic. В результате неплохо оснащенный Insight с электроусилителем руля, АБС, кондиционером, электростеклоподъемниками и т.д. имеет массу всего 850 кг. А коэффициент аэродинамического сопротивления C_x составил всего 0,25!

Последние обстоятельства помогли также достичь максимальной скорости 180 км/ч и времени разгона до 100 км/ч 12 секунд.

Audi Duo

Гибридомобиль Audi Duo был разработан на базе серийной модели A4 TDI Avant с кузовом универсал и внешне ничем от него не отличается. Автомобиль разработан вместе со специалистами университета австрийского города Леонберг и немецкой фирмой Siemens.

Принципиальная схема ГСУ и общий вид автомобиля представлена на рис. 8.

Принципиальная схема включает в себя: 1 - дизельный двигатель; 2 – сцепление; 3 – стартер; 4 – гидравлический блок; 5 – управление сцеплением; 6 – колёса; 7 – механическая коробка передач с редуктором для ЭМ; 8 – редуктор; 9- датчик положения педали акселератора; 10 – аккумуляторная батарея; 11 – управление аккумуляторной батареей, бортовое зарядное устройство; 12 – трансформатор ОС/DC; 13 – синхронный электропривод трёхфазного тока; 14 – главный предохранитель; 15 – электродвигатель; 16 – управление инвертором; 17 – определение включенной передачи; 18 – определение желаемой передачи; 19 – переключение типа привода.

Под капотом находится 1,9-литровый турбодизель мощностью 66 кВт (90 л.с.), развиваемой при 4000 об/мин. Максимальный крутящий момент составляет 202 Нм при 1900 об/мин.

В ГСУ выполненной по параллельной схеме используется синхронный электродвигатель 3 – фазного тока с водяным охлаждением фирмы Siemens, развивающий мощность 21 кВт. Он установлен непосредственно у коробки передач и, как и ДВС, приводит в действие передние колёса.

Автомобиль может приводиться как обоими двигателями сразу (режим Duo), так и каждым по отдельности. Переключение режимов производится из салона с помощью переключателя на центральной консоли.

В режиме Duo электроника самостоятельно выбирает наиболее благоприятный для данных условий эксплуатации тип привода. При размеренной манере езды работает электродвигатель, при интенсивном разгоне включается дизель. ДВС запускается автоматически и в том случае, если разряжен накопитель. Во время работы дизельного двигателя электрическая машина работает в режиме генератора и заряжает батарею.

Mercedes Cito

Новый городской автобус Mercedes модели Cito, которая относится к категории «миди – бусов» (так в Западной Европе называют короткие автобусы) с последовательной гибридной силовой установкой, впервые представленный на выставке IAA-98 в Ганновере, интересен также модульной технологией постройки. Автобус собирается из пяти основных модулей. Все панели - алюминиевые, на алюминиевых профилях - соединены с помощью болтов, заклепок и клея. В состав ГСУ входит четырехцилиндровый дизель OM 904LA мощностью 170 л. с. соединенный с генератором, который вырабатывает ток для тягового электромотора. На автобусном заводе Mercedes-Benz в Маннгейме уже работает отдельный корпус, где собирают Cito. Намечен годовой выпуск 200 таких гибридов.

Mercedes S-class

Mercedes – Benz предложил новый концептуальный гибридный автомобиль на базе S-класса. ГСУ этого автомобиля включает в себя бензиновый V – образный шестицилиндровый двигатель и обратимую электромашину с планетарной раздаточной коробкой и двухмассовым маховиком. Мощность ДВС – 132 кВт, мощность электродвигателя – 80 кВт. Их совместная работа позволяет автомобилю развить максимальную скорость 220 км/ч.

При этом время разгона весьма тяжелого лимузина до 100 км/ч всего 9,7 с. Разумеется, использована и обратимость электрических машин: мотор выполняет и функции генератора. В новом концепте 42 – вольтовая сеть электропитания удовлетворяет запросы и прожорливых электромагнитных приводов клапанов, и моментально подогреваемого каталитического нейтрализатора, и электромеханических тормозов. Служебное замедление осуществляется генератором позволяя рекуперировать кинетическую энергию движения автомобиля заряжая накопитель.

Начинать движение на новой машине можно сразу после холодного пуска: пока бензиновый мотор будет постепенно прогреваться в заданном программой режиме, разгон обеспечит электродвигатель.

При остановке автомобиля ДВС автоматически выключается, управляет всеми электромеханическими системами мощная компьютерная сеть. Она ведет обмен данными по помехоустойчивым стекловолоконным линиям.

Расход топлива при движении в режиме городского цикла на 25% меньше чем у серийного S – класса.

Mercedes Cito



Рис. 9. Mercedes Cito



Рис.10. Lexus RX400h



Рис.11.Компоновка автомобиля Lexus RX400h



Рис. 12. Устройство гибрид-трансмиссии
1 – генератор; 2 – узел отбора мощности; 3 – электродвигатель;
4 – двухступенчатый редуктор.



Рис.13. Работа ГСУ автомобиля Lexus RX400h



Рис.14. Mercedes S – class

В январе 2004 года на автосалоне в Детройте состоялась премьера автомобиля Lexus RX400h, оснащенного ГСУ. В начале 2005 года начались продажи автомобиля, в том числе и в России. Стоит отметить, что это первый в мире вседорожник премиум – класса с ГСУ.

Автомобиль представляет собой модификацию популярного вседорожника Lexus RX300. ГСУ состоит из шестицилиндрового бензинового двигателя объемом 3,3л и двух электродвигателей, каждый из которых приводит колеса своей оси. Электродвигатели питаются от никель – металлгидридной аккумуляторной батареи с напряжением 288В. Суммарная мощность ГСУ – 272 л.с. ГСУ данного автомобиля носит название Hybrid Synergy Drive.

По своему устройству ГСУ сходна с аналогичной установкой на автомобиле Toyota Prius, однако в связи с появлением электродвигателя на задней оси изменен алгоритм работы ГСУ.

При трогании с места и движении с маленькой скоростью у Lexus, как и у Toyota Prius, включаются только электродвигатели. Автомобиль начинает движение в режиме полного привода. На трассе задний электромотор отключается, а вместо него задействуется бензиновый двигатель, который вместе с передним электродвигателем вращает передние колеса. Одновременно ДВС заряжает аккумуляторную батарею. При интенсивном разгоне работают все три двигателя, и автомобиль снова становится полноприводным. Когда Lexus тормозит, электродвигатели переходят в генераторный режим работы, рекуперировав энергию и подзаряжая аккумуляторную батарею. На остановках ДВС отключается для экономии топлива. Управляет силовой установкой и распределяет энергию между моторами и батареей электроника. Разгон до 100 км/ч у вседорожника с ГСУ занимает 7,6 с, в то время как Lexus RX300 затрачивает на данную операцию 9 с. Точный расход топлива гибридного автомобиля японцы не раскрывают, обещают только, что он «такой же, как у седана среднего класса с 4-цилиндровым двигателем». Максимальная скорость автомобиля около 200 км/ч.

Устойчивость автомобиля на дороге контролирует система интегрированного управления динамикой VDIM. Она объединяет ABS, антипробуксовочную систему TRC, систему курсовой устойчивости VCS и электроусилитель руля EPS.

Renault Koleos

На автосалоне в Женеве 2000 года состоялась премьера нового концепт-кара Renault Koleos. Это полноприводный однообъемный автомобиль с гибридной силовой установкой параллельного типа.

Четырехместный Koleos длиной 4,5 метра французы преподносят как своеобразный гибрид седана бизнес-класса и вседорожника. Koleos оснащен гидропневматической подвеской, которая позволяет изменять дорожный просвет в пределах 100 мм. Электронное управление положением кузова относительно дороги позволяет автоматически менять его в зависимости от скорости движения и качества дорожного покрытия, одновременно с настройками амортизаторов. В ГСУ задние колеса машины приводит электродвигатель мощностью 30 кВт, который питается от литий – ионных аккумуляторов, движение за счет электродвигателя происходит на малых скоростях. На автострадах в дело вступает 170-сильный двухлитровый шестнадцатиклапанный бензиновый двигатель F4R с турбонаддувом, приводя передние колеса. Соответственно предусмотрен режим параллельной одновременной работы двигателей.

Dodge Durango

Отдельным направлением разработки автомобилей с параллельными гибридными СУ можно считать работы специалистов концерна Daimler – Chrysler. Проект американцев получил название "through-the road" (TTR) Hybrid. Спецификой проекта является то, что задачей работы было сделать более компактным привод обычного автомобиля класса SUV (Sport Utility Vehicle) - крупногабаритные автомобили повышенной проходимости и грузовые пикапы на их базе, пользующиеся в США большой популярностью. Исследования показали, что установка гибридного привода на такой автомобиль даёт экономию на 70% больше, чем установка на обычный легковой автомобиль. По условиям проекта технические характеристики не должны при этом ухудшиться, а стоимость сведена к минимуму.

В качестве агрегатоносителя выбор пал на заднеприводную модель Durango отделения Dodge (рис. 15).

Этот автомобиль был преобразован в полноприводный путём добавления электродвигателя, приводящего передние колёса. Стоимость и вес трёхфазного электромотора мощностью 88,5 л.с., дающего крутящий момент 190Нм, компенсируется в данном случае исключением из конструкции таких элементов полноприводного автомобиля, как раздаточная коробка и приводной вал передних колёс.

Кроме того, 8-цилиндровый V-образный двигатель рабочим объёмом 5,9 литра был заменён менее мощным 3,9-литровым 6-цилиндровым. Вследствие этого стал меньше каталитический нейтрализатор, муфта вентилятора, радиатор, приводной вал. Объём топливного бака уменьшился на 20% и составил теперь 75 литров. В результате потребление топлива уменьшилось до 12,6 л/100 км, по сравнению с 15,2 л/100 км у обычного полноприводного Durango.

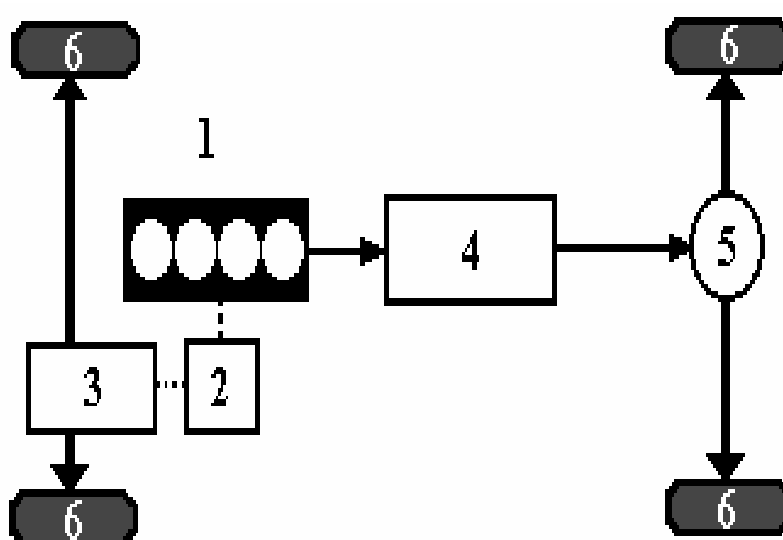
Dodge Power Box

Результатом непосредственного продолжения работ над выше указанным проектом служит представленный на международном автосалоне в Лос-Анджелесе гибридный концепт Dodge Power Box.

Принципиальная схема осталась той же что и у Dodge Durango. На полноприводном гиганте установлено два двигателя. В качестве ДВС использован расположенный в подкапотном пространстве 250-сильный турбомотор V6 объемом 2.7 литра. Этот двигатель питается сжатым природным газом, который хранится в баллонах, расположенных в раме автомобиля. ДВС через автоматическую трансмиссию приводит задние колеса. Передние колеса приводятся 52 – киловаттным электромотором Siemens. Электромотор помогает двигателю внутреннего сгорания только при разгоне и при преодолении пересеченной местности, а при торможении подзаряжает аккумуляторы (рекуперация энергии).

Dodge PowerBox оснащен независимой пневматической подвеской всех колес. Снаряженная масса машины - 1814 кг, максимальная скорость - 192 км/ч, время разгона до 100 км/ч – 7 секунд. Средний расход газа составляет 9 л/100 км.

Некоторые из представленных в данном обзоре гибридных автомобилей являются на данный момент концептуальными проектами или мелкосерийными моделями, что подчеркивает особую важность данного направления развития автомобильной техники в качестве переходного этапа к использованию перспективных источников энергии. Исключением можно считать Toyota Prius, успешно серийно выпускающуюся уже четыре года, и Lexus RX400h, продающийся в России с 2005 года. Следует отметить, что последние из гибридных разработок ведущих фирм производителей автомобилей представляют собой ГСУ выполненные по параллельной схеме с использованием полного привода.



1 - генератор; 2 - электронный контроллер; 3 - электродвигатель; 4 - автоматическая коробка передач; 5 - главная передача заднего моста; 6 - колёса

Рис. 15. Общий вид и принципиальная схема Dodge Durango



Рис.16. Автомобиль Dodge Power Box



Рис. 17. Общий вид автомобилей Renault Koleos

Весной 2000 года компания Nissan начала продажи первого гибридного минивэна. Он называется Nissan Tino Hybrid и построен на базе серийной модели Almera Tino. При трогании и движении на низких скоростях работает 17 – киловаттный электромотор, который питается от литий – ионных

батарей. При более высоких нагрузках подключается бензиновый двигатель мощностью 101 л.с. Крутящий момент передаётся на передние колёса.

На франкфуртской выставке IAA-2005 несколько фирм представляли свои прототипы с гибридными силовыми установками. Первый шаг сделала фирма «Audi». На полноприводном AUDI-Q7 (рис. 18) в паре с V-образным восьмицилиндровым двигателем внутреннего сгорания мощностью 350 л.с. работает 32-киловаттный электромотор, установленный между двигателем и автоматической коробкой передач. Бензиновый и электрический агрегаты могут действовать вместе и порознь.



Рис. 18. Автомобиль Audi Q7

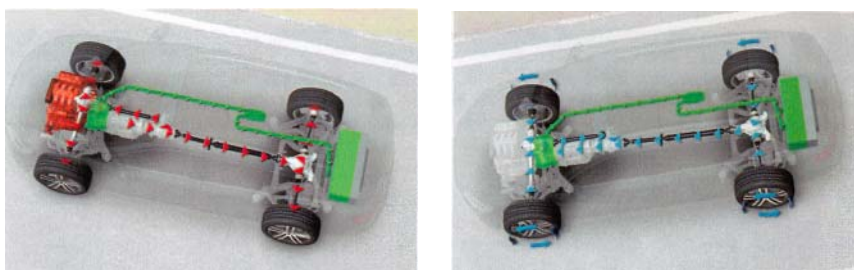


Рис. 19. Схема привода автомобиля Audi Q7

Концептуальный «СМАРТ-Кросс-таун» (рис. 20) оснащен 61-сильным бензиновым (0,7л) и 23-киловаттными электродвигателями и шестиступенчатой коробкой передач с последовательным переключением. Максимальная скорость гибридного автомобиля -135 км/ч.



Рис. 20. Концептуальный «СМАРТ-Кросс-таун»

Гибридный привод подходит и для спортивного родстера, считает фирма «Дайхатсу». У концепта **HVS** (Hybrid Vehicle Sport), помимо 1,5-литрового бензинового мотора мощностью 105 л.с. (77,7 кВт), три электрических. Два - общей мощностью 36 кВт действуют на передние колеса, третий - 22-киловаттный через многодисковые сцепления, управляемые электроникой, на задние (рис. 19).



Рис. 21.

Седан **HONDA CIVIC HYBRID** нового поколения (рис. 22). В машине используется та же технология IMA (Integrated Motor Assist), что и в прежнем гибридном Сивике. Маховик-электромотор мощностью 15 кВт расположен между бензиновым двигателем (1,3 л, 95 л.с.) и трансмиссией. Суммарная мощность установки -115 л.с. Электромотор обеспечивает помощь при разгоне, а во время торможения двигателем переходит в режим рекуперации и подзаряжает батареи. Установка помогает экономить до 50% топлива по сравнению с 1800-кубовым бензиновым мотором той же мощности (115 л.с.)



Рис. 22. Автомобиль Honda Civic Hybrid

MERCEDES-BENZ представлял сразу два гибридных S-класса - с бензиновым двигателем V6 3.5 (Direct Hybrid) и с турбодизелем V6 3.0 (Bluetec Hybrid). При создании первой машины упор делался на экономичность: расход топлива по сравнению с бензиновым S-классом снижен на 25%. А при проектировании дизель-электрического S-класса особое внимание уделялось чистоте выхлопа: благодаря современным фильтрам и впрыску синтетической мочевины AdBlue (эта технология уже применяется на грузовиках Mercedes-Benz) выброс вредных веществ сократился на 80%, а расход топлива - на 20%.

BMW Concept X3 Efficient Dynamics (рис. 23). Размещенный между двигателем и коробкой передач электромотор запитывается не от аккумуляторов, а от батареи высокоемких конденсаторов (Super Caps). Конденсаторы значительно легче традиционных батарей - их можно разместить, например, в порогах кузова. Гибридный X3 на 20% экономичнее обычного бензинового.



Рис. 23. Автомобиль BMW Concept X3 Efficient Dynamics.

Гибридные силовые установки сегодня не только экономят топливо: автомобили с ними уже выступают на гонках в группе GT. На Токийском автосалоне 2005 г. японской компанией Токуо R&D был представлен гоночный **RD-408H** (рис.24), оснащенный гибридной силовой установкой общей мощностью 802 л.с. (из них 204 л.с. принадлежат электромотору). В концептуальном спорткаре компания воплотила свой 20-летний опыт работы над электромобилями и автомобилями с гибридными силовыми агрегатами. О динамических возможностях большого купе (габариты 4610x1995x1100 мм), весящего всего 1200 кг, можно лишь догадываться - компания не приводит цифр, характеризующих его поведение на дороге. Мощность бензинового мотора - 598 л.с., электрической части - 204 л.с., суммарная - 802 л.с. Максимальный крутящий момент - 930 Нм.

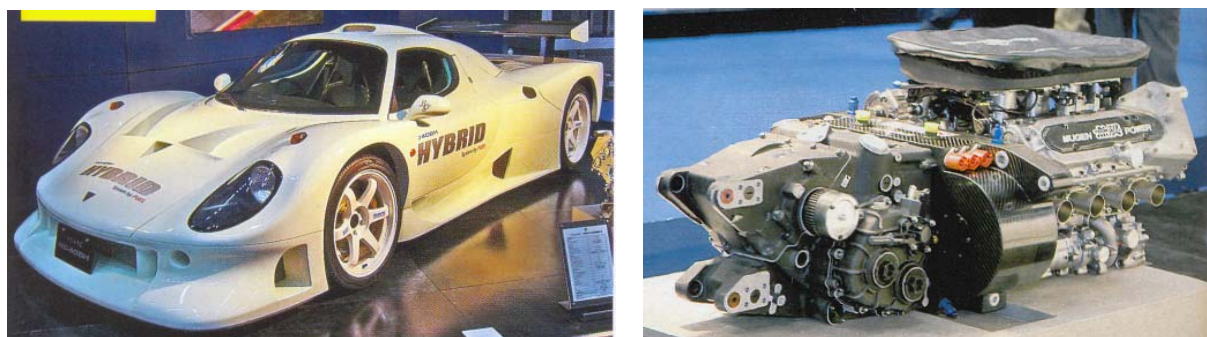


Рис.24. Автомобиль RD Sport 408H

Инженеры фирмы **MAZDA** на том же автосалоне представили автомобиль с двигателем без стартера. Система Smart Idling Stop по зашитой в нее программе выбирает один из цилиндров и впрыскивает туда порцию топлива. Коленчатый вал проворачивается на небольшой угол в обратном направлении. Этого достаточно, чтобы сжать заряд еще в одном цилиндре и, уже впрыснув топливо туда, пустить мотор. Кроме того к роторному двигателю добавили рециркуляцию отработавших газов, электрическую часть, превращающую силовую установку в гибридную, и к тому же оснастили мотор непосредственным впрыском водорода. Получился роторный двухтопливный гибрид с рециркуляцией отработавших газов (рис.23).



Рис. 25.

Инженеры **SUBARU** также представили ГСУ (рис. 26) ДВС которой четырехцилиндровый оппозитный с двумя распредвалами в каждой головке, рабочим объемом 2 л, работающий по циклу Миллера (с внутренним охлаждением заряда).

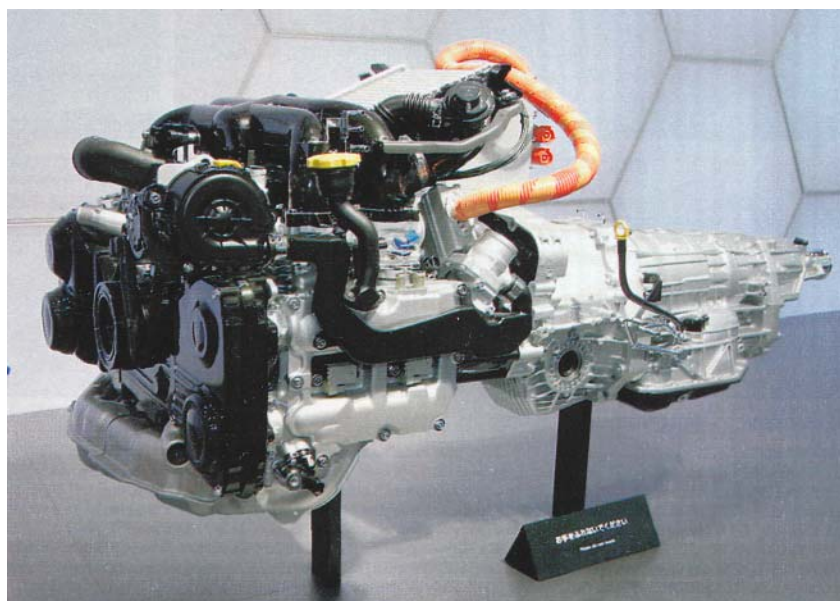


Рис. 26. Гибридная силовая установка фирмы SUBARU

На сегодня несколько зарубежных фирм занимаются разработкой автотранспортных средств с гибридным приводом, в котором совмещены преимущества двигателя внутреннего сгорания и электропривода. И это не только легковые автомобили. Японская фирма Mitsubishi представила грузовой автомобиль **MITSUBISHI CANTER**, в котором ДВС работает

совместно с электродвигателем, расположенным между сцеплением и автоматической коробкой передач (рис. 27).

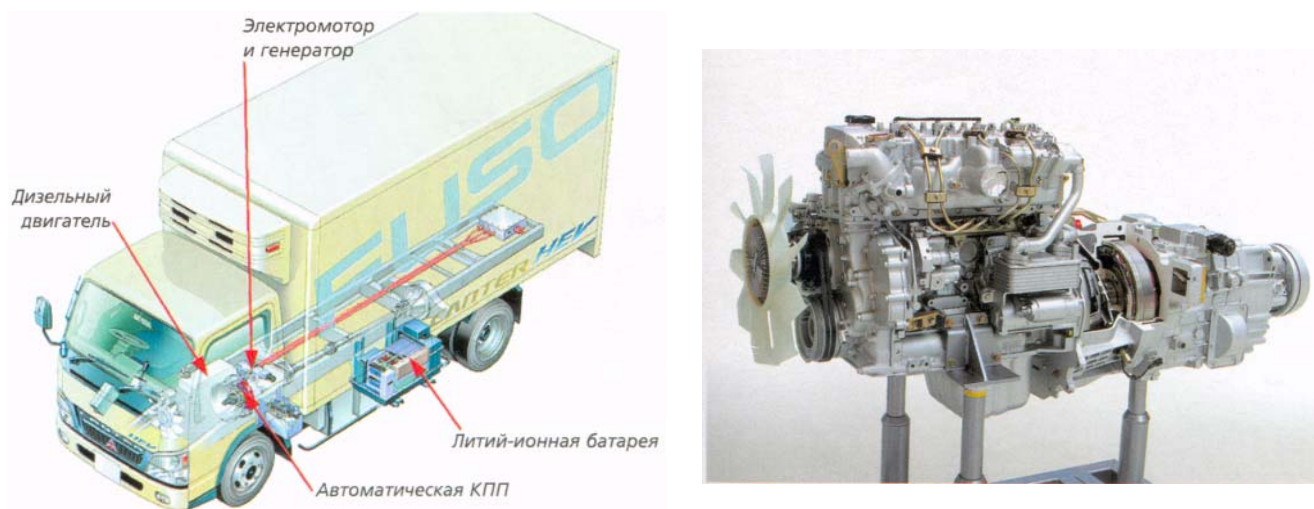


Рис. 27. Mitsubishi Canter

Американские "AC Delco Systems" и "Allison Transmission" спроектировали и изготовили 22-местный автобус с данным приводом. Кроме того, есть специальные места для установки инвалидных кресел-каталок. Отсутствие традиционной трансмиссии позволило на максимально возможную величину опустить уровень пола, облегчив тем самым вход и выход пассажиров. При длине 6,71 и ширине 2,44 м его масса около 6,4 т.

По замыслу создателей такой автобус при работе на пригородных маршрутах должен использовать электропривод с питанием лишь от аккумуляторных батарей в центральной, наиболее загазованной части города, а на остальном маршруте на помощь электроприводу приходит ДВС. Его роль ограничена приведением в действие электрогенератора, который заменяет собой в качестве источника тока тяговые аккумуляторные батареи автобуса. В результате пробег автобуса без подзарядки батарей и дозаправки топливом при скорости движения 80 км/ч составляет 360 км вместо 80 км при той же скорости и питании только от батарей.

Электродвигатели автобуса встроены непосредственно в задние его колеса и образуют так называемые мотор-колеса общей мощностью 70 кВт. Их питание и управление осуществляют два связанных только электронной системой управления контура, которые обслуживают каждый свое колесо. В состав контура входят блок из 26 аккумуляторных 12-вольтных батарей повышенной емкости, преобразователь постоянного тока в переменный и объединенная система охлаждения мотор-колеса и преобразователя. Необходимость преобразования постоянного тока в переменный объясняется тем, что электродвигатели мотор-колес работают на переменном токе, а это значительно повышает общий КПД привода. Ведь эффективность электродвигателя постоянного тока 70-85%, а переменного 90-95%. В данном

автобусе использован, можно уже сказать, традиционный для электромобилей принцип рекуперативного торможения, когда при нажатии водителем тормозной педали электродвигатели мотор-колес переключаются системой управления на работу в режиме генератора и подзаряжают аккумуляторные батареи. Таким образом можно восстановить до четверти их первоначального заряда и увеличить пробег без подзаряда. По результатам дорожных испытаний автобуса, длящихся уже более полутора лет, фирмы планируют разработать и испытать несколько более совершенных автомобилей разных типов с гибридным приводом прежде, чем начнется их серийное производство.

Автомобили с гибридным силовым агрегатом еще не широко распространенное явление «на гражданке», а фирма «Юнайтед Дефенс Индастриз» уже представила министерству обороны США два бронированных концепта с таким приводом - восьмиколесный и гусеничный транспортеры «Комбат» (рис. 28). Их отличают малая высота (важное тактическое качество) и исключительная экологичность, на которую раньше в армии не обращали внимания.



Рис. 28.

3. Первые российские автомобили с ГСУ



Рис. 29. Автомобиль ИЖ-21261

Этот гибрид построил Ижмаш на базе “Оды”. За основу взят универсал ИЖ-21261. Конструкторы старались применить в новой машине агрегаты, серийно выпускаемые отечественными заводами. Бензиновый двухцилиндровый двигатель ВАЗ – 1111, причем 30-сильный 650-кубовый с максимальным крутящим моментом 44,1 Нм. В качестве второго мотора – тяговый электродвигатель постоянного тока ПТ-125-12. Напряжение питания якоря у него - 120В, крутящий момент - 49 Нм. Накопителями энергии служат восемь стандартных аккумуляторов 6СТ-55: два блока по четыре аккумулятора в каждом.

Батареи находятся в заднем свесе автомобиля, а оба двигателя вписались в моторный отсек: бензиновый справа продольно, электрический слева. Они установлены на подмоторной раме, сваренной из штампованных деталей. Для автомобиля выбрана параллельная структурная схема. Редуктор, связывающий коленчатый вал бензинового мотора и якорь электродвигателя - оригинальная разработка. Он может передавать крутящий момент как с одного двигателя на другой, так и с обоих двигателей на трансмиссию. На выходном валу редуктора укреплен маховик со сцеплением, далее - стандартные «ижевские» коробка передач, карданный вал, задний мост. Режимы работы силовой установки переключает микропроцессорная пускорегулирующая аппаратура.

ДВС без стартера весит 70 кг, электродвигатель – 68 кг, подрамник – 10 кг, аккумуляторы в общей сложности - 124 кг, при этом снаряженная масса по сравнению со стандартным ИЖ-21261 увеличилась только на 120 кг. Так как аккумуляторы находятся сзади, улучшилась распределение нормальных реакций по осям машины. На передние колеса прототипа приходится 51% полной массы, а на задние - 49%, в то время как у ИЖ-21261 передняя ось загружена на 54,3%, а задние колеса - на 45,7%.

Сравнительно недавно в МГТУ «МАМИ» был спроектирован грузовой автомобиль с гибридной силовой установкой параллельного типа на базе автомобиля АЗЛК - 2335.



Рис. 30. Экспериментальный автомобиль АЗЛК-2335

Данный автомобиль был спроектирован для транспортной работы в черте города, основным моментом расчетов являлось снижение расхода топлива и улучшение экологических и экономических показателей.

Известно, что ухудшение экологической обстановки обусловлено вредным воздействием автотранспорта, в городах носит бедственный характер, в первую очередь в связи с загрязнением атмосферы выбросами вредных веществ автомобильных двигателей, поэтому основной задачей проектирования городских автомобилей является снижение количества выбросов вредных веществ и улучшение топливно-экономических показателей.

Так при параллельной схеме двигатель внутреннего сгорания через механическую трансмиссию отдает энергию автомобилю, а при избытке энергии питает накопитель энергии. При дефиците энергии в работу включается тяговый электродвигатель питающийся от накопителя. При торможениях энергия рекуперируется обратно в накопитель.

По проведенным расчетам необходимая мощность ДВС составила 11,5 кВт. На режиме минимального удельного расхода топлива такой мощностью обладает двигатель ВАЗ-1111 автомобиля «Ока», следовательно,

было принято вместо стандартного двигателя установить на АЗЛК – 2335 двигатель ВАЗ – 1111.

Также был подобран тяговый электродвигатель. Выбор был, осуществим из условия, что автомобиль не должен тормозить городской поток, то есть иметь достаточную динамику. Основную транспортную работу в черте города сейчас выполняет автомобиль «Газель», поэтому было решено, что разрабатываемая машина должна разогнаться не хуже «Газели». Были построены мощностной и динамический балансы, а также график ускорений для двух автомобилей: стандартная Газель и Москвич с ДВС от Оки. По недобору ускорений была получена необходимая мощность электродвигателя при разгоне до каждой скорости. Так для разгона до 80 км/ч эта мощность составляет 21.5 кВт.

По выбранной мощности был подобран подходящий электродвигатель ПТ-125, развивающий в пиковом режиме мощность 25 кВт. Почему в пиковом? Потому что эту мощность необходимо развивать только в короткий промежуток времени во время разгона, а при равном движении нужна значительно меньшая мощность.

Далее был проведен тягово-скоростной расчет для трех режимов движения, характерных для проектируемого автомобиля:

1. Режим нормального движения. Разгон автомобиля от 0 до 6 км/ч осуществляется с помощью тягового электродвигателя, от 6 до 16 км/ч движение обеспечивает совместная работа ДВС и ТЭД. Дальнейшее изменение скорости автомобиля происходит за счет плавного изменения передаточного отношения бесступенчатой трансмиссии. Таким образом, разгон автомобиля от 16 км/ч до максимальной скорости для данного режима осуществляется с помощью ДВС (ТЭД с 16 км/ч отключается). Необходимо отметить, что в данном режиме ТЭД работает на номинальной мощности.

2. Режим движения с максимальной интенсивностью.

В данном режиме разгон осуществляется по следующей схеме: от 0 до 6 км/ч, как и в первом режиме, разгон осуществляется с помощью ТЭД. Разгон от 6 и до максимальной скорости осуществляется совместной работой ДВС и ТЭД. Отличием от нормального режима так же является то, что ТЭД в данном режиме на всём протяжении разгона работает на пиковой мощности.

3. Режим электромобиля.

В режиме электромобиля движение происходит в случаях:

- отказ привода на передние колёса отказ ДВС, вариатора или других элементов привода на передние колёса, а также отсутствие топлива для ДВС, движение в автомобильной пробке, парковка автомобиля, движение в зонах с запретом использования ДВС. Движение в данном режиме происходит только с помощью ТЭД. При полностью заряженных накопителях автомобиль способен проехать 30 км.

Ключевым моментом расчетов является определение расхода топлива в городском цикле. Для расчета был выбран ездовой европейский цикл ЕЭК ООН. При расчете учитывалось, что при равномерном движении

преодолеваются силы сопротивления качению и воздуха, а при разгоне к ним добавляется сила инерции.

Хотелось бы отметить, что на любых режимах ДВС работает на режиме минимального удельного расхода топлива, кроме режима собственного разгона до 3000 об/мин. Исходя из этого, был найден расход топлива в городском цикле 4,75 л/100 км. Заметим, что из 195 с цикла ДВС включен в работу только 39 с.

Основной задачей компоновки автомобиля было вписать новые узлы и агрегаты в существующую кузовную арматуру автомобиля АЗЛК-2335 с минимальным количеством изменений. Впереди, в подкапотном пространстве, разместились ДВС ВАЗ-1111, вариатор с главной передачей и привод к передним ведущим колесам. Сзади, под грузовой платформой, размещен тяговый электродвигатель с главной передачей и приводом к задним ведущим колесам.

Был подсчитан экономический эффект при использовании автомобиля с гибридной силовой установкой, так экономия только на снижении расхода топлива составила 70.000 руб/год.

Экологические параметры превзошли все ожидания, так как данный автомобиль удовлетворяет нормам ЕВРО – 3. Следовательно, применение гибридной силовой установки в городских условиях на городских автомобилях позволяет достичь существенного снижения последствий влияния основных негативных факторов загрязнения окружающей среды:

- снижение расхода топлива (потребления топливно-энергетических ресурсов);

- уменьшение количества выбросов вредных веществ отработавших газов.

По прогнозам экспертов гибридный автомобиль будет конкурентоспособен вплоть до 2020 года, после чего доминирующее положение займут автомобили с топливными элементами в качестве основных источников энергии.

Также в Московском Государственном Техническом Университете МАМИ были проведены расчеты топливной экономичности легкого грузового автомобиля полной массой 1750 кг. Расчет проводился для движения в жестком городском цикле, представляющем собой последовательное чередование разгона до скорости 50 км/ч за 17 с, равномерного движения со скоростью 50 км/ч в течение 20 с, замедления до полной остановки за 17 с и стоянки с работающим двигателем (при обычной трансмиссии) в течение 25 с, при этом полный путь в цикле составляет 520 м. Расчеты проводились для двух вариантов первичных двигателей, (ВАЗ-1111 и ВАЗ - 2101) с минимальным расходом топлива - 260 г/кВтч.

При проведении расчетов приняты следующие значения КПД электрических агрегатов трансмиссии:

КПД накопителя энергии при заряде	$\eta_{акз} = 0,9$
КПД накопителя энергии при разряде	$\eta_{акр} = 0,87$

КПД генератора	$\eta_{ген} = 0,87$
КПД преобразователя	$\eta_{пр} = 0,95$
КПД преобразователя обратной передачи	$\eta_{пр1} = 0,97$
КПД тягового электродвигателя	$\eta_{тэд} = 0,87$

Таблица 1

Схема	Последовательная		Параллельная		«сплит»		стандарт
	1111	2101	1111	2101	1111	2101	
ДВС	1111	2101	1111	2101	1111	2101	2106
ГЦ	7,82	-	6,95	7,11	6,84	7,86	12,54
30 км/ч	5,38	-	5,55	6,35	5,19	-	14,16
40 км/ч	5,9	-	5,4	7,12	5,32	-	10,62
50 км/ч	6,31	-	5,37	7,28	5,51	-	11,1
60 км/ч	6,76	-	5,8	8,2	5,77	-	11,3

Приведенные результаты показывают, что применение гибридных силовых установок разных типов обеспечивает значительную экономию топлива, и, учитывая, что из всего времени городского цикла двигатель внутреннего сгорания работает только треть времени, выключаясь на остановках и на отрезках вблизи перекрестков, такие системы обеспечат значительное сокращение выброса вредных веществ.

По прогнозам экспертов уже к 2012 году все мировые производители будут оснащать свои автомобили гибридными силовыми установками.

«Мишка»

В МГТУ «МАМИ» также были проведены исследования легкового автомобиля особо малого класса на базе перспективного автомобиля «Мишка». Этот выбор обоснован теми соображениями, что в условиях интенсивного городского движения наиболее целесообразным транспортным средством является малогабаритный легковой автомобиль. Были проведены расчеты по выбору мощности двигателя внутреннего сгорания автомобиля с КЭУ. Минимально необходимая мощность выбиралась из условия прохождения городского цикла при полном балансе мощностей. Для этого была рассчитана мощность в каждый конкретный момент времени движения в городском цикле, которую необходимо затратить на преодоление суммы мощностей сопротивления качению, воздуха и инерции при движении в фазе разгона и мощностей сопротивления качению и воздуха в фазе равномерного движения. В фазе замедления возможно рекуперирование энергии, поэтому необходимо в каждый конкретный момент времени определить мощность рекуперированной энергии с учетом КПД элементов системы рекуперации.

Известно множество различных циклов, часть из которых стандартизированы. Все циклы содержат четыре обязательных фазы движения – разгон с заданным ускорением в течение заданного времени до

заданной скорости, равномерное движение с заданной скоростью в течение заданного времени, замедление с заданным темпом в течение заданного времени до новой заданной скорости или до полной остановки и стоянку в течение определенного времени. Многочисленные расчеты топливной экономичности при движении в различных циклах показали, что результаты в виде путевого расхода топлива получаются на всех циклах примерно похожие, поэтому для выделения характерных моментов работы транспортного средства в режиме городского цикла был выбран цикл НАМИ, протяженностью 520 метров, характеризующийся следующими фазами:

- разгон с места до скорости 50 км/ч с примерно постоянным ускорением в течение 18с (среднее ускорение составляет в этом случае $0,77 \text{ м/с}^2$);
- равномерное движение со скоростью 50 км/ч в течение 20с;
- замедление до полной остановки в течение 17с;
- стоянка с работающим двигателем (обычный автомобиль) в течение 25с.

На рис.31 приведен выбранный для расчетов цикл.

Расчет потребных мощностей ведется для легкового автомобиля особо малого класса.

Для оценки эффективности применения комбинированной энергетической установки на легковом автомобиле, преимущественно работающем в режиме городского цикла движения, был проведен расчет топливной экономичности этого автомобиля со стандартной трансмиссией и двигателем МеМЗ- 245 при работе его в режиме городского цикла.

Были проведены расчеты топливной экономичности при движении в режиме городского цикла автомобиля «Мишка» со стандартной трансмиссией. Путь расход топлива составил 9.885125 (л/100 км).

Был проведен выбор минимальной необходимой мощности двигателя внутреннего сгорания автомобиля с КЭУ. Минимально возможная мощность которого составила 3,79 кВт.

Применение такого двигателя на автомобиле с комбинированной энергетической установкой позволит при движении в городском цикле обойтись без привлечения внешней энергии, однако двигатель внутреннего сгорания будет работать непрерывно в течение всего цикла движения и выключать его будет возможно только на остановках автомобиля.

Увеличение мощности первичного двигателя позволит при выработке им мощности, большей объективно необходимой, заряжать накопитель до величины, необходимой для выполнения динамики городского цикла, и в дальнейшем выключаться. В этом случае время работы двигателя внутреннего сгорания будет меньше времени движения в цикле.

Городской цикл движения автомобиля

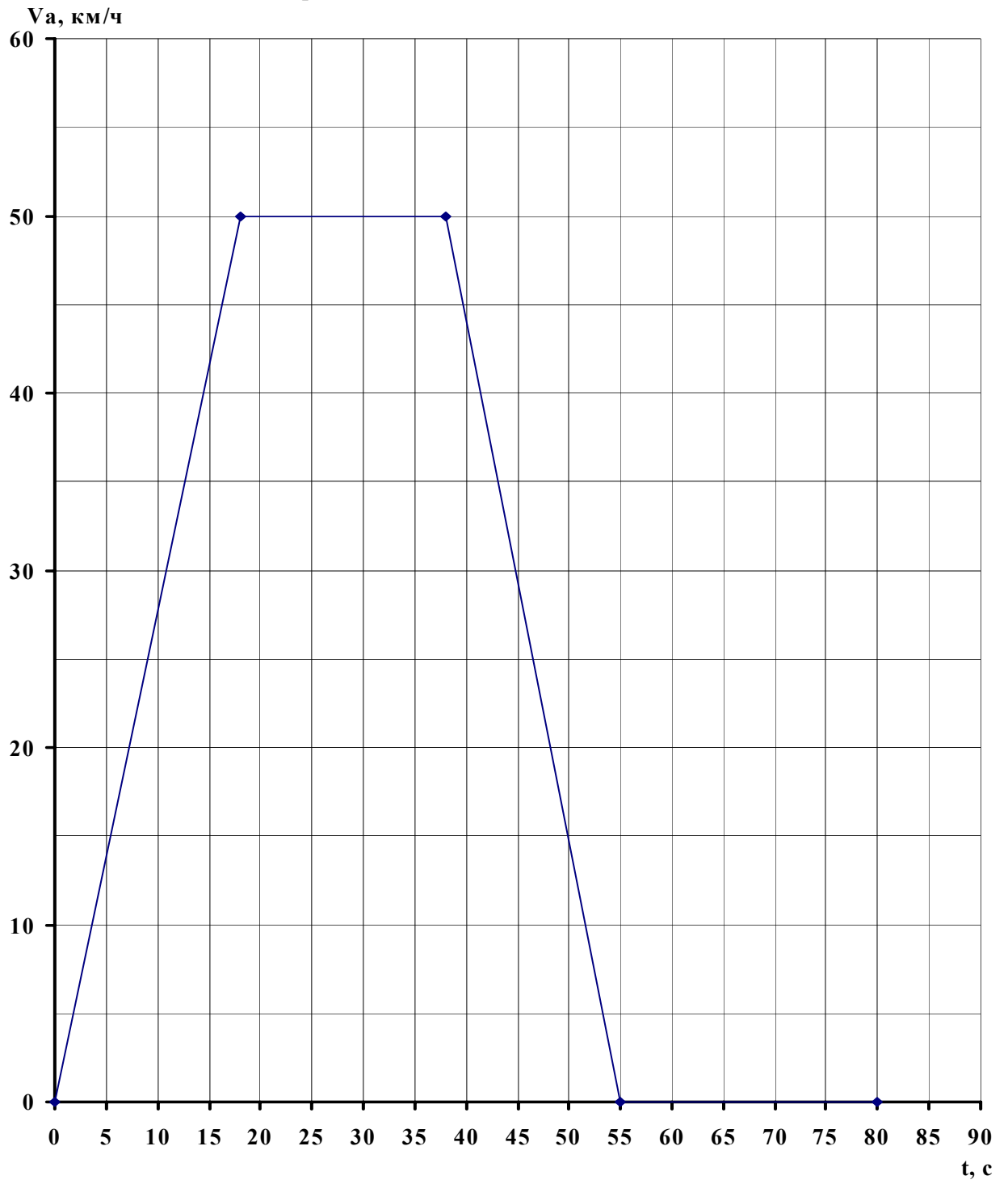


Рис.31

Был проведен анализ расхода топлива и необходимого времени работы двигателя внутреннего сгорания при различных уровнях его мощности.

На рис. 26 представлена зависимость путевого расхода топлива при движении в городском цикле от мощности двигателя внутреннего сгорания при последовательной схеме компоновки комбинированной энергетической установки. Как видно из иллюстрации, минимальный путевой расход получается при установке на проектируемый автомобиль двигателя мощностью 3,79 кВт при условии постоянной работы на режиме минимального удельного расхода топлива $g_e = 290$ г/кВт ч.

Увеличение мощности на 1кВт незначительно повышает путевой расход топлива (на 0,2 л/100 км). Так как отечественной автомобильной промышленностью выпускается двигатель минимальной мощностью, развивающий на режиме минимального расхода топлива мощность 11,5- это двигатель автомобиля ВАЗ – 1111 «Ока», поэтому дальнейшее исследование автомобиля с КЭУ при последовательной схеме проведем в предположении применения именно этого двигателя.

Были проведены расчеты топливной экономичности при движении в режиме городского цикла автомобиля «Мишка» с КЭУ. Путевой расход топлива составил 4.437678 (л/100 км).

При выборе параметров электрической трансмиссии автомобиля с КЭУ при последовательной схеме, были получены следующие результаты.

Поскольку при последовательной схеме КЭУ двигатель внутреннего сгорания работает только на генератор, его мощность должна быть равной выбранной мощности двигателя внутреннего сгорания при работе его на режиме минимального удельного расхода топлива.

В рассмотренных примерах мощность генератора колебалась от 3,13 кВт при мощности ДВС 3,79 кВт до 10,25 кВт при мощности ДВС 11,6 кВт.

При этом необходимо помнить, что в данном случае имеется в виду не так называемая номинальная мощность ДВС, а та мощность, которую он развивает при работе на режиме минимальных удельных расходов.

Мощность тягового электродвигателя во многом зависит от задач, поставленных заказчиком. Если требуется только обеспечение движения в режиме городского цикла и ускорениями, задаваемыми циклом, то максимальная мощность тягового электродвигателя не должна превышать 18 кВт, при этом развиваемая мощность используется только при разгоне и максимальное значение используется только в течение непродолжительного времени. (При разгоне автомобиля требуемая мощность возрастает от 0 до 16,6 кВт практически по линейному закону за 18 с). При равномерном движении в течение 20с требуемая мощность составляет всего 3,7 кВт.

Электродвигатель должен работать в режиме генератора с приемлемым КПД, максимальная развиваемая мощность при этом составляет 8,5 кВт и линейно уменьшается до 0 за 17с.

На данном электромобиле применены четыре мотор-колеса мощностью 2,5кВт каждый, таким образом, суммарная мощность составляет 10 кВт.

Требуемый запас энергии во многом определяется поставленными задачами. Если накопитель энергии должен обеспечить только баланс энергии при движении в городском цикле, то необходимый для этого запас энергии составляет от 107526.4 (Вт с) (0,029866 кВт ч) при ДВС 3,79 кВт до 120555.9 (Вт с) (0,03346 Вт с) при мощности ДВС 11,6 кВт.

Следует при этом отметить тот факт, что при минимальной мощности ДВС он будет работать в цикле в течение 60,1с из 80с цикла, т.е. существует необходимость работы двигателя даже в течение 5,1с из 25с стоянки.

При мощности двигателя 5,7 кВт ДВС работает только в течение 32с, т.е. при соответствующей организации работы КЭУ он может быть в неработающем состоянии в течение всего времени замедления автомобиля, всего времени стоянки и в течение первых 10с разгона.

Из проведенных расчетов, стало ясно, что емкость накопителя, необходимая для обеспечения городского цикла, требуется весьма небольшая и очевидно, должна выбираться из других соображений.

Одним из наиболее важных соображений в этом отношении является возможность прохождения части пути в режиме электромобиля при неработающем двигателе внутреннего сгорания.

Зависимость времени работы двигателя внутреннего сгорания при движении автомобиля в городском цикле от его мощности представлена на рис.27.

Здесь также можно рассмотреть два возможных варианта – движение с заданной небольшой постоянной скоростью и движение в заданном городском цикле. Очевидно, что второй вариант является более напряженным с точки зрения дефицита энергии, поэтому начнем с него.

Интегрирование зависимости мощности, необходимой для движения в городском цикле, проведенное выше, показало, что для разгона автомобиля в режиме городского цикла требуется энергия в размере 128592,43 Нм. Для равномерного движения со скоростью 50 км/ч в течение 20с требуется энергия 61501,7 Нм. Таким образом, для движения в режиме городского цикла требуется энергия 190094 Нм. С учетом КПД разрядки накопителя энергии ($\eta_{\text{разр}} = 0,87$), КПД тягового электродвигателя ($\eta_{\text{тэд}} = 0,87$) и КПД механической ветви трансмиссии ($\eta_{\text{мт}} = 0,92$) получаем, что для обеспечения возможности движения в одном городском цикле требуется энергия в размере, (Нм):

$$190094 / (0,87 * 0,87 * 0,92) = 272987,2 \text{ Нм}$$

При замедлении автомобиля в городском цикле возможна рекуперация энергии, величина рекуперированной энергии с учетом КПД зарядки, КПД тягового электродвигателя при работе в режиме генератора и КПД механической ветви трансмиссии составит 55851,2 Нм. Таким образом, для обеспечения возможности движения в режиме электромобиля на протяжении одного цикла (0,52 км) требуется запас энергии 217136 Нм. Если учесть, что

разряд накопителя энергии допустим только до уровня 0,25 от номинальной емкости, необходимый запас энергии составит 271420 Нм.

Поскольку при практически допустимых весовых и объемных параметрах электрических машин минимальное допустимое напряжение составляет 120v, минимально необходимое количество аккумуляторных батарей напряжением 12v составит 10 шт. Если принять минимальный вес стартерной аккумуляторной батареи 16 кг, то набор из 10 батарей составит массу 160 кг, что можно считать максимально допустимым. Поскольку емкость стартерной батареи составляет 60 Ач. Емкость набора параллельно соединенных для получения напряжения 120v останется такой же, то максимальный пробег автомобиля в режиме электромобиля определится следующим образом: на один км пробега в режиме городского цикла требуется энергия, (Нм):

$$217136 / 0,52 = 417569,2, \text{ что эквивалентно } 0,115 \text{ кВт ч.}$$

Для пробега 10 км потребуется 1,15 кВт ч, для пробега 30 км 3,45кВт ч.

Вопрос о мощности накопителя энергии необходимо решать, прежде всего с позиций возможности накопления энергии рекуперации. Максимальная мощность рекуперации, составляет 8,54 кВт. Эта мощность за 17с практически линейно уменьшается до 0. При максимально допустимом токе зарядки 10А 12v аккумулятор может реализовать максимальную мощность 0,12 кВт. Очевидно, что для возможности реализации накопления энергии рекуперации необходимо помимо аккумуляторных батарей иметь на борту автомобиля накопитель энергии достаточной мощности. Скорее всего, для возможности наиболее простого питания электрических потребителей энергии это может быть батарея конденсаторов, накапливающих энергию рекуперации, Следует отметить, что накопленная в цикле энергия рекуперации моментально отдается в следующем цикле, поэтому запас энергии накопителя большой мощности может быть не очень большим. Так, для восприятия энергии рекуперации одного цикла объем накопителя достаточен в размере 100000 Вт с.

Применение на легковом автомобиле особо малого класса «Мишка» комбинированной энергетической установки позволяет достичь следующих преимуществ:

1. Значительное снижение расхода топлива, при этом минимально необходимая мощность ДВС для обеспечения бездефицитного баланса энергии при движении в городском цикле составляет 3.79 кВт. Расход топлива в городском цикле составляет 4.3 л./100 км. (стандартный автомобиль «Мишка» с двигателем МеМЗ-245 имеет в городском цикле расход 9.8 л/100 км.)

2. Минимальный расход топлива (4.08 л/100км.) при движении в городском цикле имеет место при мощности ДВС 5.7 кВт

3. При применении на автомобиле двигателя внутреннего сгорания ВАЗ - 1111 с условием работы его на постоянном режиме минимального удельного расхода экономия топлива при движении в режиме городского

цикла в сравнении с базовым автомобилем составляет порядка 4.44 л/100км, что можно считать вполне приемлемым результатом.

4. При применении указанного двигателя автомобиль при движении в городском цикле из 80 с цикла только 33 с движется с работающим двигателем внутреннего сгорания, что позволяет подъехать к остановке, стоять на остановке и отъехать от нее с неработающим ДВС.

5. Для осуществления возможности рекуперации энергии торможения накопитель энергии должен представлять собой набор высокомоментных (10 кВт) аккумуляторных батарей для обеспечения питанием 120v тяговых электродвигателей с запасом энергии не менее 3,45 кВт для пробега 30 км в режиме городского цикла.

**Зависимость путевого расхода топлива при движении
автомобиля в городском цикле от мощности двигателя
внутреннего сгорания**

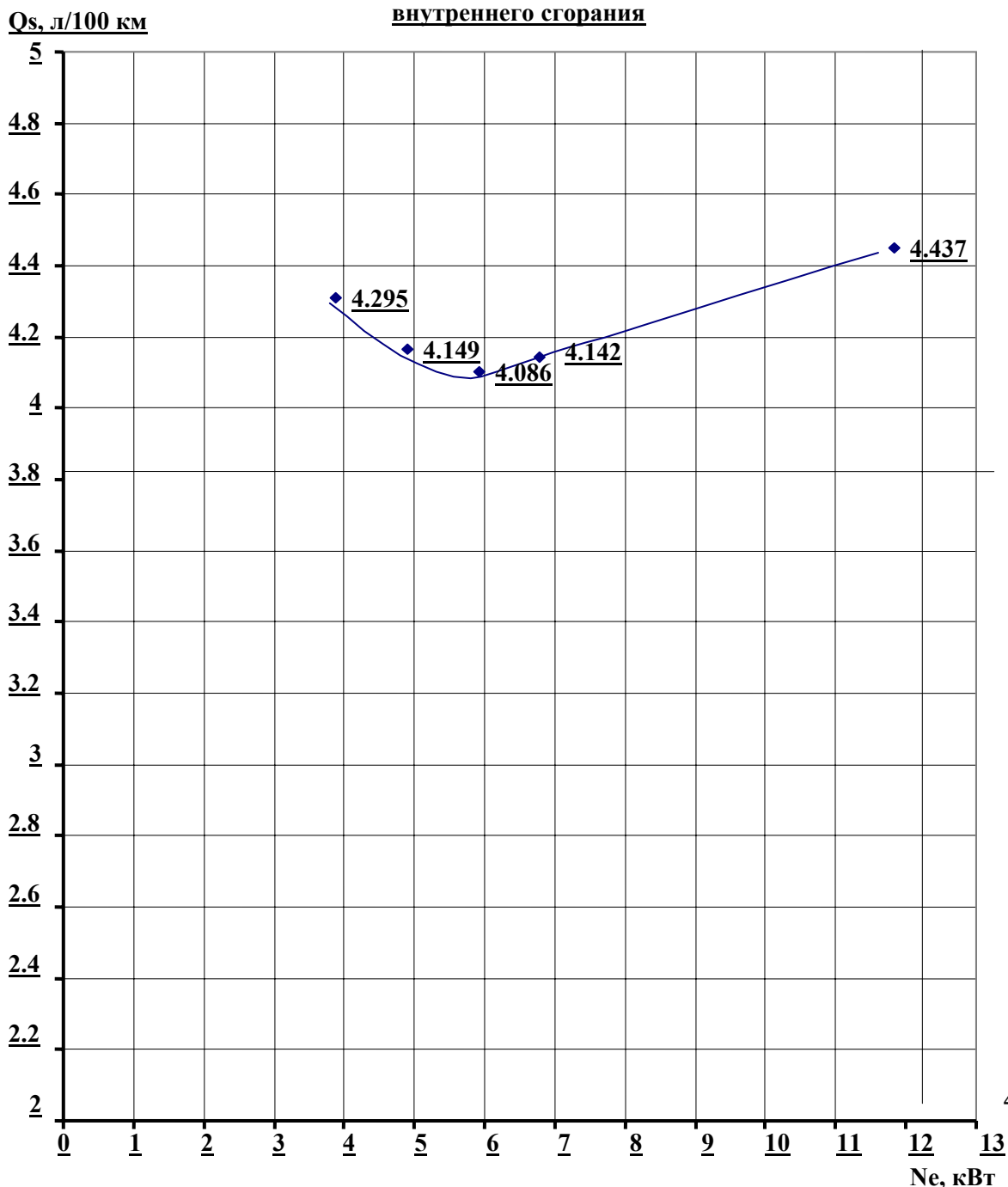


Рис. 32

Зависимость времени работы двигателя внутреннего сгорания при движении автомобиля в городском цикле от его мощности

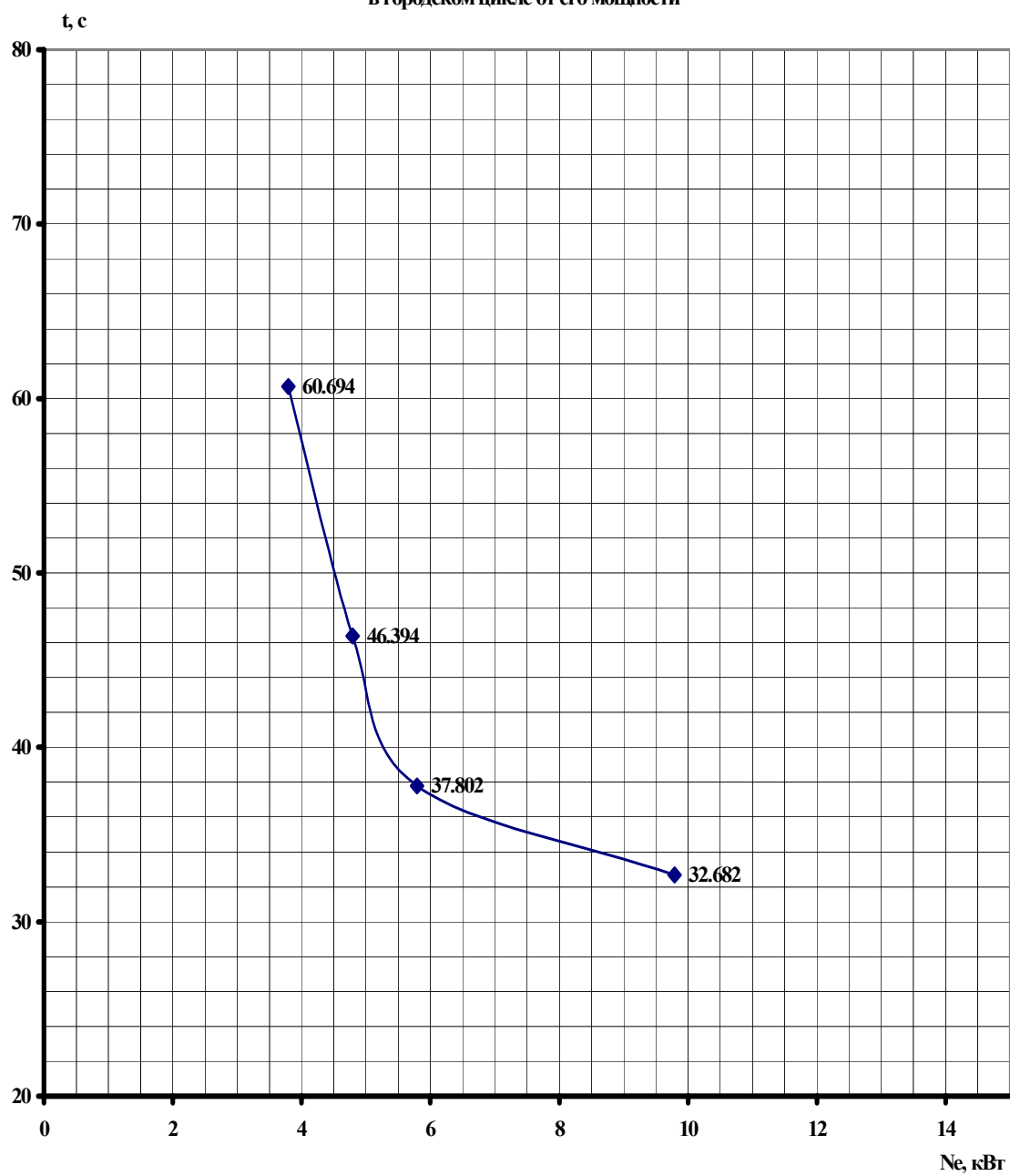


Рис.33

4. Проектирование гибридного автомобиля

Интерес к подобным автомобилям проявляется как со стороны потребителей городского транспорта, так и со стороны заказчиков оборонной техники. Цели создания автомобилей с гибридными силовыми установками в этих двух случаях разные, но пути реализации имеют очень много общих черт. Следует вместе с тем отметить, что в отечественной автомобильной промышленности реальные конструкторские работы по созданию подобных транспортных средств в настоящее время не ведутся. Проводившиеся до последнего времени исследовательские работы в этой области в научных подразделениях высших учебных заведений велись с определенным отрывом от возможностей и области интересов автостроительных предприятий. В настоящее время в отечественной автомобильной промышленности есть автомобильные заводы, выпускающие продукцию как для народного хозяйства, так и для обороны. В частности, таким заводом является УАЗ, продукция которого с одинаковым успехом может использоваться как в городских условиях (развозной автомобиль), так и в вооруженных силах России. При этом возможность создания образцов таких автомобилей с гибридными силовыми установками представляется весьма перспективной. Использование гибридной силовой установки дает существенный выигрыш в расходе топлива, что для военного автомобиля особенно важно, т.к. снижаются расходы на транспортировку топлива и риск при его доставке на поле боя.

На кафедре «Автомобили» МГТУ «МАМИ» были проведены предварительные компоновочные работы по такому автомобилю. Разработан проект полноприводного автомобиля двойного назначения с ГСУ параллельного типа на базе автомобиля УАЗ-3160. Параллельная схема позволяет обеспечить максимальную унификацию с серийно выпускаемым автомобилем. В качестве первичного источника энергии оставлен устанавливаемый на автомобиль ЗМЗ – 405, вторичным выбран электродвигатель ПТ – 125, раздаточная коробка с дифференциальным приводом, остальные агрегаты – серийные. Отбор мощности на обратимую электромашину производится с верхнего вала раздаточной коробки (рис.28).

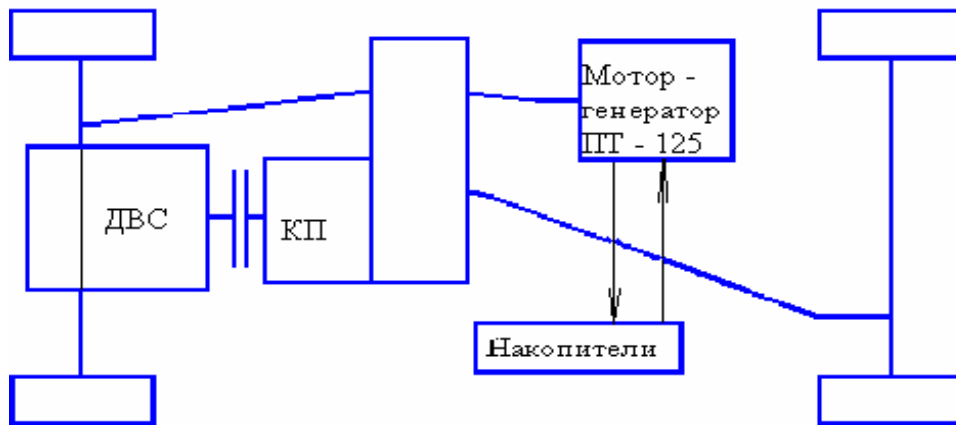


Рис.33. Схема автомобиля с ГСУ параллельного типа

С одной стороны к раздаточной коробке автомобиля подводится крутящий момент от ДВС, с другой - от обратимой электрической машины, работающей как в режиме тягового электродвигателя, так и в режиме генератора. Для накопления энергии при торможении автомобиля генератор заряжает предусмотренный накопитель энергии. Трогание с места производится в режиме электромобиля. При достижении скорости 16 км/ч включается ДВС работающий на режиме минимального удельного расхода топлива. При нехватке энергии для интенсивного разгона к раздаточной коробке дополнительно подводится крутящий момент от тягового электродвигателя. При высокой мощности ДВС избыточная энергия закачивается в накопитель энергии. Компонировка автомобиля представлены на рис. 34.

Алгоритм управления данной гибридной машиной достаточно прост, Перед выездом из гаража (со стоянки) водитель поворачивает ключ в положение «пуск» запускает электродвигатель, который приводя в движение заднюю ось автомобиля начинает разгонять автомобиль до скорости движения 16 км.ч . В это время начиная со скорости 6 км/ч автоматика запускает ДВС выводя его на непродолжительный режим прогрева (2500 – 3000 об/мин), затем устанавливает обороты холостого хода и проверяет степень заряженности батарей. Если напряжение на выводах меньше допустимого, двигатель, а вместе с ним и генератор разгоняются до стационарного режима (свыше 16 км/ч) и начинается процесс зарядки накопителей. Как только накопители будут заряжены полностью ДВС отключается и водитель продолжает движение на ЭД. При торможении ДВС и ЭД отключены и трансмиссия работает в режиме рекуперации энергии в накопитель.

Алгоритм работы автомобиля:

- при скоростях движения до 16 км/ч работает электродвигатель, приводя в движение заднюю ось автомобиля, при этом, начиная со скорости 6 км/ч включается ДВС и разгоняется с холостых оборотов до 3000 об/мин,
- при разгоне свыше 16 км/ч работает только ДВС, а в случае нехватки его мощности, дополнительно включается и электромотор,
- при равномерном движении ДВС работает только до момента, пока не будет накоплено достаточно энергии для работы электродвигателя в течение цикла, после чего ДВС выключается, и дальнейшее движение продолжается на электродвигателе,
- при торможении двигатели выключены, а трансмиссия работает в режиме рекуперации энергии в накопитель,
- во время остановок двигателя также выключены

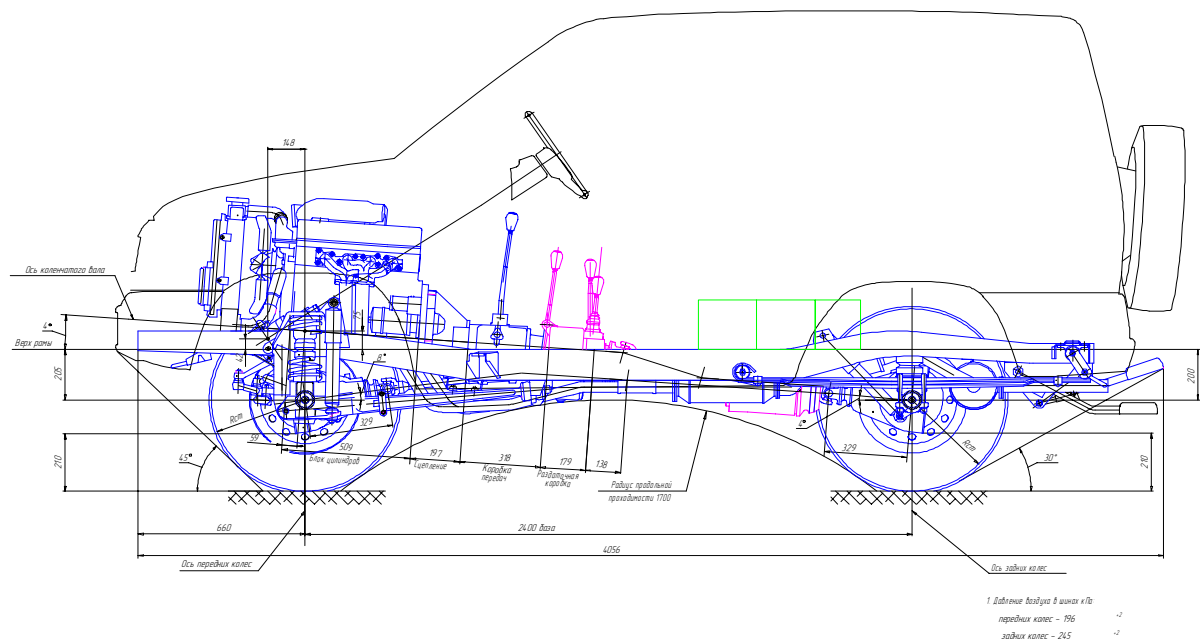


Рис. 34. Компонировка автомобиля двойного назначения с ГСУ.

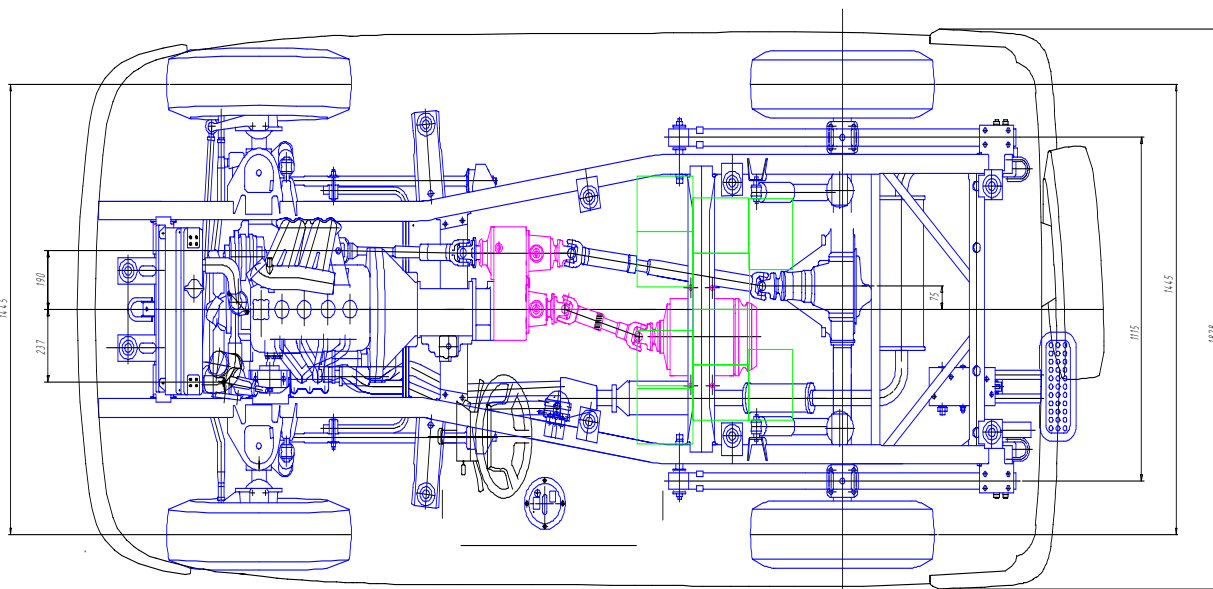


Рис. 35. Компоновка автомобиля двойного назначения с ГСУ.

Для движения в выбранном городском цикле (рис. 35) анализ мощностного баланса движения автомобиля (рис. 36), т.е. характер зависимости суммарной мощности, реализуемой на колесах и суммарной мощности сил сопротивления от времени движения, показывает, что при разгоне есть запас мощности, следовательно на этой фазе можно зарядить накопитель.

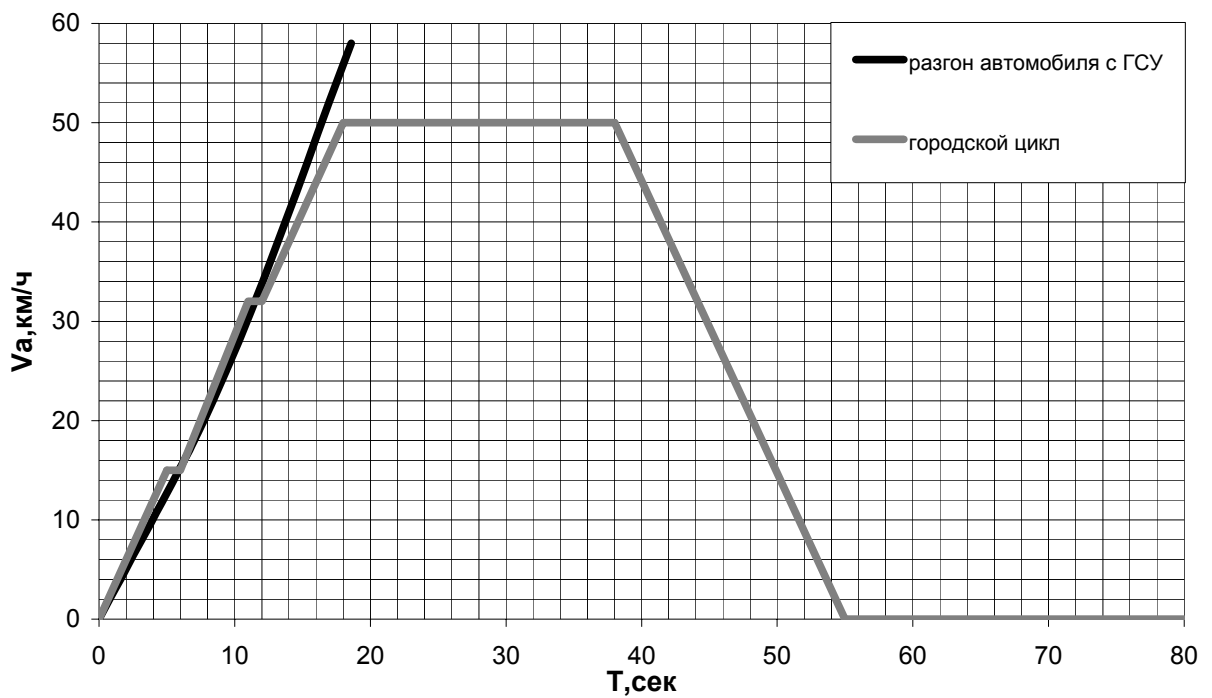


Рис. 35. Заданный городской цикл движения автомобиля.

В качестве накопителей приняты десять аккумуляторных батарей напряжением 12 В емкостью 60 Ач. В режиме электротрансмиссии (без зарядки накопителей) автомобиль может преодолеть путь 4,5 км при движении со скоростью 30 км/ч. При движении со скоростью 20 км/ч – 7,5 км, 15 км/ч – 10,4 км, 10 км/ч – 16 км, 5 км/ч – 33 км.

N,Вт

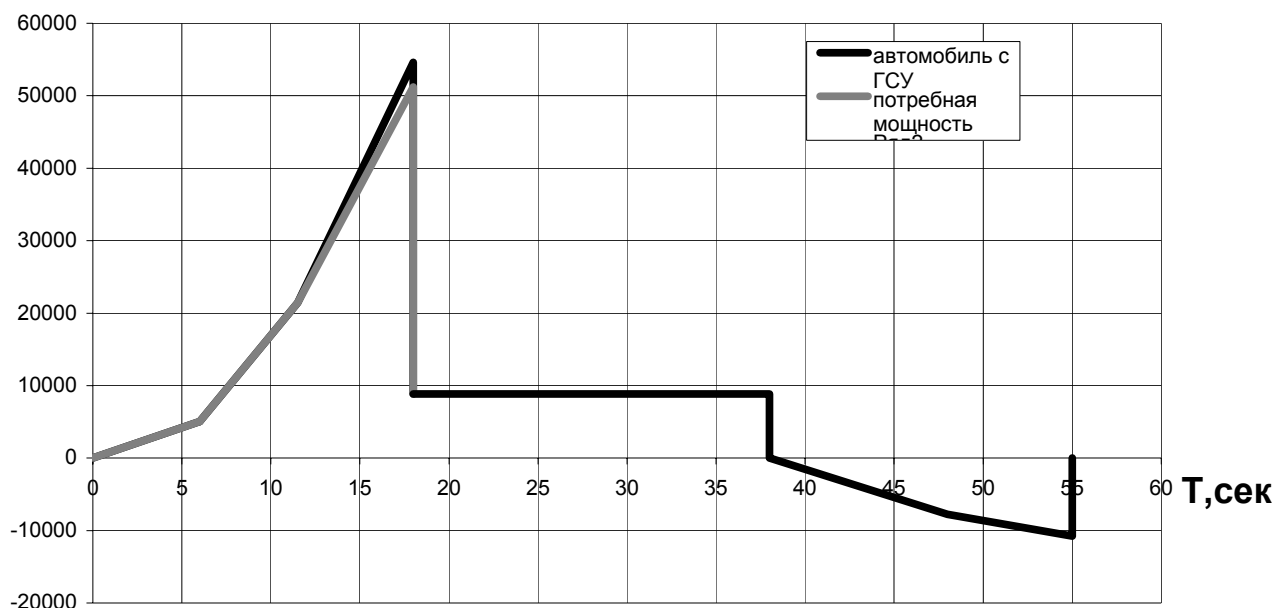


Рис. 36. Баланс мощностей при движении в заданном городском цикле.

Для обеспечения требуемого ускорения автомобиля с ГСУ (примерно 1 м/с²) в режиме городского цикла разгон происходит при включенной пониженной передаче в раздаточной коробке и включенной четвертой передаче в коробке передач. Эксплуатационные характеристики автомобиля с ГСУ и серийно выпускаемого автомобиля приведены в сравнительной таблице.

Таблица 2

Наименование параметра	Автомобиль с ГСУ	Серийный автомобиль
колесная формула	4x4	4x4
длина ширина высота, мм	4240x1828x1935	4240x1828x1935
колесная база, мм	2400	2400
полная масса, кг	2700	2540
двигатель	3МЗ-405.10+ПТ-125	3МЗ-405.10
мощность силового агрегата, кВт	83(80%)+25	105
крутящий момент, Нм	160(80%)+104	230
путевой расход топлива в городском цикле, л/100км	6,3	13,2

При отказе электродвигателя автомобиль может двигаться в обычном режиме, используя только ДВС.

5. Экспериментальный многоцелевой автомобиль с ГСУ

В настоящее время многие зарубежные автомобилестроительные фирмы ведут интенсивные исследовательские и конструкторские работы по созданию и совершенствованию автомобилей с гибридными силовыми установками (ГСУ), потому что интерес к таким автомобилям проявляют как городской транспорт, так и заказчики военной техники. Правда, цели в этих двух случаях разные, но пути их реализации имеют много общего. Однако наша автомобильная промышленность разработкой АТС с ГСУ, несмотря на заинтересованность отечественных потребителей, к сожалению, практически не занимается. Проводившиеся до последнего времени исследовательские работы в научных подразделениях вузов и отраслевых НИИ в связи с невостребованностью их результатов автозаводами фактически прекращены. Хотя возможностей у нас не меньше, чем за рубежом. Некоторые отечественные автомобильные заводы выпускают многоцелевые автомобили. В частности, таким заводом является УАЗ. Его продукция с одинаковым успехом используется как в городских условиях, так и в вооруженных силах, МВД и т.д. Поэтому возможность создания образцов многоцелевых АТС с ГСУ выполненных на основе элементов конструкции автомобилей УАЗ весьма перспективна.

Такой автомобиль может стать образцом АТС двойного назначения. Для силовых ведомств он, несомненно, будет представлять интерес возможностью многоцелевого применения и рядом специфических свойств (повышенные тягово-динамические свойства за счет суммирования мощности ДВС и электрических накопителей, способностью в определенных условиях выполнять поставленные задачи с неработающим ДВС); для «гражданских» потребителей – в качестве грузопассажирского и городского развозного автомобиля, поскольку значительную часть пути при движении в режиме городского цикла способен работать с неработающим ДВС. Кроме того, в этом случае весьма просто реализуется актуальная для городского цикла задача рекуперации энергии торможения и возможность подъезда к остановке, стоянке и троганию после остановки с неработающим ДВС.

Работы по созданию автомобилей с ГСУ ведутся в МГТУ «МАМИ» уже в течение ряда лет. За эти годы кафедрой «Автомобили» выполнены научные исследования и конструкторские проработки нескольких вариантов. В том числе проведены расчетные и компоновочные работы по городскому грузовому автомобилю особо малой грузоподъемности и полноприводному автомобилю двойного назначения. В итоге создан экспериментальный образец полноприводного автомобиля двойного назначения с оригинальной ГСУ параллельной схемы.

Выбор такой схемы не случаен. Он – результат расчетных исследований топливной экономичности автомобиля при его оснащении ГСУ, выполненной по различным (последовательная, параллельная, смешанная) схемам (табл. 1).

Показатель	Величина путевого расхода топлива, л/100 км, при			
	ГСУ последовательной схемы	ГСУ параллельной схемы	ГСУ смешанной схемы	серийном исполнении автомобиля
Путевой расход топлива в городском цикле, л/100 км	9,2	8,4	8,2	17,4

Как видно из этой таблицы, с точки топливной экономичности, самый выгодный вариант – ГСУ, выполненная по смешанной схеме: при ней автомобиль УАЗ оказывается выгоднее серийного варианта на 52,8%; вариант с ГСУ, выполненной по последовательной схеме, экономичнее серийного варианта на 47%, а по параллельной схеме - на 51,7%. Тем не менее остановились на параллельной схеме, поскольку, во-первых, отечественная промышленность выпускает все необходимые для ее реализации автомобильные агрегаты и узлы; во-вторых, она обеспечивает автомобилю топливную экономичность, практически не отличающуюся от той, которую может дать смешанная схема; в-третьих, она проще последней по исполнению.

По согласованию со специалистами Ульяновского автозавода проект ориентирован на серийно выпускающийся грузопассажирский полноприводный УАЗ-3153, позволяющий в варианте с ГСУ получить автомобиль двойного назначения.

Компоновочная схема автомобиля УАЗ-МАМИ-3153, оборудованного ГСУ, приведена на рис. 37.

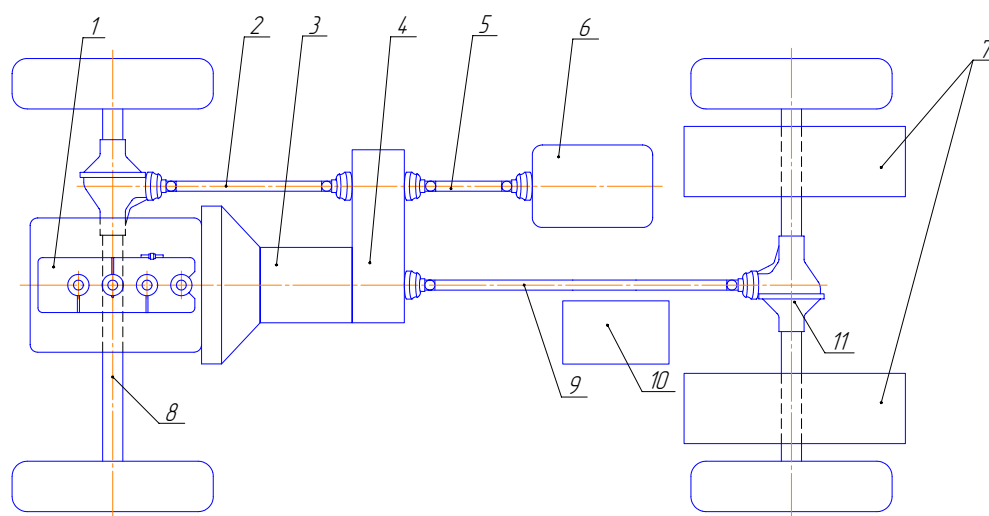


Рис. 37

Как видно, в нее входят элементы не только серийного автомобиля:

ДВС (1), коробка передач (3), приводы переднего (2) и заднего (9) мостов (8), (11), но и новые для автомобиля устройства: обратимая электрическая машина (6) со своим приводом (5), система управления тяговым электрооборудованием (10) и накопители энергии (7).

Целью создания экспериментального многоцелевого автомобиля с ГСУ была реализация на одном автомобиле различных схем привода от разных источников энергии. В результате это обеспечит реальную оценку и количественное сопоставление преимуществ и недостатков каждой из них. В связи с этим спроектирована и изготовлена принципиально иная раздаточная коробка: с одной стороны к ней подводится крутящий момент от ДВС, а с другой - от обратимой электрической машины, работающей как в режиме тягового электродвигателя, так и в режиме генератора (при торможении автомобиля). Благодаря ей появилась возможность реализации на экспериментальном образце нескольких основных вариантов параллельной схемы ГСУ при полном приводе:

- разблокированный полный привод: передний мост приводится от тягового электродвигателя, а задний – от ДВС через стандартную трансмиссию;

- полный привод от двух двигателей одновременно: от ДВС со стандартной трансмиссией и тягового электродвигателя с подачей мощности на выходной вал раздаточной коробки;

- полный привод только от ДВС;

- полный привод только от тягового электродвигателя.

- задний привод только от ДВС;

При этом фактически реализуются дифференциальный и блокированный межосевой приводы. Причем режим разблокированного полного привода колес может длительно использоваться на дорогах с высоким коэффициентом сцепления, т.е. является постоянным полным приводом, и не требуется введение в конструкцию трансмиссии межосевого дифференциала.

Таким образом, примененная на опытном образце автомобиля компоновочная схема гибридной силовой установки (рис.37) при новой раздаточной коробке обеспечивает возможность варьирования как типом используемой энергетической установки (ДВС, электродвигатель или их комбинация), так и типом привода (полный блокированный, полный от разных источников энергии, индивидуальный, т.е. от разных источников энергии на каждый из мостов). При этом использование промежуточных агрегатов при передаче мощности не требуется, что повышает КПД трансмиссии автомобиля. Не нужен также межосевой дифференциал; возможность движения с полным приводом обеспечивается при выключенном ДВС, т.е. при минимальных тепловых и звуковых излучениях. Все перечисленное в совокупности упрощает конструкцию, снижает массу автомобиля и затраты на его производство.

Кроме того, принятое решение обеспечивает возможность дополнительных режимов работы автомобиля:

- задний привод от обоих двигателей;
- задний привод только от тягового электродвигателя;
- передний привод от обоих двигателей;
- передний привод только от тягового электродвигателя.

Конструкция разработанной раздаточной коробки, ее общий вид и установка на автомобиле приведены соответственно на рис. 38, 39 и 40.

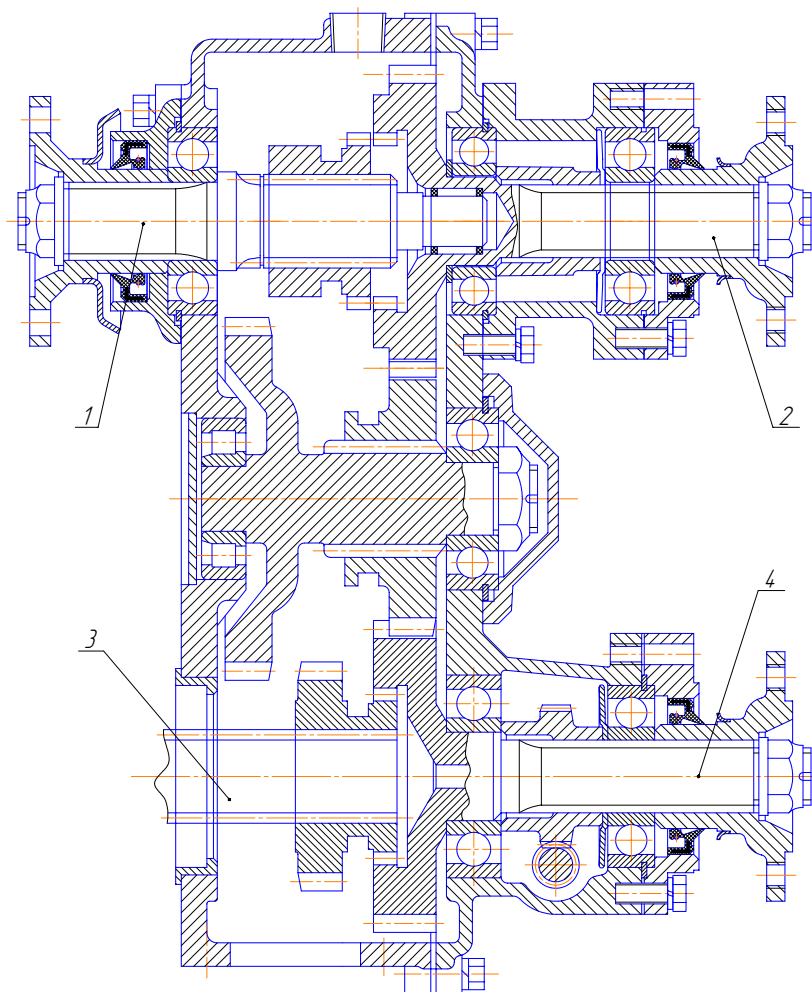


Рис. 38. Конструкция раздаточной коробки

Рис.39. Общий вид раздаточной коробки с органами управления

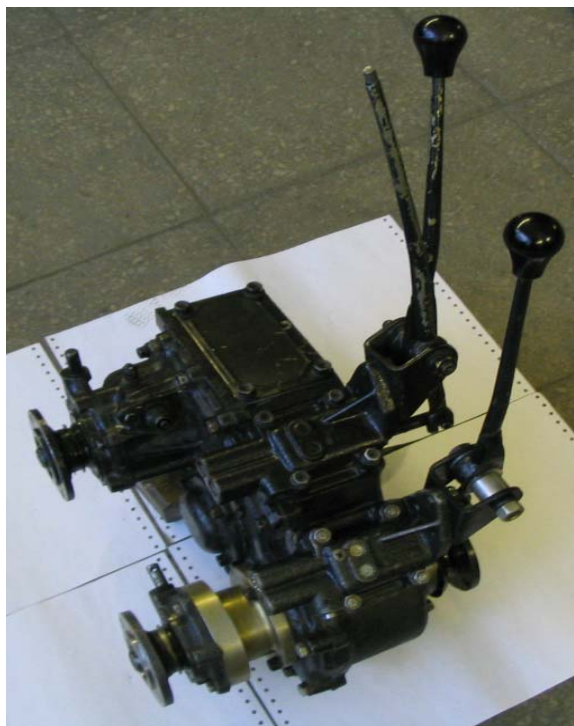


Рис. 40. Размещение раздаточной коробки на автомобиле

Система тягового электрооборудования выполнена, на основе выпускаемых в настоящее время отечественной промышленностью компонентов. В ней использованы наиболее эффективные и экономичные способы и средства преобразования электрической энергии в механическую и управления тяговым электродвигателем. В ее состав входят (рис. 41) асинхронная обратимая электромашинa; блок преобразования энергии и управления; блок силовой коммутации; пульт управления; блок управления режимами электромашины; распределительная панель; блок аккумуляторных батарей.

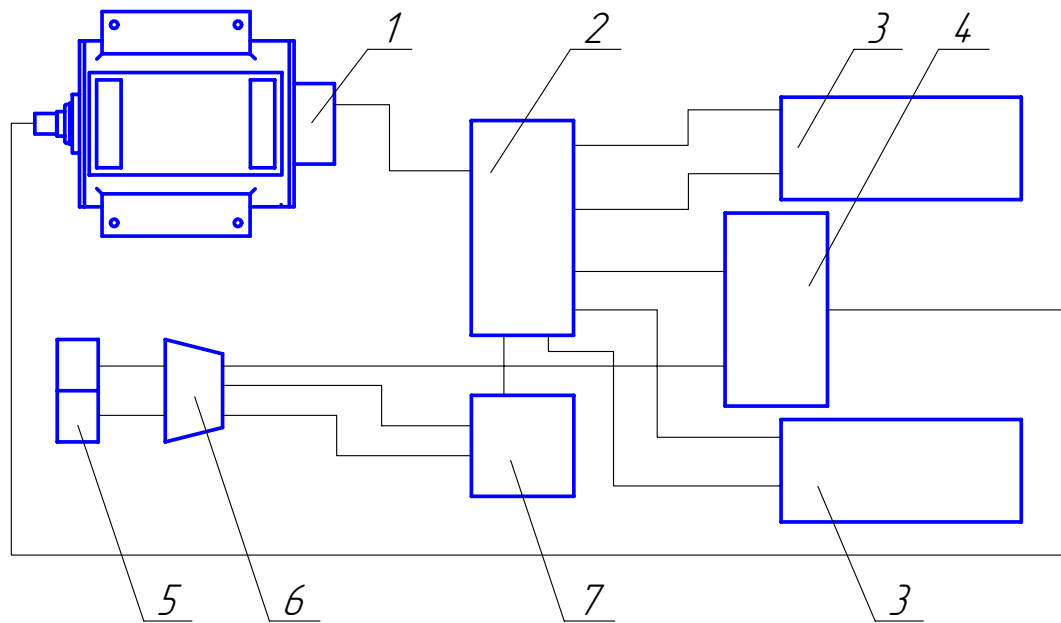


Рис. 41. Система управления тяговым электродвигателем.

Размещение пульта управления и блока управления режимами электромашины представлено на рис. 42. Установка на автомобиле блока преобразования энергии и управления; блока силовой коммутации и блока аккумуляторных батарей – на рис. 43.

В качестве обратимой электрической машины выбран асинхронный электродвигатель АМ – 60 максимальной мощностью 30 кВт. Рабочее напряжение электродвигателя 120 В. Поэтому в качестве накопителей установлены 10 аккумуляторных батарей «Оптима» D 1000.



Рис. 42. Размещение пульта управления и блока управления режимами электромашины



Рис.43. Размещение на автомобиле блока преобразования энергии и управления; блока силовой коммутации и блока аккумуляторных батарей



Рис. 44. Общий вид многоцелевого автомобиля УАЗ-МАМИ-3153 с ГСУ

Техническая характеристика автомобилей представлена в табл.4.

Таблица 4

Модель автомобиля	УАЗ-3153	УАЗ-3153 с КЭУ
Колесная формула	4x4	4x4, 4x2
Масса, кг:	2600	2600
снаряженная	1800	2140
тягового электрооборудования		340
Двигатель	УМЗ-4218.10	УМЗ-4218.10
Максимальные:		
крутящий момент, Н·м (кгс·м)	200 (20,4)	200 (20,4)
мощность, кВт (л.с.)	73 (99,2)	73 (99,2)
Минимальный удельный расход топлива, г/(кВт·ч) [г/(л.с.·ч)]	300 (221)	300 (221)
Электродвигатель	-	обратимая асинхронная электромашинa с короткозамкнутым ротором
Масса, кг	-	100
Максимальные:		
крутящий момент, Н·м	-	280
мощность, кВт	-	35

частота вращения ротора, мин ⁻¹	-	2600
напряжение, В	-	120
ток фазы, А	-	220
Электрические накопители	-	аккумуляторные батареи кислотно-свинцовые "Оптима D 1000"
Масса, кг	-	190
Число	-	10
Максимальная емкость в трехчасовом режиме разряда, А·ч	-	55
Гибридная силовая установка:	-	УМЗ-4218.10 + обратимый асинхронный электродвигатель с комплектом аккумуляторных батарей
Максимальные:		
крутящий момент, Н·м (кгс·м)	-	480 (49)
мощность, кВт (л.с.)	-	108 (147)
Расход топлива в городском цикле	17,4	8,4
Максимальная скорость, км/ч	117	125
Время разгона до скорости 80 км/ч, с	18	14

У автомобиля с ГСУ возможен вариант движения только на электротяге. ДВС в этом случае не работает. Вместе с тем необходимо учитывать тот факт, что реальный автомобиль УАЗ-МАМИ - 3153 имеет гидроусилитель руля и вакуумный усилитель тормозов. Очевидно, что при движении в электрорежиме неработающий ДВС оставит автомобиль без гидроусилителя руля и без вакуумного усилителя тормозов. На экспериментальном автомобиле предусмотрена установка насоса гидроусилителя руля с приводом от электромотора, а также предусмотрена установка электровакуумного насоса с вакуумным ресивером.

В случае эксплуатации автомобиля при пониженных температурах окружающей среды в стандартном автомобиле предусмотрен обогрев салона жидкостным обогревателем, получающим тепло от ДВС. В случае автомобиля с ГСУ при движении его в электрорежиме предусмотрена установка обогревателя типа «Вебасто», обеспечивающая обеспечение нормального теплового режима двигателя и салона автомобиля.

6. Методы испытаний автомобилей с ГСУ

По разработанной методике стендовых испытаний необходимо провести исследования различных режимов комбинированной энергоустановки:

- исследование тяговых характеристик электродвигателя при работе на один из ведущих мостов;
- исследование тяговых характеристик электродвигателя при совместной работе с ДВС;
- исследование взаимосвязей потоков мощностей двигателя внутреннего сгорания, тягового электродвигателя при варьировании скоростных и нагрузочных режимов;
- исследование тормозных свойств обратимой электромашины при работе в режиме генератора;
- исследование энергопоглощающих свойств комплекса аккумуляторных батарей;
- определение максимально возможных зарядных и разрядных токов.

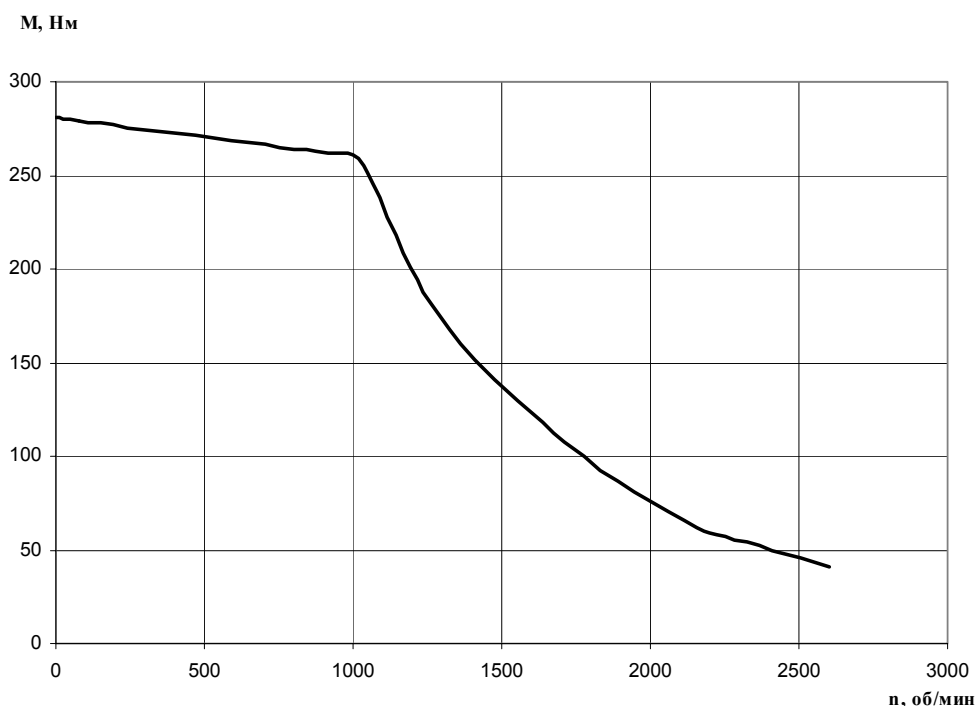


Рис. 44. Характеристика электродвигателя

Испытания проводятся на стенде с беговыми барабанами. На барабанах тормозного стенда задается нагрузка, соответствующая нагрузке на ведущих колесах одного из ведущих мостов автомобиля. Желательна фиксация скорости автомобиля, частоты вращения карданного вала привода ведущего моста, частота вращения коленчатого вала двигателя, нагрузка на беговых барабанах стенда.

Перед непосредственным изучением режимов работы комбинированной силовой установки необходимо определить момент сопротивления качению колес автомобиля при их качении по барабанам стенда.

Для этого на испытательном стенде снимается нагрузка с барабанов. Барабаны вращаются колесами автомобиля от электродвигателя. Замеры проводятся на постоянных скоростях движения в диапазоне 10 км/ч - 70 км/ч. Мощность, снимаемая с электродвигателя, затрачивается на преодоление сопротивления трансмиссии и сопротивления качению колес.

По регистрируемым параметрам (частота вращения барабанов, обороты электродвигателя, ток на полюсах электродвигателя, напряжение на полюсах электродвигателя, тормозной момент на барабанах) вычисляется мощность, снимаемая с барабанов.

Затем те же замеры проводятся при холостом вращении трансмиссии (при одном снятом колесе ведущего моста).

По регистрируемым параметрам вычисляется мощность, снимаемая с барабанов при холостом вращении трансмиссии. Разница мощностей составит сопротивление качению колес. Повторяем испытания при заданной мощности сопротивления вращению барабанов.

После предварительной оценки момента сопротивления качению колес приступаем к определению характеристик автомобиля в различных режимах работы ГСУ.

В электрорежиме привод ведущих колес обеспечивается тяговым электромотором.

Исходными параметрами в процессе эксперимента являются:

- скорость установившегося движения автомобиля в диапазоне от 0 до 60 км/ч с шагом в 10 км;

- тормозной момент беговых барабанов.

Потребный момент сопротивления вращению ведущих колес на барабане:

$$M_c = \{G_a * f_0 * (1 + A * V^2) - G_2 * f_{ct} + c_x * \rho * F * V^2 / 2\} * r_6 \quad (1),$$

где r_6 - радиус тормозного барабана стенда.

$G_2 * f_{ct}$ - определенная на первом этапе испытаний величина сопротивления качению задних ведущих колес;

- частота вращения (произведение момента и частоты однозначно определит снимаемую мощность); частота вращения тормозных барабанов определяется в этом случае частотой вращения ведущих колес автомобиля.

Регистрируемые параметры:

- частота вращения барабанов, обороты электродвигателя, ток на полюсах электродвигателя, напряжение на полюсах электродвигателя, тормозной момент на барабанах.

В режиме оценки максимально возможных зарядных и разрядных токов исследуется процесс торможения автомобиля генератором при движении ведущего моста от ДВС. Определяются скоростной и нагрузочный режимы работы генератора.

Регистрируемые параметры: величина зарядного тока, воспринимаемого аккумуляторными батареями.

Аналогичный вид испытаний является режим совместной работы ДВС и тягового электромотора. Задается установившийся режим движения в диапазоне скоростей от 0 до 60 км/ч с шагом в 10 км/ч. Определяется мощность, снимаемая с электромотора при совместной работе с ДВС.

При этом ДВС работает по характеристике минимальных удельных расходов – установившийся режим, соответствующий $\approx 80\%$ открытия дроссельной заслонки. При возникновении избытка мощности ДВС подтормаживается генератором, избыточная мощность направляется в накопитель. Т.о., обеспечивается заданный режим движения автомобиля.

В режиме рекуперации исследуется процесс торможения автомобиля генератором при закачивании рекуперированной энергии в накопитель энергии. Задается ведущий режим опорных барабанов стенда. Частота вращения барабанов определяется заданной начальной скоростью автомобиля в режиме торможения. Измеряется мощность, потребляемая генератором, мощность, подводимая к опорным барабанам, мощность, потребляемая накопителем энергии. Варьируется начальная скорость торможения от 10 км/ч до 60 км/ч с интервалом в 10 км/ч. Момент вращения опорных барабанов определяется по формуле:

$$M_6 = \{G_a * f_0 * (1 + A * V^2) - G_2 * f_{ct} + c_x * \rho * F * V^2 / 2 + G_a / g * (dV/dt) * \sigma\} * r_k \quad (2)$$

Регистрируемые параметры: момент на генераторе, напряжение и ток накопителя.

При исследовании динамического режима осуществляется разгон автомобиля на стенде от 0 км/ч до 40 км/ч от электромотора и торможение автомобиля генератором в диапазоне скоростей от 60 км/ч до 0; Сопротивление вращению барабанов при этом задается величиной, определяемой по формуле:

$$M_6 = \{G_1 * f_0 * (1 + A * V^2) + c_x * \rho * F * V^2 / 2 + G_a / g * (dV/dt) * \sigma\} * r_k \quad (3)$$

В режиме разгона исследуется вопрос включения двигателя с хода и процесс набора двигателем внутреннего сгорания необходимой частоты вращения при различных скоростях движения автомобиля и при различных передачах, включенных в коробке передач к моменту принудительного включения ДВС. Регистрируемыми параметрами являются напряжение, сила тока ТЭД.

В режиме торможения также исследуется время запаздывания включения в работу электрической машины после подачи управляющего сигнала на тяговый электродвигатель или на генератор. Сопротивление

вращению барабанов при этом задается величиной, определяемой по формуле:

$$M_{\sigma} = \{G_1 * f_0 * (1 + A * V^2) + c_x * \rho * F * V^2 / 2 + G_a / g * (dV/dt) * \sigma\} * r_k \quad (4)$$

По результатам измерений получены значения следующих величин:
Частота вращения колес:

$$n_{\text{красч.}} = \frac{V_{\text{зад.}}}{0,377 \cdot r_k} \quad (5)$$

Частота вращения электродвигателя:

$$n_{\text{ТАДкрасч.}} = n_{\text{красч.}} \cdot i_0, \quad (6)$$

где i_0 – передаточное число главной передачи.

Частота вращения электродвигателя, вычисленная по f :

$$n_{\text{ТАД}} = f_{\text{ТАД}} \cdot 60 \quad (7)$$

Частота вращения колеса, рассчитанная по снятым значениям частоты электродвигателя:

$$n_{\text{красч.}} = \frac{n_{\text{ТАД}}}{i_0} \quad (8)$$

Скорость автомобиля, рассчитанная по снятым значениям частоты электродвигателя:

$$V_{\text{арасч.}} = 0,377 \cdot r_k \cdot n_{\text{красч.}} \quad (9)$$

Момент на электродвигателе:

$$M_{\text{ТАД}} = \frac{M_k}{i_0} \quad (10)$$

Таблица 5

Задаваемые значения	Расчетные величины (исходя из $V_{\text{а зад.}}$)					
	$V_{\text{а зад.}}$, км/ч	$n_{\text{к расч.}}$, об/мин	$n_{\text{ТАД расч.}}$, об/мин	$f_{\text{ТАД}}$, Гц	$n_{\text{ТАД}}$, об/мин	$n_{\text{к расч.}}$, об/мин
15	114.662	530.313	7.7	462	99.892	13.05
20	152.883	707.084	11.8	708	153.081	20.00
25	191.104	883.855	14	840	181.622	23.73
30	229.324	1060.626	16	960	207.568	27.12

		Коэффициент сопротивления качению
--	--	-----------------------------------

			(расчетный)	
M_k , Нм	$M_{ТАД}$, Нм	$N_{ТАД2}=N_{тр}+N_f$, Вт	F_k , Нм	f
174	37.62	1819.23	501.441	0.046
186	40.22	2980.18	536.023	0.049
194	41.95	3687.89	559.078	0.051
200	43.24	4345.08	576.369	0.052

По результатам измерений пробег в режиме электромобиля с постоянной скоростью при полностью заряженных батареях составил км. В конце пробега суммарное напряжение в батареях составило 100 В.

Остальные результаты измерений, проведенных по вышеизложенной программе испытаний в настоящее время обрабатываются.

6.1. Стендовые испытания

Стендовые испытания автомобиля с ГСУ преследуют следующие цели:

- исследование тяговых характеристик электродвигателя при работе на один из ведущих мостов или при совместной работе с ДВС;
- исследование тяговых характеристик электродвигателя при работе при совместной работе с ДВС;
- исследование взаимосвязей потоков мощностей двигателя внутреннего сгорания, тягового электродвигателя при варьировании скоростных и нагрузочных режимов;
- исследование тормозных свойств обратимой электромашины при работе в режиме генератора;
- исследование энергопоглощающих свойств комплекса аккумуляторных батарей;
- определение максимально возможных зарядных и разрядных токов.

Используется следующая измерительная аппаратура:

- контрольно-измерительные приборы стенда ФГУП НПП «КВАНТ»;
- измерительные приборы, установленные на панели приборов автомобиля с гибридной силовой установкой МАМИ – КВАНТ;
- измеритель частоты вращения якоря генератора (тягового электродвигателя), карданного вала привода ведущего моста (мостов);
- записывающий блок.

Проводятся следующие исследования:

Исследование статических режимов

Испытания проводятся на стенде с беговыми барабанами ФГУП НПП «КВАНТ». При возможности на барабанах тормозного стенда задается нагрузка, соответствующая нагрузке на ведущих колесах одного из ведущих мостов автомобиля. Желательна фиксация скорости автомобиля, частоты

вращения карданного вала привода ведущего моста, частота вращения коленчатого вала двигателя, нагрузка на беговых барабанах стенда.

6.1.1. Определение сопротивления качению колес автомобиля УАЗ-МАМИ - 3153 при их качении по барабанам стенда ;

6.1.2. Определение характеристик автомобиля в различных режимах работы ГСУ;

6.1.2.1. Электрорежим. Привод ведущих колес обеспечивается тяговым электромотором.

Регистрируемые параметры: частота вращения барабанов, обороты электродвигателя, ток на полюсах электродвигателя, напряжение на полюсах электродвигателя, тормозной момент на барабанах.

6.1.2.2. Исследуется процесс торможения автомобиля генератором при движении ведущего моста от ДВС. Определяются скоростной и нагрузочный режимы работы генератора.

Регистрируемые параметры: величина зарядного тока, воспринимаемого аккумуляторами батареями.

6.1.3. Аналогичный вид испытаний при совместной работе ДВС и тягового электромотора. Задается установившийся режим движения в диапазоне скоростей от 0 до 60 км/ч с шагом в 10 км/ч. Определяется мощность, снимаемая с электромотора при совместной работе с ДВС.

При этом ДВС работает по характеристике минимальных удельных расходов – установившийся режим, соответствующий $\approx 80\%$ открытия дроссельной заслонки. При возникновении избытка мощности ДВС подтормаживается генератором, избыточная мощность направляется в накопитель. Т.о., обеспечивается заданный режим движения автомобиля.

6.1.4. Исследуется процесс торможения автомобиля генератором при закачивании рекуперированной энергии в накопитель энергии.

Регистрируемые параметры: момент на генераторе, напряжение и ток накопителя.

Исследование динамических режимов

Испытания проводятся при разгоне автомобиля от 0 км/ч до 40 км/ч от электромотора и торможении автомобиля генератором в диапазоне скоростей от 60 км/ч до 0

- исследуется вопрос включения двигателя с хода и процесс набора двигателем внутреннего сгорания необходимой частоты вращения при различных скоростях движения автомобиля и при различных передачах, включенных в коробке передач к моменту принудительного включения ДВС, регистрируемые параметры: напряжение, сила тока ТЭД, регистрируемые параметры: напряжение, сила тока ТЭД;

- исследуется время запаздывания включения в работу электрической машины после подачи управляющего сигнала на тяговый электродвигатель или на генератор

6.2. Дорожные испытания

Программа дорожных испытаний включает в себя проведение замеров при работе автомобиля с ГСУ на следующих режимах:

Запуск ДВС с ходу

Цель: обеспечить скорость, передачу и темп включения сцепления, при которых не будет динамических нагрузок в трансмиссии при заводке ДВС; проверить, оказывает ли влияние тип привода на нагрузки в трансмиссии. Испытания проводятся при разном типе привода от ТЭД с разными скоростями при включении разных передач в КП с разным темпом включения сцепления.

Замеры:

- скорость автомобиля (спидометр),
- частота тока ТЭД (для определения частоты вращения ТЭД),
- амплитуда тока ТЭД (для определения момента ТЭД),
- напряжение и сила тока на батарее,
- нагрузки в трансмиссии определяются визуально (есть удар или нет удара).

Рекуперация при движении с постоянной скоростью

Испытания проводятся при включении разных передач в КП и поддержании генератором разных скоростей.

Цель: определить токи, воспринимаемые накопителем за короткое и длительное время.

Замеры:

- скорость автомобиля (спидометр),
- частота тока ТЭД (для определения частоты вращения ТЭД),
- амплитуда тока ТЭД (для определения момента ТЭД),
- напряжение и сила тока на батарее,
- время зарядки батареи.

Определение максимальных замедлений, обеспечиваемых генератором

Испытания проводятся при разных скоростях с разным типом привода. Движение автомобиля происходит как на ДВС, так и на ТЭД. Фиксируются: скорость, с которой началось замедление, время до полной остановки, а также все электрические параметры. Замедления, обеспечиваемые генератором, вычисляются.

Определение максимальных ускорений, обеспечиваемых электродвигателем.

Испытания проводятся при включении разных типов привода.

Цель: определить максимальные ускорения, обеспечиваемые электродвигателем.

Замеры:

- начальная скорость автомобиля (спидометр) V_n ,
- конечная скорость автомобиля (спидометр) V_k ,
- время разгона до конечной скорости t ,
- частота тока ТЭД (для определения частоты вращения ТЭД),

- амплитуда тока ТЭД (для определения момента ТЭД),
- напряжение и сила тока на батарее.

Движение по городскому циклу

Цель: сравнить результаты испытаний с расчетами, обеспечить баланс энергий при движении по городскому циклу.

Замеры:

- скорость автомобиля (спидометр),
- частота тока ТЭД (для определения частоты вращения ТЭД),
- амплитуда тока ТЭД (для определения момента ТЭД),
- напряжение и сила тока на батарее.
- трогание и разгон до 30 км/ч на ТЭД.
- далее заводится ДВС, ТЭД выключается, в КП III передача. Разгон от 30 до 50 км/ч происходит только на ДВС. Педаль ДВС нажата до упора в ограничитель (характеристика минимальных удельных расходов). Требуемое ускорение обеспечивается за счет торможения генератором (избыток мощности ДВС направляется в накопитель).
- равномерное движение со скоростью 50 км/ч в течение 13,5 с на ДВС, избыток мощности – в накопитель,
- остальное время равномерного движения в цикле работает ТЭД (ДВС выключен),
- торможение генератором со скорости 50 км/ч до 0.

Теоретически в конце цикла батарея окажется полностью заряженной. Чтобы это определить, таких циклов нужно сделать несколько.

Определение максимальной скорости автомобиля

В исходном положении ДВС запущен, питание ТЭД включено, положение рычагов раздаточной коробки соответствует заданному типу привода.

4.2.6.1. Батарея полностью заряжена.

Разгон осуществляется на двух двигателях. И электродвигатель, и ДВС работают по внешней скоростной характеристике.

Производится замер максимальной скорости автомобиля (по спидометру), а также все электрические параметры, как в предыдущих испытаниях.

4.2.6.2. То же при не полностью заряженной батарее.

Повтор п. 4.2.6.1, 4.2.6.2 при других типах привода.

Определение максимально возможных ускорений

В исходном положении ДВС запущен, питание ТЭД включено, положение рычагов раздаточной коробки соответствует заданному типу привода.

Испытания проводятся при включении разных типов привода.

Цель: определить максимальные ускорения, обеспечиваемые двумя двигателями.

Замеры:

- начальная скорость автомобиля (спидометр) V_n ,
- конечная скорость автомобиля (спидометр) V_k ,

- время разгона до конечной скорости t ,
- частота тока ТЭД (для определения частоты вращения ТЭД),
- амплитуда тока ТЭД (для определения момента ТЭД),
- напряжение и сила тока на батарее,

$$j = \frac{V_k - V_n}{t}$$

Определение запаса хода автомобиля

Батарея полностью заряжена. Осуществляется движение в электрорежиме до полной разрядки батареи. Производится замер пути, пройденного автомобилем при разных скоростях. Испытания проводятся при разных типах привода.

Выводы

В итоге можно сделать следующие выводы:

- несмотря на принимаемые меры по ужесточению норм на вредные выбросы, дни АТС с традиционными силовыми установками сочтены, и они должны быть заменены транспортными средствами, дружелюбно относящимися к окружающей среде;
- наиболее перспективным транспортным средством становится электромобиль, энергетической установкой которого является батарея топливных элементов;
- реально электромобиль в массовом производстве можно ожидать не менее чем через два десятилетия, а для замены электромобилями парка существующих автомобилей потребуется еще несколько десятилетий;
- на переходный период наибольшее распространение получают гибридные автомобили, заметно снижающие расход нефтяного топлива, и соответственно, уменьшающие выбросы вредных веществ и углекислого газа.

Список литературы

1. Бахмутов С.В., Селифонов В.В. Экологически чистый городской автомобиль с гибридной силовой установкой, / Наука-производству. НТП "Выраж-центр", 2001, № 7.
2. Карунин А.Л., Бахмутов С.В., Селифонов В.В., Круташов А.В, Баулина Е.Е., Карпухин К.Е., Авруцкий Е.В.. Экспериментальный многоцелевой гибридный автомобиль. "Автомобильная промышленность", 2006, №3.
3. Карпухин К.Е., Селифонов В.В.,. Автомобиль с гибридной силовой установкой. Алгоритм управления автомобилем с ГСУ. Материалы 49-ой Международной научно-технической конференции ААИ, М.: МГТУ
4. Селифонов В.В., Баулина Е.Е.. Устойчивость и управляемость автомобиля при переменной схеме привода – М.: МГТУ "МАМИ". 2006.
5. Селифонов В.В., Карпухин К.Е., Баулин Е.Е.. Электромобиль особо малого класса с комбинированной энергетической установкой. М.: «Автотракторное электрооборудование» 2003, № 1.
6. Электропоезд. Автомир, 2006, №26.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Конструктивные схемы ГСУ.....	6
1.1 Последовательная схема гибридной силовой установки.....	6
1.2. Параллельная схема гибридной силовой установки.....	7
1.3. Гибридная силовая установка системы "сплит".....	9
2. Мировой опыт создания гибридных автомобилей.....	10
3. Первые российские автомобили с ГСУ.....	34
4. Проектирование гибридного автомобиля.....	46
5. Экспериментальный многоцелевой автомобиль с ГСУ.....	51
6. Методы испытаний автомобилей с ГСУ.....	61
6.1 Стендовые испытания.....	65
6.2. Дорожные испытания.....	67
Список литературы.....	70

Учебное издание

**Бахмутов Сергей Васильевич
Карунин Анатолий Леонидович
Круташов Анатолий Васильевич
Ломакин Владимир Владимирович
Селифонов Валерий Викторович
Карпухин Кирилл Евгеньевич
Баулина Елена Евгеньевна
Урюков Юрий Витальевич**

**Конструктивные схемы автомобилей с гибридными
силовыми установками**

Учебное пособие

Подписано в печать

Заказ

Тираж 300

МГТУ «МАМИ», 107023, Москва, Б.Семеновская ул., дом 38