

**ПРИОРИТЕТНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ «ОБРАЗОВАНИЕ»
РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ**

С.В. ГУСАКОВ

**ГИБРИДНЫЕ СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ
НА ОСНОВЕ ДВС**

Учебное пособие

**Москва
2008**

ВВЕДЕНИЕ

В современных крупных городах с большими транспортными потоками, особенно в часы пик, двигатели внутреннего сгорания автомобильного транспорта в основном работают на режимах минимальных оборотов холостого хода: остановки, езда накатом и торможение, в остальном из-за небольших расстояний между остановками практически имеют место малые нагрузки и переходные режимы работы двигателя: троганье с места, набор скорости, сброс скорости (нагрузки и оборотов). Режим работы на минимальных оборотах обусловлен простоями на светофорах или подкатами к светофорам и остановкам, пробками, медленным передвижением из-за затрудненности проезда. В случае эксплуатации пассажирского городского автотранспорта к перечисленному прибавляются остановки для посадки и высадки пассажиров.

При движении автотранспорта вредные выбросы с отработавшими газами равномерно распределяются по всей линии движения, но в пунктах вынужденных задержек, у светофоров и в пробках, выбросы максимально концентрируются в одном месте. Наиболее экологически загрязненные участки - это перекрестки, дорожные пробки и другие места затрудненного движения автотранспорта, здесь вредные выбросы достигают 100-кратных значений норм ПДК.

В городском цикле движения автотранспорта при максимально разрешенной скорости движения автомобиля в городе 60 км/час средняя скорость движения составляет не более 15–18 км/час, что в 3–4 раза ниже максимальной скорости, с которой водители стараются проехать на свободных участках движения. У городского пассажирского автотранспорта - автобусов и маршрутных такси – скорость передвижения еще ниже - 8–13 км/час. К примеру, автобус в городе за восьмичасовую смену проходит в зависимости от маршрута в среднем 80–110 км. Чем крупнее город (мегаполис) и напряженнее движение, тем ниже средние скорости передвижения автотранспорта.

Если сравнивать суммарное время вынужденных остановок при движении автотранспорта (время работы двигателей автотранспорта на минимальных оборотах - холстом ходу) относительно максимально разрешенной скорости движения 60 км/час, то получится, что 3/4 времени (т.е. 45 минут из каждого часа) двигатель работает на минимальных оборотах или при малых нагрузках. Количество выбросов вредных веществ с отработавшими газами на минимальных оборотах двигателя меньше, чем под нагрузкой, но в городском цикле движения сумма выбросов на минимальных оборотах ДВС составляет значительную долю в общем количестве выбросов от работы двигателя. Особенно сильно это выражается в местах вынужденного скопления и затрудненного движения автотранспорта.

Эксплуатация двигателей внутреннего сгорания, как бензиновых, так и дизельных в режимах холостого хода или минимальных нагрузок приводит к максимально быстрому нарастанию отложений и нагара в камере сгорания двигателей, что приводит к изменению их конструктивных размеров, и как следствие, к значительному ухудшению расчетных экологических параметров отработавших газов двигателя.

Конечно, двигатели внутреннего сгорания совершенствуются как с точки зрения повышения эффективности, так и улучшения экологических показателей, однако наиболее действенным способом комплексного решения указанных проблем является применение гибридного привода: сочетания двигателя внутреннего сгорания и электрического привода с аккумулятором электрической энергии.

Следует отметить, что объем продаж легковых автомобилей с гибридными силовыми установками во всем мире неуклонно растет: если в 2000 г. было продано всего

9 тыс. автомобилей с гибридным приводом, то в 2005 г. – около 270 тыс. автомобилей.

Автомобили с гибридными силовыми установками являются самым реальным средством сокращения расхода топлива и снижения токсичности в ближайшей перспективе.

Компания Toyota, лидер в области серийного производства автомобилей с гибридными силовыми установками, заявила, что с 1997 г. объем продаж автомобилей Toyota Prius и Lexus RX 400h с гибридной силовой установкой превысил 500 тыс. экземпляров (рис.1). Более половины этих автомобилей продано за пределами Японии, из них более 90% продаж приходится на рынок США. В 2010 г. Toyota

планирует выпускать около 1 млн. автомобилей с гибридными силовыми установками. Гибридный автомобиль Prius из-за высокой себестоимости не приносит компании прибыль – концерн продает автомобиль ниже себестоимости. Только Toyota, будучи самым прибыльным автопроизводителем, могла позволить себе организовать серийное производство и сбыт модели Prius, направленные главным образом на улучшение своего общественного имиджа. Тем не менее Toyota заявила, что следующее поколение Prius будет приносить компании прибыль за счет снижения стоимости ключевых компонентов гибридного привода и роста количества продаваемых автомобилей.

В 2005 г. объем инвестиций в разработку и производство гибридных силовых установок составил примерно

6 млрд. евро. В 2005 г. компания Toyota разработала перспективный гибридный привод для модели Lexus RX 400h.

В отличие от других современных систем новая гибридная установка может работать отдельно: или на бензиновом двигателе, или только на электрическом моторе, а также на том и на другом одновременно (рис. 2).

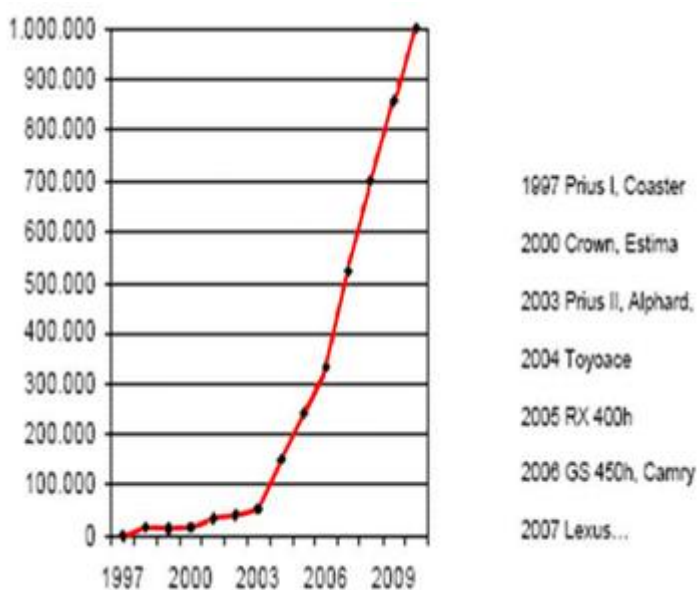


Рис. 1. Данные компании Toyota по количеству выпущенных фирмой легковых автомобилей с гибридными силовыми установками

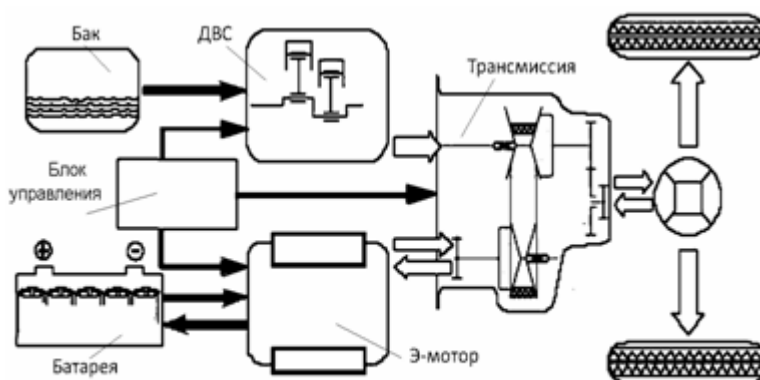


Рис. 2. Схема гибридной силовой установки с параллельными потоками энергии

Автомобиль оснащен шестицилиндровым V-образным бензиновым двигателем рабочим объемом 3,3 л и двумя электромоторами общей мощностью 200 кВт. Преимуществом новой технологии

являются не только низкий расход топлива (8,1 л/100 км) и низкий уровень токсичности, но также меньшее время разгона и более высокий крутящий момент. Автомобиль с гибридной силовой установкой Toyota Prius нового (третьего) поколения станет первым в мире серийным автомобилем, расход которого не превышает 2,1 л бензина на 100 км пробега. Секрет экономичности, по мнению специалистов компании Toyota, заключается в применяемых батареях. Никель-металлогидридные батареи, используемые сейчас в Prius, оптимальны по цене и качеству, но новые литий-ионные батареи будут иметь меньшую массу, накапливать и отдавать больше энергии и иметь более длительный срок службы. Компания рассчитывает наладить серийное производство автомобилей с гибридными силовыми установками уже в 2008 г. Кроме уменьшенного расхода топлива гибридный автомобиль будет отличаться и улучшенной динамикой – инженеры Toyota рассчитывают уменьшить время разгона от нуля до 100 км/ч до 9,8 сек.

Компания Ford выпустила на рынок США уже второй автомобиль повышенной проходимости с гибридным приводом Mercury Mariner, оснащенный гибридной силовой установкой (ДВС плюс электродвигатель), бесступенчатой трансмиссией и постоянным полным приводом (4x4). Если требуется малая мощность, например, при движении с частыми остановками или при медленном движении работает только электродвигатель. Когда необходима большая мощность, подключается ДВС. При торможении электродвигатель работает как генератор, вырабатывая энергию, которая накапливается в аккумуляторе, заряжая его. Автомобиль производится на заводе Kansas City Assembly Plant, там же, где и первая модель с гибридным приводом Escape Hybrid.

Компания Ford планирует к 2010 г. производить порядка 250 тыс. гибридных автомобилей ежегодно.

В 2005 г. компании DaimlerChrysler, GM и BMW объединили свои усилия по разработке перспективных гибридных автомобилей и альтернативного топлива. В центре внимания нового глобального альянса – разработка суперэкономичной гибридной силовой установки. Новинка, обеспечивающая 25%-ную экономию топлива, уже защищена патентом и появится на рынке в 2007–2008 гг. в ряду новых серийных автомобилях. Новая система объединяет два электромотора и двигатель внутреннего сгорания. В качестве трансмиссии используется вариатор с электронным управлением ECVT. Данная трансмиссия может автоматически выбирать несколько режимов и использовать четыре передачи, что позволяет каждому из трех двигателей работать в оптимальном режиме, причем как при разгоне, так и при торможении, когда кинетическая энергия автомобиля преобразуется в электрическую и сохраняется в аккумуляторных батареях. Достоинством новой системы также является ее компактность. По словам разработчиков, гибридная трансмиссия занимает столько же места, сколько и обычная автоматическая коробка перемены передач. Базовая конструкция будет общей, но каждый автопроизводитель сможет использовать данную систему в соответствии с конкретными требованиями марки. Компания GM в основном будет выпускать гибридные пикапы и автомобили повышенной проходимости, а DaimlerChrysler – заднеприводные модели высшего класса. В 2007 г. GM планирует освоить серийное производство гибридов Chevrolet Tahoe и GMC Yukon. Компания Daimler Chrysler запустит в производство Dodge Durango Hybrid. Автомобильный концерн BMW займется разработкой унифицированной платформы для гибридных автомобилей, которая будет способствовать более быстрому и эффективному внедрению передовых технологий.

Несмотря на то, что в последние годы в области гибридных технологий наблюдался значительный прогресс, такие фирмы, как Nissan и Honda не торопятся расширять производство гибридных машин. В скором времени покупателям будет предложен гибридный седан Nissan Altima. Совсем недавно компания Honda объявила о том, что прекращает производство гибридного автомобиля Honda Insight. Причиной своего решения руководство Honda называет слишком низкий спрос на этот автомобиль. В США Honda Insight появилась в 1999 г., однако за прошедшие семь лет здесь было продано всего 13484 автомобилей. За последний год Honda сумела реализовать в Северной Америке лишь 650 таких автомобилей. И это при том, что Honda Insight до сих пор остается одной из самых экономичных моделей в США: с механической коробкой передач машина расходует около 4 л/100 км, а с бесступенчатым вариатором – примерно 5 л/100 км. Однако представители Honda уже сообщили о начале выпуска

совершенно новой гибридной модели, которая займет нишу после ухода Insight, но не является ее прямым преемником.

По прогнозам компании Bosch, в 2010 г. на автомобильном рынке появится около 50 различных гибридных моделей. Их доля будет постоянно расти: от 1% в 2010 г. до 5% в 2025, что составит порядка 4 млн автомобилей. Активно разрабатывая гибридные технологии, Bosch уже в 2006 г. планировал стать поставщиком гибридных автомобилей. Специально для этого в 2004 г. в компании было образовано подразделение Projekthaus Hybridsysteme, в котором заняты инженеры и эксперты по тематике гибридного силового привода, развивающие существующие и необходимые перспективные технологии для систем электроники, торможения и впрыскивания бензина. Задача состоит в том, чтобы оптимально согласовать друг с другом отдельные компоненты гибридного силового привода. В 2006 г. в серийное производство запущена первая гибридная разработка Bosch Smart Electronic Start / Stop-System, в которой блок управления двигателем заменит стартер и генератор.

Таким образом, создание, совершенствование и эксплуатация гибридных силовых установок становятся реалиями сегодняшнего дня, а знание принципа их действия, конструкции, теории управления и других вопросов, связанных с их эксплуатацией, становится обязательным для специалистов с высшим образованием по специализации «двигатели внутреннего сгорания».

1. Современные проблемы экологии и ресурсосбережения применительно к двигателям внутреннего сгорания

Одной из основных проблем современного двигателестроения и транспорта, использующего двигатели внутреннего сгорания, является экономное расходование моторных топлив ископаемого происхождения при эксплуатации и минимизация вредного воздействия токсичных компонентов отработавших газов ДВС на окружающую среду.

В течение последних лет добыча нефти в РФ увеличивалась (408 млн. т – 2003 г., 443 млн. т – 2004 г., 470 млн. т – 2005 г., на 2006 г. рост добычи не более 3%), при этом основной ее прирост уходил на повышение объемов экспорта. Незначительно менялось в 2003–2005 гг. производство нефтепродуктов. Государство приняло решение об обнулении ввозных таможенных пошлин на оборудование для нефтеперегонных заводов, однако, пока только компания «ЛУКОЙЛ» из отечественных нефтяных компаний имеет программу модернизации своей нефтепереработки, позволяющую существенно нарастить ее объемы (производство автомобильных бензинов будет увеличено с 3 млн. т в 2005 г. до 6,6 млн. т в 2014 г.) и повысить качество продукции (в 2006–2009 гг. до стандарта «Евро-3», а в 2010–2012 гг. – до «Евро-4»).

В то же время на протяжении ряда лет имеет место устойчивый ежегодный рост количества автомобилей в нашей стране, оцениваемый в 3–5%. По данным PricewaterhouseCoopers, увеличение количества проданных автомобилей в первом полугодии 2006 г. составило 12% по сравнению с первым полугодием 2005 г. Продажи российских автомобилей выросли на 1%, иностранных марок российского производства – на 39%, импорт в страну новых автомобилей увеличился на 61%.

По данным Министерства транспорта РФ, автомобильный парк в России к началу 2000 г. составил 27,06 млн. транспортных средств, в том числе 20,12 млн. легковых автомобилей, 4,57 млн. грузовых автомобилей, 0,65 млн. автобусов и 1,72 млн. прицепов и полуприцепов. Прогнозируется, что объем продаж автомобилей в 2010 г. может превысить 2,4 млн. автомобилей, более половины из которых будут произведены в России. Ожидаемый прирост производства иностранных марок в России в 2006–2010 гг. составит около 380%. Встает вопрос, будет ли в этих условиях удовлетворен повышенный спрос на высококачественное автомобильное топливо?

Рост количества легковых автомобилей приведет к резкому увеличению потребления автомобильных бензинов высокооктановых марок. Согласно прогнозам экспертов, потребление автомобильных бензинов в России вырастет с 27 млн. т в год в 2005 г. до около 38 млн. т в год в 2015 г.

В США легковые автомобили потребляют более 1 млрд. т топлива в день. К середине нынешнего века при неизменной топливной экономичности двигателей внутреннего сгорания автомобилей эта величина удвоится и составит около 2,2 млрд. л в день. Соединенные Штаты Америки уже израсходовали половину своих запасов нефти, и другие страны мира не намного отстали – по прогнозам, мировые запасы нефти будут наполовину исчерпаны через 20–30 лет.

В отчете, подготовленном исследовательскими и аналитическими службами для Департамента энергетики США, рассматриваются возможные программы развития автомобилестроения, рассчитанных на 5–10 лет. Эти программы призваны помочь избежать угрожающей перспективы топливного кризиса и чрезмерного загрязнения атмосферы. Пять из этих программ предусматривают интенсивное внедрение на рынок автомобилей, оборудованных гибридными силовыми установками. По мнению специалистов, высокая топливная экономичность автомобильного парка, состоящего из автомобилей с гибридными силовыми установками, электромобилей и автомобилей на топливных элементах, позволит снизить расход энергии на 60–70% по сравнению с базовым показателем, а использование нефти может быть сведено практически к нулю за счет использования альтернативных видов топлива – этанола, растительных масел, биогаза и т.д. «Независимо от того, достаточно ли большие у нас запасы нефти или дешевая нефть уже на исходе, авторитетная оценка ресурсов и прогнозируемый спрос на топливо для транспортных средств подводят к выводу, что мировая транспортная система должна перейти от обычного бензина к другим источникам энергии в течение ближайших 50 лет», – пишут авторы аналитического исследования «Future U.S. Highway Energy Use».

Европейским производителям автомобилей в ближайшие годы также предстоит решить очень трудную задачу в области снижения расхода топлива и токсичности выбросов новых автомобилей. Перспективные европейские нормы токсичности ограничивают содержание CO_2 (фактически эквивалента топливной экономичности) в отработавших газах (ОГ): с 2008 г. – не более 140 г/км, а с 2012 г. – не более 120 г/км. Согласно данным ЕС, содержание CO_2 в выхлопных газах современных автомобилей составляет в среднем 163 г/км. Поэтому так остро стоит задача снижения эксплуатационного расхода топлива транспортными средствами.

Одним из эффективных средств снижения вредных выбросов является снижение массы автомобилей и повышение топливной экономичности бензиновых и дизельных двигателей. Однако наиболее перспективным направлением многие эксперты считают производство гибридных автомобилей (рис. 1.1).

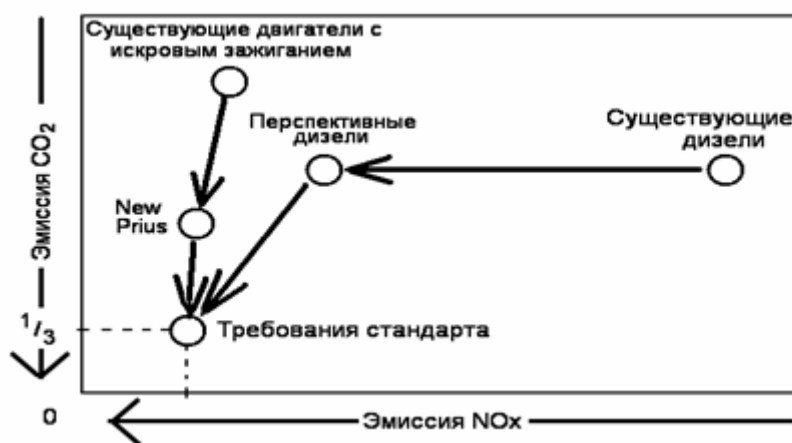


Рис. 1.1. Концепция фирмы Toyota по снижению эмиссии оксидов азота NO_x до уровня перспективных норм с одновременным снижением выбросов диоксида углерода CO_2 с ОГ примерно в три раза

В то же время с отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания в атмосферу выбрасываются токсичные и канцерогенные вещества (табл. 1.1). Величина ежегодного экологического ущерба от функционирования транспортного комплекса РФ составляет 3,4 млрд. долл. США или около 1,5% валового национального продукта России.

По сведениям Государственного Комитета РФ по охране окружающей среды, доля автомобильного транспорта в наносимом экологическом ущербе составляет 63%: в химическом загрязнении среды обитания – 95%, шумовом – 49,5%, в воздействии на климат – 68%. Например, в 1999 г. выбросы загрязняющих веществ в атмосферу автотранспортным комплексом (АТК) составили (табл. 1.2) 12190,7 тыс. т.

Таблица 1.1

Концентрация основных вредных веществ, содержащихся в отработавших газах автомобильных ДВС (млн-1 ? ppm)

Вредное вещество	Топливо		
	Дизельное	Природный газ	Бензин
Оксид углерода (СО)	200–400	10–8000	300–50000
Летучие углеводороды (аСН)	До 300	До 600 (по СН ₄)	До 10000
Альдегиды	До 20	«следы»	До 40
Оксиды азота (NO _x)	200-2000	300–800	1000-4000
Сажа, г/м ³	До 0,25	«следы»	До 0,05
Бензо(а)пирен, мкг/м ³	До 20	До 0,8	До 80
Озонообразующий потенциал*, мг/милю	До 270	До 50	До 550

* Для автомобилей с полной массой менее 3 т

Таблица 1.2

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу автотранспортом в 1999 г., тыс. т.

Территория	СО	СН	NO _x	С	SO ₂	Pb	Всего
Города, поселки	7532	1014	1342	43,6	191,8	1,4	10125
Загородные дороги	1490	253	288	3,8	30	1,6	2066
В целом по АТК	9022	1267	1630	47,4	221,8	3,0	12190

В то же время необходимо иметь в виду, что для городского жителя поступление в организм отравляющих веществ в дозах, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК), происходит в основном из воздушной среды (с вдыхаемым воздухом), а реальное неблагополучие воздушной среды в городах служит причиной негативных последствий, например, рост заболеваемости связан с увеличением численности автотранспорта (рис. 1.2).

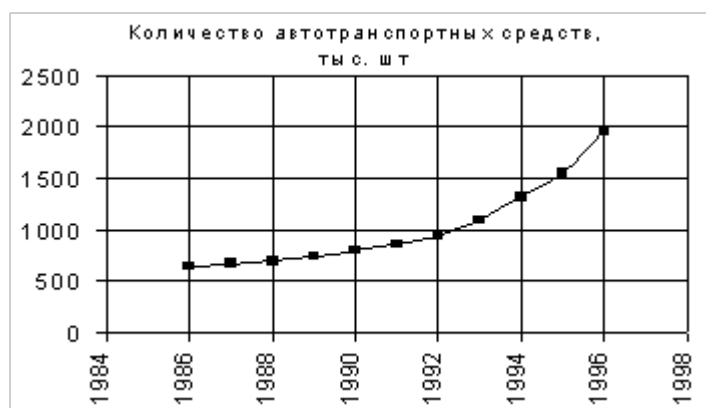


Рис. 1.2. Связь заболеваемости населения ишемической болезнью сердца с увеличением количества автотранспортных средств в Москве (по данным Центра Госсанэпиднадзора г. Москвы)

Следует отметить в этой связи, что для канцерогенных веществ (например, бенз(а)пирена), вызывающих злокачественные опухоли, не существует нижних пределов безопасности: любые их количества, превышающие природный фон, опасны для человека если не непосредственно, то генетически, в ряду последующих поколений.

Опасные последствия техногенного воздействия автотранспорта на среду обитания, с которыми столкнулись крупные города мира 30–40 лет назад и которые уже в значительной степени пережиты ими, представляют серьезную опасность для городов России. Законодательства, специально регулирующего воздействие автотранспортного комплекса на окружающую среду и здоровье населения, в РФ не существует. Отдельные аспекты обеспечения экологической безопасности автотранспортного комплекса реализуются в природоохранных Законах РФ и стандартах. В настоящее время в РФ ограничения на выбросы вредных веществ распространяются как на изготавливаемые, так и находящиеся в эксплуатации двигатели и автомобили (действует четыре отраслевых и четыре государственных стандарта).

В 1999 г. был разработан ГОСТ Р 17.2.2.06-99, регламентирующий нормы и методы измерения содержания CO и CH в ОГ газобаллонных автомобилей и принято изменение №1 в ГОСТ 17.2.2.03-87 «Нормы и методы измерений содержания окиси углерода и углеводородов в отработавших газах автомобилей с дизельными двигателями. Требования безопасности». Кроме того, принято изменение № 2 к ГОСТ 21393-75 «Автомобили с дизелями. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерений. Требования безопасности». Однако нормативы, устанавливаемые отечественными стандартами, заметно отстали от современных международных требований и сдерживают внедрение передовых природоохранных технологий.

В то же время более чем тридцатилетний опыт США, стран Европейского Сообщества, Японии по снижению негативного эффекта, связанного с эксплуатацией автотранспорта, убедительно доказывает

целесообразность управления процессом поэтапного нормирования вредных выбросов в зависимости от технологической готовности автомобилестроительных заводов к освоению известных природоохранных технологий (например, удовлетворяющих Euro – 0, 1, 2, 3, 4, - табл. 1.3).

Таблица 1.3.

Нормативные документы Европейского экономического сообщества по которым осуществляется сертификация АТС и их двигателей по выбросам загрязняющих веществ

Экологический класс нормирования	Легковые АТС	Двигатели грузовых АТС
0	Правила ЕЭК ООН 83-02А; (Euro-0)*	Правила ЕЭК ООН 49-01 (Euro-0) **
1	Правила ЕЭК ООН 83-02В (Euro-1)	Правила ЕЭК ООН 49-02А (Euro-1)
2	Правила ЕЭК ООН 83-03В, 83-04В (Euro-2)	Правила ЕЭК ООН 49-02В (Euro-2)
3	Правила ЕЭК ООН 83-05А (Euro-3)	Директива ЕС 99/96 (Euro-3)
4	Правила ЕЭК ООН 83-05В (Euro-4)	Директива ЕС 99/96 (Euro-4)

*) соответствуют Правилам ЕЭК ООН 15-04.

***) соответствуют ОСТ 37.001.070-94.

2. История создания и развития гибридных силовых установок для транспорта

Проведенные многочисленные исследования за прошедшие годы, большое количество экспериментальных и расчетно-теоретических работ позволили существенно повысить эксплуатационную топливную экономичность ДВС и сократить эмиссию токсичных компонентов с отработавшими газами за прошедшие 15–20 лет. Например, по сравнению с техническим уровнем дизеля 1988 г. современные дизели равного рабочего объема имеют крутящий момент на 100% больше, излучают меньше шума на 60%, имеют более низкую эмиссию вредных веществ на 90% и расходуют топлива на 30% меньше. Однако работа на неустановившихся режимах, как показывают результаты обобщения многочисленных экспериментальных исследований, снижает их моторесурс до 50% и увеличивает удельный расход топлива до 40% по сравнению с установившимися режимами.

В качестве примера можно привести результаты испытаний по токсичности и дымности при движении автомобиля в соответствии с Европейским испытательным циклом. На рис. 2.1 приведены данные по регистрации с помощью быстродействующего прибора массового выброса дисперсных частиц по мере прохождения цикла. Как видно из графиков, массовый выброс частиц на переходных режимах существенно непостоянен и может превышать уровень, соответствующий условно стационарному режиму работы в несколько раз.

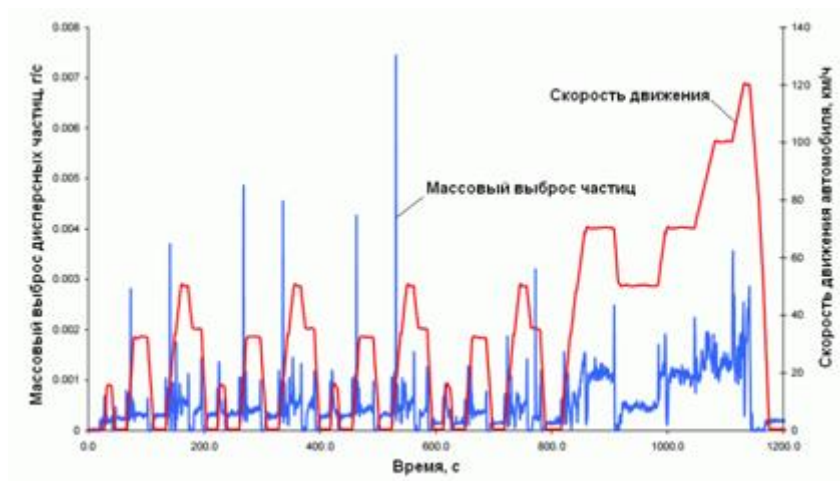


Рис. 2.1. Характер движения транспортного средства и «мгновенный» массовый выброс дисперсных частиц с отработавшими газами

Применение ДВС в составе гибридных силовых установок позволяет существенно снизить долю неустановившихся режимов работы и, как следствие, существенно снизить эмиссию вредных веществ с ОГ.

История создания и развития гибридных силовых установок для транспорта берет свое начало от «Бензоэлектрической тяги системы Вестингауза». На рис. 2.2 показан бензоэлектрический железнодорожный моторный вагон (автомоторная), производства французского Акционерного Общества «Вестингауз» в Гавре, эксплуатировавшийся в первом десятилетии XX в. Восточно-Германским Обществом железных дорог.

Фирма «Вестингауз», располагавшая к началу XX в. богатым опытом в области электрических конструкций, создала бензо-электрическую силовую установки (рис. 2.3), успешно конкурирующие с паровой тягой на железных дорогах. В качестве привода электрогенератора использовались четырехтактные бензиновые 4-цилиндровые двигатели мощностью 29 и 44 кВт и 6-цилиндровые двигатели мощностью 66 кВт при 950 мин⁻¹.



Рис. 2.2. Бензо-электрический железнодорожный моторный вагон

В качестве топлива в двигателе мог использоваться бензин, получаемый перегонкой нефти, плотностью 700–720 кг/м³ и низшей теплотой сгорания около 47 МДж/кг, бензол, получаемый из каменного угля, с плотностью 850–880 кг/м³ и низшей теплотой сгорания около 42 МДж/кг или смесь бензола с этиловым спиртом.

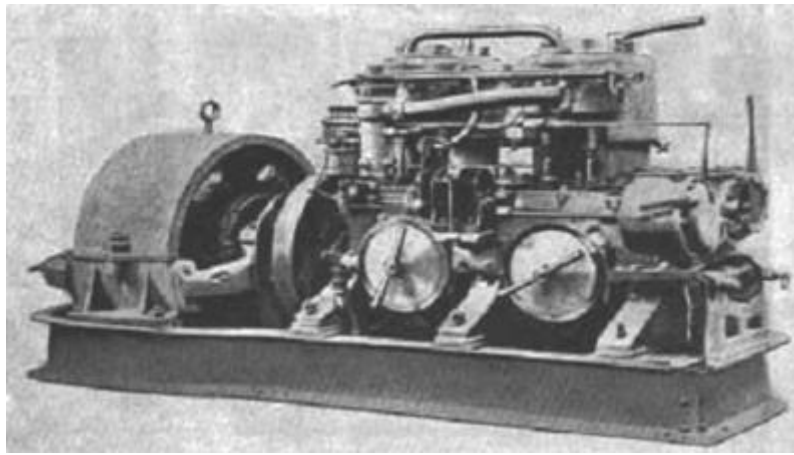


Рис. 2.3. Четырехцилиндровый бензо-электрический агрегат, мощностью 44 кВт

Генератор электрической энергии, непосредственно соединяемый с ДВС – постоянного тока компаундного типа, электродвигатели – трамвайного типа с передачей вращения на колесные пары через зубчатую передачу.

Уже в то время применение электрической передачи обосновывалось достаточно веско. Если ДВС применить в качестве непосредственного привода колес, то пришлось бы или установить его под полом вагона (при этом он был бы труднодоступен для осмотра, обслуживания и подвергался бы загрязнению) или же использовать сложную трансмиссию. Другой недостаток: двигатель не мог бы работать более, чем на одну ось (без дальнейшего значительного усложнения трансмиссии и снижения ее КПД), что снижало тяговое усилие из-за ограниченной силы сцепления колес с рельсами. Для плавного трогания с места необходимо было применять фрикционные муфты, а для изменения скорости движения – сложные коробки перемены передач, которые имеют ступенчатое переключение и вызывают ударные нагрузки в трансмиссии и двигателе, приводящие к повреждению узлов привода. Именно эти причины в дальнейшем послужили основанием для широкого применения электрической трансмиссии на тепловозах, судах, тяжелых карьерных самосвалах, промышленных тракторах и др. Однако современная концепция гибридного привода имеет одну важнейшую особенность: наличие аккумулятора энергии в системе привода.

Идея применения накопителей энергии на транспорте сама по себе не нова. Рассмотрим кратко преимущества и недостатки применения различных типов аккумуляторов энергии для этих целей.

Основной причиной того, что жидкое топливо стало базовым энергоносителем мобильных силовых установок, стала его высокая удельная энергоемкость и удобство хранения на транспортных средствах. Известные аккумулирующие энергию системы значительно проигрывают по энергоемкости жидкому топливу. Так, маховик массой 100 кг среднего диаметра $D_{\text{ср}} = 1$ м, вращающийся с частотой $n = 25000$ мин⁻¹, обладает удельной энергией

$$\bar{W}_k = \left(\frac{D_{\text{ср}} \cdot \pi \cdot n}{2 \cdot 30} \right)^2, \text{ т.е. около } 1,7 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг.}$$

Современный малогабаритный литий-ионный аккумулятор $U_a = 3,7$ В при массе около $m_a = 21$ г имеет емкость около $E_a = 700$ мА·ч, что соответствует удельной емкости

$$\bar{W}_a = U_a \cdot \frac{3600 \cdot E_a}{1000 \cdot m_a} = 0,44 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг.}$$

Современные оксидные конденсаторы, имея удельную емкость порядка $C_y = 0,1$ Ф/кг при рабочем напряжении $U_c = 350$ В могут запасать в электростатическом поле

$$\bar{W}_c = 0,5 \cdot C_y \cdot U_c^2 = 0,06 \cdot 10^6 \text{ Дж энергии на 1 кг массы.}$$

Количество природного газа при пересчете на метан удельной массой $\rho_0 = 0,717 \text{ кг/м}^3$ при нормальных условиях ($p_0 = 0,1 \text{ МПа}$) при его хранении на транспортном средстве в сжатом виде при давлении $p_b = 19,6 \text{ МПа}$ в баллоне объемом $V_b = 0,05 \text{ м}^3$ составит

$$m_{\Gamma} = \rho_0 \frac{p_b}{p_0} V_b = 6,99 \text{ кг.}$$

Приняв низшую теплоту сгорания газа по метану $H_u = 48,7 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ и массу баллона из легированной стали $m_b = 62,5 \text{ кг}$, имеем приведенное с учетом массы баллонов теплосодержание сжатого природного газа

$$\bar{H}_g = H_u \frac{m_g}{m_b + m_g} \text{ т.е. около } 4,9 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг.}$$

Расчеты по водороду дают примерно в 8 раз меньшие значения удельной энергоёмкости при хранении его в сжатом виде, в связи с низкой удельной массой H_2 .

При использовании водородоаккумулирующих систем происходит связывание водорода металлами и интерметаллидами с образованием твердых гидридов, например, интерметаллидом $LaNi_5$, образующим гидрид $LaNi_5H_6$. Это позволяет поглощать до $0,5 \text{ м}^3$ водорода на 1 кг носителя. При удельной массе водорода $H = 0,0899 \text{ кг/м}^3$ и теплоте сгорания $H_u(H) = 143 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ энергоёмкость гидридных аккумуляторов водорода составляет примерно $6,5 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$.

В то же время низшая теплота сгорания жидкого углеводородного топлива в зависимости от состава составляет порядка $(42-45) \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$. К тому же жидкое состояние топлива в эксплуатационных условиях снимает большинство технических проблем, связанных с применением сжатых горючих газов, сжиженного нефтяного газа или криогенных установок для хранения водорода.

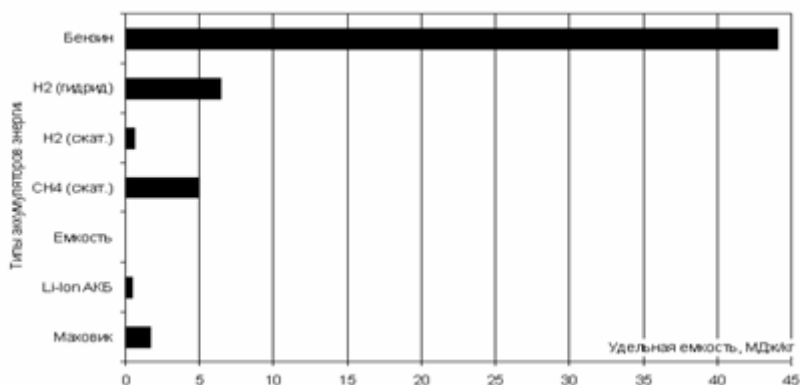


Рис. 2.4. Удельная энергоёмкость аккумуляторов энергии

На рис. 2.4 приведена номограмма, которая наглядно демонстрирует удельную энергоёмкость устройств «хранения» энергии на борту транспортного средства. Разница в физической природе явлений, используемых для накопления и расходования энергии, обуславливает и разницу в методах организации гибридных установок.

Применение маховиков в качестве рекуператоров энергии на первый взгляд кажется наиболее простым решением (механическая энергия запасается в том же виде без преобразования). Однако на практике это не так. Например, в рекуперативной системе с маховиком для автобусов фирмы «Бош» (рис. 2.5), маховик диаметром $0,5 \text{ м}$ вращается в вакуумном корпусе с частотой 12000 мин^{-1} . Он соединен с двигателем автомобиля через дифференциал и двухскоростную планетарную коробку передач. Трансмиссия включает в себя также две обратимые гидромашин, обеспечивающие бесступенчатое изменение передаточного числа, что очень важно для привода с маховиком. Мощность от двигателя передается на ведущую ось механической трансмиссией, а от маховика – гидромашинами. При достаточном запасе энергии в маховике он движет автобус вместе с двигателем; если же доля мощности маховика падает ниже 25% по сравнению с мощностью двигателя, маховик отключается и движение продолжается только двигателем.

Управление этими процессами обеспечивается микрокомпьютером. Масса стального маховика 104 кг. Но разрабатывается для этой цели супермаховик, который будет весить всего 24 кг и вращаться с частотой 28000 мин⁻¹ при том же запасе энергии (1,5 кВт·ч).

Электрические конденсаторы и аккумуляторы подразумевают наличие преобразователей энергии (механической в электрическую и обратно), что, конечно, приводит к снижению КПД, усложнению и удорожанию конструкции гибридной силовой установки. Однако современное состояние электротехники и электроники позволяет создавать компьютеризированные преобразователи энергии достаточно малой массы и стоимости, которая во многом компенсируется преимуществами автоматизированного привода с точки зрения улучшения топливной экономичности и снижения токсичности отработавших газов ДВС, входящего в состав гибридной силовой установки.

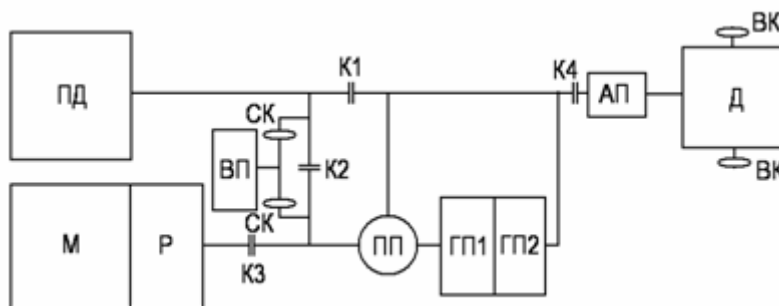


Рис. 2.5. Гибридный привод, состоящий из ДВС и маховика:

ПД – двигатель внутреннего сгорания; М – маховик;

Р – редуктор, связанный с маховиком; ВП – вспомогательный привод;

СК – свободное колесо; К1, К2, К3 и К4 – муфта; ПП – планетарная передача; ГП1, ГП2 – бесступенчатая гидростатическая передача;

АП – трансмиссия с изменяемым передаточным отношением,

Д – дифференциал; ВК – ведущее колесо

Использование химических источников энергии (горючих веществ) в обратимом цикле выделения-поглощения теплоты (сгорания – синтеза топлива за счет подвода дополнительной энергии) на борту транспортного средства до сегодняшнего дня не нашло своей практической реализации.

Таким образом, в настоящее время наиболее актуальной является концепция гибридной силовой, включающей традиционный поршневой ДВС и силовой электрический привод, содержащий аккумулятор электрической энергии. Первой современной практической реализацией подобной концепции на легковом автомобиле явилась система HSD (Hybrid Synergy Drive) – гибридного синергетического привода фирмы Toyota.

3. Классификация гибридных силовых установок

Основными требованиями к гибридной силовой установке являются следующие:

1. минимальный расход топлива при выполнении жестких ограничений на выбросы вредных веществ с отработавшими газами ДВС;
2. компромиссный выбор характеристик, определяющих комфортность, стоимость, работоспособность и др.

Мероприятия, позволяющие снизить эксплуатационный расход топлива при применении гибридных силовых установок на автомобильном транспорте, включают:

1. использование ДВС только на режимах соответствующих высокому коэффициенту полезного действия;

2. использование технологии старт-стоп, при которой ДВС останавливается при прекращении движения транспортного средства и запускается при достижении определенной скорости движения на электроприводе;
3. рекуперация энергии торможения автомобиля;
4. использование электроэнергии для силового привода автомобиля;
5. максимальное использование электроэнергии в системах автомобиля;
6. оптимальная стратегия управления потоками энергии в гибридной силовой установке;
7. применение автоматической плавно регулируемой переменной трансмиссии;
8. уменьшение рабочего объема двигателя V_h , применение прогрессивных рабочих процессов ДВС, применение дизелей в сочетании с наддувом;
9. выбор оптимального соотношения мощностей ДВС и батареи;
10. использование двигателей с управляемыми рабочими процессами;
11. возможность подзарядки батареи от внешних источников;
12. использование энергосберегающих технологий в электронных и электрических системах гибридной силовой установки.

По степени эффективности, а следовательно, сложности гибридные силовые установки условно можно разделить на несколько типов (табл. 3.1, рис. 3.1).

Таблица 3.1

Типы гибридных силовых установок

Тип системы управления	Напряжение электропривода	Факторы, определяющие эффективность			
		старт / стоп	регенерация энергии торможения	вспомогательный электропривод	тяговый электродвигатель
Обычная система	-	нет	нет	нет	да
«Микро» ГСУ(рис. 3.1, а)	14-24V	да	минимум	минимум	да
«Мягкая» ГСУ(рис. 3.1, б)	42 V	да	незначит.	незначит.	да
«Средняя» ГСУ(рис. 3.1, в)	144 V	да	да	да	да
«Полная» ГСУ(рис. 3.1, в)	200 V	да	да	да	да

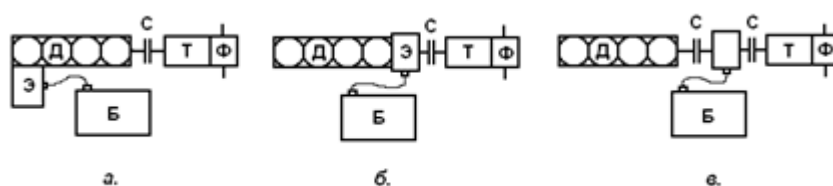


Рис.3.1. Схемы различных типов гибридных силовых установок:

д – двигатель внутреннего сгорания; э – электродвигатель/генератор;

*с – сцепление; т – коробка перемены передач;
б – аккумуляторная батарея; ф – дифференциал*

Самая простая «микро»-гибридная силовая установка (рис. 3.1, а) представляет собой несколько видоизмененную схему традиционного силового электрооборудования двигателя внутреннего сгорания. Электрический генератор связан с коленчатым валом ДВС через приводной ремень. Мощность генератора выбрана большей по сравнению со стандартным генератором, устанавливаемым на двигатели легковых автомобилей, редко превышающей 1 кВт. Отбирая мощность от ДВС, генератор заряжает стартерную батарею, которая выполняет в этом случае роль тяговой. Через блок управления, не показанный на рисунке, генератор, переводимый в режим работы электродвигателя, может «помогать» в случае необходимости ДВС, расходуя электроэнергию, запасенную в аккумуляторе. Данный тип гибридной силовой установки отличается малой эффективностью, но простота его исполнения привела к тому, что в продаже появились комплекты для самостоятельной переделки стандартного ДВС в гибридную силовую установку такого типа.

Более сложным типом гибридных силовых установок является схема приведенная на рис. 3.1, б. В этом случае электромотор/генератор устанавливается как проставка между ДВС и трансмиссией. В этом случае мощность электромотора/генератора может быть сопоставимой с мощностью ДВС, но принципиальных отличий между схемами а и б нет. В том и другом случае при движении на электотяге или рекуперации энергии торможения часть энергии бесполезно расходуется на вращение ДВС.

Наибольшей эффективностью обладает схема, показанная на рис. 3.1, в, которая позволяет электромотору/генератору иметь связь с колесами при отключенном от трансмиссии двигателе внутреннего сгорания.

Реальные схемы гибридных силовых установок современных автомобилей, как правило, сложнее: применяются распределители энергетических потоков, выполненные в виде планетарных передач, несколько генераторов и силовых электромоторов и т.п., что в конечном счете определяет столь высокую эффективность автомобилей с гибридными силовыми установками.

Гибридные приводы, использующие комбинацию двигателя внутреннего сгорания и электрического привода могут создаваться по схемам параллельного и последовательного соединения.

При последовательном подключении источников энергии (series hybrid, рис. 3.2), ДВС вращает генератор, который может или заряжать батарею и/или приводить электрический двигатель, передающий крутящий момент в трансмиссию. Так как двигатель внутреннего сгорания при последовательном соединении механически не связан с трансмиссией транспортного средства, возможна его работа при постоянной частоте вращения вблизи оптимальных значений КПД и минимальных выбросов токсичных компонентов. Однако при реализации этой схемы происходит многократное преобразование всего потока энергии, поэтому общий КПД передачи мощности от ДВС к колесам транспортного средства редко превышает для последовательной схемы 55%.

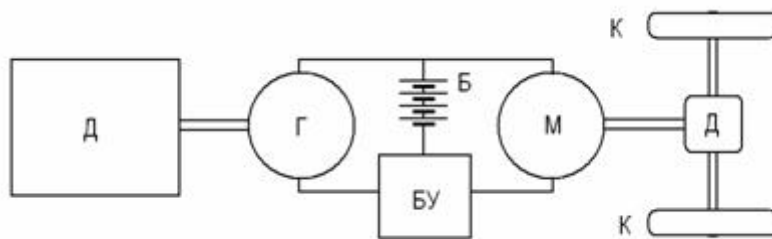


Рис. 3.2. Схема гибридного привода с последовательным соединением:

*Д – двигатель внутреннего сгорания;
Г – электрогенератор; М – электромотор; БУ – блок управления;
Б – батарея; Д – дифференциал; К – ведущее колесо*

Однако эта схема (без силового аккумулятора электрической энергии) получила широкое распространение (рис. 3.3).

Так, некоторые типы тяговых агрегатов поездов также принято считать дизель-электрическими гибридами, работающими на топливе и электричестве. В то же время некоторые виды железнодорожного транспорта относят к этой категории средств передвижения, так как в них используется электрическая коробка передач, как и мощных карьерных грузовиках. В этом случае причина перехода «на электричество» – сложность передачи крутящего момента на колеса большой и очень тяжелой движущей установки. К числу гибридов подобного типа можно отнести и подводные лодки как классические дизель-электрические, так и с атомными силовыми установками.

При параллельном соединении источников энергии (parallel hybrid, рис. 3.4) двигатель внутреннего сгорания может передавать крутящий момент на колеса транспортного средства практически с таким же КПД, как и в классическом автомобиле.



Рис. 3.3. Применение дизель-электрических силовых установок на транспорте

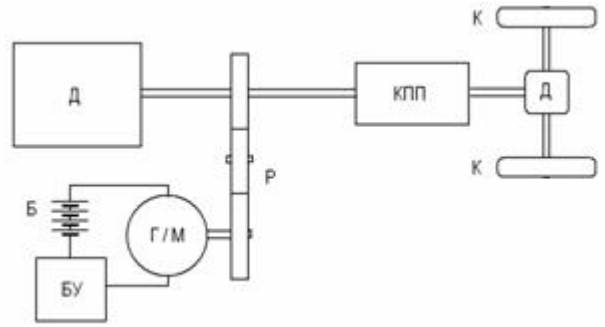


Рис. 3.4. Схема гибридного привода с параллельным соединением:

Д – двигатель внутреннего сгорания; Г / М – электрогенератор / электромотор; БУ – блок управления; Р – редуктор; Б – батарея; КПП – коробка перемены передач; Д – дифференциал; К – ведущее колесо

Электрический привод может дополнять ДВС при пиковых нагрузках и использовать избыток энергии для подзаряда аккумулятора. Стремительный рост цен на нефть и газ в 1970-х гг. заставил разработчиков и потребителей вновь обратиться к уже практически забытым мечтам конструкторов создать экономичное и универсальное средство передвижения. В этот период на улицах Западной Германии

появился знаменитый концепт: европейские гибриды VW Taxi производства Volkswagen, который имел гибридную силовую установку с параллельной схемой включения бензинового двигателя и электромотора.

Более гибкая схема гибридного привода показана на рис. 3.5. При реализации такой схемы возникают очень широкие возможности для организации различных путей движения энергетических потоков, что позволяет достичь высокой топливной экономичности при низкой токсичности отработавших газов ДВС.

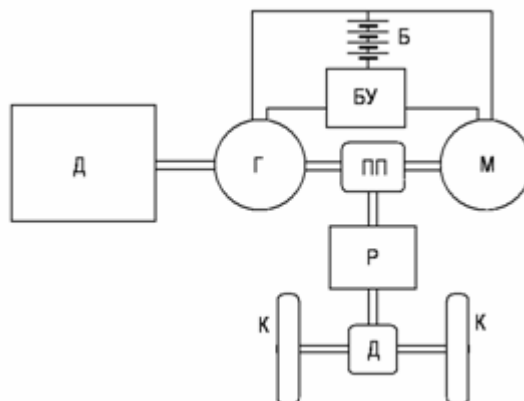


Рис. 3.5. Схема гибридного привода с дифференциальным соединением:

*Д – двигатель внутреннего сгорания; Г – электрогенератор;
 М – электромотор; БУ – блок управления; ПП – планетарная передача;
 Р – редуктор; Б – батарея; Д – дифференциал; К – ведущее колесо*

4. ОСНОВНЫЕ СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ АВТОМОБИЛЯ

На рис. 4.1. показано, как может циркулировать энергия в контуре гибридной силовой установки автомобиля.

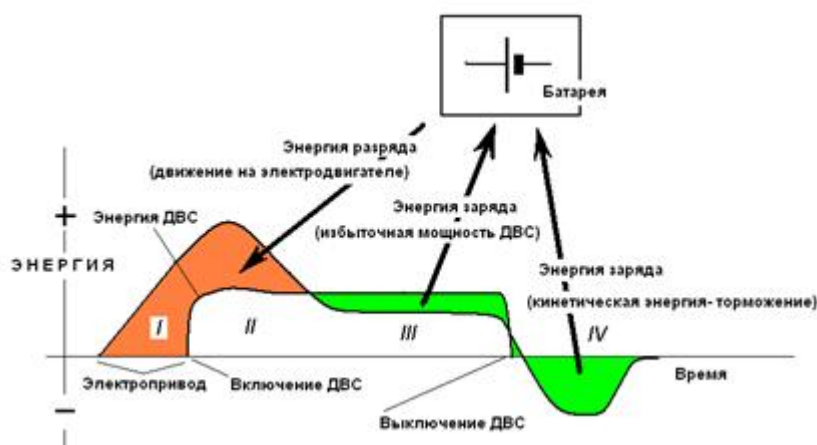


Рис. 4.1. Различные варианты работы гибридной силовой установки автомобиля

При трогании с места автомобиль может двигаться на электротяге (зона I), расходуя накопленную ранее электроэнергию в аккумуляторе. Например, автобус может отходить от остановки, не выбрасывая на остающихся на ней пассажиров облако отработавших газов. По мере набора скорости

потребная для движения с заданным ускорением энергия растет и запускается ДВС. Совместная работа двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя приводит к быстрому разгону транспортного средства до требуемой скорости (зона II). При равномерном движении на крейсерской скорости требуется меньше затраты энергии (зона III) и часть мощности двигателя идет на вращение мотор-генератора, который, в свою очередь, заряжает аккумуляторную батарею. При торможении (зона IV), для исключения неэффективного расхода топлива двигатель внутреннего сгорания может быть заглушен, а само торможение может осуществляться путем преобразования тормозных моментов на колесах транспортного средства генератором в электроэнергию, подзаряжающую аккумулятор.

На рис. 4.2 показаны характерные участки движения в соответствии с европейским испытательным циклом и зоны, в которых гибридная силовая установка работает в определенных режимах.



Рис. 4.2. Характерные зоны работы гибридной силовой установки

Испытательный цикл построен на основе обработки статистических данных по распределению режимов силовой установки транспортного средства при его движении в характерных условиях эксплуатации. Европейский ездовой цикл имеет два участка. Первый участок характеризует типичное движение транспортного средства в условиях городской езды: невысокая скорость движения, постоянные ускорения и замедления автомобиля, стоянки перед светофорами. Второй участок – движение автомобиля в условиях загородной езды: более высокие скорости движения и большая доля режимов движения с постоянной скоростью.

При городском движении одной из характерных особенностей является движение с малой скоростью на коротких участках. Такое перемещение автомобиль с гибридной силовой установкой может осуществлять только на электроприводе, не расходуя топливо и не выбрасывая в атмосферу вредные вещества с отработавшими газами (см. рис. 4.2.).

Большую часть времени автомобиль в крупном городе проводит стоя у светофоров и в автомобильных пробках. Автоматическое глушение двигателя с последующим его запуском позволяет экономить топливо и снизить концентрацию вредных веществ в местах массового скопления транспортных средств (см. рис. 4.2.).

При частых замедлениях автомобиля, характерных для городской езды, кинетическая энергия транспортного средства с гибридной силовой установкой рекуперирована (см. рис. 4.2.), т.е. возвращается в виде электроэнергии, подзаряжающей силовую аккумулятор автомобиля.

Обеспечить более высокую динамику разгона при движении автомобиля на высоких скоростях позволяет совместная работа ДВС и электропривода (см. рис. 4.2.).

Таким образом, гибридная силовая установка позволяет более рационально использовать топливо и снизить выбросы вредных веществ с отработавшими газами ДВС.

5. Современные конструкции и характеристики элементов гибридного привода

Современные тенденции развития мирового рынка батарей, представленные в табл. 5.1, показывают значительный рост выпуска батарей для гибридных силовых установок с одновременным снижением их стоимости. Ожидается, что свинцово-кислотные, щелочные, литиево-ионные и некоторые другие аккумуляторы в течение следующих 10 лет уступят место цинко-воздушным и литиево-полимерным батареям, имеющим более высокие удельные показатели.

Таблица 5.1

Тенденции развития мирового рынка батарей 2000/2010 гг.

Область применения	Количество батарей	Объем продаж, кВт·часах	Объем продаж, тыс. долл. США	Стоимость Вт·часа, долл. США
Электромобили	340000 / 100000	50000 / 1500000	58000 / 900000	1,16 / 0,6
Гибридные СУ	5340000 / 1500000	40000 / 1800000	50000 / 1080000	1,19 / 0,6
Автомобильные батареи	266020000 / 271340400	89380000 / 109000000	8258000 / 9806000	0,09 / 0,09

Рассмотрение современных конструкций и характеристик составляющих элементов гибридного привода начнем с накопителей энергии – аккумуляторов (кислотных, никель-кадмиевых, литий-ионных, литий-полимерных и др.), ориентированных на применение в качестве силовых на электротранспорте (табл. 5.2).

С экономической точки зрения свинцово-кислотные аккумуляторные батареи на сегодняшний день являются основным типом источника энергии на электрокарах и электромобилях. Хотя в основном конструкция свинцово-кислотной батареи, применяемой в качестве источника питания электромобиля, аналогична конструкции стартерной батареи, состав используемых материалов и конструкция элементов батареи электромобиля приспособлены для создания тяговых усилий. Применяемые на электрокарах, эти батареи представляют собой, в основном, комбинацию отдельных гальванических элементов; в то же время электромобили в значительной мере приспособлены для использования батарей модульной конструкции (на основе трех или шести элементов в модуле), обладающих высокой плотностью энергии.

Таблица 5.2

**Характеристики аккумуляторных батарей
(время разряда – 2 ч, время заряда – 8 ч)**

Параметр	Свинцово-кислотные	Никель-кадмиевые	Натриевые батареи	Литиевые батареи
Напряжение элемента, В	2	1,2	2–2,5	3,5
Плотность энергии, Вт ч/кг	25–30	50–80	90–100	100
Коэффициент	70–85%	60–86%	80–90%	85–90%

использования энергии без нагрева				
Срок службы, циклы заряд-разряд	600–900	1000–2000	1000	> 1000
Необслуживаемая	Да	зависит от модификации	Да	Да
Рабочая температура, °С	0–55	- 20–56	300–380	- 20–60

Электрокары обычно работают с использованием свинцово-кислотных батарей с жидким электролитом, в который необходимо регулярно добавлять воду до установленной отметки. Значительная трудоемкость обслуживания таких батарей делает невозможным их применение в гибридных автомобилях. Поэтому так называемые «необслуживаемые» батареи с постоянно залитым в них электролитом становятся стандартным оборудованием для электромобилей.

Мировая практика показывает, что транспортные средства, оснащенные свинцово-кислотными батареями и работающие в городских условиях, имеют реальный пробег между подзарядками равный 50–70 км. Значительно больший пробег может быть получен при дополнительной подзарядке батарей во время стоянок электромобиля или их эксплуатации в составе гибридной силовой установки.

Из-за характера химических реакций, происходящих в электролите свинцово-кислотной батареи, ее емкость изменяется в зависимости от времени разряда. В качестве примера можно заметить, что уменьшение времени разряда батареи наполовину ведет к снижению ее емкости приблизительно на 20%. Получение 100-процентной номинальной емкости батареи достижимо только за определенное число разрядов.

Батареи, используемые на электрокарах, имеют срок службы порядка 7–8 лет при 1200–1500 циклах заряда-разряда. Опыт эксплуатации электромобилей показал, что долговечность батарей может достигать пять лет и около 700 зарядно-разрядных циклов. В действительности свинцово-кислотные батареи на электромобилях при нормальной эксплуатации на дорогах более одного года не работают. Такое снижение срока службы может быть следствием значительно более высоких удельных нагрузок, которым батареи подвергаются при глубоком разряде. Сравнительная величина времени разряда таких же батарей при их эксплуатации на электрокарах составляет 7–8 ч.

Другим, более перспективным типом аккумуляторов для применения в гибридных силовых установках являются никель-кадмиевые аккумуляторные батареи с щелочным электролитом, получившие широкое распространение в электрооборудовании общецелевого назначения. В то время как эти батареи применяются в герметизированных конструкциях, открытые никель-кадмиевые элементы распространены для питания тяговых электродвигателей.

Применение низковольтных элементов напряжением 1,2 В означает, что никель-кадмиевая батарея должна содержать относительно большое количество конструктивных элементов. Анализ показывает, что срок службы никель-кадмиевой батареи может быть увеличен до 10 лет и 2000 зарядно-разрядных циклов, хотя испытаниями реальных электромобилей это пока не подтверждено. Более высокая стоимость этой батареи, связанная с использованием относительно дорогих материалов, и усложненная технология ее производства могут быть компенсированы долговечностью, которая намного выше, чем у свинцово-кислотной батареи. Как открытая, так и герметично закрытая никель-кадмиевая батареи, предназначенные для электромобилей, должны охлаждаться, а при температурах ниже -20 °С подогреваться. Заявленная емкость батареи фактически не зависит от времени разряда.

Более высокая плотность энергии в щелочных батареях позволяет использовать их для увеличения полезной нагрузки и радиуса действия электромобиля. Так, при установке никель-кадмиевой батареи на электромобиль запас хода между подзарядками возрастает до 80–100 км.

Весьма перспективной является никель-водородная батарея, где кадмий заменен водородом, который заполняет металлические секции. Металл-никелевая гидридная батарея сочетает в себе высокое значение плотности энергии с еще более высокой по сравнению с никель-кадмиевой батареей долговечностью. Так как батареи на основе никеля также обладают высокой удельной энергией, они особенно интересны для применения на автомобилях с гибридным приводом (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Металл-никелевая гидридная батарея для гибридного автомобиля

Еще одним типом аккумуляторов являются натриевые батареи. В натрий-никель-хлоридной и натрий-сульфидной батареях электролит состоит из ионо-проводящего алюминиево-керамического элемента. Электроды, твердые при комнатной температуре, для осуществления химической реакции должны перейти в жидкую фазу. Нормальные рабочие температуры для обоих типов указанных батарей находятся в пределах 300 °С, хотя натрий-никель-хлоридная батарея может работать при более низких температурах, чем натрий-сульфидная. Для поддержания тепловых потерь в приемлемых пределах необходимо создавать повышенную теплоизоляцию. Батареи обоих типов состоят из большого числа отдельных элементов. В отличие от других батарей в батареях данного типа можно соединять отдельные элементы как последовательно, так и параллельно. Так как дефектные элементы остаются электропроводящими, все элементы натрий-никель-хлоридной батареи могут быть соединены между собой последовательно. Дефектные элементы в натрий-сульфидной батарее приводят к скачку сопротивления. Оба типа батарей являются газонепроницаемыми и необслуживаемыми. Пригодность обеих батарей для использования на электромобилях доказана испытаниями. Батареи на основе натрия могут применяться на электромобилях с запасом хода между подзарядками, превышающим 100 км.

Наиболее перспективными аккумуляторами для гибридных автомобилей являются литиевые батареи (литий-ионные и литий-полимерные), обладающие приблизительно таким же показателем плотности энергии, как и натриевые. Элементы литиевой батареи могут использоваться при температуре окружающего воздуха. Напряжение каждого элемента у этой батареи (3,5 В) также выше. В настоящее время стоимость литиевых батарей наиболее высокая, но по мере роста их производства и совершенствования технологии изготовления, вероятно, они станут основным типом аккумуляторов в гибридных силовых установках.

Привод электромобиля содержит электродвигатель, электрическое соединение которого с батареей осуществляется через электронное устройство управления, служащее для передачи командных сигналов к электродвигателю и для изменения тока и напряжения.

Разница между электроприводом и двигателем внутреннего сгорания заключается в необходимости делать различие между кратковременным и долговременным режимами работы. Величина получаемой от электродвигателя максимальной мощности за короткий промежуток времени определяется

предельной мощностью, вырабатываемой батареей, в то время как выбор долговременного режима работы электродвигателя базируется на возможности поддержания мощности лишь в определенных пределах, ограниченных ростом температуры электродвигателя. Такая отличительная особенность электропривода характерна для большинства систем, в которых используются батареи. В зависимости от типа применяемого привода мощности при кратко- и долговременных режимах отличаются в 1,5–3,0 раза.

Электрические двигатели для привода могут быть различных типов. Рассмотрим преимущества и недостатки наиболее распространенных из них.

Привод с серийным (последовательного возбуждения) двигателем постоянного тока показан на рис. 5.2, *a*. При работе такого двигателя тиристорный или транзисторный блок управления направляет ток от аккумуляторной батареи к электродвигателю в виде импульсов переменной длительности и/или времени подачи серии импульсов, что позволяет регулировать напряжение на электродвигателе с целью получения требуемой величины мощности двигателя. Для рекуперации энергии при торможении контроллер должен работать в режиме прерывателя. Так как обмотки возбуждения электродвигателя и якоря соединены последовательно, повышение частоты вращения электродвигателя приводит к снижению мощности пропорционально квадрату числа оборотов вала в минуту. Это означает, что для дорожных электромобилей необходима трансмиссия с несколькими передаточными отношениями.

Благодаря простоте конструкции и низкой стоимости двигатели последовательного возбуждения применяются в транспортных средствах промышленного использования, несмотря на относительно низкий КПД привода. Невысокие значения максимальных скоростей этих транспортных средств позволяют использовать на них трансмиссии с одним постоянным передаточным отношением.

При приводе с двигателем постоянного тока с независимым возбуждением (рис. 5.2, *b*) ток в цепи возбуждения электродвигателя регулируется собственным контроллером (реостатом возбуждения). В зависимости от размеров электродвигателя магнитное поле возбуждения ослабляется в отношении от 1:3 до 1:4. Для получения больших частот вращения ток в обмотке возбуждения уменьшается, поскольку номинальная частота вращения вала электродвигателя обеспечивается при максимальном напряжении на якоре и токе возбуждения. Во время начального ускорения при максимальном токе возбуждения электронное устройство, контролирующее работу якоря, ограничивает ток, поступающий к электродвигателю. Это устройство продолжает работать до тех пор, пока частота вращения вала электродвигателя не достигнет своего номинального значения при максимальном напряжении, прикладываемом к якору. При ослабленном магнитном поле относительно постоянное значение выходной мощности можно поддерживать, изменяя величину силы тока в якоре.

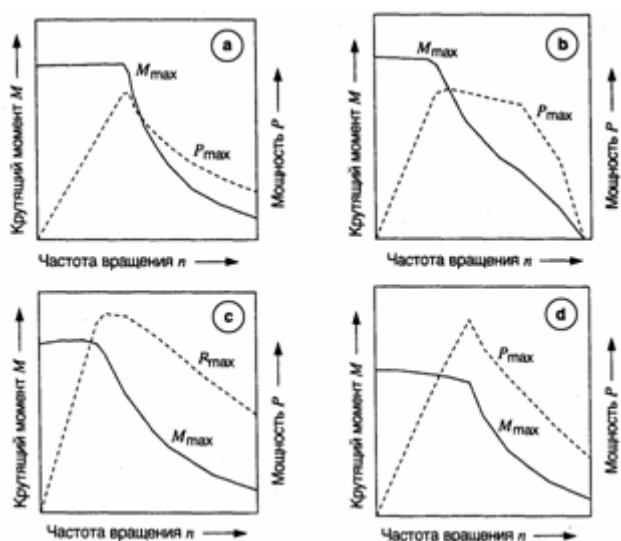


Рис. 5.2. Крутящий момент и мощность различных типов электродвигателей в функции частоты вращения:

a – двигатель последовательного возбуждения;

b – двигатель с независимым возбуждением; *c* – асинхронный двигатель; *d* – синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов

При уменьшении тока возбуждения возникают проблемы, связанные с коммутацией. Для улучшения коммутации в таких двигателях устанавливают дополнительные полюса, поэтому такая схема отчасти является более сложной, чем схема с использованием серийного двигателя. Этот тип привода часто применяется совместно с многоступенчатыми передачами для уменьшения стоимости и массы электродвигателя. Высокоэффективная рекуперация энергии при торможении достигается и без использования дополнительных приспособлений.

Асинхронные электродвигатели (рис. 5.2, *c*) характеризуются наибольшей простотой конструкции и наименьшей стоимостью, хотя при использовании трехфазного тока необходимо применять более сложные системы управления, чем при использовании постоянного тока. Как и у электродвигателя постоянного тока с независимым возбуждением, здесь также возможна работа при пониженном токе возбуждения. Отпадает необходимость в щеточно-коллекторном узле, что позволяет достигать частоты вращения до 20000 мин⁻¹ без изменения конструкции двигателя. Это дает возможность применять одноступенчатую трансмиссию даже на дорожных автомобилях. С высокой степенью эффективности можно осуществлять рекуперацию энергии торможения электромобиля.

Привод с использованием синхронного электродвигателя с возбуждением от постоянных магнитов (рис. 5.2, *d*) является наиболее перспективным. В электродвигателе используются постоянные магниты для генерирования полей возбуждения, обеспечивающих поддержание высокой эффективности работы в диапазоне неполной нагрузки. Магниты из редкоземельных элементов (материалов с микромагнитными полями), обладающие высокой плотностью энергии, делают возможным получение больших крутящих моментов от компактных электродвигателей. В то же время такие магниты делают электродвигатели сравнительно дорогими. Кроме того, при использовании этого типа электродвигателей работа в условиях ослабленного магнитного поля невозможна. Синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов имеет наибольший КПД из всех типов электродвигателей (рис. 5.3). Управление двигателем со стороны статора позволяет получить фактически постоянную мощность в широком диапазоне работы двигателя. Однако достичь таких же значений диапазонов скоростей вращения, как и в случае применения асинхронного двигателя, не представляется возможным.

Все электрические машины являются обратимыми и могут работать как в качестве двигателя, так и в качестве генератора, что позволяет рекуперировать энергию при движении автомобиля.

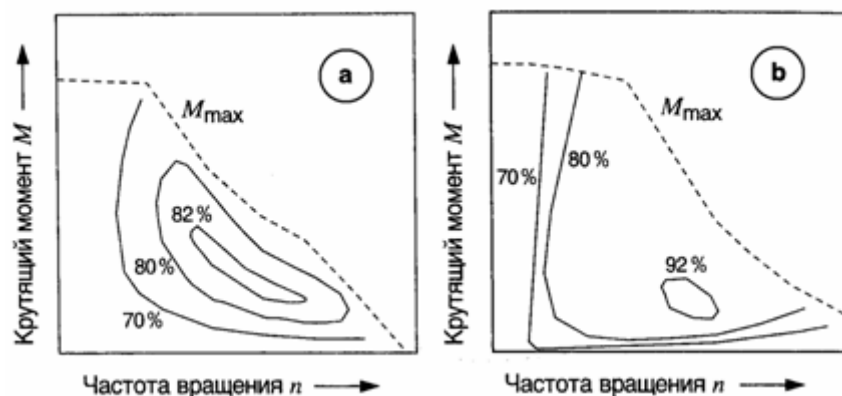


Рис. 5.3. Значения КПД для различных типов электродвигателей:

a – постоянного тока с независимым возбуждением;

b – синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов

Современные электродвигатели-генераторы, применяющиеся в гибридных силовых установках, являются электрическими машинами переменного тока, и для их согласования с аккумуляторной батареей требуются специальные электронные устройства, которые преобразуют постоянное напряжение в переменное и наоборот, при этом они осуществляют управление передаваемой мощностью.

Переменное напряжение преобразуется в постоянное с помощью многофазных выпрямителей. Принцип действия схем двухполупериодного выпрямления показан на рис. 5.4. В первый полупериод напряжения $u_2(t)$ открыты диоды 1 и 4 и на нагрузке создается напряжение $u_H = u_2$. Во второй полупериод открыты диоды 2 и 3: на нагрузке создается напряжение $u_H = -u_2$, т.е. того же направления, что и в первый полупериод. При этом возрастает среднее значение напряжения на нагрузке по сравнению с однополупериодным выпрямлением, а пульсации уменьшаются.

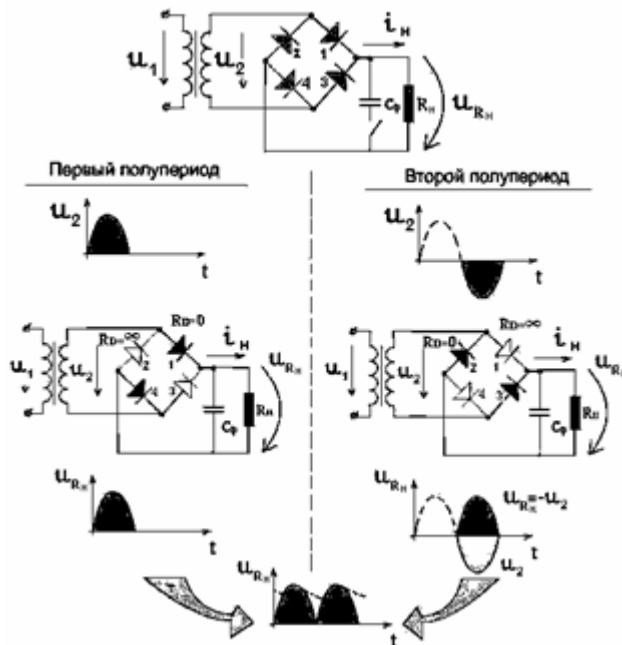


Рис. 5.4. Мостовая схема выпрямителя

Для преобразования постоянного напряжения в переменное используются так называемые инверторы, состоящие из источника постоянного напряжения, быстродействующего электронного силового выключателя – тиристора – и системы управления включением и выключением этого тиристора.

Импульсные преобразователи постоянного напряжения (ИППН) регулируют выходное напряжение (напряжение на нагрузке) путем изменения времени подачи напряжения на нагрузку. Чаще всего применяют широтно-импульсный (ШИР) и частотно-импульсный (ЧИР) способы регулирования. При широтно-импульсном способе (рис. 5.5, а) выходное напряжение ($U_{нсп}$) регулируют изменением длительности импульсов t_u , открывающих тиристор, при неизменном периоде их следования T . Тогда среднее значение выходного напряжения преобразователя будет определяться по формуле $U_{нсп} = (t_u / T) \cdot U_0$. Следовательно, выходное напряжение регулируют от нуля при $t_u = 0$ до U_0 при $t_u = T$.

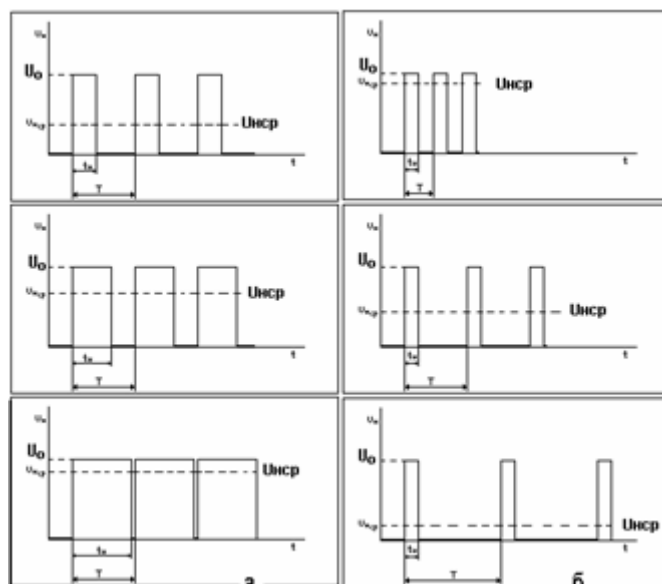


Рис. 5.5. Широтно-импульсное (а) и частотно-импульсное (б) регулирование

Частотно-импульсное регулирование – это регулирование напряжения на нагрузке с помощью изменения периода ($T = var$) следования импульсов, управляющих открытием тиристора; при этом длительность этих импульсов постоянна ($t\tau = const$). Очевидно, чем больше период T , тем меньше $U_{нсп}$.

В основе принципа действия инвертора лежит способность тиристора замыкать и размыкать силовую цепь, в которую он включен, при подаче импульсов значительно меньшей мощности на его управляющий электрод. Простейшая схема включения тиристора для осуществления инвертирования представлена на рис. 5.6.

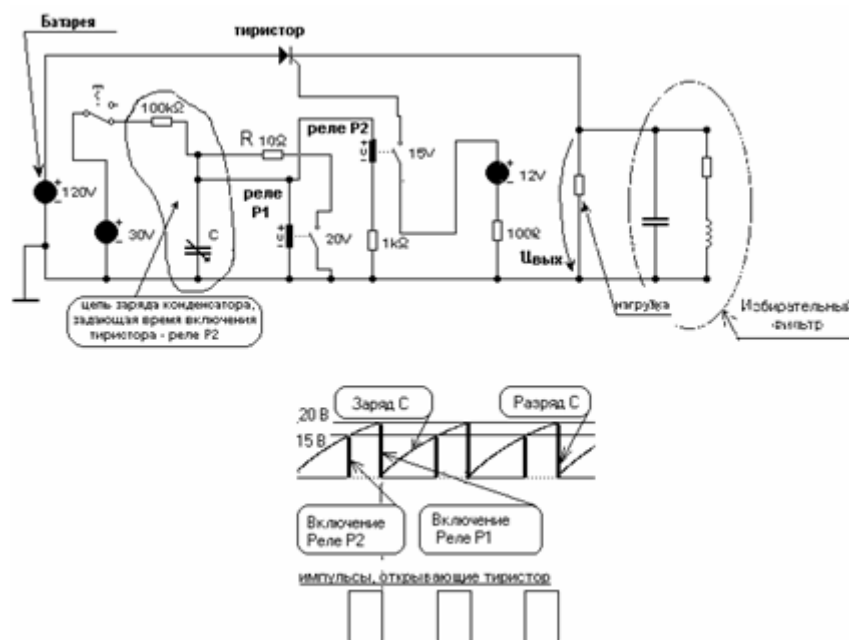


Рис. 5.6. Простейшая схема и принцип работы инвертора

Конденсатор C заряжается от источника тока напряжением 30 В через сопротивление 100 кОм. При достижении напряжения на конденсаторе C – 20 В реле $P1$ замыкается и происходит быстрый разряд конденсатора C через резистор сопротивлением 10 Ом. Реле $P2$ размыкает контакты, и тиристор запирается.

Далее процесс заряда-разряда конденсатора C периодически повторяется. В результате в нагрузке появляется импульсное напряжение, сглаживаемое фильтром в близкое к синусоидальному.

Конечно, реальные схемы управления гибридной силовой установкой намного сложнее, все процессы контролирует бортовой компьютер, а стратегия управления постоянно совершенствуется.

6. Особенности эксплуатационных режимов работы установок с ДВС

Особенностью работы силовых установок на транспорте является непостоянство потребляемой от них мощности и необходимость постоянного изменения частоты вращения. Даже в тех условиях, когда, кажется, что нет никакой необходимости и причин изменения нагрузочно-скоростного режима работы силовой установки, например, при движении автомобиля по ровному асфальтированному шоссе с постоянной скоростью, режимометрирующая аппаратура фиксирует флуктуации угловой частоты вращения коленчатого вала двигателя, крутящего момента, развиваемого двигателем и положения рейки топливного насоса (рис. 6.1). Это связано с воздействием малозаметных дестабилизирующих факторов: порывов ветра, незначительных уклонов дорожного покрытия, неоднородности дорожного покрытия и т.п. Таким образом, двигатель транспортного средства даже в условиях стационарной работы транспортного средства работает на неустановившихся режимах. Этот факт нашел свое отражение в специальных циклах для испытаний ДВС.

На рис. 6.2 приведена схема переходного цикла, применяемого для проведения испытаний по оценке выбросов газообразных вредных выбросов и выброса дисперсных частиц грузовых автомобилей в условиях, воспроизводящих реальную смену режимов при движении автомобиля по дороге.

В действительности не только транспортные силовые установки, но и двигатели других типов машин работают в условиях постоянно меняющихся нагрузок и частот вращения.

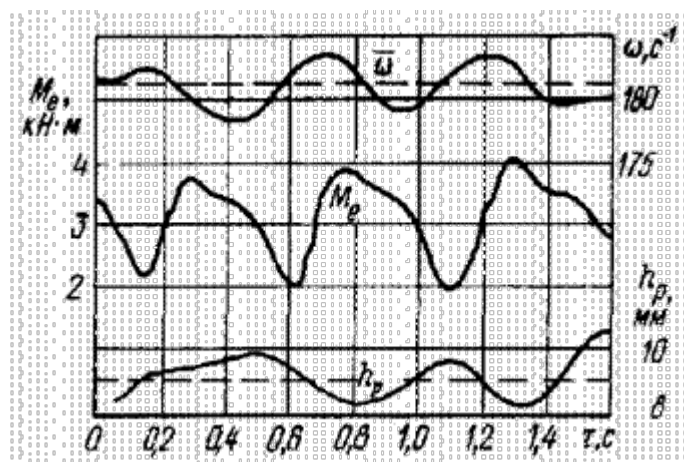


Рис. 6.1. Изменение режима работы двигателя грузового автомобиля при движении его по ровному асфальтированному шоссе:

ω – угловая частота вращения коленчатого вала двигателя;

M_e – крутящий момент, развиваемый двигателем;

h_p – положение рейки топливного насоса

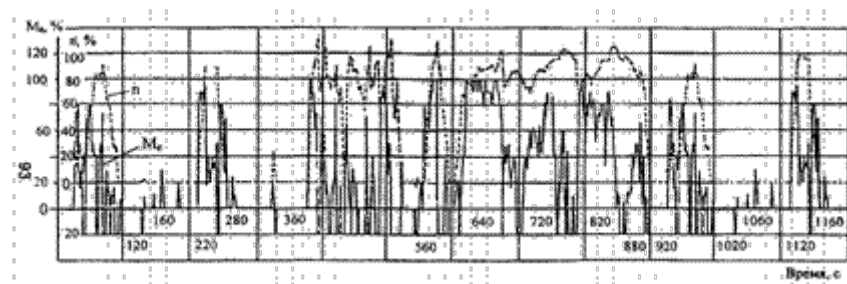


Рис. 6.2. Переходный цикл США (The Transient Cycle)

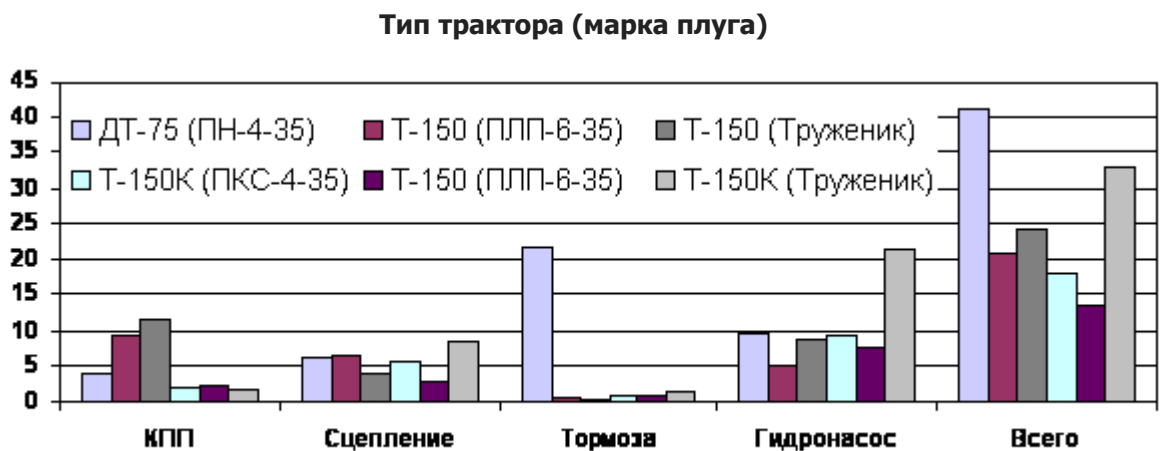
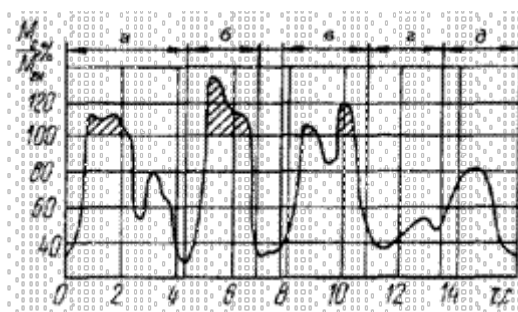


Рис. 6.3. Количество включений механизмов тракторов, агрегатированных различными марками плугов, при пахоте в течении часа

На рис. 6.3 приведена номограмма подключения различных вспомогательных агрегатов при выполнении пахоты сельскохозяйственными тракторами, на рис. 6.4 – графики загрузки строительно-дорожной техники, на рис. 6.5 – загрузка дизеля тепловоза ведущего грузовой состав, на рис. 6.6 – относительное время работы силовой установки судна на различных режимах.



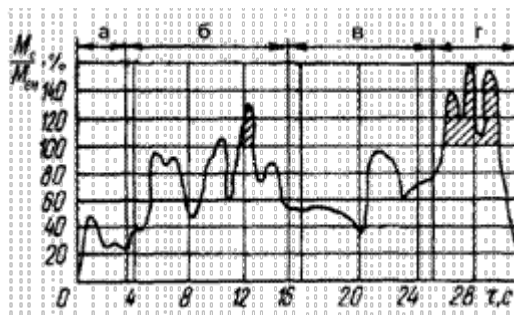


Рис. 6.4. Диаграмма нагрузок двигателя за рабочий цикл одноковшового экскаватора с механическим приводом:

(вверху): а – копание; б – разгон платформы с груженым ковшом; в – равномерное вращение платформы с груженым ковшом; г – разгон с порожним ковшом; д – равномерное вращение с порожним ковшом; е – торможение платформы с порожним ковшом и нагрузок двигателя гусеничного бульдозера за рабочий цикл при разработке траншеи;

(внизу): а – трогание с места; б – срезание и перемещение грунта; в – перемещение грунта; г – выезд на кавальер и отсыпка грунта

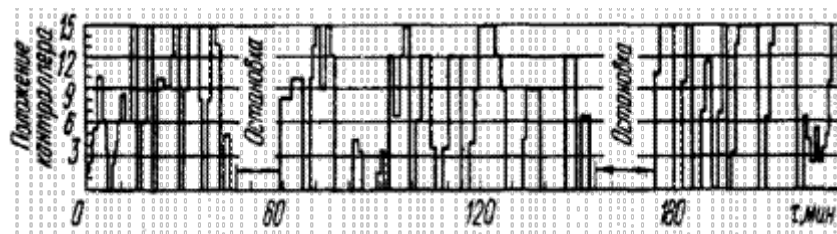


Рис. 6.5. Загрузка магистрального тепловоза грузового состава

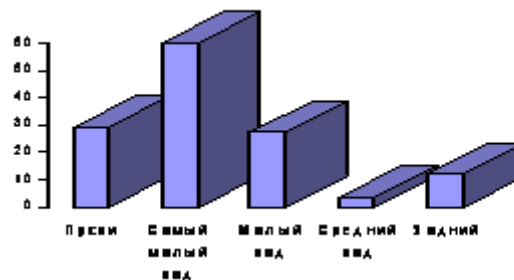


Рис. 6.6. Распределение режимов работы буксира в порту

Как уже указывалось выше, работа двигателя внутреннего сгорания на неустановившихся режимах работы приводит к увеличению эксплуатационного расхода топлива и увеличению выбросов вредных веществ по сравнению с соответствующими установившимися режимами работы.

Причины ухудшения параметров двигателей внутреннего сгорания при их работе в широком диапазоне нагрузочно-скоростных режимов, в том числе, и на неустановившихся режимах, можно классифицировать следующим образом:

- потери, связанные с переходными процессами в системах и агрегатах двигателя, приводящие к рассогласованию их характеристик. Например, несоответствие теплового состояния двигателя данному режиму работы;

- отклонение от режимов с наивысшим эффективным КПД (наивысшей удельной топливной экономичностью) и наименьшим удельным выбросом вредных веществ.

Использование ДВС в составе гибридных силовых установок позволяет снизить негативный экологический и топливно-экономический эффект влияния изменения в широких пределах нагрузочно-скоростных режимов работы двигателя, связанных со спецификой их работы на транспорте и в других сферах хозяйственной деятельности.

Рассмотрим причины снижения эффективности бензиновых ДВС легковых автомобилей. почти в каждом бензиновом автомобиле двигатель имеет рабочий цикл, по своим параметрам близкий к теоретическому термодинамическому циклу с подводом теплоты при постоянном объеме (в положении поршня в верхней мертвой точке), часто называемому «цикл Отто». Работа таких двигателей характеризуется четырьмя тактами: 1) впуском свежей топливо-воздушной смеси; 2) ее предварительным сжатием; 3) сгоранием (рабочим ходом); 4) выпуском – с открытием и закрытием клапанов близко к концам тактов. Преимущества цикла Отто – высокая термодинамическая эффективность (преобразование высвобождаемой при сгорании топлива энергии в механическую работу), хорошие удельные массовые и габаритные характеристики и надежность из-за относительно простого устройства. Большинство усовершенствований при использовании цикла Отто производилось с целью увеличения эффективности и сокращения выброса вредных веществ. При этом, как правило, неизбежно снижаются массовые и габаритные показатели и надежность, однако в силу указанных преимуществ цикл Отто продолжает широко использоваться в двигателях для легковых автомобилей.

Этому типу двигателей свойственны определенные недостатки, проявляющиеся на определенных режимах работы. Так, его экономичность имеет тенденцию к значительному снижению при работе как на повышенной частоте вращения, так и на частичных нагрузках. Современный двигатель цикла Отто обладает наибольшей эффективностью в диапазоне частот вращения от 40% до 45% номинальной частоты вращения и при крутящем моменте от 70% до 80% развиваемого максимального крутящего момента. При более высоких частотах вращения коленчатого вала значительно увеличиваются потери трения быстро движущихся частей. Более высокий крутящий момент достигается с помощью обогащения воздушно-топливной смеси, которое уменьшает эффективность. При более низком крутящем моменте эффективный КПД падает из-за возрастания «насосных потерь». В зоне наибольшей эффективности двигатель развивает приблизительно 40% его номинальной мощности. Например, для двигателя автомобиля с номинальной мощностью 80 кВт, таким образом, он будет наиболее эффективным в области 25–35 кВт.

Таким образом, в идеальном случае следовало бы выбрать двигатель для автомобиля так, чтобы в самых общих ситуациях движения он развивал бы приблизительно 40% номинальной мощности. Однако такой автомобиль был бы не в состоянии достаточно динамично ускоряться и подниматься в гору без значительного снижения скорости движения. Тяговые расчеты показывают, что автомобилю среднего класса требуется приблизительно около 11 кВт развиваемой двигателем мощности, чтобы такой автомобиль двигался со скоростью 100 км/ч на горизонтальной дороге и значительно меньшая мощность на более низких скоростях. Но если на такой автомобиль установить двигатель номинальной мощностью 22 кВт, то потребуется более 30 с, чтобы он разогнался до 60 миль/ч (96 км/ч), а при движении на 10%-ном подъеме его скорость упала бы до 30 миль/ч (48 км/ч). Поэтому автомобиль массой около 1 т имеет двигатель номинальной мощностью порядка 80 кВт для приемлемого ускорения и преодоления подъемов. Однако это означает, что большую часть времени, требуемая от двигателя мощность будет значительно ниже той, при которой двигатель работает наиболее эффективно, и в результате эксплуатационный расход топлива будет выше.

Двигатель, работающий по циклу Отто, – это двигатель внутреннего сгорания, рабочий процесс которого осуществляется путем принудительного воспламенения искрой зажигания гомогенной топливо-воздушной смеси. Известно, что в этом случае смесь воспламеняется и сгорает с приемлемой скоростью в достаточно узком диапазоне соотношений между топливом и окислителем (воздухом), которого

недостаточно, чтобы менять за счет «качества» смеси (изменения коэффициента избытка воздуха) мощность двигателя в требуемом в условиях эксплуатации диапазоне (от нуля до максимальной мощности на заданной частоте вращения коленчатого вала). Для регулирования мощности в двигателях такого типа применяют так называемое количественное регулирование, заключающееся в ограничении на частичных нагрузках поступления свежей смеси в цилиндры, закрытием дроссельной заслонки.

В процессе наполнения в цилиндрах давление падает ниже атмосферного (на нижнюю поверхность поршня действует давление картерных газов, близкое к атмосферному), что служит причиной повышения затрат энергии на перемещение поршня на такте наполнения и, как следствие, увеличению механических потерь. В результате имеем уменьшение выходной мощности, но не только за счет уменьшения количества поступающей в двигатель рабочей смеси, но и за счет теряемого за счет гидравлических потерь топлива, что крайне нежелательно, так как период времени, при котором двигатель работает на прикрытом дросселе, очень велик. В реальных условиях эксплуатации работа двигателя при полностью открытом дросселе происходит только при ускорении, да и то на повышенных передачах и при движении на подъем.

Следует отметить, что дизели лишены этой проблемы, потому что у них нет дросселя. Пониженная мощность достигается в этом типе ДВС уменьшением количества впрыскиваемого топлива. Это одна из причин, почему дизели достигают более высокой эффективности в процессе эксплуатации.

Так, многочисленные исследования показывают, что при замене двигателей с искровым зажиганием на дизели эксплуатационный расход топлива снижается на 30–60%. На рис. 6.7 и 6.8 приведены экспериментальные универсальные характеристики двух 4-цилиндровых рядных двигателей одинакового рабочего объема $V_h = 1,6$ л: дизеля с турбонаддувом и бензинового двигателя с искровым зажиганием, соответственно.

Из приведенных графиков видно, что минимальный удельный расход дизеля ниже на 8,5%. Однако если сопоставить эксплуатационные расходы топлива, то картина будет иной. Для сопоставления эксплуатационных характеристик было проведено расчетное исследование, в котором автомобиль двигался в соответствии с принятым в Европе, России и Японии испытательным циклом, за основу которого приняты отдельные отрезки движения с постоянными значениями скорости.

Это новый европейский ездовой цикл *New European Drive Cycle (NEDC)* (согласно Правилам ЕЭК ООН № 83-02, рис. 6.9), который состоит из двух участков. Первый имитирует движение в условиях города (4 повторения подряд согласно Правилам ЕЭК ООН № 15-05), а второй – движение по загородной трассе (скоростной участок, новое дополнение относительно ранее действовавших требований).

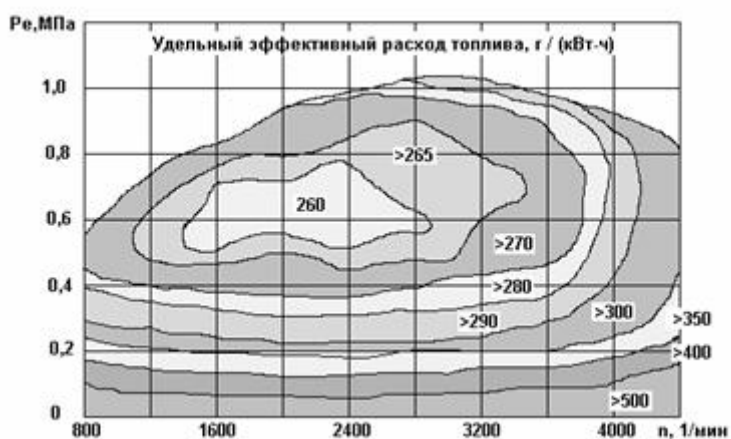


Рис. 6.7. Универсальная характеристика дизеля с турбонаддувом по удельному эффективному расходу топлива

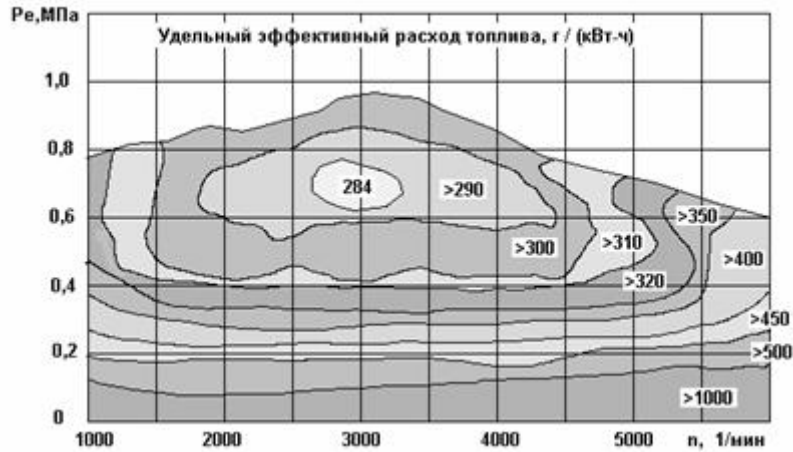


Рис. 6.8. Универсальная характеристика двигателя с искровым зажиганием по удельному эффективному расходу топлива

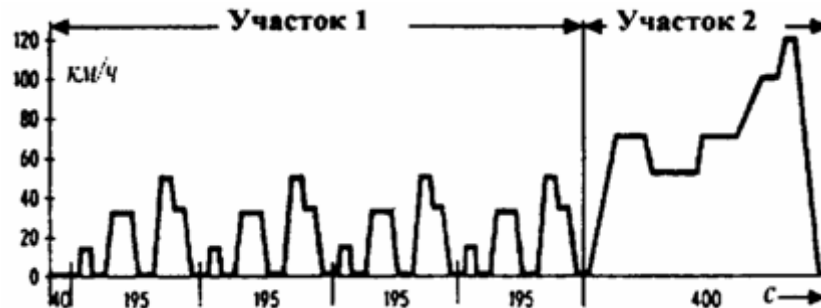


Рис. 6.9. Европейский ездовой цикл. NEDC:

участок 1 – движение в условиях города;

участок 2 – скоростной участок (имитация загородного движения)

Расчеты выполнялись для шести автомобилей, оборудованных различными двигателями, на основе экспериментальных данных по их топливной экономичности (по типу приведенных на рис. 6.7 и 6.8): дизелями и двигателями с искровым зажиганием трех рабочих объемов $iV_h = 1,2; 1,6$ и $2,0$ л, при условии сохранения массы автомобилей неизменной. Результаты расчетов приведены в табл. 6.1. Как видно из таблицы, применение дизеля дает наибольшую топливную экономичность относительно бензинового двигателя при любом исследованном рабочем объеме двигателей. Автомобиль, оборудованный дизелем наибольшего рабочего объема ($2,0$ л), на $7,05\%$ более экономичен по массовому и на $15,9\%$ по объемному расходу топлива по сравнению с самым экономичным автомобилем с бензиновым двигателем ($iV_h = 1,2$ л). Если за базовый двигатель принять ДВС с искровым зажиганием ($iV_h = 1,6$ л), то относительный эксплуатационный расход топлива (по объему) составит значения, приведенные в последней строке табл. 6.

Таблица 6.1

Результаты моделирования движения автомобиля в соответствии с ездовым циклом NEDC для шести типов ДВС

Тип ДВС	Бензиновый ДВС (iV_h , л)			Дизель (iV_h , л)		
	1,2	1,6	2,0	1,2	1,6	2,0
Показатель	1,2	1,6	2,0	1,2	1,6	2,0

Максимальная скорость автомобиля, км / час	132	145	158	132	145	158
Расход топлива за цикл, кг / цикл	0,723	0,778	0,915	0,593	0,617	0,672
Массовый путевой расход топлива, кг / 100км	6,51	7,01	8,24	5,34	5,55	6,05
Объемный путевой расход топлива, л / 100км	8,62	9,28	10,9	6,40	6,65	7,25
Относительная топливная экономичность, %	92,9	100,0	117,5	69,0	71,7	78,1

Следует отметить, что в работе не оптимизировались передаточные числа коробки перемены передач, что при различном протекании внешних скоростных характеристик двигателей может также снизить эксплуатационный расход топлива.

Из приведенной таблицы видно, что использование двигателя меньшего рабочего объема снижает эксплуатационный расход топлива, причем это связано не только с тем, что средняя нагрузка двигателя в этом случае приближается к зоне наиболее экономичных режимов работы, но и с тем, что в двигателе меньшего рабочего объема меньше абсолютные потери на трение. Однако на практике дело обстоит сложнее, чем кажется на первый взгляд. Снижение рабочего объема двигателя приводит к тому, что потребная мощность может быть достигнута только на более высокой частоте вращения коленчатого вала по сравнению с двигателем большего рабочего объема. Следствием повышения частоты вращения является более высокая скорость поршня. Поэтому иногда следует пожертвовать удельными массово-габаритными характеристиками двигателя в пользу снижения частоты вращения, а значит, и снижения потерь на трение.

В двигателях с искровым зажиганием существует еще одна проблема повышенного расхода топлива, связанная с работой на режимах максимальной мощности. В процессе эксплуатации большую часть времени двигатель работает на топливо-воздушной смеси так называемого экономичного состава. Смесь воздуха и топлива в пропорции, которая позволяет полностью сжечь все топливо, используя весь кислород, содержащийся в воздухе, называют стехиометрической смесью. Для бензина это отношение воздуха к топливу составляет приблизительно 14,5 / 1 по массе. Это означает, что двигатель потребляет 14,5 килограмма воздуха на каждый килограмм расходуемого бензина. Для углеводородного топлива экономичным является состав смеси, в котором присутствует 10–15% избыточного воздуха относительно его стехиометрического количества.

Современные автомобильные двигатели с искровым зажиганием поддерживают топливо-воздушную смесь требуемого состава, как программно, используя показания датчика массового расхода воздуха на впуске в двигатель и вычисляя требуемую цикловую подачу топлива в цилиндры, так и адаптивно, корректируя цикловую подачу топлива по сигналу датчика остаточного кислорода (I-зонд) в отработавших газах. Если отношение воздух/топливо увеличивается сверх определенного предела, т.е. двигатель работает на «переобедненной смеси», то индикаторные показатели процесса начинают существенно снижаться. Это связано со снижением скорости распространения пламени в бедных смесях и, как следствие, смещением тепловыделения на такт расширения, что термодинамически невыгодно. Также при работе на переобедненных смесях падает повторяемость циклов вследствие снижения стабильности процессов формирования первичного очага горения при зажигании.

Однако если от двигателя требуется получить наибольшую мощность, то требуется перейти на «обогащенную» смесь, т.е. смесь в которой отношение воздух/топливо уменьшается так, чтобы в двигатель поступил избыток топлива. В этом случае наблюдается наивысшая скорость сгорания, а двигатель использует весь поступающий в него воздух, так как именно окислитель является лимитирующим компонентом в этом случае. Однако несгоревшее топливо в этом случае естественно присутствует в отработавших газах, что вызывает загрязнение окружающей среды, а так как это топливо не участвовало в сгорании для получения полезной мощности, эффективность двигателя снижается.

Несгоревшее топливо может быть окислено до конца в каталитическом нейтрализаторе отработавших газов, но энергия избыточного топлива уже не может быть использована для получения полезной работы.

В современном двигателестроении наметились пути повышения эксплуатационной топливной экономичности, в том числе и при применении ДВС в составе гибридных силовых установок. Необходимость повышения эффективности работы двигателей внутреннего сгорания объясняется тем, что на эксплуатационную топливную экономичность при использовании их в составе гибридной силовой установки влияет существенный недостаток последней – наличие дополнительных внутренних потерь. Эти потери связаны, во-первых, с преобразованием энергии из одного вида в другой (как известно, только в теплоту может стопроцентно преобразоваться механическая и электрическая энергия) и, во-вторых, с потерями в элементах усложненной трансмиссии: дополнительными распределителями силовых потоков, редукторах и т.п. При применении электропривода потери присутствуют при преобразовании механической энергии двигателя внутреннего сгорания в электрическую энергию в электрогенераторе электрической энергии в энергию химических связей и обратно в аккумуляторной батарее электрической энергии в механическую работу в приводных электромоторах, при преобразовании электрического тока из переменного в постоянный ток и обратно. Начало этой цепочки – механическая энергия двигателя внутреннего сгорания, КПД которого, в свою очередь, определяется тем, насколько эффективно будет введена теплота, получаемая при сгорании топлива в рабочий цикл и насколько эффективно эта теплота будет преобразована в полезную механическую работу. Гибридная силовая установка дает следующие преимущества в отношении повышения эффективности ДВС.

Прежде всего уменьшается рабочий объем (масса) двигателя. Проблема понижения КПД бензинового двигателя на частичных нагрузках в гибридном силовом приводе частично решается применением двигателя меньшей мощности, чем на автомобиле с классической силовой установкой. Такой двигатель сам по себе не способен обеспечить необходимое максимальное ускорение или движение с приемлемой скоростью при крутом подъеме и может лишь обеспечить плавный разгон и движение с небольшим подъемом. Когда требуется максимальное ускорение, или нужно подняться на очень крутой подъем, контроллер автомобиля включает параллельно ДВС электродвигатель, используя сохраненную в батарее энергию. Батарея может подзарядиться от двигателя, когда потребление мощности от него уменьшится, при смене стиля езды или на горизонтальных участках трассы. Так, автомобиль массой, равной массе автомобиля Prius, обычно оснащали двигателем внутреннего сгорания номинальной мощностью около 80 кВт. Однако автомобиль Prius с гибридной силовой установкой имеет двигатель меньшего рабочего объема с номинальной мощностью только 52 кВт. Это смещает наиболее часто используемые в эксплуатации режимы работы при движении по шоссе или в условиях города ближе к зоне оптимальных режимов работы двигателя, обеспечивающих его наивысшую эффективность. Аккумуляторная батарея и тяговый электродвигатель могут обеспечить дополнительную прибавку мощности до 20 кВт, что позволяет довести суммарную мощность силовой установки примерно до 72 кВт, обеспечив приемлемую динамику автомобилю.

Следует отметить, что электрически управляемая трансмиссия является бесступенчатой и позволяет намного лучше, чем обычная ступенчатая коробка передач, поддерживать режим полной мощности при изменении скорости движения автомобиля.

Дополнительное преимущество двигателя меньшего рабочего объема – меньшая масса, которая компенсирует дополнительную массу аккумуляторной батареи. Конечно, двигатель гибридной силовой установки конструируется с учетом современных разработок по снижению массы силового агрегата: применения блока-картера двигателя из алюминиевого сплава и других методов, уменьшающих массу, полный вес транспортного средства сохранился близким к обычным автомобилям.

Создатели современных гибридных силовых установок пытаются реализовать в их конструкции все существующие и перспективные возможности для повышения эффективности работы двигателя внутреннего сгорания в различных эксплуатационных режимах. В автомобиле Prius с гибридной силовой установкой используется так называемый цикл Аткинсона. Суть его сводится к тому, что в отличие от цикла

Отто, в котором топливовоздушная смесь наполняет цилиндр во время движения поршня вниз и затем «запирается» в цилиндре впускным клапаном, закрывающимся при положении поршня вблизи «нижней мертвой точки». Запаздывание закрытия впускного клапана относительно нижней мертвой точки по углу поворота коленчатого вала служит для повышения дозарядки цилиндра свежей смесью на повышенных частотах вращения коленчатого вала за счет инерции смеси во впускных трубопроводах. Далее весь объем смеси, наполнившей цилиндр, сжимается и воспламеняется в момент подачи искры зажигания. Как говорилось ранее, при работе на частичных нагрузках для уменьшения массового наполнения цилиндра приходится дросселировать впускной трубопровод. При реализации цикла Аткинсона дросселирование не используется, а снижение массового наполнения свежей смесью при уменьшении нагрузки осуществляется за счет того, что впускной клапан не закрывается в нижней мертвой точке, оставаясь открытым, в то время как поршень начинает подниматься. Часть смеси вытесняется во впускной коллектор (чтобы использоваться в другом цилиндре или последующем цикле). Угол поворота коленчатого вала, при котором закрывается впускной, является переменным. Объем смеси (и ее масса), которая сжата и в дальнейшем сгорает, может, таким образом, быть уменьшен без применения дроссельной заслонки. Этот способ позволяет понижать выходную мощность без увеличения насосных потерь, что делает двигатель Prius намного более эффективным по сравнению с обычным двигателем на большинстве эксплуатационных режимов работы.

Для снижения механических потерь двигатель гибридной силовой установки автомобиля Prius имеет ограничение номинальной частоты вращения коленчатого вала, осуществляемое бортовым компьютером. Снижение частоты вращения с типичных значений для двигателей легковых автомобилей 5500–6000 мин⁻¹ до 4500 мин⁻¹ снижает напряжения в деталях двигателя, позволяя сделать их меньшими и более легкими, в результате уменьшая потери на трение.

Так как для получения максимальной мощности в гибридной силовой установке автомобиля Prius используется одновременная работа двигателя внутреннего сгорания и тягового электродвигателя, отпадает необходимость работы двигателя на мощностном (обогащенном) составе смеси. Устранение обогащения несколько снижает максимальный крутящий момент, развиваемый двигателем, однако при этом эффективность двигателя остается на приемлемом уровне, вместо того чтобы уменьшиться более чем на 20% в обычных двигателях. Таким образом, применение усовершенствований двигателей внутреннего сгорания, входящих в состав гибридных силовых установок, позволяет в определенной степени компенсировать негативные эффекты, например увеличение массы автомобиля с силовой установкой такого типа (масса силового аккумулятора, тяговые электродвигатели и т.п.).

Как уже указывалось, применение дизелей в составе гибридных силовых установок более перспективно, по сравнению с двигателями с искровым зажиганием. Французский концерн PSA Peugeot Citroen планирует в 2010 г. поставить на рынок гибридные автомобили на базе Peugeot 307 и Citroen C4. При этом PSA – первый из автопроизводителей, кто делает упор на комбинации дизельного силового агрегата с электродвигателем. Данный шаг руководство компании объясняет тем, что дизельный мотор потребляет топлива на 20% меньше, чем бензиновый. Перспективный автомобиль Citroen C4 Hybride HDi, представленный на автосалоне в Женеве в 2006 г., оснащен дизельным двигателем рабочим объемом 1,6 л с сажевым фильтром и электромотором мощностью 23 кВт. Средний расход топлива составляет 3,4 л/100 км, выбросы CO₂ – 90 г/км, что на 30% меньше в сравнении с традиционным дизелем. Машина оснащена системой Stop&Start. Во время интенсивного разгона электромотор помогает дизелю, увеличивая крутящий момент на 35%. Президент PSA уверен, что с 2010 г. доля гибридных автомобилей, оснащенных дизельными двигателями, будет стремительно расти. Концерн PSA ведет активный поиск партнера для совместного серийного производства гибридных дизельно-электрических силовых установок. По имеющейся информации, наличие гибридной силовой установки повышает стоимость автомобиля на 5–6 тыс. евро. Между тем совместное производство аккумуляторных батарей, электромоторов и специфических тормозных систем в более крупных объемах позволило бы существенно снизить себестоимость данных узлов.

Дизель с турбонаддувом, несмотря на его неоспоримые преимущества по КПД и лучшей топливной экономичности на частичных режимах работы, обладает существенным недостатком, связанным с инерционностью турбокомпрессора. Отсутствие жесткой связи между ротором турбокомпрессора и

коленчатым валом двигателя ведет к рассогласованию характеристик турбокомпрессора и поршневой части комбинированного двигателя на неустановившихся режимах работы, и, как следствие значительному ухудшению топливо-экономических и экологических характеристик.

Для оценки влияния переходных режимов работы проведем расчетно-экспериментальный анализ этой проблемы.

7. Анализ переходного режима работы дизеля с турбокомпрессором

Для дальнейшего анализа определим некоторые характеристики компрессора. Используя экспериментальные данные, можно выявить взаимосвязь между степенью повышения давления в компрессоре и частотой вращения ротора. Например, для турбокомпрессора ТКР-7 при работе дизеля Д-245 при постоянной частоте вращения коленчатого вала $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ на установившихся режимах экспериментальные данные приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

**Зависимость частоты вращения ротора ТКР-7
при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ Д-245**

π_k	0,7	0,67	0,46	0,28	0,15
$n_{\text{ТКР}}$	8430	7380	6320	5270	42000
	0	0	0	0	0

Аппроксимируем зависимость $\pi_k = f(n_{\text{ТКР}})$ уравнением следующего вида:

$$\pi_k = 1 + 0,75 \cdot \left(\frac{n_{\text{ТКР}}}{89000} \right)^{3,5} \cdot e^{-\left(\frac{n_{\text{ТКР}}}{0,4} \right)^{3,5}} \quad (7.1)$$

На рис. 7.1 приведены исходные данные для аппроксимации (табл. 7.1), обозначенные точками, и аппроксимация выражением (7.1), обозначенные линией.

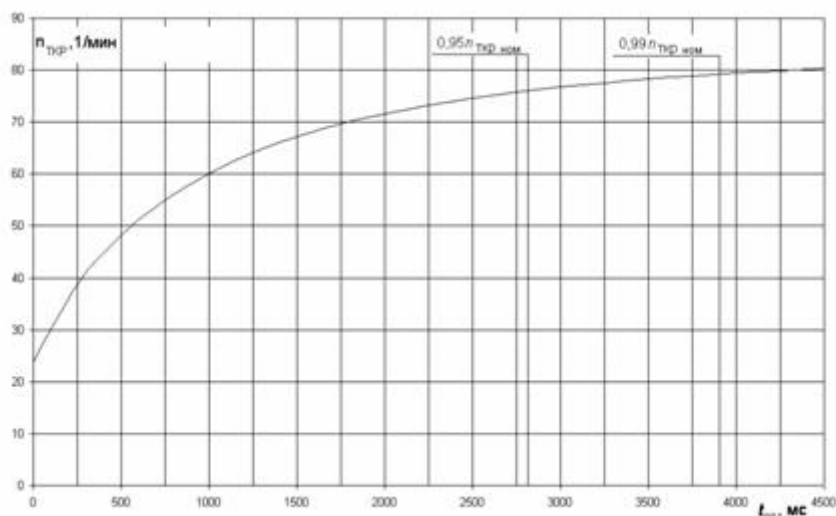


Рис. 7.1. Характеристика разгона ротора турбокомпрессора ТКР-7 при переходе дизеля Д-245 с режима холостого хода ($n = 2200 \text{ мин}^{-1}$) на режим номинальной нагрузки

Принимаем момент инерции ротора ТКР-7 равным $J_p = 0,00025 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Для расчета использовались данные зависимости давления $p_b = f(a; n_k)$ и температуры $T_b = f(a; n_k)$ рабочего тела в конце рабочего хода, полученные моделированием рабочего процесса дизеля с турбонаддувом. Эти параметры характеризуют энергию отработавших газов, поступающих на турбину. Избыточная мощность на валу турбины равна разности развиваемой турбиной и мощности потребляемой компрессором ТКР

$$\Delta N = (H_{\text{вх1}} \cdot G_r \cdot \eta_{\text{вт}} \cdot \eta_{\text{тжк}} - \frac{H_{\text{вх1}} \cdot G_a}{\eta_{\text{вк}}}) \cdot i$$

Крутящий момент, действующий на ротор турбокомпрессора при его частоте вращения $n_{\text{ТКР}}$ за счет действия избыточной мощности ΔN , равный

$$M = \frac{9550 \cdot \Delta N}{n_{\text{ТКР}}}$$

будет способствовать повышению частоты вращения ротора турбокомпрессора с угловым ускорением

$$\varepsilon_{\text{ТКР}} = \frac{M}{J_p}$$

В соответствии с описанным алгоритмом была разработана программа для персонального компьютера. На рис. 7.1 приведена характеристика разгона ротора турбокомпрессора ТКР-7 при переходе дизеля Д-245 с режима холостого хода ($n = 2200 \text{ мин}^{-1}$) на режим номинальной нагрузки. Ротор турбокомпрессора разгоняется за счет избыточной мощности, определяемой разностью мощности, развиваемой турбиной, и мощности, потребляемой компрессором. По мере приближения частоты вращения ротора к частоте, соответствующей номинальному режиму работы, избыточная мощность уменьшается. Такое асимптотическое приближение частоты вращения ротора теоретически может происходить бесконечно долго. Поэтому принято ограничивать расчет значением, составляющим 95% или 99% от установившегося. Как видно из кривой, приведенной на рис. 7.1, условию окончания расчета при достижении 99% от $n_{\text{ТКР ном}}$ соответствует время переходного процесса около 3,9 с, достижению – 95% от $n_{\text{ТКР ном}} - 2,8 \text{ с}$.

На рис. 7.2 показано, как меняется значение коэффициента избытка воздуха по мере увеличения частоты вращения ротора турбокомпрессора при разгоне. В начальный момент значение коэффициента избытка воздуха минимально и значительно ниже соответствующего номинальному режиму работы двигателя. Как показывают исследования различных авторов, снижение коэффициента избытка воздуха ниже номинального значения вызывает снижение индикаторного КПД дизеля.

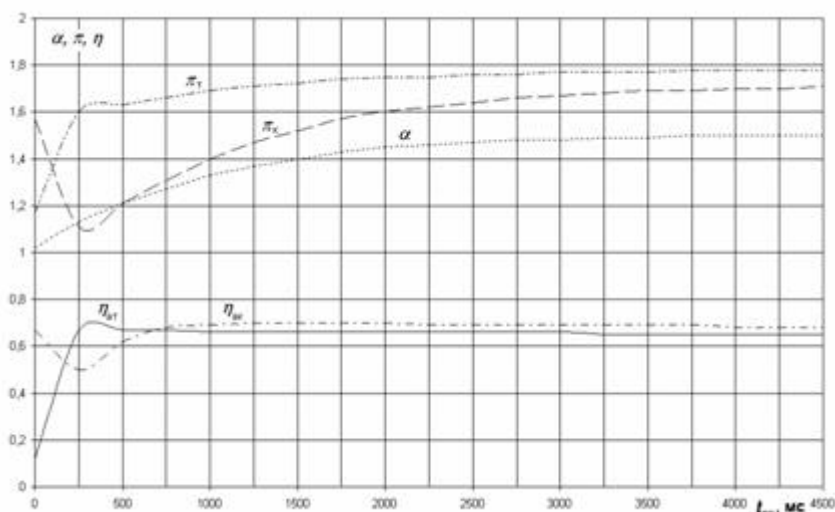


Рис. 7.2. Характеристики изменения коэффициента избытка воздуха (α)

В частности, А.А. Рихтером для определения относительного значения интегрального КПД предложено использовать зависимость вида

$$\bar{\eta}_i = A - \frac{B}{\alpha^{3/2}},$$

где коэффициенты должны быть уточнены для конкретной конструкции дизеля.

Важным является то, что на переходном режиме (набросе нагрузки при постоянной частоте вращения коленчатого вала) двигатель развивает мощность меньшую, чем мощность, соответствующая установившемуся режиму работы в данной нагрузочно-скоростной точке.

8. Улучшение показателей переходных процессов в агрегате наддува за счет подвода дополнительной мощности

Существует ряд методов улучшения качества переходных процессов при набросе нагрузки в дизелях с турбонаддувом к которым можно отнести следующие.

1. Применение резонансного или волнового наддува. Увеличение давления наддува достигается за счет энергии колебаний во впускном тракте путем подбора его элементов. В настоящее время он широко применяется на дизелях с турбонаддувом для увеличения максимальной мощности или улучшения протекания характеристики крутящего момента. Турбокомпрессор при этом настраивается на номинальный режим. В то же время разработаны системы с регулируемой длиной или регулируемым проходным сечением впускного тракта, которые обеспечивают увеличение наполнения во всем рабочем диапазоне частоты вращения коленчатого вала дизеля.

2. Применение импульсного наддува, позволяющего получить дополнительную энергию на турбине в результате сохранения кинетической энергии направленного скоростного потока газа из выпускных клапанов и патрубков до соплового аппарата путем разделения нескольких трубопроводов и уменьшения их сечения при оптимальном чередовании выпуска ОГ из цилиндров.

3. Уменьшение момента инерции ТКР и совершенствование проточных частей, которое может приводить к значительному снижению удельного расхода топлива на переходных режимах работы.

4. Применение регулируемых турбокомпрессоров, к которым относятся ТКР с различными схемами: перепуска, отбора избыточной мощности на вал дизеля и регулируемым сопловым аппаратом турбины.

5. Подвод дополнительной энергии к ротору турбокомпрессора.

Последний метод может быть реализован с помощью механической, гидравлической и электрической трансмиссии. Механическая трансмиссия сложна в управлении (проблемы включения и изменения передаточного числа), гидравлическая связь требует высокотехнологичной высоконапорной (10–14 МПа) гидравлической турбины. Обратимый электропривод при существующем уровне развития высокоэффективных обратимых электродвигателей и силовых ключевых преобразователей напряжения может дать гибкую обратимую связь между двигателем, аккумулятором и турбокомпрессором. Это становится достаточно легко реализуемым, если дизель входит в состав гибридной силовой установки, включающей электрическую часть.

Для оценки уровня улучшения переходных процессов в дизеле Д-245 с ТКР-7 используем программу расчета переходного процесса, схематично рассмотренную выше, видоизменив уравнение избыточной мощности на валу турбокомпрессора следующим образом:

$$\Delta N = \left(H_{\text{exl}} \cdot G_2 \cdot \eta_{\text{кр}} \cdot \eta_{\text{мк}} - \frac{H_{\text{exl}} \cdot G_2}{\eta_{\text{кр}}} \right) \cdot i + \delta N^+$$

где δN^+ – дополнительная мощность, подводимая к ротору ТКР, кВт.

На рис. 8.1 приведены графики изменения интегральных оценок качества переходного процесса ТКР, дымности на переходном режиме и времени переходного процесса в зависимости от величины дополнительной подводимой мощности к ротору турбокомпрессора. Видно, что наибольший эффект достигается на участке $\delta N^+ \leq 4$ кВт, где снижение наиболее интенсивно. Так при $\delta N^+ = 4$ кВт, интегральный показатель по дымности снижается примерно в 3,38 раза, интегральная оценка по частоте вращения ротора ТКР в 2,02 раза и время переходного процесса (достижения частоты вращения ротора ТКР составляющей 99% от номинальной) сокращается в 3,44 раза.

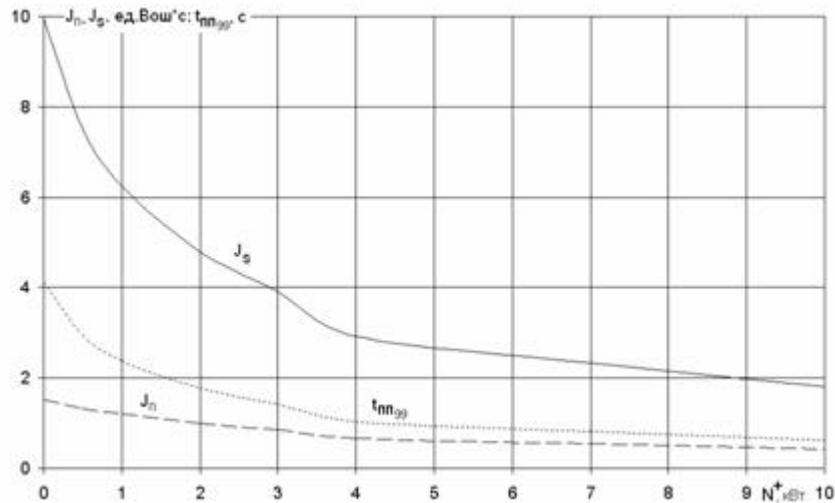


Рис. 8.1. Интегральные оценки качества переходного процесса турбонагнетателя (J_n), дымности на переходном режиме (J_2) и времени переходного процесса (t_{99})

В результате проведенного анализа можно сделать следующие выводы

1. Проведенное расчетно-аналитическое исследование позволило дать количественную оценку эффекта от приложения дополнительного момента (избыточной мощности) к ротору турбокомпрессора по мощностному и экологическому показателям работы двигателя.
2. Показано, что наибольший эффект от приложения дополнительного момента к ротору турбокомпрессора ТКР-7, установленного на дизеле Д-245, достигается на участке избыточной мощности $\delta N^+ \leq 4$ кВт, где снижение времени переходного процесса наиболее интенсивно.
3. При $\delta N^+ = 4$ кВт интегральный показатель по дымности дизеля Д-245, на режиме наброса нагрузки от нуля до номинальной, снижается примерно в 3,38 раза, интегральная оценка качества переходного процесса в ТКР по частоте вращения ротора снижается в 2,02 раза, а время переходного процесса сокращается в 3,44 раза.

9. Оценка степени повышения эксплуатационной топливной экономичности гибридного автомобиля

Дизель Д-245.12 ММЗ применяется не только в качестве силовой установки тракторов класса 1,5, но и на малотоннажной базовой модели грузового автомобиля ЗИЛ-5301. Автомобили, выпускаемые на основе базовой модели шасси: бортовые грузовики, фургоны, автобусы и др. – предназначены для эксплуатации в городских условиях, поэтому к их силовой установке предъявляются повышенные

требования по ограничению выбросов вредных веществ с отработавшими газами. Городской цикл движения характеризуется частыми сменами скоростного и нагрузочного режимов работы двигателя. В данном разделе книги предложены расчетные методы оценки влияния переходных режимов на выбросы сажи дизелем Д-245.12 ММЗ.

Известно, что энергия силовой установки при движении автомобиля по горизонтальной поверхности тратится на преодоление сопротивления качению, аэродинамические потери и ускорение. Городские условия движения характеризуются ограничением скоростного режима согласно «Правилам дорожного движения» 60 км/ч, постоянными разгонами и торможениями и большой долей режимов холостого хода и частичных нагрузок. В отечественной и мировой практике используется большое количество различных методик оценки эксплуатационных экономических и экологических показателей автомобилей.

Методика МАДИ (ГТУ) позволяет производить оценку топливной экономичности и выбросов вредных веществ автомобилями с ДВС с механической или гидравлической трансмиссией в различных ездовых циклах. Программный комплекс МВК-2002 ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» позволяет рассчитать расход топлива и выбросы вредных веществ при движении автомобиля в городских условиях либо при заданной постоянной скорости. За рубежом для проектирования и доводки традиционных и перспективных гибридных автомобилей нашла применение программа, разработанная фирмой AVL (Австрия) CRUISE, аналогичная программа создана в Национальной лаборатории по возобновляемым энергетическим ресурсам при Министерстве энергетики США, которая носит название «ADVISOR» (Advanced Vehicle Simulator) и предназначена для расчета топливо-экономических и экологических показателей традиционных и перспективных транспортных средств. Мы воспользуемся методикой расчета, разработанной на кафедре комбинированных ДВС РУДН.

На рис. 9.1 приведена многопараметровая характеристика транспортного дизеля 4ЧН 11/12,5, на которой видна режимная область с минимальным расходом топлива. Однако в условиях реальной эксплуатации дизель в этой точке практически не работает.

Используя распределение времени работы t_{ij} в каждой нагрузочно-скоростной зоне и часовой расход топлива G_{Tij} в соответствующей режимной точке, можно определить суммарный расход топлива при движении в соответствии с выбранным ездовым циклом

$$G_{T\Sigma} = \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{12} \frac{t_{ij}}{3600} G_{Tij} \quad (9.1)$$

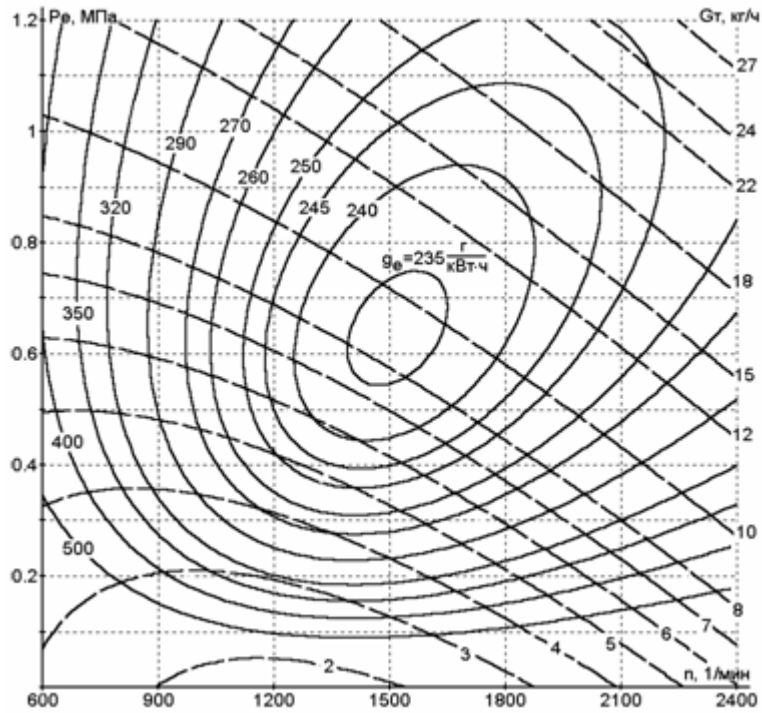


Рис. 9.1. Многопараметровая характеристика транспортного дизеля:

————— **удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч);**

----- **часовой расход топлива, кг/ч**

Расчет по зависимости (9.1) дает значение суммарного расхода топлива $G_{\Sigma} = 2,074$ кг/цикл. Используя соотношение и время из табл. 9.1

$$A_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{12} Ne_{ij} \cdot t_{ij} \quad (9.2)$$

где Ne_{ij} – мощность двигателя в соответствующей режимной точке, можно оценить суммарную работу, совершаемую двигателем при движении автомобиля в цикле, исключив время работы на холостом ходу.

Таблица 9.1

Распределение времени работы (сек) дизеля 4ЧН 11/12,5 при движении транспортного средства в соответствии с Европейским ездовым циклом (общее время движения по циклу 1200 с) [20]

P_e Па	Диапазон частот вращения коленчатого вала $n, 1/\text{мин}$									
	600- 780	780- 960	960- 1140	1140- 1320	1320- 1500	1500- 1680	1680- 1860	1860- 2040	2040- 2220	2220- 2400
-1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
-1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	19,3	11,9	0,0	0,0
-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1	12,0	0,0
-0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	5,7	5,9	5,7	5,9	0,0
-0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	6,5	0,6	0,0	0,0	0,0
-0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	1,9	1,9	1,9	76,6	0,0
-0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	7,0	6,8	6,8	6,8	0,0
-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,1	1,1	1,0	1,1	0,0
-0,3	9,1	5,3	5,5	41,7	5,3	5,3	121	5,5	5,3	0,0

-0,2	8,8	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	85,0	0,6	0,6
-0,1	340	17,9	17,8	24,3	29,4	63,0	6,3	4,7	3,6

Расчет дает значение $A_{\Sigma} = 23440$ кДж. Такую работу двигатель выполнит работая в режиме минимального удельного расхода топлива ($P_e = 0,65$ МПа, $n = 1590$ мин⁻¹, $Ne_{g\min} = 40,93$ кВт, $G_T = 9,59$ кг/ч) за $t_j = A_{\Sigma} / Ne_{g\min} = 573$ с, израсходовав при этом 1,53 кг топлива, или на 26% меньше, чем в реальном цикле.

На рис. 9.2. показано, что двигатель, совершая работу A_{Σ} за время цикла t_u , развивает среднюю мощность Ne_{cp} . Работая в режиме максимальной топливной экономичности и развивая мощность $Ne_{g\min} > Ne_{cp}$, двигатель совершает за время t_j дополнительную работу, которая может быть использована на участке движения $t_j - t_u$. При этом должно выполняться условие равенства работ

$$(Ne_{g\min} - Ne_{cp})t_j\eta_{рек} = Ne_{cp}(t_u - t_j), \quad (9.3)$$

где $\eta_{рек}$ – КПД устройства накопления энергии.

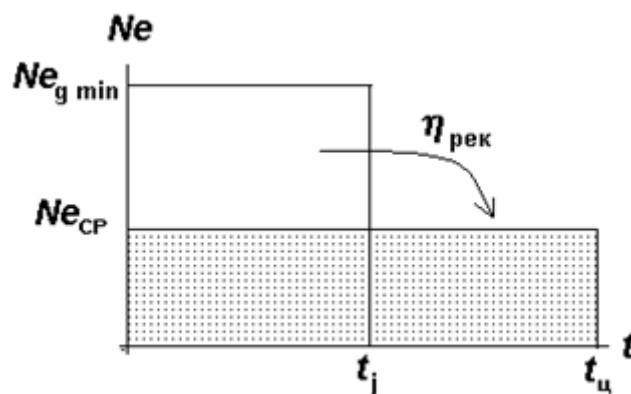


Рис. 9.2. Схема перераспределения энергии

Устройством для накопления энергии может служить сверхскоростной маховик или «электрическая трансмиссия» с буферным аккумулятором. Коэффициент полезного действия этих устройств может меняться в широких пределах в зависимости от типов применяемых электромоторов–генераторов и аккумуляторов.

В левой части табл. 9.2 приведены результаты расчета необходимого времени работы дизеля t_j на режиме максимальной топливной экономичности по зависимости (9.3), расхода топлива за цикл $G_{T\Sigma}$ и относительного изменения расхода топлива по сравнению с работой двигателя без устройства накопления энергии, в функции его КПД, рассчитываемого по зависимости

$$\bar{G}_T = \left(1 - \frac{G_T}{G_{TД}}\right) \cdot 100\% \quad (9.4)$$

Таблица 9.2

Время работы дизеля, абсолютный и относительный расход топлива

$\eta_{рек}$	Без рекуперации энергии торможения	С рекуперацией энергии торможения
--------------	---	--

	$t_j, \text{с}$	$G_{T\Sigma}, \text{кг/цикл}$	$\Delta G_T, \%$	$t_j, \text{с}$	$G^*T\Sigma, \text{кг/цикл}$	$\Delta G_T, \%$
0,4	834,4	2,222	+ 7,17	776,3	2,068	- 0,29
0,5	775,3	2,065	+ 0,42	697,1	1,857	- 10,5
0,6	724,1	1,929	- 7,00	626,4	1,669	- 19,6
0,7	679,2	1,809	- 12,8	563,1	1,500	- 27,7
0,8	639,5	1,704	- 17,9	506,4	1,349	- 35,0
0,9	604,2	1,610	- 22,4	455,6	1,214	- 41,5
1,0	572,6	1,530	- 26,4	409,9	1,092	- 47,4

Применение устройства накопления энергии позволяет осуществлять рекуперативное торможение с возвратом кинетической энергии транспортного средства. При этом общие затраты энергии на преодоление цикла уменьшатся на количество возвращаемой энергии с учетом КПД устройства накопления энергии. Соответственно, уменьшится и требуемая от двигателя в цикле средняя мощность

$$N_{\text{ср}}^* = \frac{A_{\text{ц}} - \eta_{\text{рек}} \frac{m_a}{2} \sum_{k=1}^K (v_{2k}^2 - v_{1k}^2)}{t_{\text{ц}}}, \quad (9.5)$$

где K – количество участков торможения в цикле, на которых скорость уменьшается от $v_{\text{ан}}$ до $v_{\text{ак}}$; m_a – масса автомобиля, кг.

Результаты расчета по зависимости (9.4) с учетом рекуперации (9.5) для автомобиля полной массой $m_a = 5000$ кг приведены в правой части табл. 9.2.

В результате проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

В отличие от безвозвратных потерь на сопротивление качению и аэродинамическое сопротивление работа по ускорению транспортного средства может быть возвращена с учетом потерь устройства накопления энергии. Так, рекуперация кинетической энергии транспортного средства, при его движении в соответствии с городским циклом и КПД системы накопления энергии равном 0,5 дает 10%-ный выигрыш по эксплуатационной топливной экономичности, а при КПД равном 0,9 расход топлива снижается более чем на 40%.

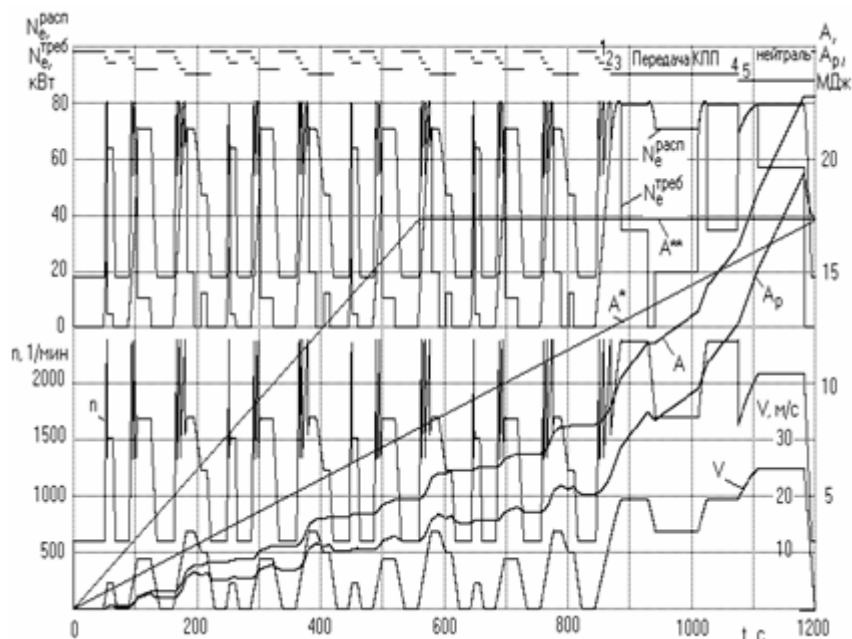
10. Оценка потребной емкости аккумулирующей системы гибридной силовой установки автомобиля

В предыдущем разделе работы оценен эксплуатационный расход топлива транспортного средства при применении гибридной силовой установки, состоящей из дизель-генератора, буферного аккумулятора и приводных электродвигателей, и показано, что он может быть значительно снижен не только за счет работы дизеля в области минимальных удельных расходов топлива нагрузочно-скоростной характеристики, но и за счет рекуперации кинетической энергии автомобиля во время торможения. В данном разделе приводится методика и результаты более точной оценки резервов снижения эксплуатационного расхода топлива за счет рекуперации, с учетом режимов реального движения транспортного средства, т.е., с учетом потерь в трансмиссии, на аэродинамическое сопротивление и трение качения.

Существует большое число стандартов на испытания ДВС в составе транспортных средств, учитывающих специфику их движения. Созданная методика предусматривает возможность использования любого из этих циклов испытаний. Нами был выбран Европейский цикл *ECE+EUDC Driving Cycle*, характер изменения скорости во время его выполнения приведен рис. 10.1.

Цикл представляет собой динамику движения транспортного средства в функции времени. Использовался вариант цикла с ограничением по максимальной скорости 90 км/ч. Для определения

режимов работы силовой установки транспортного средства требуется рассмотреть тяговый баланс автомобиля. Для конкретизации выводов и рекомендаций было рассмотрено движение автобуса ЗИЛ-3250 на базе малотоннажного городского автомобиля ЗИЛ-5301. В табл. 10.1 приведены необходимые для расчета характеристики автобуса.



**Рис. 10.1. Скорость движения автомобиля V ;
частота вращения коленчатого вала двигателя n ;**

**требуемая от двигателя мощность $N_e^{треб}$,
развиваемая двигателем предельная мощность на данном
скоростном режиме $N_e^{расп}$ работа, совершаемая двигателем без рекуперации A и с
рекуперацией энергии при торможении A_p
в зависимости от времени движения по циклу**

Известно, что сопротивление движению транспортного средства складывается из сопротивления качению, аэродинамического сопротивления и сопротивления, связанного с преодолением силы инерции.

Мощность, требуемая от двигателя для движения транспортного средства

$$N_e^{треб} = \frac{0,278 V}{\eta_{ГД}} \left(\frac{1}{2} c_{x\rho} F V^2 + f G_T V + \delta G_T \frac{f}{g} \right). \quad (10.1)$$

Частота вращения коленчатого вала двигателя для заданной скорости движения транспортного средства на k -й пе-редаче равна

$$n = \frac{60 V i_{k22}}{3,6 \pi D_k}. \quad (10.2)$$

Таблица 10.1

Характеристики городского автобуса ЗИЛ-3250

№	Параметры	Значение
1.	Полная допустимая масса (G_T/g)	6950 кг

2.	Максимальная скорость (V_{\max})	95 км/ч
3.	КПП, с передаточными отношениями передач: первой, второй, третьей, четвертой, пятой (i_k)	7,44; 4,10; 2,29; 1,47; 1,00
4.	Передаточное отношение главной передачи ($i_{гп}$)	3,273
5.	Статический диаметр колес (D_k)	0,82 м
6.	Двигатель Д245,12ММЗ, номинальной мощностью / при частоте вращения коленчатого вала	<u>80 кВт</u> 2400 мин ⁻¹
7.	Площадь лобового сопротивления автобуса (F)	4,6 м ²
8.	Коэффициент аэродинамического сопротивления (c_x)	0,6
9.	Механический КПД трансмиссии ($\eta_{тр}$)	0,9

Стратегия переключения передач состояла в том, что при разгоне переход на повышенную передачу осуществляется при достижении двигателем номинальной частоты вращения коленчатого вала. Текущая скорость V и ускорение J определялось обработкой ECE+EUDC Driving Cycle. Располагаемая мощность двигателя для заданной частоты вращения ограничивалась внешней скоростной характеристикой, аппроксимированной по экспериментальным данным выражением

$$N_{дв}^{расч} = -73,18 + 0,1422 \cdot n - 3,17 \cdot 10^{-5} \cdot n^2 \quad (10.3)$$

В расчетной программе учитывается вероятность превышения потребной мощности, необходимой для движения по заданному графику, располагаемой мощности двигателя, т.е. режим движения в этом случае корректировался с учетом протекания кривой крутящего момента дизеля по внешней скоростной характеристике.

Текущая работа, совершаемая дизелем транспортного средства, равна

$$A = \sum_{j=1}^k \Delta t \cdot N_{двj}^{расч} \quad (10.4)$$

где Δt – расчетный временной интервал, с; $N_{двj}^{расч}$ – мощность, требуемая от двигателя на j -м временном интервале, кВт.

При остановках и торможении принимается равенство нулю эффективной мощности дизеля. На рис. 10.2 приведена расчетная кривая работы, совершаемой двигателем с рекуперацией энергии при торможении A_p при условии КПД 100% ($\eta_{рек}$) устройства накопления энергии гибридной силовой установки. В этом предельном случае учет указанных факторов снижает эффект от рекуперации с 21 до 17%. В табл. 10.2 приведены скорректированные данные по влиянию на эксплуатационный расход топлива КПД устройства накопления энергии силовой установки транспортного средства за счет работы дизеля в зоне минимального расхода топлив без и с рекуперацией энергии.

При моделировании движения по циклу вычисляется время работы дизеля в каждой нагрузочно-скоростной зоне, характеризуемой соответствующей эффективной мощностью Me_j и часовым расходом топлива G_{Tj} . Суммарный расход топлива за цикл испытаний автобуса без оптимизации режима работы двигателя за счет аккумулятора гибридной системы, составил $G_{T\Sigma} = 2,074$ кг.

Тот же параметр при оптимизации режимов работы,

но без рекуперации энергии торможения ($G_{T\Sigma}^0$) приведен в табл. 10.2. Там же приведены значения расхода за цикл испытаний с системой рекуперации ($G_{T\Sigma}^*$). Относительный расход топлива вычислялся по зависимости

$$\Delta \bar{G}_T = \left[1 - \frac{G_{T\Sigma}^0}{G_{T\Sigma}^*} \right] \cdot 100 \quad (10.5)$$

Положительные значения этого параметра, имеющие место при низких значениях КПД устройства накопления гибридной установки, показывают снижение эксплуатационной топливной экономичности, а отрицательные – ее улучшение.

Количество циркулирующей энергии внутри гибридной силовой установки в цикле ECE+EUDC Driving Cycle показано на рис. 10.2. Оценка осуществлялась следующим образом. Двигатель, работающий на режиме постоянных частоты вращения и крутящего момента и совершающий суммарную работу равную необходимой для движения транспортного средства в соответствии с испытательным циклом, должен развивать мощность, численно равную тангенсу наклона прямой A^* на рис. 10.1. Разница между этой прямой и линией реальной работы, совершаемой в цикле с учетом рекуперации A_r , и определяет текущий избыток-недостаток энергии в системе ΔA (кривая 1 на рис. 10.2).

Таблица 10.2

**Часовой и относительный расход топлива
дизеля гибридной силовой установки**

$\eta_{рек}$	Без рекуперации энергии торможения		С рекуперацией энергии торможения	
	$G^0_{ТЭГ}$ кг/цикл	$\Delta \bar{G}_r$, %	$G^*_{ТЭГ}$ кг/цикл	$\Delta \bar{G}_r$, %
0,4	2,222	+ 7,17	2,097	+ 1,1
0,5	2,065	+ 0,42	1,896	- 8,6
0,6	1,929	- 7,00	1,718	- 17,2
0,7	1,809	- 12,8	1,559	- 24,8
0,8	1,704	- 17,9	1,416	- 31,7
0,9	1,610	- 22,4	1,289	- 38,4
1,0	1,530	- 26,4	1,175	- 43,3

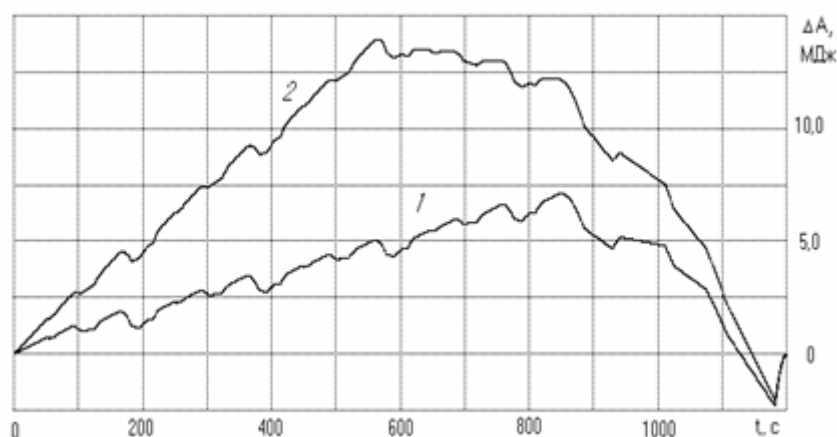


Рис. 10.2. Циркуляция энергии внутри гибридной силовой установки

Как видно из рис. 10.2, при работе двигателя в режиме постоянной мощности и частоты вращения коленчатого вала в течение всего цикла (кривая 1) для того, чтобы в течение цикла в буферном аккумулирующем устройстве сохранялся минимальный запас энергии, его емкость должна быть не менее 10 МДж. Для оценки: один ампер-час автомобильного аккумулятора (12 В) равен 0,0432 МДж, а энергии в 10 МДж теоретически соответствует емкость 232 А^ч. В случае если дизель будет работать 547 сек из всего времени цикла в старт-стопном режиме в точке минимального удельного расхода топлива $n = 1590 \text{ мин}^{-1}$, $M_e = 40,9 \text{ кВт}$, $G_T = 9,59 \text{ кг/ч}$, (кривая A** на рис.10.1 и кривая 2 на рис. 10.2), оценочная емкость аккумулятора должна составлять около 480 А^ч. Такие емкости сопоставимы с емкостью стартерных батарей аккумуляторов автомобилей с дизельными силовыми установками.

Таким образом, применение всего комплекса рассмотренных средств при реальных для практики значениях $\eta_{\text{рек}}$, позволяет экономить в процессе эксплуатации до 25–30% топлива.

В результате проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

1. Использование устройств для накопления энергии позволяет снизить эксплуатационный расход топлива, однако существенную роль при этом играет КПД системы накопления энергии. Так, положительный эффект существует при КПД более 0,5, а при его значении 0,9 выигрыш в топливной экономичности достигает более 20%.

2. Необходимая емкость аккумулятора для транспортного средства, оборудованного гибридной силовой установкой с дизелем Д-245 должна составлять около 480 А^ч, что сопоставимо с емкостью стартерных батарей аккумуляторов автомобилей с дизельными силовыми установками.

11. КОНСТРУКЦИЯ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Как уже говорилось ранее, рассматриваемые гибридные силовые установки имеют электромотор, который может приводить в движение автомобиль совместно с двигателем внутреннего сгорания. Это позволяет использовать ДВС меньшей мощности, потому что электромотор вступает в работу, когда потребуются большая мощность. Этот же электромотор благодаря обратимости электрических машин может также действовать как генератор, когда автомобиль замедляется, и возвращать энергию для частичной подзарядки батареи.

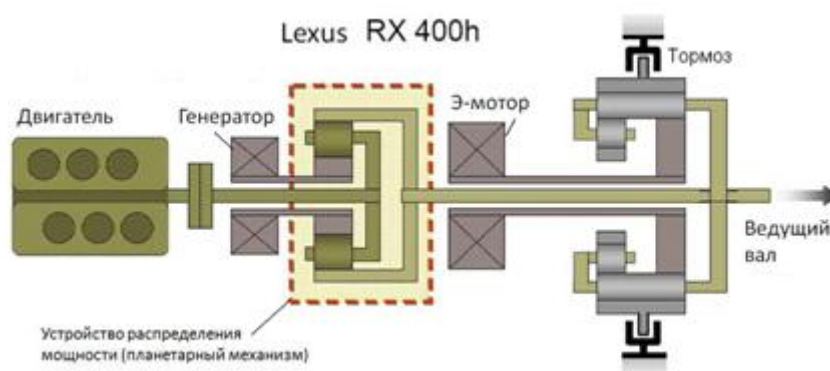


Рис. 11.1. Одна из смешанных схем гибридной силовой установки легкового автомобиля

Последовательные гибридные установки не нашли своего применения на легковых автомобилях и в настоящее время нет примеров коммерческих разработок в этой области. Это может быть объяснено прежде всего большими потерями энергии в такой схеме. Двигатель внутреннего сгорания приводит генератор, который может заряжать батарею и/или отдавать энергию отдельному электромотору, который использует мощность от генератора и, когда необходимо, мощность батареи, чтобы приводить в движение автомобиль. Поскольку двигатель ДВС не может непосредственно приводить автомобиль, такая

конструкция неэффективна вследствие больших электрических потерь и нуждается в электродвигателе большой мощности.

Другим путем пошли конструкторы Toyota. Так, в гибридной силовой установке Lexus RX 400h (рис. 11.1) используются две планетарные передачи, позволяющие суммировать энергию. Эквивалентная схема энергетических потоков в трансмиссии в этом случае может быть представлена следующей схемой (рис. 11.2).

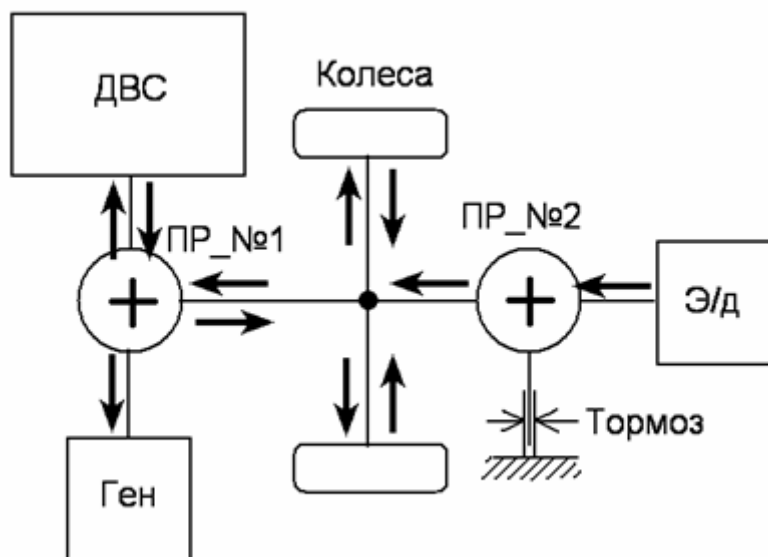


Рис. 11.2. Схема гибридной силовой установки автомобиля Lexus RX 400h

Рассмотрим подробно гибридную силовую установку автомобиля Prius, разработанную как комбинацию параллельного и последовательного гибридов, чтобы использовать преимущества каждого. В этом приводе часть мощности двигателя идет непосредственно (механически) к колесам, а часть мощности поступает на генератор и превращается в электрическую энергию, которая может поступать на электромотор, на который может быть добавлена мощность от батареи. Прямой механический способ является наиболее эффективным, но электрический способ позволяет обеспечить работу двигателя на режимах с наилучшей эффективностью в получении полезной работы от сжигаемого топлива.

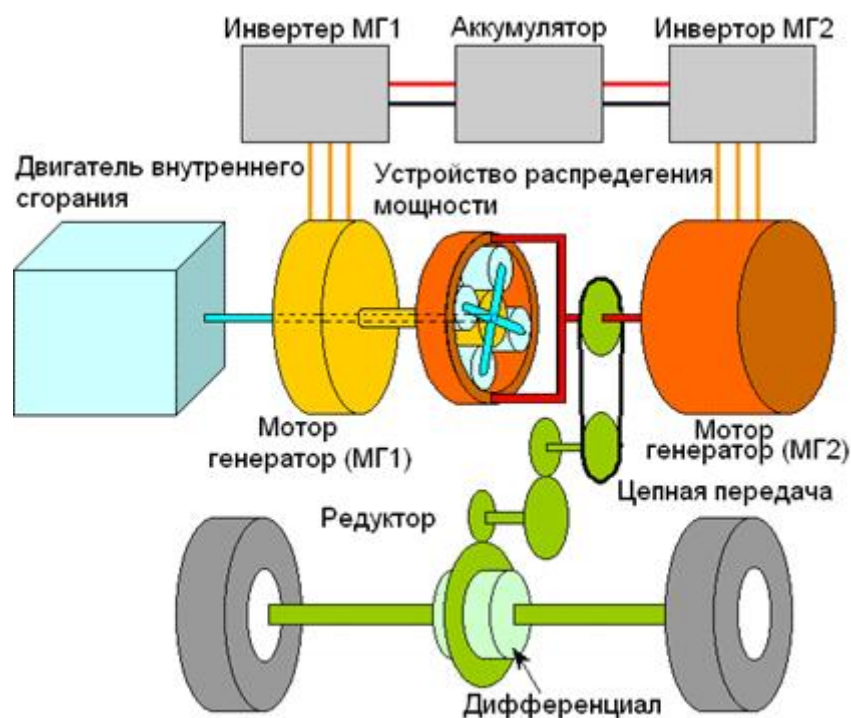


Рис. 11.3. Схема гибридного привода автомобиля Prius

На рис. 11.3 показан гибридный привод Prius. На рисунке показаны существенные особенности конструкции, однако многие детали упрощены. В частности, на рисунке упрощенно показан способ, которым двигатель внутреннего сгорания (ДВС) приводит во вращение планетарный механизм в устройстве распределения мощности (УРМ) и механизм, по которому коронная шестерня связана с бесшумной цепной передачей и вторым мотором-генератором (МГ2).

Как уже отмечалось ранее, мощность двигателя внутреннего сгорания в гибридной силовой установке может быть ниже, чем в классическом автомобиле. Так, Prius имеет двигатель номинальной мощностью необычно низкой для автомобиля массой 1300 кг. Это стало возможным из-за наличия электрических моторов и батареи, которые помогают ДВС, когда необходима большая мощность.

Помимо снижения рабочего объема в двигателе Prius использовано много технических приемов для улучшения эффективности и расширения диапазона условий, при которых может быть достигнута высокая эффективность. Двигатель использует цикл Аткинсона с продолженным расширением, который улучшает эффективность особенно в области малой мощности, уменьшая «насосные потери». Ограничение максимальной частоты вращения в 4500 мин⁻¹ позволяет использовать легкие детали, уменьшая потери на трение и снижая инерционные нагрузки.

Коленчатый вал смещен от осей цилиндров так, чтобы во время рабочего хода сила от поршня была передана к коленчатому валу через прямой, а не наклоненный шатун, что снижает боковую силу давления поршня на стенку цилиндра, уменьшает потери на трение. Клапаны имеют узкие стержни и низкую жесткость пружин для уменьшения энергии, затрачиваемой на управление клапанами.

Автомобиль Prius имеет бензиновый двигатель внутреннего сгорания рабочим объемом 1497 см³, который производит всю энергию для автомобиля. Так как в конструкции автомобиля не предусмотрено подключение к городской сети электроснабжения, нет никакого другого долгосрочного источника энергии, и двигатель внутреннего сгорания должен поставлять энергию как для зарядки батареи, так и для перемещения автомобиля и питания дополнительных потребителей, таких как кондиционер воздуха, электрический нагреватель, фары, световая сигнализация и т.д. Обозначение двигателя для автомобиля Prius – 1NZ-FXE. Двигатель близок по конструкции двигателю автомобиля Toyota Echo, который имеет обозначение 1NZ-FE. Двигатель четырехцилиндровый, рядный, 16-клапанный, с верхним расположением двух распределительных валов, приводящихся во вращение цепным приводом. Диаметр

цилиндра и ход поршня 75 мм и 84,7 мм соответственно. Для сокращения расходов на создание нового двигателя Toyota использовала одинаковый блок цилиндров для обоих двигателей.

Гибридная силовая установка автомобиля Prius имеет два электрических мотора-генератора (рис. 11.3). Они имеют аналогичную конструкцию, но отличаются по мощности (размерам). Оба – трехфазные синхронные двигатели с постоянными магнитами. Ротор, вращающаяся часть двигателя, представляет собой набор постоянных мощных магнитов и не имеет никаких электрических соединений. Статор, неподвижная часть, прикрепленная к корпусу автомобиля, содержит три набора обмоток. Когда ток проходит в некотором направлении через один комплект обмоток, ротор (магниты) взаимодействует с магнитным полем обмотки и устанавливается в некотором положении. Пропуская ток последовательно через каждый набор обмоток сначала в одном направлении, а затем в другом, можно перемещать ротор из одного положения к следующему и так заставить его вращаться.

Оба мотора-генератора в автомобиле Prius очень эффективные, с постоянными магнитами, требующие, однако, сложной управляющей электроники. В роторе отсутствуют обмотки, нет никаких электрических коммутирующих устройств, что увеличивает надежность по сравнению с двигателями постоянного тока, у которых на роторе есть обмотки. В синхронных моторах переменного тока такого типа все обмотки находятся в статоре. Управляющая электроника пропускает переменный ток через эти обмотки так, чтобы ротор вращался, для чего ток в обмотках должен быть «синхронизирован» с движением ротора. Это означает, что ток должен проходить сначала в одном направлении, а затем в обратном в точное время (угловое положение ротора), когда каждый магнит, размещенный на роторе, проходит мимо этой обмотки. Датчик положения вала сообщает управляющей электронике, как расположен ротор и как быстро он вращается.

На рис. 11.4 показана схема синхронного мотора переменного тока с постоянными магнитами. Разберем подробно его работу. Для начала рассмотрим полюс самой верхней обмотки фазы А. Если в фазе А действует переменный ток, то полюс перемагничивается поочередно с северного на южный магнитный полюсы и наоборот. Это происходит из-за того, что ток в обмотке проходит в разных направлениях. Если рассмотреть другие обмотки фазы А, то их полюса перемагничиваются точно так же, как и у верхней обмотки, и в то же самое время, так как все они электрически связаны и через них проходит один и тот же ток.

Полюса фазы В перемагничиваются таким же образом, но не в то же самое время, так как существует сдвиг между фазами. Это также верно для и для фазы С. Сдвиг между тремя фазами составляет 120 град, и различные обмотки трех фаз производят вращающееся магнитное поле, которое взаимодействует с магнитным полем постоянных магнитов ротора. Одноименные полюса отталкиваются, а разноименные полюса притягиваются. Управляющая электроника контролирует положение ротора и создает намагниченность полюсов статора таким образом, чтобы обеспечить вращение ротора по кругу.

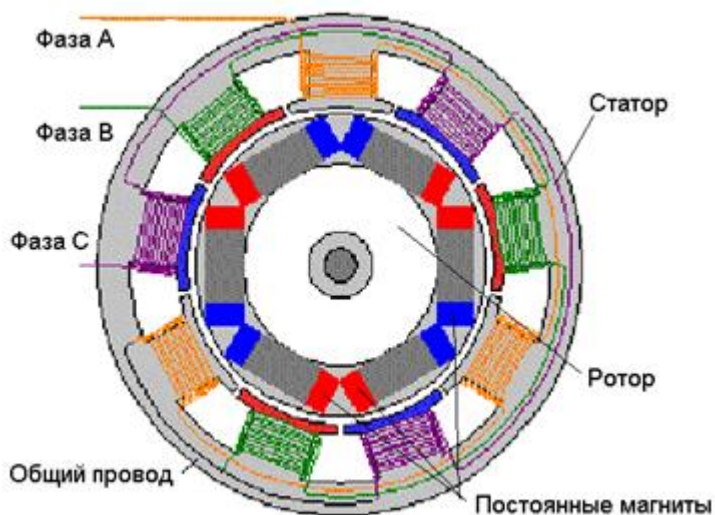


Рис. 11.4. Конструкция синхронного мотор-генератора

Если наблюдать проход полюса ротора мимо полюса статора, то при определенном положении ток в обмотке меняет направление, и полюс статора кратковременно остается немагнитным. Полюс статора перемагничивается так, чтобы иметь разные полюса с приближающимся полюсом ротора и притягивать его, когда он подходит к статору и отталкивать, когда он пройдет мимо (полюса становятся одноименными и поэтому отталкиваются). Если рассматривать момент, в котором ток обмотки статора достигает наибольшего значения и полюс статора более всего намагничивается, то можно заметить, что тогда роторный магнит точно примыкает к нему. Одноименный полюс этого магнита смещен в направлении против часовой стрелки и отталкивается. Разноименный полюс смещен по часовой стрелке и притягивается, поэтому двигатель вращается против часовой стрелки. Чтобы сменить направление вращения на противоположное, надо только изменить время подачи импульсов тока так, чтобы в пиках намагничивания статора одноименный полюс магнита ротора был смещен в направлении по часовой стрелке, а разноименный – в направлении против часовой стрелки.

Если силовому агрегату необходим меньший крутящий момент от электрического двигателя, то блок управления выдает команду управляющей силовой электронике пропускать меньший ток через обмотки. Полюсам ротора никогда не позволят догнать вращающееся магнитное поле, если устройство работает в режиме мотора.

Реальная конструкция статора МГ2 имеет 48 металлических выступов. Каждая обмотка проходит вокруг нескольких выступов, в «щелях» между ними. Обмотки для каждой из 3 фаз перекрываются. Они формируют 8 магнитных полюсов, которые вращаются более плавно, чем в рассматриваемые 6 полюсов. Ротор также имеет 8 полюсов неодимовых ферро-борных (NdFeB) постоянных магнитов, смонтированных в него.

Мотор-генератор 1 (МГ1) связан с солнечной шестерней устройства распределения мощности (УРМ). Он – меньший из двух и имеет максимальную мощность около 18 кВт. Обычно с его помощью осуществляется запуск ДВС и регулировка оборотов ДВС изменением производимого количества электроэнергии (нагрузкой генератора). Мотор-генератор 2 (МГ2) связан с коронной шестерней планетарного механизма устройства распределения мощности и далее через цепную передачу и редуктор с приводными колесами, поэтому он непосредственно приводит в движение автомобиль. Второй электродвигатель – генератор больший из двух моторов-генераторов и имеет максимальную мощность 33 кВт. Иногда такие электродвигатели называют тяговым мотором, и его обычная роль – приводить автомобиль в движение, как двигатель, или возвращать энергию торможения, как генератор. Оба мотора-генератора имеют жидкостную систему охлаждения.

Поскольку моторы-генераторы работают от переменного трехфазного тока, а батарея, как и все батареи, производит постоянный ток, необходимо некое устройство, чтобы преобразовать один вид тока в другой. Каждый мотор-генератор имеет электронное устройство, называемое инвертор, который выполняет эту функцию. Инвертор получает информацию о положении ротора электромотора от датчика на валу мотора-генератора и управляет током в обмотках мотора так, чтобы поддерживать вращение мотора на требуемой частоте и с необходимым вращающим моментом. Инвертор изменяет ток в обмотке, когда магнитный полюс ротора проходит мимо этой обмотки и переходит к следующей. Кроме того, инвертор подключает напряжение батареи на обмотки и затем выключает снова через очень малые промежутки времени (широко-импульсная модуляция), чтобы изменить среднее значение тока и, следовательно, крутящий момент. Используя «самоиндуктивность» моторных обмоток (свойство электрических обмоток «сопротивляться» изменению тока), инвертор может фактически пропустить больший ток через обмотку, чем поступает от батареи. Он работает только тогда, когда напряжение на обмотках меньше напряжения батареи, следовательно, энергия сохраняется. Однако, поскольку значение тока через обмотку определяет крутящий момент, этот ток позволяет достигнуть очень большого крутящего момента на малых оборотах. Приблизительно до скорости движения автомобиля 11 км/ч, мотор-генератор МГ2 способен развивать крутящий момент 350 Нм на редукторе. Именно поэтому автомобиль может начать движение с приемлемым

ускорением без использования коробки передач, которая требуется для увеличения крутящего момента обычного ДВС.

Аккумуляторная батарея высокого напряжения автомобиля Prius состоит из 228 элементов по 1,2 В каждый с полным номинальным напряжением 273,6 В. Ячейки объединены в 38 модулей по 6 элементов в каждом, и вся батарея установлена под задним сиденьем – в нише нижней части багажника. Максимальный ток батареи – 80 А при разряде и 50 А при заряде. Номинальная емкость батареи – 6,5 ампер-часов, однако электроника автомобиля позволяет использовать только 40% этой емкости, чтобы продлить срок службы аккумулятора. Состояние заряда может изменяться только между 40% и 80% полного номинального заряда. Таким образом, номинальный запас энергии 6,4 МДж, а используемый запас – 2,56 МДж (произведение напряжения батареи и ее емкости). Этой энергии достаточно, чтобы ускорить автомобиль, в котором находятся водитель и пассажиры до 65 миль в час (без помощи ДВС) 4 раза или можно подняться в гору на 200 м. Чтобы произвести такое количество энергии, ДВС потребовалось бы приблизительно 230 мл бензина. Автомобилем нельзя управлять без топлива, даже если стартовать с 80% полного номинального заряда с длинного спуска.

Автомобиль Prius также имеет вспомогательную аккумуляторную батарею. Это 12-вольтовая, емкостью 28 ампер-часов кислотнo-свинцовая батарея, назначение которой состоит в том, чтобы обеспечивать электропитанием электронику и дополнительные устройства, когда гибридная система выключена и главное реле батареи высокого напряжения выключено. Когда гибридная система работает, 12-вольтовым источником служит преобразователь постоянного тока, поступающего от системы высокого напряжения, в постоянный ток 12 В. Он также подзаряжает вспомогательную батарею в случае необходимости.

Крутящий момент и энергия ДВС и моторов-генераторов объединены и распределяются планетарным набором шестерен, названным фирмой Toyota устройством распределения мощности (УРМ, англ. PSD). Это устройство является весьма сложным по конструкции и принципу действия для различных режимов работы привода, это позволяет Prius работать и в последовательно-гибридных, и в параллельно-гибридных режимах работы одновременно и получать некоторые из преимуществ каждого режима.

Двигатель внутреннего сгорания может вращать колеса непосредственно (механически) через PSD. В то же самое время переменное количество энергии может быть снято с ДВС и превращено в электричество за счет мотор-генератора МГ1. Оно может заряжать батарею или передаваться к одному из моторов-генераторов, чтобы помогать вращать колеса. Гибкость этого механически-электрического распределения энергии позволяет автомобилю Prius иметь более высокие показатели топливной экономичности и снижать выбросы вредных веществ во время движения, что невозможно при жесткой механической связи между ДВС и колесами, которое имеет место в параллельной гибридной силовой установке, но без потерь электрической энергии, как в последовательной гибридной силовой установке.

Автомобиль Prius имеет так называемую бесступенчато-регулируемую трансмиссию (CVT), выполненную в виде устройства распределения мощности PSD. Однако обычная бесступенчато-регулируемая передача работает точно так же, как нормальная коробка передач за исключением того, что передаточное отношение может меняться непрерывно, а не в небольшом диапазоне передач (первая передача, вторая передача и т.д.).

Устройство распределения мощности связано с дифференциалом ведущих колес через бесшумную цепь и редуктор. Использование цепной передачи довольно необычно, но все обычные автомобили имеют шестеренчатые редукторы между двигателем и осями. Их назначение состоит в том, чтобы позволить двигателю вращаться быстрее, чем колеса и также увеличивать развиваемый двигателем крутящий момент к большему его значению на колесах. Отношение, в соответствии с которым скорость вращения уменьшена и крутящий момент увеличен, называют полным передаточным отношением. Полное передаточное отношение автомобиля Prius 2001 г. выпуска для США – 3,905. Оно получается из следующих соотношений:

- цепное колесо с 39 зубьями на выходном валу PSD приводит в движение цепное колесо с 36 зубьями на первом промежуточном валу через бесшумную цепь;
- шестерня с 30 зубьями на первом промежуточном валу связана и приводит в движение шестерню с 44 зубьями на втором промежуточном валу;
- шестерня с 26 зубьями на втором промежуточном валу связана и приводит в движение шестерню с 75 зубьями на входе дифференциала;
- значение выхода дифференциала к двум колесам такое же, как вход дифференциала (они фактически идентичны, кроме тех случаев, когда происходит движение в повороте).

Таким образом, выполнив вычисления $36 : 39 \cdot 44 : 30 \cdot 75 : 26$, мы получим (с точностью до четырех значащих цифр) полное передаточное отношение 3,905.

В дифференциале, осях и колесах автомобиля Prius нет ничего необычного. Как в классическом автомобиле, дифференциал позволяет внутренним и внешним колесам вращаться с разными скоростями, когда автомобиль поворачивает. Оси передают крутящий момент от дифференциала до ступицы колеса и включают сочленение, позволяющее колесам перемещаться вверх и вниз вслед за подвеской. Колеса выполнены из легкого алюминиевого сплава и оснащены шинами высокого давления с низким сопротивлением качения. Шины имеют катящийся радиус приблизительно 11,1 дюйма, что означает, что на каждый оборот колеса автомобиль перемещается на 1,77 м.

Привод автомобиля Prius может выглядеть несколько усложненным, однако следует принять во внимание, что в нем отсутствуют следующие агрегаты (необходимые в обычном автомобиле):

- нет ступенчатой коробки передач (ручной или автоматической), так как в приводе Prius не используются ступенчатые передачи;
- нет сцепления или гидротрансформатора, так как колеса всегда жестко связаны с ДВС и моторами-генераторами;
- нет специального электрического стартера, так как запуск ДВС производится с помощью моторов-генераторов через шестерни в устройстве распределения мощности;
- нет вспомогательного генератора переменного тока, так как электроэнергия производится мотор-генераторами при необходимости.

Так как сложность гибридной силовой установки Prius фактически ненамного больше, чем у обычного автомобиля, следует предположить, что новые и нетрадиционные узлы и устройства, такие как моторы-генераторы и PSD, вероятно, будут иметь более высокую надежность и более длинный срок службы, чем некоторые из частей, которые были устранены из конструкции, что увеличит надежность гибридной силовой установки в целом.

Рассмотрим более подробно устройство распределения мощности показанное графически на рис. 11.5.

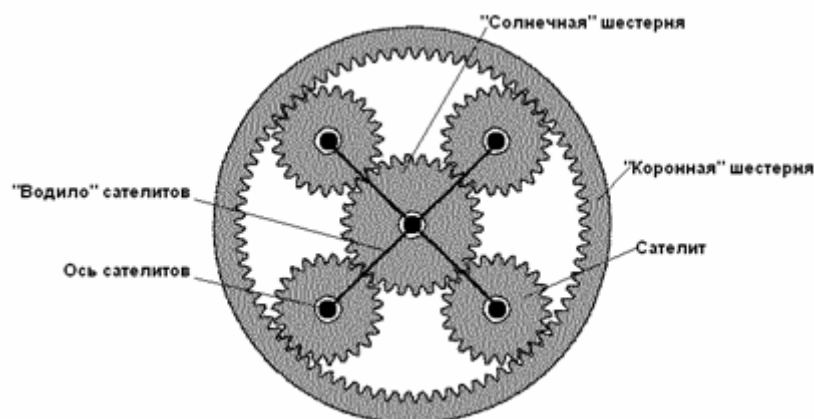


Рис. 11.5. Схема устройство распределения мощности

Реальная конструкция выглядит несколько иначе (рис. 11.6), однако для пояснения принципа работы лучше рассматривать упрощенную схему.

Трансмиссия Prius включает специальный набор шестерен, который фирма Toyota называет устройством распределения мощности (Power Split Device – PSD). Это эпициклический или планетарный механизм, подобный используемым в автоматических передачах. Шестерня в центре называется солнечной.



Рис. 11.6. Элементы конструкции устройства распределения мощности

Шестерни, окружающие ее, называют сателлитами. Оси шестерен-сателлитов фиксированы на устройстве, называемом водилом сателлитов или просто водилом, которое может вращаться вокруг той же самой оси, что и солнечная шестерня (водило не показано на рис. 11.5). Вокруг внешней стороны – кольцевая шестерня, называемая коронной шестерней, с зубьями, направленными вовнутрь и находящимися в зацеплении с сателлитами. коронная шестерня также вращается вокруг той же самой оси, что и солнечная шестерня.

На рис. 11.4 число зубьев шестерен планетарной передачи соответствует их количеству в PSD гибридной силовой установки автомобиля Prius. Солнечная шестерня имеет 30 зубьев, каждый сателлит 23 и коронная шестерня – 78 (на внутренней части).

Есть простые математические отношения между частотами вращения солнечной шестерни, водила сателлитов и коронной шестерни. Частота вращения самих сателлитов может быть исключена из анализа, поскольку они не связаны с внешними валами PSD. Их вращение – внутреннее движение планетарного механизма.

Представим ситуацию, когда водило сателлитов неподвижно, а коронная шестерня вращается, делая один оборот по часовой стрелке на общей оси. По каждому сателлиту проходят 78 зубьев – общее количество на коронной шестерне. Все сателлиты вынуждены вращаться по часовой стрелке. Там, где каждый сателлит соединяется с солнечной шестерней, 78 зубьев сателлита пройдут через эту точку, и

солнечная шестерня повернется на 78 зубьев, но против часовой стрелки. Солнечная шестерня имеет 30 зубьев вокруг ее окружности, поэтому повернувшись на 78 зубьев, она совершит $78 / 30 = 2,6$ оборота за один оборот коронной шестерни. Пусть S – число оборотов солнечной шестерни, R – число оборотов коронной шестерни; выбрав направление по часовой стрелке в качестве положительного, мы получим отношение $S = -2,6 \cdot R$, если водило сателлитов неподвижно.

Далее представим, что неподвижна коронная шестерня, а водило сателлитов делает один оборот по часовой стрелке на общей оси. В этом случае для упрощения задачи разобьем ее на два шага. Вначале представим, что вращается и коронная шестерня, и водило сателлитов на один оборот по часовой стрелке *вместе*. Совершенно очевидно, что при этом солнечная шестерня повернется на один оборот по часовой стрелке так, если бы это была одна деталь. Далее повернем коронную шестерню назад (против часовой стрелки) к ее исходной точке, оставляя водило сателлитов в его новом положении, чтобы получить ситуацию, которую мы хотели рассмотреть изначально. При этом солнечная шестерня (как и в рассмотренном первом случае с неподвижным водилом) повернется на то же самое количество оборотов – 2,6, но в противоположном направлении, по часовой стрелке. Итак, когда мы закончили вращения и установили коронную шестерню в начальное положение, а водило сателлитов – повернутым на один оборот по часовой стрелке, солнечная шестерня повернулась на один оборот плюс 2,6 оборота, что равняется 3,6 оборота по часовой стрелке. Вводя параметр C – число оборотов водила сателлитов, мы получим $S = 3,6 \cdot C$, если коронная шестерня неподвижна.

Таким образом, становится понятным, что, если и коронная шестерня, и водило сателлитов двигаются одновременно, то вращение солнечной шестерни будет комбинацией движений, которые происходили бы, если бы каждый элемент двигался отдельно. Поэтому полное отношение для анализируемого механизма, равно

$$S = 3,6 \cdot C - 2,6 \cdot R.$$

Зная это уравнение, можно найти скорость вращения элемента PSD, если мы хотим знать скорость вращения каких-либо двух других элементов. Чтобы наглядно видеть, как это может быть полезно для дальнейшего анализа гибридной силовой установки, заменим символы для солнечной шестерни, водила сателлитов и коронной шестерни символами, представляющими силовые агрегаты: мотор-генераторы и двигатель внутреннего сгорания. Солнечная шестерня (S) связана с мотором-генератором 1 (МГ1). Водило сателлитов (C) связано с двигателем внутреннего сгорания (ДВС). Коронная шестерня (R) связана с мотором-генератором 2 (МГ2). Таким образом, имеем

$$\text{МГ1} = 3,6 \cdot \text{ДВС} - 2,6 \cdot \text{МГ2} \quad (1)$$

Напомним, что коронная шестерня также связана через шестерни редуктора и дифференциал с ведущими колесами. Поэтому скорость вращения коронной шестерни имеет постоянное соотношение со скоростью автомобиля. Если автомобиль движется на известной скорости, можно найти скорость вращения мотор-генератора МГ2 (используя передаточное отношение редуктора и радиус колеса). Если требуется, чтобы ДВС вращался с определенным числом оборотов в минуту, производя энергию с наибольшей возможной эффективностью, то можно найти необходимую скорость вращения мотор-генератора МГ1. Таким образом известен алгоритм, по которому бортовой компьютер автомобиля может настроить компоненты силовой передачи, чтобы достигнуть требуемых эффектов работы трансмиссии.

Коронная шестерня и МГ2, как уже сказано, соединяются с шестернями редуктора, вращающими дифференциал, вращающий полуоси, которые, в свою очередь, вращают колеса. Передаточное число редуктора $i_p = 3,905 : 1$. Это означает, что мотор-генератор МГ2 должен совершить 3,905 оборота, чтобы полуоси повернулись на один оборот. Дифференциал не изменяет скорость вращения между входом и выходом, исключая случаи компенсации различного пути внутренних и внешних колес на поворотах. «Катящийся радиус» колес автомобиля Prius составляет приблизительно 0,282 м, следовательно, при каждом обороте оси автомобиль перемещается на $l_1 = 2 \cdot \pi \cdot 0,282$ м. Теперь имеется достаточно информации, чтобы выяснить, как скорость автомобиля соотносится со скоростью вращения мотор-

генератора МГ2. Если V_a обозначает скорость автомобиля в км/час, то частота вращения второго мотор-генератора в мин^{-1} равна

$$\text{МГ2} = \frac{V_a \cdot 1000 \left[\frac{\text{м}}{\text{км}} \right] \cdot i_p}{i_1 \cdot 60 \left[\frac{\text{мин}}{\text{час}} \right]} = 36,75 \cdot V_a \quad (2)$$

Например, при скорости автомобиля 80 км/ч мотор-генератор МГ2 вращается с частотой 2940 мин^{-1} . Допустим, если по расчетам бортового компьютера для обеспечения наибольшей эффективности требуется, чтобы ДВС вращался с частотой 1500 мин^{-1} , то из уравнения (1) следует, что при движении автомобиля со скоростью 80 км/ч компьютер должен выдать команды инвертору для того, чтобы он обеспечил вращение мотор-генератора МГ1 с частотой 2244 мин^{-1} в противоположную сторону.

На рис. 11.7 приведен трехмерный график рабочих режимов силовой установки автомобиля Prius.

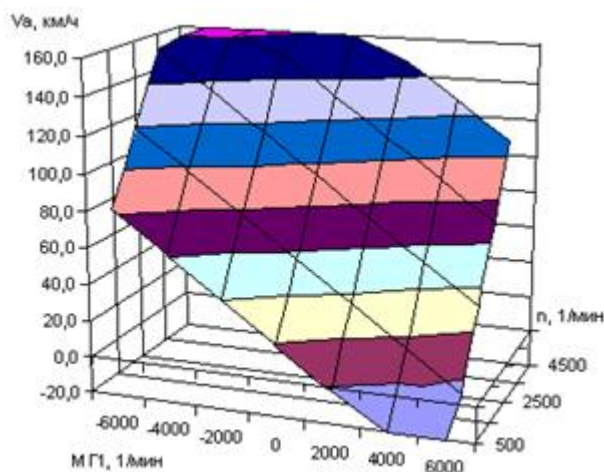


Рис. 11.7. Зависимость скорости движения автомобиля V_a в зависимости от частоты вращения мотор-генератора МГ1 и n – частоты вращения двигателя внутреннего сгорания

Для анализа привода без расчетов по формулам (1) и (2) можно использовать номограмму, показанную на рис. 11.8.

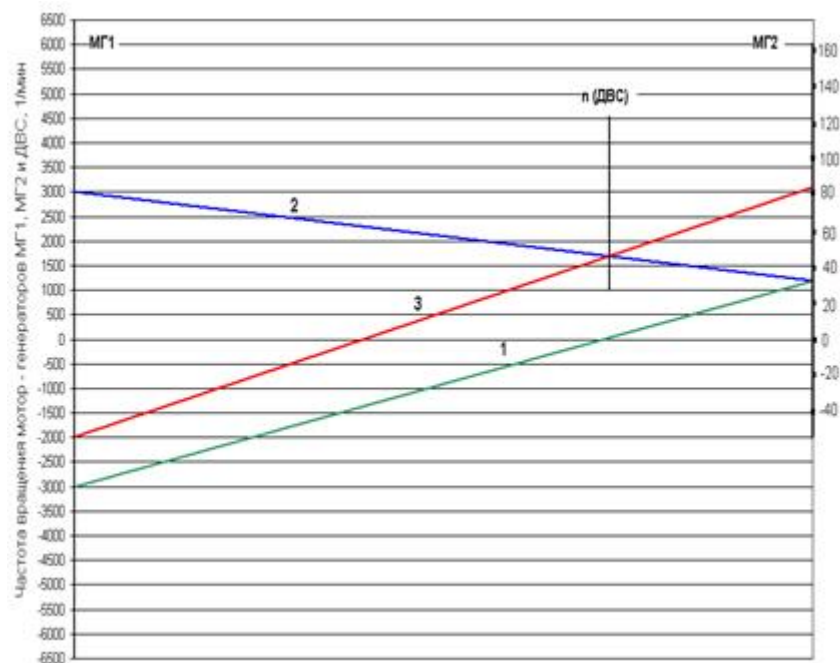


Рис. 11.8. Номограмма для расчета работы гибридной силовой установки автомобиля Prius

На рис. 11.8 приведена номограмма кинематических связей гибридной силовой установки автомобиля Prius. Левая шкала показывает частоту вращения мотор-генератора МГ1. Она оцифрована в оборотах в минуту от – 6500 назад (внизу) до 6500 вперед (наверху). Это допустимые условия механической прочности пределы частоты вращения для МГ1. Тонкая линия справа (снизу вверх) – шкала, показывающая обороты мотор-генератора МГ2. Оцифровка этой шкалы также находится слева (как и для МГ1, однако следует учесть, что безопасный предел для мотор-генератора МГ2 ограничен частотой вращения 6000 мин⁻¹). Дополнительно на правой шкале есть еще толстая линия, представляющая скорость движения автомобиля. Числа на правой стороне номограммы оцифровывают масштаб скорости движения в км/час. Хотя диапазон распространяется на скорости движения автомобиля от 150 км/ч задним ходом до 150 км/ч вперед, понятно, что только часть шкалы является значащей. Наконец, вертикальная линия в середине представляет скорость вращения ДВС. Это значение может быть прочитано с использованием левой шкалы частот вращения. Диапазон рабочих частот вращения от 1000 до 4500 мин⁻¹, но ДВС может также быть остановленным.

Каждая прямая линия, проведенная поперек номограммы, представляет скорости вращения для МГ1, ДВС и МГ2 и дорожной скорости V_a автомобиля. Можно выбрать любые два параметра (кроме МГ2 и дорожной скорости, которые жестко связаны коэффициентом друг с другом), найти эти точки на соответствующих шкалах, приложить линейку и найти значения других двух. Номограмма решает уравнения (1) и (2) графически с достаточной точностью для большинства целей. Проанализируем с помощью номограммы (см. рис. 11.8) несколько типичных режимов работы гибридной силовой установки автомобиля Prius.

Линия 1 описывает ситуацию, когда автомобиль движется со скоростью 27 км/ч и ДВС остановлен. Частоты вращения мотор-генераторов МГ2 и МГ1 могут быть прочитаны приблизительно как 1200 и –3100 мин⁻¹, соответственно.

Линия 2 показывает, что произойдет, если мотор-генератор МГ1 изменит направление вращения и запустится ДВС, который в этом случае работает при частоте вращения 1700 мин⁻¹. Мотор-генератор МГ1 будет вращаться вперед с частотой 3000 мин⁻¹.

Линия 3 показывает, что при той же самой частоте вращения ДВС 1700 мин⁻¹ автомобиль может достигнуть скорости 70 км/ч, если мотор-генератор МГ1 вращается назад с частотой 2000 мин⁻¹. На этой

скорости движения автомобиля мотор-генератор МГ2 будет вращаться с частотой приблизительно 3100 мин⁻¹.

В обычной шестеренчатой передаче, где две шестерни имеют зубчатое зацепление, отношение числа зубьев каждой из шестерни определяет не только отношение скоростей вращения, но и отношения крутящих моментов на их валах.

Например, если первичный вал вращает шестерню с

26 зубьями, а она имеет зацепление с шестерней с 75 зубьями на другом валу, то второй вал будет вращаться со скоростью, составляющей $26/75$ скорости первичного вала. Допустим, что первичный вал вращается двигателем, который развивает некоторый крутящий момент, например, в 1 Н·м. Как известно, крутящий момент, равный 1 Н·м, – это момент, который вызывает сила в 1 Н на плече в 1 м. При упоминании крутящего момента важно помнить, что он является результатом действия силы на расстояние (плечо). Так, если плечо увеличить в два раза, то потребуется приложить силу в два раза меньшую, чтобы развить тот же крутящий момент, поскольку при удалении от оси, относительно которой создается вращающий момент, для получения того же самого эффекта к плечу требуется приложить меньшую силу.

Теперь вернемся к передаче. Первая шестерня с 26 зубьями меньше, чем вторая шестерня с 75 зубьями. Зубья на этих двух шестернях должны быть одинаковыми, чтобы должным образом зацепляться. Из этого следует, что окружности шестерен находятся в отношении 26 к 75. Длина окружности равна $2\pi r$, умноженным на радиус, следовательно, радиусы этих двух шестерен находятся также в отношении 26 к 75. Зубья на второй шестерне находятся в $75/26$ раза дальше от оси вращения, чем зубья первой шестерни, то есть у них в $75/26$ раза больше «плечо». Таким образом, крутящий момент на втором валу будет в $75/26$ раза больше (если пренебречь трением) крутящего момента на первичном валу.

Таким образом, скорость вращения второго вала – составляет только $26/75$ скорости первого, однако крутящий момент на втором валу – $75/26$ момента первого вала.

Скорость вращения понижается, а крутящий момент повышается в том же самом отношении, поскольку мощность, передаваемая передачей, пропорциональна крутящему моменту и частоте вращения, что следует из принципа сохранения энергии. Рассмотрим отношения крутящих моментов в планетарной передаче.

Для этого рассмотрим одну из шестерен сателлитов (рис. 11.9), которые водило сателлитов, связанное с валом ДВС, вращает вокруг оси планетарного механизма. Другие четыре сателлита будут вести себя таким же образом, причем каждый будет передавать четверть нагрузки. Крутящий момент от ДВС создает силу на валу сателлита, показанную жирной стрелкой на рисунке. Эта сила передается зубьями, которые зацеплены с солнечной шестерней с одной стороны и коронной шестерней с другой. Сила на зубьях коронной шестерни показана тонкой длинной стрелкой, а сила на зубьях солнечной шестерни – короткой тонкой стрелкой. Эти зубья находятся на одинаковом расстоянии от оси сателлита, так как они входят в зацепление с зубьями на окружности сателлита. Поэтому сила будет распределена одинаково.

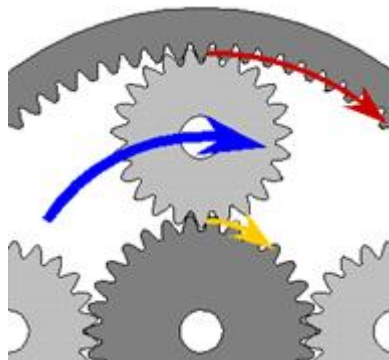


Рис. 11.9. Распределение сил в планетарной передаче

Теперь соотнесем рассмотренные силы развиваемыми крутящими моментами. Для этого необходимо ввести некоторый масштаб (линейные единицы), чтобы можно было оперировать размерами

шестерен, фактически не зная, каковы они есть на самом деле. Так как солнечная шестерня устройства распределения мощности гибридной силовой установки автомобиля Prius имеет 30 зубьев, примем, что ее радиус равен 30 условным линейным единицам. Коронная шестерня имеет 78 зубьев, а так как каждый зуб имеет один и тот же размер по делительным окружностям на всех сцепленных шестернях, радиус коронной шестерни с внутренней стороны равен 78 условным единицам. Вал сателлита должен быть расположен посередине между зубьями солнечной и коронной шестерен, т.е. на расстоянии $(30 + 78) / 2 = 54$ условным единицам от общей оси. Так как крутящий момент – произведение величины силы на расстояние от центра вращения до точки приложения силы, то

$$T_p = F_p \cdot 54,$$

где T_p – крутящий момент на водиле сателлитов; F_p – сила, приложенная к валу сателлита.

В том случае, если известен крутящий момент на водиле сателлитов, можно найти силу, приложенную к оси сателлита:

$$F_p = T_p / 54.$$

Рассуждения на основе рис. 11.9 показали, что сила, приложенная к валу сателлитов, распределяется на внутреннюю часть коронной шестерни и на внешнюю часть солнечной шестерни равными долями

$$F_r = T_p / 108 \text{ и } F_s = T_p / 108,$$

где F_r – сила на зубьях коронной шестерни; F_s – сила на зубьях солнечной шестерни.

Чтобы получить крутящий момент коронной и солнечной шестерен, необходимо умножить действующие силы на расстояние зубьев от оси вращения

$$T_r = T_p \cdot 78 / 108 \text{ и } T_s = T_p \cdot 30 / 108,$$

где T_r – крутящий момент на коронной шестерне; T_s – крутящий момент на солнечной шестерне.

Выполнив деление и сделав округление с точностью до 0,01, получаем

$$T_r = T_p \cdot 0,72 \text{ и } T_s = T_p \cdot 0,28.$$

Таким образом, можно сделать вывод о том, что 72% крутящего момента водила сателлитов (привод которого осуществляется ДВС) передается на коронную шестерню (которая через редуктор связана с колесами) и 28% передается на солнечную шестерню (то есть на мотор-генератор МГ1). Несмотря на то, что был рассмотрен один сателлит из четырех, полный крутящий момент водила сателлитов разделен среди них пропорционально, крутящий момент, переданный коронной и солнечной шестерням в сумме будет равен 100%, так как, в пренебрежении трением, весь полученный крутящий момент идет на выход.

Рассмотрим, как используется полученное распределение моментов между коронной шестерней и солнечной шестерней силовой установки Toyota Prius при различных условиях движения.

12. ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ

Рассмотрим различные режимы работы и особенности функционирования гибридной силовой установки на примере автомобиля Toyota Prius.

Запуск двигателя на стоянке

Чтобы запустить двигатель, включается и вращается вперед мотор-генератор МГ1, связанный с солнечной шестерней за счет использования электроэнергии высоковольтной силовой батареи. Если автомобиль стоит, то коронная шестерня планетарного механизма, жестко связанная с ведущими колесами, будет также оставаться неподвижной. Вращение солнечной шестерни поэтому вынуждает водило

сателлитов вращаться. Оно связано с двигателем внутреннего сгорания и проворачивает его с частотой, составляющей $1/3,6$ скорости вращения мотор-генератора МГ1.

В отличие от обычного автомобильного двигателя, в котором, как только стартер при запуске начинает его вращать, подается топливо и осуществляется зажигание рабочей смеси, бортовой компьютер Prius «ждет», пока мотор-генератор МГ1 не разгонит ДВС приблизительно до 1000 мин^{-1} . Это происходит меньше чем через секунду, так как мотор-генератор МГ1 значительно более мощный, чем обычный электрический стартер двигателя легкового автомобиля. Чтобы вращать коленчатый вал ДВС с этой скоростью, МГ1 должен вращаться с частотой 3600 мин^{-1} . Пуск ДВС на частоте вращения 1000 об./мин. происходит очень плавно, без дополнительного шума, рывков и вибраций, так как эта частота вращения близка к минимально устойчивым оборотам холостого хода для двигателя данной размерности. Кроме того, при запуске двигателя Prius, включаются в работу только два из четырех цилиндров, что еще в большей степени делает запуск плавным и бесшумным, устраняет повышенный износ, связанный с запусками двигателя обычных автомобилей.

Как только двигатель внутреннего сгорания начал работать, бортовой компьютер устанавливает такую степень открытия дроссельной заслонки, чтобы получить требуемую частоту вращения на холостом ходу для обеспечения оптимальной скорости прогрева двигателя. Электричество больше не питает мотор-генератор МГ1 и, если батарея разряжена, МГ1 может генерировать электрическую энергию и заряжать батарею. Бортовой компьютер переводит МГ1 из режима электромотора в режим генератора и приоткрывает дроссель ДВС немного больше, чем это требуется для поддержания оборотов холостого хода и вырабатывает электроэнергию.

Запуск холодного двигателя

Когда запускается Prius с холодным двигателем, главная задача бортового компьютера состоит в том, чтобы прогреть двигатель и каталитический нейтрализатор до такого уровня, чтобы заработала система нейтрализации вредных веществ в отработавших газах. Двигатель будет работать в течение нескольких минут, пока это не произойдет (как долго – зависит от фактической температуры двигателя и каталитического нейтрализатора). Нейтрализатор сконструирован таким образом, что в этот период (прогрева) токсичные компоненты (продукты неполного сгорания топлива) не покидают нейтрализатор, а накапливаются в специальном поглотителе, который будет очищен позже работой двигателя в специальном режиме. Частота вращения коленчатого вала на холостом ходу после холодного пуска будет несколько повышенной, приблизительно 1300 мин^{-1} , для того, чтобы обеспечить более быстрый прогрев и интенсивную смазку пар трения.

Запуск прогретого двигателя

Когда производится запуск двигателя внутреннего сгорания Prius с прогретым во время предыдущего времени работы двигателем, он будет работать в течение короткого времени и затем останавливаться. Частота вращения холостого хода составит примерно 1000 мин^{-1} .

Особенностью является то, что невозможно препятствовать запуску ДВС гибридной силовой установки Prius, даже в том случае, если требуется переместить автомобиль на несколько метров, как это реализовано в разработанном компанией Toyota гибридном приводе для модели Lexus RX 400h, где в отличие от других современных систем обеспечена возможность работать отдельно: или на двигателе внутреннего сгорания, или только на электрическом моторе, а также на том и на другом одновременно.

Трогание автомобиля с места

Трансмиссия автомобиля Prius не содержит коробки перемены передач, и, судя по общему передаточному числу от двигателя к колесам, можно сказать, что находится всегда на прямой передаче. Это означает, что двигатель не может в сам по себе развить требуемый крутящий момент, чтобы автомобиль

тронулся с места с приемлемым ускорением. Крутящий момент для начального ускорения добавляется мотор-генератором МГ2, вращающим непосредственно коронную шестерню планетарного механизма, связанную со входом редуктора, выход которого связан с колесами. Электрические двигатели развивают лучший крутящий момент на низкой частоте вращения, поэтому идеально подходят для движения транспортного средства.

Если представить, что ДВС работает, а автомобиль неподвижен, значит, мотор-генератор МГ1 вращается вперед. Управляющая электроника начинает отбирать энергию с генератора МГ1 и передает ее на мотор МГ2. При трогании требуется энергия для ускорения автомобиля, и эта энергия поглощается из гибридного силового привода, приводя к замедлению выходного вала распределителя мощности. Бортовой компьютер увеличивает обороты ДВС, чтобы добавить в привод дополнительную энергию. Таким образом, ДВС более энергично вращает водило сателлитов планетарного механизма, а генератор МГ1 пытается «замедлить» вращение солнечной шестерни. В результате возникает крутящий момент на коронной шестерне, которая заставляет ее вращаться и автомобиль начинать двигаться.

Как уже говорилось, в планетарном механизме автомобиля Prius крутящий момент ДВС делится в соотношении 72% к 28% между коронной и солнечной шестернями. Пока водитель не нажимает на педаль акселератора, ДВС работает на холостом ходу (или близком к нему – режиме подзаряда аккумулятора) и не развивает выходного крутящего момента. Однако при трогании с места обороты увеличиваются и 28% крутящего момента вращают МГ1 как генератор. Другие 72% крутящего момента передаются механически на «коронную» шестерню и, следовательно, на колеса. Одновременно с тем, что большая часть крутящего момента поступает от мотор-генератора МГ2, ДВС также передает крутящий момент к колесам.

Требуется пояснить, как 28% крутящего момента ДВС, который передается к генератору МГ1, могут с помощью мотора МГ2 улучшить динамику транспортного средства при трогании автомобиля. прежде всего следует отметить различия между крутящим моментом и энергией. Вращающий момент – это аналог силы, поэтому как и в случае с прямолинейной силой, не требуется расходовать энергию на поддержание силы. Действительно, если груз поднимается с помощью лебедки, то мотор лебедки потребляет энергию. Но если подъем остановлен, допустим, отключением электромотора и включением механического тормоза барабана, то сила (вес груза), которая приложена к веревке, и крутящий момент, передаваемый веревкой барабану лебедки, не исчезла. Но потому, что сила есть, а перемещения нет, то нет и никакой передачи энергии.

Аналогично, когда автомобиль неподвижен, даже при том, что 72% крутящего момента ДВС передают на колеса, нет никаких потоков энергии в этом направлении, так как коронная шестерня не вращается. Солнечная шестерня, однако, быстро вращается и, хотя она получает только 28% вращающего момента, это позволяет генератору МГ1 произвести достаточно много электроэнергии. Подобные рассуждения показывают, что задача МГ2 состоит в приложении крутящего момента к входу механического редуктора, не требующего большой мощности. При этом ток в обмотках МГ2 достаточно велик и, проходя через обмотки мотора, преодолевая электрическое сопротивление, эта энергия теряется в виде тепла.

Поскольку автомобиль начинает перемещаться и набирает скорость, генератор МГ1 вращается медленнее и производит меньше энергии. Однако компьютер может немного прибавить обороты ДВС. Теперь больше крутящего момента поступает в привод от ДВС, и, поскольку больше крутящего момента должно также пройти через солнечную шестерню, МГ1 может поддерживать генерирование энергии на высоком уровне. Уменьшенная скорость вращения компенсируется увеличением момента.

При описании трогания автомобиля с места мы специально не уделяли внимания аккумуляторной батарее, поскольку она не обязательна для приведения автомобиля в движение. Однако, большинство троганий с места – результат управляющих действий компьютера, в результате которых энергия от батареи передается непосредственно к мотору МГ2.

Существуют предельные обороты ДВС, когда автомобиль движется медленно. Они обусловлены необходимостью предотвратить повреждение МГ1, который должен вращаться очень быстро. Это

ограничивает количество энергии, производимой ДВС. Кроме того, субъективно водитель испытывает дискомфорт, чувствуя, что ДВС слишком сильно увеличивает обороты для плавного трогания с места. Чем сильнее водитель нажимает акселератор, тем больше ДВС увеличит обороты, но также и больше энергии поступает от батареи. Если полностью «утопить» педаль, приблизительно 40% энергии поступают от батареи и 60% от ДВС при скорости около 40 км/ч. Поскольку автомобиль ускоряется и одновременно обороты ДВС растут, он дает большую часть энергии, достигая приблизительно 75% при 96 км/ч, если педаль управления по-прежнему нажата до упора. Следует отметить, что энергия силовой установки включает энергию ДВС и то, что снято генератором МГ1 и передано в виде электричества к мотору МГ2. При движении со скоростью 80 км/ч мотор МГ2 отдает большой крутящий момент, и, следовательно, больше мощности к колесам, чем поставляется через планетарный механизм от ДВС. Но большая часть электроэнергии, которую он расходует, идет от генератора МГ1 и, следовательно, косвенно от ДВС, а не от батареи.

Ускорение и движение на подъем

Когда требуется большая мощность, двигатель внутреннего сгорания и мотор-генератор МГ2 создают крутящий момент совместно, чтобы приводить автомобиль почти таким же способом, как описано выше для начала движения. Когда скорость автомобиля растет, уменьшается крутящий момент, который мотор-генератор МГ2 в состоянии выдать, так как он начинает работать на пределе своей мощности в 33 кВт. Чем выше его частота вращения, тем меньше крутящий момент он может выдать на этой мощности. Однако это интуитивно воспринимается водителем как нормальное явление. Действительно, когда обычный автомобиль ускоряется, ступенчатую коробку перемены передач переключают на более высокую передачу, для того, чтобы понизить частоту вращения двигателя до безопасного значения, в результате чего происходит снижение вращающего момента на колесах. Хотя это делается с использованием абсолютно разных механизмов, гибридный привод автомобиля Prius дает такое же ощущение водителю, как и ускорение на обычном автомобиле. Главное различие – полное отсутствие «дерганий» при переключении передач (автомобили с истинными бесступенчато-регулируемыми передачами типа CVT Insight также создают плавность хода во время ускорения).

При наборе скорости ДВС вращает водило сателлитов планетарного механизма и 72% его крутящего момента поступает механически через коронную шестерню к колесам, 28% поступают в генератор МГ1 через солнечную шестерню, где механическая энергия превращается в электрическую. Эта электрическая энергия питает мотор МГ2, который добавляет определенный дополнительный крутящий момент на коронной шестерне.

Чем больше водитель нажимает акселератор, тем больший крутящий момент развивает ДВС. Он увеличивает как механический крутящий момент через коронную шестерню, так и количество электроэнергии, произведенной генератором МГ1 для мотора МГ2, используемой, чтобы добавить еще больше крутящего момента. В зависимости от различных факторов, таких как состояние заряда батареи, уклон дороги и особенно сила нажатия на педаль, компьютер может направлять дополнительную энергию от батареи к мотору МГ2, чтобы повысить его вклад в общее тяговое усилие. Таким образом достигается ускорение, достаточное для комфортного движения достаточно большого автомобиля с ДВС мощностью всего 52 кВт. Вместе с тем, если необходимая мощность не так высока, то часть электричества, производимого МГ1, может использоваться для зарядки батареи даже при наборе скорости.

Движение автомобиля на умеренной скорости

Как только автомобиль достиг устойчивой (постоянной) скорости на горизонтальной дороге, мощность, которая должна поставляться двигателем, расходуется только на преодоление аэродинамического сопротивления и трение качения. Это намного меньше, чем мощность, необходимая для движения на подъем или для разгона автомобиля. Чтобы работать эффективно на низкой мощности, а также не создавать много шума, ДВС работает на низких частотах вращения коленчатого вала. В табл. 12.1

приведены результаты расчета (необходимая для движения мощность) и экспериментально замеренная приблизительная частота вращения коленчатого вала ДВС на автомобиле Prius.

Таблица 12.1

Режимы работы гибридной силовой установки

Скорость автомобиля	Необходимая для движения мощность, кВт	Частота вращения ДВС, мин⁻¹	Частота вращения генератора МГ1, мин⁻¹
40 миль/ч (64 км/ч)	3,6	1300	- 1470
50 миль/ч (80 км/ч)	5,9	1500	- 2300
60 миль/ч (96 км/ч)	9,2	не известна	не известна

Следует обратить внимание на то, что высокая скорость автомобиля и низкая частота вращения ДВС ставят устройство распределения мощности в такое положение, когда генератор МГ1 должен теперь вращаться назад, как это видно из таблицы. Вращаясь назад, он заставляет сателлиты вращаться вперед. Вращение сателлитов складывается с вращением валика от ДВС и заставляет коронную шестерню вращаться намного быстрее. Различие состоит в том, что при движении на подъем требуется получить наибольшую мощность, даже при передвижении с меньшей скоростью и с помощью высокой частоты вращения ДВС. При движении с постоянной скоростью ДВС должен оставаться на низкой частоте вращения, даже если движение происходит на значительной скорости, чтобы реализовать получение мощности от ДВС с высокой эффективностью.

Генератор МГ1 должен развивать «обратный» крутящий момент на солнечной шестерне. Это как бы точка опоры рычага, с помощью которого ДВС вращает коронную шестерню, а значит, и колеса автомобиля. Без сопротивления мотор-генератора МГ1 двигатель внутреннего сгорания просто вращал бы мотор-генератор МГ1 вместо того, чтобы приводить в движение автомобиль. Когда МГ1 вращается вперед, этот «обратный» вращающий момент может создаваться генераторной нагрузкой. Следовательно, электроника инвертора должна забирать энергию от МГ1 для получения «обратного» крутящего момента.

При вращении мотор-генератора МГ1 назад для получения «обратного» крутящего момента МГ1 должен быть двигателем и вращаться, используя электроэнергию, поставляемую инвертором. При этом если он будет тратить энергию батареи, то ее хватит лишь на некоторое время, но в дальнейшем установка должна будет выйти из этого режима, так как должен быть какой-то остаточный заряд батареи для ускорения или движения на подъем. Для того чтобы получать электроэнергию непрерывно, эта энергия должна вырабатываться МГ2, который должен работать как генератор.

Таким образом, при движении на постоянной скорости стратегия управления гибридной силовой установкой автомобиля Prius сводится к следующему. Двигатель внутреннего сгорания вращает валик сателлитов при низкой частоте вращения. Мотор-генератор МГ1 вращает солнечную шестерню назад, что заставляет сателлиты вращаться вперед и увеличивает частоту вращения коронной шестерни. Высокая частота вращения коронной шестерни позволяет автомобилю двигаться с высокой скоростью при низкой частоте вращения ДВС. Мотор-генератор МГ2, «сопротивляется» движению автомобиля, так как работает в режиме генератора и производит электрическую энергию, которая поступает в мотор МГ1. Автомобиль движется вперед остающимся механическим крутящим моментом от ДВС.

Движение автомобиля за счет сил инерции

Когда водитель перестает нажимать на педаль акселератора, автомобиль начинает движение «накатом». Двигатель не передает мощность в трансмиссию, и автомобиль постепенно замедляется вследствие трения качения и аэродинамического сопротивления. В обычном автомобиле двигатель все еще связан с колесами трансмиссией. Двигатель проворачивается без топлива и поэтому также замедляет автомобиль. Это называют «торможение двигателем». Хотя нет никакой объективной причины для того, чтобы это происходило в силовой установке Prius, конструкторы решили создать водителю такие же ощущения, как на обычном автомобиле, имитируя торможение двигателем. Когда автомобиль с классической механической трансмиссией движется накатом, он замедляется быстрее, чем если бы на него действовали только сопротивление качения и аэродинамическое сопротивление. Чтобы производить эту дополнительную замедляющую силу, мотор-генератор МГ2 включается как генератор и заряжает батарею. Его генераторная нагрузка имитирует торможение двигателем.

Поскольку при движении автомобиля за счет силы инерции двигатель не нужен, он может быть остановлен, но при этом коронная шестерня, связанная с колесами, продолжает вращаться, а с ней вращается и ротор генератора МГ2. Сателлиты вращаются вперед, а мотор-генератор МГ1 вращается назад, хотя энергия им не производится и не потребляется, так как МГ1 находится в выключенном состоянии и вращается свободно.

Однако из рассмотрения *устройства распределения мощности* мы знаем, что мотор-генератор МГ1 вращается назад в 2,6 раза быстрее, чем коронная шестерня, и МГ2 вращается вперед. Эта ситуация не безопасна, когда автомобиль движется на высокой скорости. Если оставить водило сателлитов неподвижным при скорости 42 миль/ч (67 км/ч) и выше, мотор-генератор МГ1 будет вращаться назад с частотой более 6500 мин⁻¹, что недопустимо из условий механической прочности электромотора. Поэтому, чтобы этого не случилось, компьютер включает мотор-генератор МГ1 как генератор и начинает снимать энергию. Генераторная нагрузка предотвращает превышение оборотов МГ1, и вместо этого водило сателлитов начинает вращаться вперед. При вращении водила сателлитов и ДВС на частоте 1000 мин⁻¹ мотор-генератор МГ1 защищен на скоростях до 65 миль/час (104 км/ч). На более высоких скоростях водило сателлитов и ДВС должны вращаться быстрее. Электроэнергия, произведенная генератором МГ1 в этом режиме, может использоваться, чтобы зарядить батарею. Для движения накатом на более высокой скорости ДВС принуждается к вращению, не производя энергии для движения.

Торможение

Когда возникает необходимость замедления автомобиля более быстро, чем при свободном выбеге (движении накатом), водитель нажимает на педаль тормоза.

В обычном автомобиле это давление передается гидравлическим контуром на фрикционные тормоза в колесах. Тормозные колодки прижимаются к металлическим дискам или барабанам, энергия движения автомобиля преобразовывается в тепло, и автомобиль замедляется. Автомобиль Prius имеет точно такие же тормоза, но он имеет регенеративное торможение (рис. 12.1).

Во время движения накатом мотор-генератор МГ2 осуществляет некоторую генераторную нагрузку, чтобы имитировать торможение двигателем, поэтому при нажатии на педаль тормоза увеличивается генерация электроэнергии МГ2, и намного большая генераторная нагрузка вносит свой вклад в замедление автомобиля. В отличие от тормозов трения, которые тратят впустую кинетическую энергию автомобиля на производство тепла, электроэнергия, произведенная регенеративным торможением, сохраняется в батарее и будет использована позже. Компьютер вычисляет, какое замедление будет произведено регенеративным торможением и уменьшает на соответствующую величину гидравлическое давление, передаваемое тормозам трения.



Рис. 12.1. Тормозная система автомобиля Prius

В обычном автомобиле на крутом спуске водитель переключает коробку передач на пониженную передачу, чтобы увеличить интенсивность торможения двигателем. Частота вращения двигателя становится больше, механические потери в нем увеличиваются, и двигатель сдерживает автомобиль в большей степени, помогая тормозам замедлить его. Тот же самый выбор доступен в автомобиле Prius. Если рычаг выбора режима перемещается в положение «В», то двигатель будет использоваться для торможения. Поскольку обычно двигатель останавливается в режиме торможения, в положении «В» рычага управления компьютер и мотор-генераторы выстраивают схему работы так, чтобы вращать ДВС без подачи топлива и с почти закрытым дросселем. Сопротивление, которое он создает, замедляет автомобиль, уменьшая нагревание тормозов и позволяет ослабить нажатие на педаль тормоза для остановки.

Трогание автомобиля на электрической тяге

Обычный автомобиль с автоматической передачей тронется с места, если водитель снимет ногу с педали тормоза. Это побочный эффект работы гидротрансформатора, но он не позволяет автомобилю катиться назад на подъеме в тот момент, когда водитель переносит ногу на педаль акселератора. Этот эффект принято называть так: «машину ведет». Как и в случае с торможением двигателем, здесь нет никакой причины для того, чтобы силовая установка Prius должна вести себя таким образом, за исключением того, что конструкторы посчитали, что водители должны чувствовать знакомые ощущения. Поэтому «ведение» автомобиля также имитируется. Для этого небольшое количество энергии из батареи передается мотору МГ2, когда на автомобиле Prius отпускается тормоз.

Если водитель немного нажмет на акселератор, поступающая к мотору МГ2 энергия будет увеличена и автомобиль будет двигаться быстрее. Так как мотор-генератор МГ2 достаточно мощен и имеет высокий крутящий момент, Prius может начинать движение только на электроэнергии, разгоняясь до достаточно высокой скорости. Чем сильнее водитель нажимает на акселератор, тем быстрее ДВС запустится и начнет отдавать свою энергию в трансмиссию. Если нажать на педаль акселератора до упора, то ДВС заведется сразу же, но для большинства троганий в городской черте более характерным будет начало движения без запуска двигателя внутреннего сгорания, с использованием только мотора МГ2, запитанного от батареи, ДВС остается заглушенным, и мотор-генератор МГ1 свободно вращается назад.

Медленное движение и «режим электромобиля»

Мы уже рассматривали, как автомобиль трогается с использованием только электроэнергии и мотора МГ2, если водитель не будет сильно нажимать на педаль акселератора. Если желаемая скорость достигается прежде, чем запустится ДВС, то можно продолжить движение, используя только электроэнергию. Для этого используется режим «EV mode» – «режим электромобиля», так как автомобиль питается точно так же, как электромобиль. Поскольку двигатель МГ2 приводит автомобиль в движение, а водило сателлитов и ДВС неподвижны, солнечная шестерня и МГ1 свободно вращаются назад.

Даже если ДВС запустился во время ускорения, когда была достигнута требуемая скорость движения и уменьшилось давление на педаль акселератора, энергия, необходимая для поддержания движения, может упасть до уровня, который может обеспечить мотор МГ2. В этом случае бортовой компьютер глушит ДВС, и движение продолжается в режиме электромобиля. Предсказать, когда это случится, достаточно сложно, поскольку это зависит от различных факторов – условий движения, степени заряда батареи и т.п. В некоторых случаях при движении на скорости 56 км/ч можно обнаружить, что автомобиль Prius остается в режиме электромобиля, собирается ускориться на уклоне, в других – при 48 км/ч малейшее давление на акселератор заставляет запуститься ДВС. Однако спустя некоторое время движения в режиме электромобиля уровень заряда батареи обязательно уменьшится, и увеличится вероятность, что ДВС запустится, чтобы перезарядить батарею.

Способ, которым ДВС при необходимости запускается в режиме электромобиля, подобен запуску прогретого двигателя, но коронная и солнечная шестерня в этом случае не неподвижны. Солнечная шестерня вращается назад и должна сначала замедлиться. Этого может быть достаточно, чтобы разогнать ДВС до требуемой частоты вращения в зависимости от скорости автомобиля, а солнечной шестерне, возможно, придется изменить направление и начать вращаться вперед. Чтобы замедлить солнечную шестерню, мотор-генератор МГ1 работает в режиме генератора, со съемом энергии. Однако, поскольку скорость МГ1 понижается близко к нулю, он должен быть включен как мотор для вращения вперед и запитан энергией так, чтобы быстро сменить направление вращения, пройти нулевую точку и начать вращаться вперед. В результате, как и в случае пуска двигателя в стоящем автомобиле, водило сателлитов, а с ним и ДВС вращаются вперед. Коронная шестерня планетарного механизма, вращающаяся вперед в автомобиле, получающем энергию от МГ2, помогает разогнать ДВС до частоты, при которой производится его запуск при более низкой частоте вращения МГ1. Однако запуск ДВС создает сопротивление свободному вращению коронной шестерни. Чтобы водитель и пассажиры не почувствовали этот рывок, на МГ2 подается дополнительный импульс энергии для получения дополнительного крутящего момента, необходимого для запуска ДВС.

Замедление и движение под уклон

Когда автомобиль плавно замедляется или спускается под уклон, необходимая для движения энергия уменьшается, потому что инерция или гравитация помогает двигаться вперед. Поэтому водитель немного уменьшает давление на педаль акселератора. Если автомобиль немного замедляется или быстро спускается с небольшой горки, мощность ДВС и его частота вращения несколько снижаются, но это, как правило, трудно заметить. Для большего замедления или, движении на более крутом спуске в зависимости от скорости ДВС может прекратить давать энергию вообще, при этом в работу вступает мотор-генератор МГ2.

Как мы уже говорили, мотор МГ2 может поставлять всю необходимую энергию для движения при остановленном ДВС. При ускорении и движении на постоянной скорости горизонтально режим электромобиля вряд ли возможен на скоростях выше 64 км/ч, потому что потребности в мощности, необходимой для преодоления аэродинамического сопротивления, достаточно, чтобы заставить ДВС включиться. Чтобы работать в режиме электромобиля на скорости 67 км/ч и выше, автомобиль должен защитить МГ1 от очень высокой частоты вращения так же, как при движении накатом. Единственное различие состоит в том, что коронная шестерня приводится в движение не движением автомобиля, а мотором МГ2. Генератор МГ1 все еще производит энергию для сопротивления чрезмерной частоте вращения, так что в итоге ДВС вынужденно проворачивается. Однако при этом топливо не подается.

Конечно, некоторое количество энергии идет на вращение ДВС, что составляет необратимые потери, но некоторая часть превращается в электроэнергию, произведенную МГ1. Она просто возвращается в высоковольтный источник, чтобы частично пополнить энергию, расходуемую МГ2.

Режим EV выше 42 миль/ч можно обозначить как «высокоскоростной режим EV», чтобы отличить его от режима EV на более медленных скоростях, когда нет необходимости включать ДВС.

Задний ход

Автомобиль Prius не имеет шестерен заднего хода, присутствующих в механических коробках перемены передач, который позволил бы автомобилю двигаться задним ходом с помощью ДВС. Поэтому он может перемещаться назад только с помощью электромотора МГ2. Двигатель внутреннего сгорания в этом случае не может передать развиваемый крутящий момент на колеса напрямую. В большинстве случаев бортовой компьютер остановит ДВС, когда рычаг выбора режима будет установлен в положение «R». Поскольку МГ2 вращает вход редуктора назад, коронная шестерня планетарного механизма также будет вращаться назад. ДВС неподвижен, значит, и водило сателлитов также неподвижно. Это просто означает, что МГ1 будет вращаться вперед. Он вращается свободно, не потребляя или не производя энергию. Это похоже на режим EV, но вращение происходит в обратном направлении. Компьютер не позволит двигаться назад с такой скоростью, чтобы частота вращения мотор-генератора МГ1 превысила предельную.

Если ДВС продолжает работать, когда рычаг выбора режима находится в положении «R», например, если величина заряда батареи низка, то двигатель МГ2 перемещает автомобиль назад, как прежде. Единственное различие – водило сателлитов вращается вперед, солнечная шестерня и МГ1 вращаются более быстро вперед, и компьютер должен ограничить заднюю скорость автомобиля на более низком значении, чтобы защитить МГ1 от слишком большой скорости вращения.

13. Контроль состояния гибридной силовой установки легкового автомобиля

Как правило, современные гибридные силовые установки автомобилей имеют достаточно информативную систему оповещения водителя о состоянии силовой установки. Экран монитора показывает, как потоки энергии циркулируют в гибридной силовой установке автомобиля.

Рассмотрим работу устройства контроля состояния гибридной установки на примере автомобиля Prius. Рассмотрим, как отображаются различные режимы движения автомобиля.

Нет потоков энергии

Рассмотрим рис. 13.1. На экране монитора – то, что можно видеть, когда переключатель режимов стоит в положении Park или если водитель держит ногу на педали тормоза. В гибридной системе нет потоков энергии. Можно увидеть этот экран, даже если ДВС будет работать, например, сразу после того, как был включен автомобиль, если заряд батареи не особенно низкий. Этот экран без потоков энергии может также показываться, когда автомобиль движется почти без нажатия на педаль акселератора, т.е. при движении под гору или с замедлением.

Самое незначительное давление на тормозную педаль выключает имитацию торможения двигателем, но не вызывает потребления энергии генератором МГ2. Автомобиль эффективно движется, как бы не используя привод, создавая ощущение движения «на нейтрале» при классической механической коробке перемены передач.



Рис. 13.1. Экран: при отсутствии потоков энергии

Зарядка

Рассмотрим рис. 13.2. Если автомобиль остановлен, а батарея разряжена, ДВС может продолжить работать, чтобы зарядить батарею. ДВС заставляет планетарную передачу вращать мотор-генератор МГ1, компьютер подключает его как генератор, и он генерирует электрическую энергию для заряда силового аккумулятора.

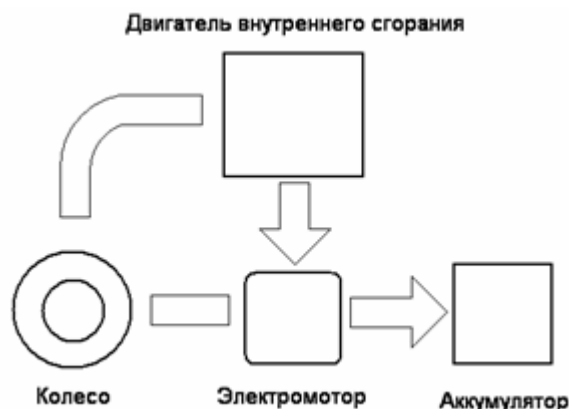


Рис. 13.2. Экран: при зарядке аккумулятора

Хотя генераторная нагрузка позволяет возникнуть крутящему моменту, приложенному через устройство распределения мощности к колесам, автомобиль не перемещается, потому что или трансмиссия заблокирована (если рычаг в положении «Р» – парковка) или водитель нажал педаль тормоза. Батарея должна сильно разрядиться, чтобы ДВС работал только на заряд. Обычно компьютер ждет, пока автомобиль не начнет двигаться, тогда ДВС может приводить в движение автомобиль и произвести электричество, что более эффективно. Однако во время прогрева, когда ДВС работает, можно видеть режим заряда батареи, если на изображении батареи показана только половина заряда или меньше половины. Надо отметить, что на этом экране обозначение «Электромотор» соответствует генератору МГ1. Первая стрелка показывает передачу механической энергии от ДВС к мотор-генератору МГ1 через планетарный механизм. Вторая стрелка показывает электроэнергию, перетекающую от генератора МГ1 в батарею.

Только электроэнергия

Рассмотрим рис. 13.3. Если после запуска автомобиля, когда ДВС прогрелся и выключился, дисплей будет иметь вид, показанный на рисунке, поскольку автомобиль движется, используя только электроэнергию.

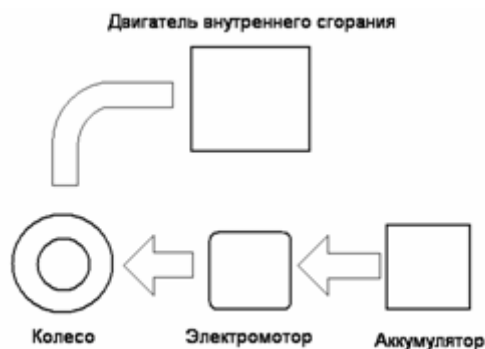


Рис. 13.3 Экран: при движении в режиме электромобиля

Стрелки обозначают электроэнергию, текущую от батареи к мотору МГ2, и поток механической энергии, передающейся от МГ2 к колесам. На этом экране обозначение «Электромотор» соответствует МГ2. Если ДВС будет работать во время стоянки или водитель, трогаясь, достаточно сильно нажимает на педаль акселератора, чтобы быстро запустить ДВС, то этот экран не появится. Позволив автомобилю двигаться медленно, убрав ногу с педали тормоза, но не нажимая на акселератор, водитель вновь может увидеть этот экран. Это происходит всякий раз, когда автомобиль движется только от энергии батареи с помощью мотора МГ2. Такой режим (режим электромобиля) может возникнуть на низкой скорости и даже на высокой скорости, когда ДВС вращается, чтобы защитить генератор МГ1 от слишком высокой частоты вращения. Двигатель внутреннего сгорания вращается в этом случае от мотора МГ1, но к нему не подается топливо, и отключено зажигание, поэтому на экране нет никакой стрелки от двигателя.

Совместная работа ДВС и электромотора

Рассмотрим рис. 13.4. Такое изображение на дисплее появляется тогда, когда водитель хочет получить высокую мощность от гибридной системы. Это происходит при интенсивном ускорении или движении на подъем.

Стрелки, идущие от ДВС, представляют механическую энергию, текущую от двигателя внутреннего сгорания непосредственно на колеса и на генератор МГ1 через устройство распределения мощности. Другие стрелки показывают электроэнергию, текущую от батареи к мотору МГ2, и механическую энергию, передающуюся от мотора МГ2 к колесам.

В этом случае под квадратом «Электромотор» на этом экране подразумевается МГ1, МГ2 и PSD (устройство распределения мощности). Появление этого изображения зависит от состояния заряда батареи и манеры управления автомобилем. Его можно всегда получить, резко нажимая на педаль акселератора. При более низкой потребности в мощности компьютер, возможно, не прибегнет к помощи электричества. Часто, при умеренном ускорении, этот экран появляется после нескольких секунд только электрического режима, но, как только автомобиль набирает требуемую скорость, экран переключается на режим движения только от ДВС, несколько позже – на движение от ДВС и зарядку батареи.

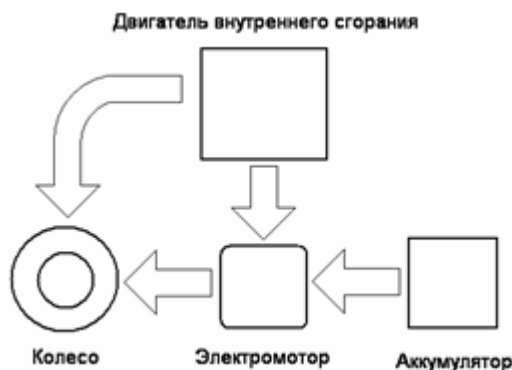


Рис. 13.4. Экран: совместная работа ДВС и электромотора

Движение от ДВС и зарядка батареи

Рассмотрим рис. 13.5.



Рис. 13.5. Экран: движение от ДВС и зарядка батареи

Когда автомобиль разогнан до некоторой скорости и движется равномерно, не на крутом подъеме и достаточно быстро, чтобы не входить в режим EV (электромобиля), будет индицироваться один из двух экранов монитора энергии: первый – показанный на рис. 13.5 или второй, показанный на рис. 13.4. На рис. 13.5 те же самые две стрелки представляют механическую энергию, текущую от ДВС непосредственно на колеса и через устройство распределения мощности на мотор-генераторы. Произведенную электроэнергию не посылают другому мотор-генератору, чтобы приводить в движение автомобиль, а используют ее, чтобы зарядить батарею.

Движение от ДВС посредством электропривода

Рис. 13.6 показывает третий экран движения. Часть электроэнергии, произведенной одним из мотор-генераторов, используется другим мотор-генератором, чтобы вращать колеса автомобиля, а остальная электроэнергия идет на зарядку батареи. Механическая энергия от двигателя внутреннего сгорания не идет непосредственно на привод транспортного средства, а только расходуется на привод генератора. Такой режим достаточно редко встречается в эксплуатации.

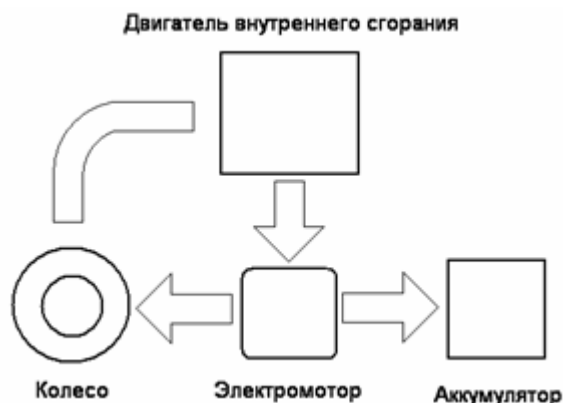


Рис. 13.6. Экран: при движении от ДВС посредством электропривода

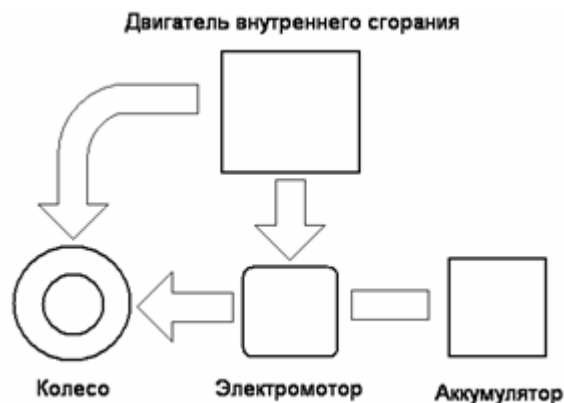


Рис. 13.7. Экран: движение только за счет энергии ДВС

Движение только за счет энергии ДВС

Рассмотрим рис. 13.7. В редких случаях дисплей не показывает потока энергии, текущего к батарее или от нее, и вся энергия ДВС используется, чтобы перемещать автомобиль. Стрелки обозначают механическую энергию, поступающую от ДВС непосредственно к колесам и на мотор-генераторы через устройство распределения мощности. Один мотор-генератор МГ1 преобразовывает механическую энергию в электрическую энергию, которая используется другим мотором-генератором МГ2, чтобы оказывать помощь во вращении колес автомобиля. Механическая энергия с мотор-генератора на колеса изображена третьей стрелкой. Этот экран появляется во время умеренного ускорения после окончания ускорения с помощью электроэнергии до появления стабильного экрана «движение».

Рекуперация энергии торможения

Рассмотрим рис. 13.8. Когда водитель снимет ногу с педали акселератора в то время, когда автомобиль перемещается быстрее, чем в режиме очень медленного движения, дисплей показывает зарядку батареи за счет энергии движения автомобиля. Стрелки обозначают механическую энергию, поступающую от колес транспортного средства к генератору МГ2, и электрическую энергию, поступающую от МГ2 к батарее.



Рис. 13.8 Экран: при рекуперации энергии торможения

Количество передаваемой энергии не показывается и будет небольшим во время движения накатом, но намного больше в режиме торможения. На дисплее не показывается, что ДВС также вращается на скоростях выше 42 миль/ч

(68 км/ч) для защиты мотор-генератора МГ1 от слишком высокой частоты вращения. Чтобы это реализовать, генератор МГ1 производит электроэнергию так же, как генератор МГ2. Считается, что эти детали работы гибридной силовой установки водитель знать не должен.

Задний ход

Рассмотрим рис. 13.9. На экране монитора индицируется изображение, которое появляется только в том случае, если автомобиль движется задним ходом, а ДВС должен продолжать работать, чтобы зарядить батарею. Здесь нет никаких стрелок от ДВС к колесам, потому что, не имея реверса, автомобиль Prius не может двигаться назад с использованием ДВС. Обычно автомобиль движется задним ходом только на электроэнергии с заглушенным ДВС, но если заряд батареи особенно низкий, ДВС может продолжать работать.

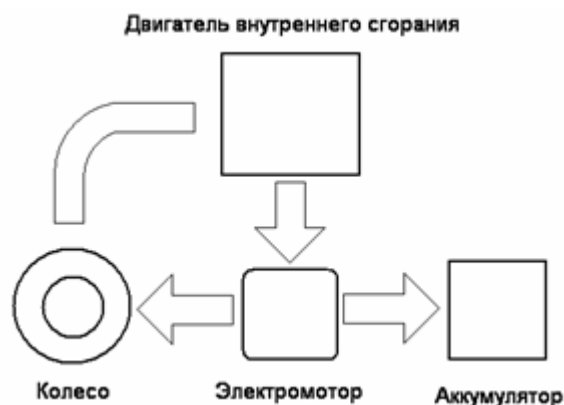


Рис. 13.9.Экран: при движении задним ходом

Нисходящая стрелка показывает механическую энергию, поступающую от ДВС к устройству распределения мощности. Мотор-генератор МГ1 производит электроэнергию, часть из которой используется для заряда батареи (процесс представленный на экране стрелкой). Оставшаяся энергия поступает к мотору МГ2, который движет автомобиль назад, это показано стрелкой, направленной к колесам.

Изображение батареи

В правом нижнем углу дисплея – монитора энергии находится изображение батареи, показывающее информацию о состоянии заряда батареи. Диаграмма отражает возможные состояния – от полного разряда до полного заряда. полный заряд можно видеть после длительного спуска с холма; или видеть 1/4 или полный разряд после длительного подъема.

Однако изображение не показывает фактический уровень заряда батареи. Диапазон изображения только охватывает диапазон фактического заряда от 56% до 96%, который фирма Toyota решила использовать. Он меньше, как уже говорилось ранее, чем полная емкость батареи. Использование большего диапазона уровней заряда или разряда уменьшило бы срок службы аккумулятора. Поэтому 1/4 составляет 56–66%, 1/2 – 66–76%, 3/4 – 76–86% и полный заряд – 86–96%. Каждая полоска индикатора представляет 10% полной емкости в 6,5 А·ч при напряжении 273,6 В. В энергетическом выражении это приблизительно составляет 640 кДж на полоску.

Для сравнения: одна звездочка индикации регенерации (50 Вт·ч) – 180 кДж. С одним пассажиром кинетическая энергия автомобиля на скорости 65 миль/ч составляет 640 кДж, и, следовательно, регенеративное торможение может существенно подзарядить батарею.

Экран потребления топлива

Экран потребления обеспечивает информацией о расходе топлива на пройденном расстоянии. Он позволяет водителю видеть, как различные стили управления автомобилем и дорожные условия влияют на эффективное использование топлива. Водитель может изменить манеру управления автомобилем, чтобы расходовать меньше топлива и не наносить вреда окружающей среде.

Текущее потребление топлива

Ленточный индикатор дисплея показывает текущее потребление топлива. Оно непрерывно вычисляется за очень короткий промежуток времени в несколько секунд. Есть небольшая задержка между изменением в режимах работы двигателя и показом их на экране. Наблюдение за ним подсказывает водителю, как стиль вождения в данный момент времени отразится на расходе топлива.

Среднее потребление топлива

Среднее потребление топлива индицируется в нижней части экрана. Это среднее число вычислено по тому пути, который прошел автомобиль после последнего нажатия на кнопку «Reset» («Сброс»).

История расходования топлива

Экран монитора переключается на вывод гистограммы истории расходования топлива с интервалом пять минут. Каждые пять минут, когда автомобиль находится в рабочем состоянии (независимо от того, движется он или нет) дисплей смещает одну полосу влево, и новая полоска появляется в течение новых пяти минут. Крайняя левая полоска исчезает и теряется. Этот дисплей может быть весьма интересным для учебы во время остановок. Часто возможно идентифицировать особенности поездки, такие, как периоды длительного движения или движения в режиме stop-and-go и видеть, как они влияют на расход топлива. Первая колонка после холодного запуска покажет топливо, которое использовано для нагрева двигателя и каталитического конвертера. История расходования топлива сбрасывается, когда автомобиль перестает работать.

Потребление топлива вычисляется исходя из величины пройденного пути и расхода топлива. Пройденное расстояние берется из того же самого источника, что и для одометра – датчиков на колесах. Расход топлива измеряется системой распределенного впрыскивания топлива.

Регенеративные звездочки

В пятиминутных полосках потребления топлива можно видеть маленькие желтые звездочки. Они обозначают энергию, возвращенную через регенеративное торможение, и имитацию торможения двигателем в течение этого периода. Каждая звездочка представляет энергию в 50 Вт·ч или 180 кДж. Возможна индикация половинок звездочек, которые показывают 90 кДж возвращенной рекуперацией энергии. Замедление от этой скорости до остановки за пять минут заставило бы появиться три с половиной звезды регенерации, если восстановление энергии совершенно. Однако поскольку только часть энергии возвращается, фактически будете гораздо меньше звездочек.

Появление звездочек не может оцениваться как хорошее или плохое. Конечно, энергия была возвращена, что в обычном автомобиле было бы невозможно, она превратилась бы в теплоту в тормозных колодках. Поэтому лучше если эти символы рекуперации вообще не будут появляться. Если можно избежать торможения, то будет получена лучшая топливная экономичность. Однако торможение неизбежно, а звездочки напоминают, что теряется не так много энергии, как в случае, когда автомобиль вообще не имеет системы регенерации.

14. ГИБРИДНЫЕ СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ НА КРУПНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ

Гибридные силовые установки из-за своих явных преимуществ постепенно находят применение не только на легковых автомобилях, но и на других транспортных средствах, например, городских автобусах. На международном конгрессе транспортных компаний UTP в Хельсинки Neoman Bus Group и

отдел автобусов MAN Nutzfahrzeuge AG представили свою новую концепцию автобусов. Запуск впервые представленного гибридного MAN Lion's City в серийное производство намечен на 2010 г.

Новый автобус создан на основе серийной гибридной технологии. Рядный 6-цилиндровый двигатель MAN DO836 LOH (MAN Pure Diesel), соответствующий нормам EEV по ограничению отработавших газов без использования специальных добавок, приводит во вращение мощный электрогенератор, который, в свою очередь, обеспечивает питание двух тяговых электрических моторов. Через суммирующую коробку передач они вращают задние колеса автобуса. Накопление электроэнергии происходит в расположенной на крыше системе хранения энергии, включающей 12 модулей высокоемких конденсаторов.

Разработчики считают, что конденсаторы более эффективно, чем традиционные аккумуляторы, накапливают энергию торможения, что делает их идеальными накопительными устройствами для городских маршрутных автобусов. Управление всей энергетической установкой осуществляется электронным блоком.

Питание электромоторов может осуществляться как от дизель-генератора и конденсаторов, так и только от конденсаторов. От остановок гибридный автобус Lion's City отъезжает, двигаясь только на электродвигателях, естественно, без выброса каких-либо выхлопных газов. Далее по мере разгона запускается и включается в работу дизель-генератор. Электроника и вспомогательные электропотребители питаются от батарей на суперконденсаторах. И кондиционер, и усилитель руля функционируют исключительно за счет электроэнергии. При движении электропотребители переключаются на генератор. Избыток энергии используется для зарядки конденсаторной батареи.

Для торможения в обычных условиях используются исключительно электромоторы, переводимые в генераторный режим. Производимая ими энергия (до 150 кВт) также подзаряжает батарею. Традиционная тормозная система используется только в экстренных ситуациях. Поскольку остановки городских автобусов, как правило, располагаются в пределах нескольких сотен метров, режимы разряда и подзарядки батарей (рекуперации) сменяют друг друга почти ежеминутно.

Современные конденсаторы (специалисты MAN называют их суперконденсаторами) отличаются от других средств хранения электроэнергии высокой величиной плотности накапливаемой энергии, надежностью, способностью поглощать и выдавать большую мощность, отсутствием движущихся частей и вытекающих жидкостей, а также необходимости обслуживания.

Автобус-гибрид, оснащенный суперконденсаторами, значительно легче автобуса с аккумуляторами и практически сравнивается по весу с городскими автобусами, работающими на сжатом природном газе.

Меньшее внутреннее сопротивление конденсаторов обеспечивает снижение потерь электроэнергии при ее хранении. Новая система воздушного охлаждения повышает эксплуатационный ресурс конденсаторной батареи до ресурса самого серийного автобуса. Утечки в конденсаторах незначительные и даже после длительного бездействия электромоторы выдают суммарный крутящий момент, достигающий 800 Нм.

MAN Lion's City – едва ли не первый экономически жизнеспособный проект гибридного городского автобуса. Помимо относительно невысокой цены, его отличают существенные выгоды при эксплуатации. Силовые гибридные установки соответствуют всем ныне действующим, а также перспективным требованиям по охране окружающей среды.

И сам принцип их работы, и комплекс дополнительных мер, осуществленных немецкими инженерами для снижения энергозатрат, позволили сократить расход топлива на 20–25%. Разработчики считают что гибридный автобус будет более экономичен также за счет снижения затрат на техническое обслуживание и в связи с повышенным ресурсом агрегатов и оборудования.

Работа над автобусом-гибридом велась в рамках проекта IDEAS (инновационные дизель-электрические гибридные системы для городских автобусов), осуществляемого при поддержке германского федерального министерства экономики компаниями MAN Nutzfahrzeuge AG и Siemens A&D и являющегося частью общенациональной исследовательской программы Mobilitat und Verkehr. Разработанные в ходе

реализации проекта IDEAS автобусы проходят опытную эксплуатацию в баварском г. Нюрнберге, осуществляя перевозку пассажиров на городских маршрутах.

В 2007 г. DaimlerChrysler представила первый прототип автобуса Mercedes-Benz Citaro с гибридным приводом, который должен появиться на рынке в 2009 г. Принцип действия гибридной силовой установки традиционный: при работе дизель передает часть энергии непосредственно на колеса, а избыточная оставшаяся часть идет на привод электрогенератора. От генератора часть энергии идет на подзарядку ионно-литиевых батарей, которые расположены на крыше автобуса, а часть возвращается на четыре электромотора, располагаемых в колесных ступицах, которые и вращают колеса. Мощности каждого такого электромотора 315 кВт, что более чем достаточно для двухсекционного автобуса. Когда автобус подходит, останавливается и отъезжает от остановки, он может работать полностью на электрическом приводе, что не только снижает количество вредных выбросов, но и обеспечивает низкий уровень шума. Преимуществом гибридной технологии является малый рабочий объем двигателя 4,8 л по сравнению с обычными шестицилиндровыми двигателями объемом 12 л. Благодаря этому вес силового агрегата снижается с 1000 кг до 450 кг. Гибридный привод предполагает работу без установки автоматической механической трансмиссии, что также ведет к улучшению эффективности работы автобуса в целом.

Крупный заказ по поставкам 500 городских автобусов-гибридов Orion VII получил концерн DaimlerChrysler от властей Нью-Йорка в 2007 г. Автобусная марка Orion является традиционным североамериканским брендом фирмы DaimlerChrysler. Серийное производство гибридных автобусов под этой маркой освоено в 2003 г. Несмотря на относительно высокую цену, это третий контракт фирмы с Нью-Йорской мэрией по продаже гибридных автобусов. Ранее DaimlerChrysler уже выполнил два аналогичных заказа по поставкам 200 и 125 городских машин с дизель-электрическими силовыми установками, которые эксплуатируются в этом городе. Заключение этих контрактов связано прежде всего с тем, что в процессе эксплуатации гибридные автобусы на 25–20% экономичнее, чем обычные дизельные модели, и выбрасывают в атмосферу значительно меньше вредных веществ.

Не остались в стороне от гибридных технологий и крупные производители грузовиков. Так компания Volvo Truck будет серийно выпускать гибридные грузовики. Шведские специалисты утверждают, что дизель-электрические грузовые Volvo окажутся на 35% экономичнее своих дизельных аналогов. По информации официального сайта компании, грузовики-гибриды Volvo должны поступить в продажу уже через несколько лет.

Грузовая гибридная установка Volvo Truck получила название I-SAM. Она построена по классическому принципу агрегатирования двигателя внутреннего сгорания с электромотором, причем последний помещен между дизелем и коробкой передач.

При торможении автомобиля электродвигатель работает как генератор, что позволяет запасать энергию торможения в аккумуляторных батареях, а не рассеивать в атмосферу в виде тепла.

Запасенную электроэнергию грузовик использует при разгоне, когда крутящий момент на ведущие колеса передают и дизель, и тяговый электромотор, а также во время остановок и погрузочно-разгрузочных операций. В этих случаях электроника останавливает дизель, а все вспомогательные агрегаты – гидравлическая и пневматическая системы – работают за счет электронасосов.

Такая система оправдывает себя только при частых разгонах и торможениях поэтому I-SAM получит применение только на городских грузовиках, строительной технике и автобусах.

Магистральные тягачи, которые в основном двигаются с постоянной скоростью, Volvo по-прежнему будет делать исключительно дизельными.

Специалисты шведской компании убеждены, что при нынешних высоких ценах на нефть транспортные компании будут экономически заинтересованы в эксплуатации гибридных грузовиков, причем экономить они смогут не только за счет низкого расхода топлива, но и за счет увеличения срока службы тормозных механизмов.

Компания Kenworth Truck, производитель большегрузных грузовиков с 1923 г. из США, недавно представила грузовик с гибридным приводом, названный Kenworth T270 Class 6. При относительно

равномерном движении со скоростью выше 48 км/ч гибридная силовая установка T270 использует дизель с полной отдачей энергии от двигателя на колеса. Но при скорости ниже 48 км/ч гибридный привод комбинирует работу дизеля и электромотора. Система автоматически переключается между этими двумя режимами и делает это без резких переходов для водителя. Компания Kenworth выпустила ограниченное количество гибридных грузовиков средней грузоподъемности для городских и коммунальных предприятий в 2007 г., а полномасштабное производство должно начаться в 2008 г. Гибридный грузовик T270 имеет повышенную на 30% эксплуатационную топливную экономичность. Торможение гибридный грузовик T270 использует для выработки электроэнергии – рекуперативное торможение. Полученная таким путем электрическая энергия затем используется для разгона, кроме того, сокращается износ тормозной системы, так как генератор создает энергию торможения.

Компания Nissan Diesel Motor разработала гибридный грузовик с накоплением энергии в конденсаторах. Гибридная силовая установка состоит также из дизеля и электромоторов. Разработанный компанией-производителем накопительный конденсатор под названием «Super Power Capacitor» («Сверхмощный конденсатор») в два раза мощнее ныне существующих конденсаторов.

Компания Mitsubishi Fuso Truck and Bus выпустила обновленную версию малогабаритного гибридного грузовика Canter Eco Hybrid. В основе усовершенствования лежит идея сочетания трех главных качеств: экологичности, экономичности и легкости в управлении.

Наряду с системой впрыска топлива Common Rail, турбонаддувом с охлаждением надувочного воздуха, дизель модифицированного грузовика оснащен системой рециркуляции отработавших газов EGR и фильтрующей дисперсные частицы системой DPF. Благодаря этому новая модель не только соответствует самым последним мировым стандартам ограничения выброса вредных веществ, но и имеет уровень эмиссии NOx и дисперсных частиц еще на 10% ниже установленных норм.

Гибридная силовая установка Canter Eco Hybrid параллельного типа состоит из дизеля рабочим объемом 3 л и компактного электромотора, имеет автоматическую трансмиссию INOMAT-II. Это позволяет оптимизировать управление, а также сократить эмиссию CO₂. Кроме того, усовершенствованный Canter Eco Hybrid отличается высокой топливной экономичностью.

При трогании с места используется только электромотор; при равномерной езде используется только дизель, а при повышении скорости или движении по гористой местности двигатель и электромотор работают вместе. При торможении мотор работает как электрогенератор, часть энергии торможения преобразуется в электричество и заряжает аккумуляторную батарею. За год компания планирует поставить на рынок около 400 экземпляров модифицированных грузовиков.

Уже два из четырех японских производителей грузовиков продают гибридные автомобили на внутреннем рынке Японии. Несмотря на высокую стоимость таких автомобилей по сравнению с дизельными, они пользуются большой популярностью среди покупателей.

Однако в то время как сознательные потребители, особенно в Соединенных Штатах, покупают гибридные автомобили, многие владельцы автотранспортных предприятий находят новую технологию слишком дорогой по сравнению с потенциальной экономией топлива.

Подводя итог, можно отметить, что гибридные грузовики работают по тому же принципу, как и гибриды – легковые автомобили, утилизируя кинетическую энергию торможения, преобразуя ее в электрическую энергию, и хранят для последующего вторичного использования.

Двигаясь в городском транспортном потоке в режиме «тронулся-остановился» или на строительной площадке, где также есть повторяемые ускорение и торможение, гибридные грузовики, по оценке производителей, могут сэкономить от 20 до 35% топлива.

Если потребители при покупке автомобиля часто руководствуются эмоциями, операторы крупных парков грузовиков оценивают себестоимость, грузоподъемность автомобиля, его надежность и топливную экономичность.

Увеличение веса из-за установки двойного привода может ограничить прибыль с учетом транспортных расходов на тонну полной массы. Кроме того, большинство гибридных моделей все еще

находятся в стадии разработки и полевых испытаний. Поэтому цены будут оставаться высокими, пока нет реального спроса, способного гарантировать крупносерийное производство.

Главное препятствие роста производства гибридных автомобилей – низкий объем производства грузовиков по сравнению с легковыми автомобилями. Ожидается, что грузовые автомобили с гибридными силовыми установками станут обычным бизнесом через несколько лет, если промышленность сможет продемонстрировать, что эта технология – выгодная прежде всего. Ведь введение гибридных технологий в конструкцию тяжелых грузовиков для дальних перевозок, например, производимых фирмой Scania, может привести к существенному глобальному сокращению выбросов CO₂, но экономия топлива в магистральном автотранспорте будет минимальной.

Таким образом, гибридная силовая установка может с успехом применяться на городских автобусах, грузовиках-рефрижераторах и развозных автофургонах. Такие установки используют меньше энергии и меньше загрязняют окружающую среду вредными веществами, чем обычные двигатели внутреннего сгорания, особенно в движении в традиционном для города режиме «тронулся-остановился». Остается надеяться, что найдутся экономические «рычаги» для увеличения их серийного выпуска.

15. КРАТКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С ГИБРИДНЫМИ СИЛОВЫМИ УСТАНОВКАМИ

В данном разделе пособия представлена информация о серийных гибридных автомобилях и тех, которые практически подготовлены к массовому выпуску ведущими автомобилестроительными фирмами мира. Вот далеко не полный список автомобилей с гибридными силовыми установками и их краткие характеристики.

Mazda Premacy Hydrogen Re Hybrid

Японская компания Mazda Motor планирует представить свою новую разработку – мини-вэн Premacy Hydrogen RE Hybrid, оснащенный гибридной силовой установкой, которая состоит из роторного двигателя, работающего на водороде и электромотора на литиево-ионных батареях. Новая модель построена на базе второго поколения мини-вэна Mazda 5 Premacy.

Этот автомобиль имеет габариты: длина 4505 мм, ширина 1755 мм, высота 1665 мм, колесная база 270 мм, клиренс 150 мм. благодаря дополнительному ряду сидений автомобиль может вместить до семи человек. Кузов имеет коэффициент аэродинамического сопротивления всего около 0,29, что способствует повышенной экономичности. ДВС

новой гибридной установки может работать на сжатом водороде и на бензине. Поэтому помимо обычного бензобака, есть ещё и баллон с водородом, установка которого, к сожалению, потребовала убрать третий ряд сидений. Выбирать



Рис. 15.1. Автомобиль Mazda Premacy Hydrogen Re Hybrid

вид используемого топлива можно при помощи кнопки на приборной панели. Силовой агрегат достигает мощности в 155 кВт, если топливо – бензин, и 80 кВт при работе на сжатом водороде. Электромотор, заряжающий при торможении аккумулятор за счет энергии рекуперации, добавляет ещё около 30 кВт мощности. Гибридная установка обеспечивает автомобилю запас хода 200 км.

Cadillac Escalade

Компания General Motors заявила о желании нарушить гегемонию японцев на рынке автомобилей с гибридными силовыми установками. Ожидается, что первым гибридным автомобилем американского автогиганта станет Cadillac Escalade, сделанный на базе GMT900.

Это связано с повышением цен на бензин и снижением объемов продаж традиционных типов автомобилей (в 2006 г. на 3,54%, а в начале 2007 г. их падение составило уже 7,2%). Представлена новая трансмиссия, которая будет устанавливаться и на новые гибридные Chevrolet Tahoe и GMC



Рис. 15.2. Автомобиль Cadillac Escalade

Yukon. В будущем американская компания планирует каждую свою модель дополнить версией с гибридной силовой установкой. Для организации производства планируется инвестировать около 118 млн. долларов в завод по сборке трансмиссий. Предполагается, что силовая установка новой модели будет работать в двух режимах: при небольшой нагрузке функционирует либо электродвигатель, либо бензиновый V-образный двигатель, а при разгонах и на подъемах они будут работать совместно, при этом расход топлива уменьшится на 25%.

Audi Q7 Hybrid

Модель Q7 Hybrid, которую предполагается выпустить в 2008 г., – это один из первых результатов политики улучшения экономичности всех моделей и снижения вредных выхлопов за счет применения гибридных силовых установок, которую разрабатывает компания Audi.

Проектирование Q7 Hybrid ведется совместно с концернами Porsche и Volkswagen. Гибридная установка автомобиля будет состоять из электромотора мощностью 34 кВт и бензинового V-образного двигателя рабочим объемом 3,6 л

и мощностью 206 кВт. Электромотор обеспечит дополнительные 285 Нм крутящего момента к 375 Нм, развиваемым двигателем внутреннего сгорания, что обеспечит разгон

Audi Q7 за 7,6 с до 100 км/ч, что на 0,7 сек быстрее автомобиля с аналогичным бензиновым двигателем. При этом средний расход топлива составит 9,8 л на 100 км, тогда как серийный автомобиль с таким же ДВС потребляет 12,9 л на

100 км. Электромотор будет питаться от аккумулятора, состоящего из 240 ячеек массой 69 кг. Выброс CO₂ снижается

с 304 до 231 г/км. Средний расход бензина будет составлять всего 9,8 л/100 км. Электромотор отдельно от бензинового может развивать скорость до 30 км/ч в течение 2 км пробега 2,5-тонного Audi Q7 Hybrid в условиях движения по го-роду.



Рис. 15.3. Автомобиль Audi Q7 Hybrid

Chrysler Aspen и Dodge Durango

Компания Chrysler объявила о запуске в серийное производство гибридных версий внедорожников Dodge Durango и Chrysler Aspen, приводимых в движение V-образным бензиновым двигателем Hemі, рабочим объемом 5,7 л и двумя электромоторами. Гибридные Dodge Durango и Chrysler Aspen по сравнению с чисто бензиновыми версиями стали на 40% экономичнее в городском цикле и на 25% – в смешанном. По данным Chrysler, расход составляет около 13 л бензина в городском цикле и примерно 10,5 л на трассе. Гибридная установка внедорожников – совместная разработка GM, DaimlerChrysler и BMW. Ее главная деталь – трансмиссия, сочетающая в себе два набора планетарных передач и два электромотора. Трансмиссия работает в двух режимах, первый из которых рассчитан на маленькие скорости, при движении на первых двух передачах. В этом случае один электромотор работает как генератор, а второй обеспечивает тяговое усилие – самостоятельно или в сочетании с бензиновым двигателем, т.е. возможно движение только за счет ДВС, за счет электромотора или при их совместной работе. Второй режим рассчитан на движение при высоких скоростях, на третьей и четвертой передачах. Бензиновый мотор при этом работает постоянно, а каждый из электромоторов, в зависимости от условий движения, может выполнять функции тягового двигателя, генератора или вариатора. Помимо гибридной

силовой установки, экономичность новых гибридных внедорожников обеспечивает система, отключающая несколько цилиндров бензинового двигателя, когда не требуется его полная мощность.

Mazda 2008 Tribute Hybrid

Компактный внедорожник Mazda 2008 Tribute приводится в движение за счет бензинового ДВС рабочим объемом 2,3 л мощностью 98 кВт, который в свою очередь скомбинирован с электромотором мощностью в 70 кВт.



Рис. 15.4. Автомобиль Mazda 2008 Tribute Hybrid

Автомобиль оборудован бесступенчатой коробкой перемены передач CVT (Continuously Variable Transmission)

с системой отключаемого полного привода.

Гибридный Hyundai Accent

Компания Hyundai начала серийное производство гибридных автомобилей с Hyundai Accent, оснащенного так называемой параллельной гибридной системой, в которой используется электромотор и бензиновый двигатель малого рабочего объема. Мощность первого составляет 12 кВт, а в качестве второго используется применявшийся на классических автомобилях Hyundai Accent этой фирмы бензиновый двигатель внутреннего сгорания рабочим объемом 1,4 л.

Максимальная скорость гибридного Hyundai Accent составляет 164 км/ч, а средний расход топлива – 5,3 л на сто километров пробега. В качестве силовых аккумуляторов используется батарея никель-металлогидридных аккумуляторов, которые могут подзаряжаться от бензинового двигателя или при торможении двигателем.



Рис. 15.5. Автомобиль с гибридной силовой установкой

Hyundai Accent

Для снижения веса гибридный Hyundai Accent был построен в виде рамной конструкции, причем рама, а также ряд кузовных панелей выполнены из алюминиевого сплава. Новинка получила также специальные легкосплавные колесные диски.

Lexus Rx400h и Ls 600h

Полноприводный Lexus LS 600h L стал первым в мире гибридным транспортным средством класса люкс-седан с бензиновым восьмицилиндровым V-образным двигателем.

Система гибридного привода в LS 600hL базируется

на наследии гибридных Toyota и Lexus – Prius, RX 400h,

GS 450h. Характеристики Lexus RX 400h были более скромными: мощность бензинового двигателя 155 кВт, мощность переднего и заднего электродвигателей 123 и 50 кВт, соответственно. При этом Lexus RX 400h расходовал 9,1 л/100 км бензина в городском цикле и 7,6 л/100 км при езде за городом, соответствуя нормам токсичности Euro IV. Опыт, накопленный при создании этих автомобилей, помог объединить полностью новый V-образный бензиновый восьмицилиндровый

двигатель рабочего объема 5 л с аккумуляторной батареей повышенной емкости.



Рис. 15.6. Автомобиль LS 600hL

Эта комбинация обеспечивает LS 600h L максимальную мощность около 316 кВт при предельно низком уровне выбросов вредных веществ с отработавшими газами Super Ultra Low Emission Vehicle (SULEV). На автомобиле применена новая система постоянного полного привода и новейшая электронно-управляемая трансмиссия.

Honda Civic Hybrid

В начале 2007 г. автомобиль Honda Civic с гибридной силовой установкой занял верхнюю строчку в рейтинге самых экологически чистых автомобилей, составленном немецким автомобильным клубом VCD, опередив прошлогоднего победителя – автомобиль, также с гибридной силовой установкой Toyota Prius, который переместился на второе место.



Рис. 15.7. Автомобиль Honda Civic Hybrid

При оценке автомобилей специалисты VCD руководствовались такими критериями, как расход топлива, содержание вредных веществ в выхлопных газах и уровню шума.

Volvo C30 Recharge

Компания Volvo представила свой новый автомобиль C30 ReCharge, особенность которого заключается в том, что он может проехать только на электроэнергии около 100 км, а выброс CO₂ у него на 66% ниже, чем у обычных гибридных силовых установок.

Гибридная силовая установка этого автомобиля состоит из 4-цилиндрового бензинового (может работать также и на этаноле) двигателя FlexiFuel рабочим объемом 1,6 л и электромоторов работающих от литиево-ионных батарей, которые можно зарядить от обычной электросети примерно за три часа. По расчетам инженеров Volvo затраты на эксплуатацию такой силовой установки будут на 80% меньше, чем стоимость топлива для обычного двигателя. Бензиновый двигатель может только заряжать аккумуляторы, когда заряда в них остается менее 30%. Такой режим позволяет агрегату работать максимально эффективно: расход топлива составляет 5,5 л на 100 км. Батареи также заряжаются и за счет рекуперационной энергии при торможении. Электромоторы (четыре штуки), разработанные совместно с британской компанией PML Flightlink, встроены в колеса. Поэтому автомобиль обладает полным приводом, причем здесь нет карданных валов и дифференциалов, что означает значительное снижение трения механических деталей. Благодаря этому автомобиль имеет хорошую управляемость, развивает максимальную скорость 160 км/час и разгоняется за 9 сек до 100 км/ч. В будущем компания Volvo планирует замену обычных тормозов на электрические, что минимизирует потери энергии.



Рис. 15.8. Автомобиль Volvo C30 Recharge

Гибридный Citroen C-Cactus

Компания Citroen представила свой новый концепт C-Cactus, оборудованный пятиступенчатой автоматической коробкой передач, работающей в тандеме с гибридной силовой установкой, состоящей из электромотора мощностью 22 кВт и дизеля с непосредственным впрыскиванием топлива рабочим объемом 1,4 л мощностью 52 кВт, оснащенного сажевым фильтром. Общая мощность всей установки достигает 74 кВт, что позволяет ей разгонять автомобиль до 150 км/ч. Силовой агрегат издает очень мало шума, имеет низкую токсичность отработавших газов и высокую топливную экономичность: выброс CO₂ составляет всего 78 г/км, а средний расход топлива 3,4 л на 100 км при городском цикле движения и в смешанном цикле достигает 2,42 л на 100 км.



Рис. 15.9. Автомобиль с гибридной силовой установкой Citroen C-Cactus

Гибридный Opel Flextreme

Компания Opel представила концептуальную модель автомобиля Flextreme. Новинка разработана на основе стратегии E-Flex концерна General Motors, которая заключается в том, чтобы использовать одну архитектуру автомобиля

для разных двигателей в зависимости от того, какими энергетическими ресурсами обладает тот или иной регион.



Рис. 15.10. Автомобиль гибридный Opel Flextreme

Opel Flextreme оснащается гибридной системой, состоящей электрического двигателя мощностью 120 кВт, работающего совместно с дизелем Ecotec с турбонаддувом и изменяемыми фазами газораспределения. В соответствии с концепцией E-Flex основным силовым агрегатом является электромотор, который приводит в движение передние колеса. Четырехцилиндровый дизельный мотор CDTI может только заряжать специальные литий-ионные аккумуляторы, одного заряда которых хватает на 100 км пробега. Такая система позволяет дизелю всегда работать в оптимальном стационарном режиме, поэтому расход топлива (выброс CO₂ – 40 г/км) и уровень вредных выбросов очень маленький. Суммарный запас хода всей системы составляет около

775 км. Помимо этого, батареи заряжаются при рекуперативном торможении и их можно также подзарядить от обычной осветительной сети. Выпуск автомобиля предполагается начать в 2010-2012 году.

Гибридный Mercedes F700

Компания Mercedes представила свой новый автомобиль модели F700.



Рис. 15. 11. Автомобиль гибридный Mercedes F700

Несмотря на относительно большие размеры, автомобиль имеет массу лишь 1700 кг. Этого удалось добиться благодаря применению легких сплавов и композитных материалов. F700 будет оснащаться новым двигателем DiesOtto рабочим объемом 1,8 л, развивающим максимальный крутящий момент 560 Нм. Двигатель укомплектован двухступенчатым турбонаддувом и работает с непосредственным впрыскиванием топлива в камеры сгорания и изменяемой степенью сжатия. Двигатель многотопливный и может работать как на дизельном топливе, так и на обычном неэтилированном бензине. Силовой агрегат мощностью 184 кВт потребляет 5,3 л бензина на 100 км (выбросы CO₂ – 127 г/км). В паре с ДВС работает электромотор, добавляющий еще около 15 кВт мощности. Автомобиль разгоняется до скорости 100 км/ч за 7,5 сек. Двигатель DiesOtto работает с 7-скоростной автоматической коробкой передач 7G-Tronic.

Honda Small Hybrid Sports Concept

Компания Honda представила концепт-кар Small Hybrid Sports Concept, оснащенный гибридным силовым агрегатом.



Рис. 15.12. Автомобиль Honda Small Hybrid Sports Concept

Small Hybrid Sports Concept оборудован четырехцилиндровым двигателем внутреннего сгорания в комбинации с электромотором, который передает крутящий момент через бесступенчатую трансмиссию на передние ведущие колеса.

Toyota Hybrid X

Новая разработка гибридного автомобиля компании Toyota представляет собой концепт пятиместного мини-вэна Hybrid X со стеклянной крышей, который оборудован гибридным силовым агрегатом (Hybrid Synergy Drive). Компактный мини-вэн Hybrid X имеет 4,5 м в длину, 1,8 м в ширину, 1,4 м в высоту, при колесной базе 2,8 м, что предоставляет в салоне достаточно места для четырех пассажиров. Основными техническими новшествами концепта стоит отметить его интеллектуальную систему управления.



Рис. 15.13. Автомобиль Toyota Hybrid X

Гибридный Saab Biopower

Этот новый автомобиль спроектирован на основе классического автомобиля SAAB Convertible, двигатель внутреннего сгорания которого конвертирован на питание с безнина на биоэтанол (двигатель при необходимости может работать на обычном бензине) и работает в составе новой гибридной системы, разработанной совместными усилиями General Motors, DaimlerChrysler и BMW.



Рис. 15.14. Гибридный Saab Biopower

Гибридная силовая установка состоит из 4-цилиндрового двигателя с турбонаддувом рабочим объемом 2,0 л мощностью 191 кВт и трех электромоторов суммарной мощностью 148 кВт. Гибридная система использует технологию Stop&Start, регенеративное торможение, возможность работы только от электричества для недолгих поездок в черте города и механизм распределения мощности ДВС и электродвигателей. Гибридный силовой агрегат обеспечивает автомобилю разгон до 100 км/ч за 6,8 с, что на три секунды быстрее, чем обычный SAAB Convertible с его 155-киловатным двигателем и 5-скоростной автоматической трансмиссией.

Chevrolet Volt Concept

Основным двигателем автомобиля Chevrolet Volt Concept является электродвигатель мощностью 118 кВт, приводящийся во вращение батареями литий-ионных аккумуляторов суммарной мощностью в 16 кВтч.



Рис. 15.15. Автомобиль Chevrolet Volt Concept

Дополнительно к электромотору гибридная силовая установка содержит двигатель внутреннего сгорания Ecotec мощностью 52 кВт, который приводит в движение 53-кило-ватный генератор, подпитывая тем самым требующие постоянного заряда литий-ионные элементы. Для альтернативного варианта зарядки батарей имеются два специальных модуля, которые обеспечивают зарядку батарей от бытовой электросети напряжением 110 В примерно за шесть часов.

Гибридный Mitsubishi Roadster

Концепт-кар Mitsubishi Roadster – спортивный гибрид, объединяющий в себе необычный внешний вид с еще более необычными возможностями. Все четыре колеса этого гибрида оборудованы встроенными электродвигателями суммарной мощностью 206 кВт. Однако это не типичный электромобиль, так как в составе его силовой установки присутствует обычный бензиновый двигатель мощностью 59 кВт, что дает суммарную мощность около 265 кВт.



Рис. 15.16. Автомобиль гибридный Mitsubishi Roadster

Toyota FT-HS Hybrid Sports Concept

Компания Toyota представила концепт-автомобиль будущего со специфическим названием FT-HS Hybrid Sports Concept, который оборудован гибридным силовым агрегатом мощностью почти в 294 кВт.

В конструкции автомобиля, помимо оригинального концептуального решения для кузова, можно отметить и гибридный силовой агрегат, позаимствованный у модели [Lexus GS450h](#), который представлен в виде двигателя внутреннего сгорания рабочим объемом 3,5 л мощностью 215 кВт и электродвигателя мощностью 145 кВт.



Рис. 15.17. Toyota FT-HS Hybrid Sports Concept

Это позволяет разогнать концепт Toyota FT-HS Hybrid Sports Concept до 100 км/ч всего за четыре секунды.

Гибридный Saturn Vue Green Line

Компания General Motors (GM) объявила о разработке гибридного внедорожника с возможностью подзарядки от электросети. Такая технология получила название Plug-in hybrid. Предполагается, что автомобиль Saturn Vue Green Line с новой гибридной силовой установкой появится на рынке в 2009 г.

Saturn Vue Green Line отличается от обычных гибридов Saturn Vue более низким расходом топлива и возможностью преодолевать большие (до 17 км) расстояния исключительно на электрическом приводе – с выключенным бензиновым мотором. Заявлено, что Saturn Vue Green Line будет потреблять топлива в два раза меньше, чем любой из существующих ныне автомобилей этого класса. Автомобиль будет оснащен V-образным шестицилиндровым двигателем рабочим объемом 3,6 л и автоматической трансмиссией с четырьмя фиксированными передачами и двумя электромоторами, которые могут функционировать в качестве тяговых двигателей, генераторов и даже вариаторов. Эта сложная трансмиссия была совместно разработана GM с компаниями DaimlerChrysler, BMW. Главное достоинство агрегата – возможность установки практически на любой автомобиль вместо стандартной автоматической коробки передач.



**Рис. 15.18. Автомобиль с гибридной силовой установкой
Saturn Vue Green Line**

Гибридный Citroen C-Metisse

Компания Citroen представила концепт-кар гибридного автомобиля марки C-Metisse. Это длинный (4,74 м), широкий (2,0 м) и низкий (1,24 м) автомобиль с коэффициентом аэродинамического сопротивления всего 0,30. Кузов автомобиля выполнен из карбона, благодаря чему масса автомобиля вместе с аккумуляторными батареями составляет всего 1400 кг.



**Рис. 15.19. Автомобиль с гибридной силовой установкой
Citroen C-Metisse**

Автомобиль оснащен гибридной дизель-электрической установкой, приводящей в движение все четыре колеса. Передние вращает дизель мощностью 150 кВт, а задние – электромоторы, мощностью по 30 кВт каждый. Электродвигатели расположены в задней части автомобиля, а аккумуляторы – в центре. Распределение мощности дизеля осуществляет шестиступенчатая автоматическая коробка перемены передач. Как и на многих современных гибридах автомобилях, кинетическая энергия торможения преобразуется в электрическую, заряжая аккумуляторы. Разгон до 100 км/ч занимает 6,2 сек, а максимальная скорость составляет 250 км/ч. Средний расход дизельного топлива составляет около 6,5 л на 100 км.

16. Перспективы применения гибридных силовых установок на транспорте

Существующие гибридные модели автомобилей доказывают, что коммерческое применение гибридных силовых установок на транспорте оправдано достигнутым техническим прогрессом в этой сфере. Но дальнейшее существенное их развитие все еще необходимо в некоторых областях, например, для улучшения характеристик аккумуляторных батарей. Подобно любой другой появляющейся технологии, гибридное транспортное средство должно завоевать рынок сбыта до того, как экономическая выгодность реального применения станет очевидной.

Несмотря на глобализацию экономики, перспективы роста применения гибридных силовых установок на транспорте изменяются в зависимости от географической области применения, местных рыночных условий и степени проникновения конкурирующих технологий, например, применения дизелей или перспективных ДВС с самовоспламенением гомогенного заряда от сжатия.

Так, в Японии, родине современных гибридных транспортных средств, автомобильный рынок характеризуется очень малым количеством дизельных транспортных средств и большой долей микроавтомобилей, используемых для городских перевозок. Это дает перспективу для развития гибридных транспортных средств, так как они существенно уменьшают загрязнение воздушной среды городов при улучшении топливной экономичности транспортных средств.

В Японии традиционно поддерживают технологические новшества, что также может объяснить интерес в этой стране к развитию гибридных силовых установок.

В Соединенных Штатах Америки в автомобильных перевозках доминируют большие транспортные средства.

В этой стране последовательно ужесточаются нормативные требования к эмиссии вредных веществ с отработавшими газами и действуют стандарты топливо-экономической эффективности (Corporate Average Fuel Economy – CAFE – введенные в 1975 г. правительством США нормы экономичного расхода топлива – более строгие стандарты по расходу топлива, благодаря которым США надеялись к 1985 г. вдвое снизить потребление бензина и меньше зависеть от нефтяного экспорта ближневосточных стран). Автомобилестроители ищут решения, которые улучшат топливную эффективность, учитывая при этом интересы потребителей, желающих иметь многоцелевые транспортные средства, которые являются все более и более мощными и тяжелыми. Специалисты видят гибридное транспортное средство как техническое решение, позволяющее уменьшить потребление топлива при выполнении одной и той же работы. Однако гибридное транспортное средство должно быть способно выдержать конкуренцию с дизельными вариантами транспортных средств как по стоимости, так и по выбросам вредных веществ, например, оксида азота или дисперсных частиц. На протяжении многих лет типичный американский автомобиль продолжит потреблять намного больше топлива, чем его европейский аналог. Поэтому столь велик успех гибридных автомобилей в США, ставший неожиданностью даже для производителя Toyota, когда в стране образовались многомесячные очереди за автомобилями Prius. В ответ на этот вызов GM и DaimlerChrysler объявили, что они объединяются для совместного развития гибридных транспортных средств, ожидая выхода на рынок в 2007 г. При этом затраты на создание конкурентоспособных гибридных транспортных средств требуют нескольких сотен миллионов долларов инвестиций в эту отрасль.

В Европе Франция ранее являлась исключением, так как дизельные транспортные средства составляли большую часть ее автомобильного парка. За прошедшие несколько лет, эта тенденция распространилась на остальную часть Европы, особенно на Германию. В прошлое десятилетие существенная часть инвестиционных фондов была ориентирована на исследования применения дизелей, что привело к повышению топливной экономичности транспортных дизелей, улучшению общих характеристик управляемости автомобилей, повышению топливной экономичности и снижению выбросов вредных веществ и дисперсных частиц (особенно с развитием технологии фильтрации сажи). Наметилась явная тенденция к сокращению удельного потребления топлива, хотя суммарный европейский

автомобильный парк увеличивался. Главными причинами было непрерывное усовершенствование транспортных дизелей и устойчивое увеличение их доли. Изготовители и потребители интуитивно сравнивают любую гибридную силовую установку с его дизельным аналогом, и, чтобы проникнуть на европейский рынок, необходимо убедить предполагаемых покупателей в том, что покупка гибрида оправдана его топливо-экономическими и экологическими преимуществами.

Продемонстрированные преимущества гибридных силовых установок позволили поднять их статус с демонстрационного уровня до серийного транспортного средства. Это не приведет к коренной реконструкции промышленности, однако проникновение гибридных технологий будет происходить постепенно и темпы этого процесса будут зависеть от того, насколько прибыльным будет то направление для автомобилестроителей. В США недавние прогнозы показали, что рыночная доля гибридных транспортных средств достигнет 4–7% к 2008 г. и 10–15% к 2012 г. И это обнадеживает. Следует отметить, что доля электроники в транспортных средствах будет постоянно увеличиваться в последующие годы, следовательно, будет снижаться ее стоимость, что может придать процессу завоевания рынка гибридными силовыми установками большую динамику. Кроме того, от внешних факторов (цены на нефть, налоговой, экологической политики) будет зависеть то, как быстро и до какой степени новая технология проникнет в транспортное энергомашиностроение.

Пример

Рубежный контроль №1 по курсу

«Применение альтернативных топлив в дизелях»

Студент _____ группа _____ дата « ____ »
_____ 200__ г.

Вопрос	Ответы			
1. Для гибридной силовой установки характерно наличие следующих агрегатов ...	- аккумулятор	- аккумулятор	- аккумулятор	- аккумулятор
	- генератор	- генератор	- генератор	- генератор
	- инвертор	- электростартер	- инвертор	- вариатор
	- система управления	- система управления	- система управления	- система управления
	- распределитель мощности	- распределитель мощности	- коробка перемены передач	- распределитель мощности
	- электромоторы	- электромоторы	- электромоторы	- электромоторы
	2. Гибридная силовая установка позволяет снизить эксплуатационный расход топлива за счет...	- рекуперации энергии - работе ДВС на оптимальных режимах	- рекуперации энергии - работе ДВС на оптимальных режимах	- рекуперации энергии - работе ДВС на оптимальных режимах
	- снижения времени работы на	- совершения ДВС меньшей работы	- снижения времени работы на	- снижения времени работы на

	<p>неустановившихся режимах</p> <p>- режимов вкл./выкл. ДВС</p> <p>- применения ДВС меньшей мощности</p>	<p>- режимов вкл./выкл. ДВС</p> <p>- применения ДВС меньшей мощности</p>	<p>неустановившихся режимах</p> <p>- режимов вкл./выкл. ДВС</p> <p>- снижения динамики движения</p>	<p>неустановившихся режимах</p> <p>- увеличение времени движения накатом</p> <p>- применения ДВС меньшей мощности</p>
<p>3.</p> <p>Гибридная силовая установка позволяет снизить эмиссию вредных веществ за счет...</p>	<p>- работе ДВС на оптимальных режимах</p> <p>- снижения времени работы на неустановившихся режимах</p> <p>- режимов вкл./выкл. ДВС</p> <p>- применения ДВС меньшей мощности</p>	<p>- работе ДВС на оптимальных режимах</p> <p>- снижения времени работы на неустановившихся режимах</p> <p>- применения более совершенного ДВС</p> <p>- применения ДВС меньшей мощности</p>	<p>- работе ДВС на оптимальных режимах</p> <p>- снижения времени работы на неустановившихся режимах</p> <p>- режимов вкл./выкл. ДВС</p> <p>- применения переменных фаз газораспредел.</p>	<p>- работе ДВС на оптимальных режимах</p> <p>- управления двигателем с помощью бортовой ЭВМ</p> <p>- режимов вкл./выкл. ДВС</p> <p>- применения ДВС меньшей мощности</p>

прос	Во	Ответы			
<p>4.</p> <p>Выбор мощности ДВС гибридной СУ производится на основании ...</p>	<p>средней</p> <p>ионной мощности</p>	<p>потребной эксплуатационной мощности</p>	<p>с учетом значений мощности процессе эксплуатации</p>	<p>из пиковых условий движения автомобиля при максимальном подъеме</p>	<p>из условий требуемой динамики движения транспортного средства</p>
<p>5.</p> <p>Какой источник имеет наибольшую удельную энергию (кДж/кг)?</p>	<p>Традиционное моторное топливо (бензин или дизельное)</p>	<p>Литиево-ионный аккумулятор</p>	<p>Водород</p>	<p>Восстановимый Никель-марганцевый аккумулятор</p>	
<p>6.</p> <p>Коэффициент полезного действия при преобразовании энергии</p>	<p>55%</p>	<p>достигает 85...90%</p>	<p>достигло 30%</p>	<p>около 40%</p>	<p>менее</p>

генератор аккумулятор тяговый электродвигатель...				
7. Срок службы аккумуляторных батарей современного гибридного легкового автомобиля...	соизмерим со сроком службы автомобиля	достигает 300 циклов заряд/разряд	около 1 года лет	менее 2
8. К какому показателю автомобиля относятся перспективные Европейские нормы ограничения выбросов углекислого газа (г/км)?	Его топливной экономичности экологической безопасности	Только к экологической безопасности	Только к топливной экономичности сгорания топлива	Характер полноту

Количество набранных баллов _____ , проверил « ____ » _____ 200_г. проф. Гусаков С.В. _____

Список литературы.

- Блохин М.В., Кондрашкин А.С., Филькин Н.М. Разработка и экспериментальное исследование легкового автомобиля с гибридной силовой установкой // Журнал ААИ. , 2001. , №3. , С.39.
- Галеев В.Л. Переходные режимы ДВС с наддувом при регулировании турбокомпрессора изменением угла опережения подачи топлива // Двигателестроение. , 1988. , №2. , С. 6-7.
- Гибридный автомобиль и его силовая установка / И.Я. Райков, Ю.К. Яркин, В.Б. Крымов и др. // Автомобильные и тракторные двигатели. Межвуз. сб. научн. тр. (М). , 1998. , Вып. 14. , С. 7-14.
- Гусаков С.В., Абдель МуниМ Музхер Хашем Анализ резервов повышения эксплуатационной топливной экономичности транспортного средства //Инже. исследования: Вестник РУДН. – (М.). – 2003. , С. 35,38.
- Гусаков С.В., Кривяков С.В. Учет характера нагружения двигателя при оптимизации его регулировок // Матер. VII Международного научн./практ. семинара, г. Владимир, 1999, С.56-58.
- Гусаков С.В., Кривяков С.В. Численное моделирование нагружения силового агрегата городского автобуса // Актуальные проблемы теории и практики инженерных исследований: сб. трудов РУДН. – М.: Машиностроение, 1999. – С. 122–123.
- Звонов В.А., Козлов А.В., Кутенев В.Ф. Экологическая безопасность автомобиля в полном жизненном цикле. , М.: НАМИ, 2001. , 248 с

- *Звонов В.А., Заиграев Л.С.* Относительная агрессивность вредных веществ и суммарная токсичность отработавших газов // Автомобильная промышленность. ? 1997. ? № 3. ? С. 1-4.
- *Костин А.К., Ермекбаев К.Б.* Эксплуатационные режимы транспортных дизелей. – Алма-Ата: Наука, 1988. – 190 с.
- *Крутов В. И., Рыбальченко А. Г.* Регулирование турбонаддува ДВС. - М.: Высшая школа, 1978. - С.62
- *Луканин В.Н., Трофименко Ю.В.* Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта // Итоги науки и техники ВИНТИ. Автомобильный транспорт. , 1996. , т.19, С. 1-340.
- Математическая модель системы автоматического регулирования дизеля с турбонаддувом и изменяемым углом опережения впрыскивания / В.И. Крутов, В.А. Марков, В.И. Шатров и др. // Вестник МГТУ. Машиностроение. , 1994. , №3. , С. 58-66.
- *Московкин В.В., Вохминов Д.Е., Кошелев Н.В.* О преимуществах расчетных исследований перед экспериментальными для сравнительного сопоставления свойств автомобиля // Автомобили и двигатели: Сб. науч. тр. НАМИ. , М., 2001. , С. 225-230.
- *Московкин В.В.* Топливный баланс автомобиля // Автомобили, двигатели и экология: Сб. науч. тр. НАМИ. , М.: НАМИ, 2000. , С. 76-80.
- *Нарбут А.Н.* «Тойота Приус» - рекордсмен по экономии топлива и чистоте выхлопа // Автомобильная промышленность. , 1998. , №8. , С.37-38
- *Некрасов В.Г.* Каким быть ДВС для комбинированной силовой установки // Автомобильная промышленность. , 2003. , №2. , С.6-12.
- Работа дизелей в условиях эксплуатации: Справочник/ А.К. Костин, Б.П. Пугачев, Ю.Ю. Кочинев и др.; Под общ. ред. А.К. Костина. – Л.: Машиностроение, 1989. – 283 с.
- Режимы работы двигателей энергонасыщенных тракторов/Н.С. Ждановский, А.В. Николаенко и др. – Л.: Машиностроение, 1981. – 240 с.
- *Синявский В.В.* Перспективы применения топливных элементов на автомобильном транспорте (по материалам зарубежной прессы) // Перспективы развития поршневых двигателей в XXI веке. Сб. науч. тр. , М.: МАДИ (ГТУ), 2002. , С. 47-56.
- Сравнение эффективности традиционных и новых видов привода автомобиля // Автостроение за рубежом. , 1999. , №9. , С.6-7.
- *Толшин В.И.* Форсированные дизели: переходные режимы, регулирование. – М.: Машиностроение, 1993. – 199 с.
- *Умняшкин В.А., Якимович Б.А., Филькин Н.М.* Теоретические и расчетные исследования автомобильной комбинированной энергосиловой установки для легкового автомобиля // Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки кадров. Межд. научный симпозиум, посвященный 135-летию МГТУ «МАМИ»: Тез. док. , М., 2000. , С. 80-82.
- *Чернышев Г.Д., Слабов Е.П., Терещук А.Г.* Исследование эксплуатационных режимов работы двигателей ЯМЗ// Автомобильная промышленность.. –1975. –№10 – С. 15 –18.
- *Cuddy M.R., Wipke K.B.* Analysis of the Fuel Economy Benefit of Drivetrain Hybridization // SAE paper. , 1997. , No 970289. , 13 p.
- *Harada J.* Development of a new hybrid vehicle // Auto Technology. , 2001. , No 1. , P. 74-77.
- *Matsuo I., Miyamoto T., Maeda H.* The Nissan Hybrid Vehicle // SAE paper. , 2000. , No 2000-01-1568. , 9 p.
- *Sams T., Regner G., Chmela F.* Integration von Simulationswerkzeugen zur Optimierung von Motorenkonzepten // MTZ. , 2000. , № 61. , S. 600-608.
- *Senger R.D., Merkle M.A., Nelson D.J.* Validation of ADVISOR as a Simulation Tool for a Series Hybrid Electric Vehicle. Technology for Electric and Hybrid Vehicles // SAE paper. , 1998. , NO 981133. , 21 p.
- Test Results and Modeling of the Honda Insight using ADVISOR / *K.J. Kelly, M. Zolot, G. Glinsky, A. Hieronymus* // SAE paper. , 2001. , No 2001-01-2537. , 11 p.

- *Von Heitland H., Rinne G., Wislocki K.* Chancen hybrider Antriebssysteme im zukünftigen Straßenverkehr. – MTZ, 1994, No55. – P.94-101.
- HCCI in CFR Engine: Experiments and Detailed Kinetic Modeling // *D. Flowers, S. Aceves, R. Smith, J. Torres, J. Girard, R. Dibble.* - SAE Technical Series 2000-01-0328, 2000.

Анаксагор (500 - 428 гг. до н.э.)- греческий философ, основоположник аттической философской традиции, согласующей мыслительный опыт милетской и элейской школ.

Августин Аврелий (354 - 430 гг. до н.э.) - христианский богослов, в мировоззрении которого согласуется философское наследие античности (платонизм) и христианская вера.

Аристотель (384 - 322 гг. до н.э.) - греческий философ и ученый - энциклопедист, основатель перипатетической школы.

Бердяев Н.А. (1874 - 1948 гг.) - русский философ и публицист, представитель русской версии экзистенциальной и персоналистической философии.

Болотов В.В. (1853 - 1900 гг.) - русский православный историк раннего христианства, рассматривающий феномен гностицизма как "опыт примирения язычества и христианства".

Бьюкенен Патрик – современный американский политик и социолог, теоретик концепции заката и "смерти Запада".

Будда (VI - V вв. до н.э.) - основатель мировой религии буддизма, альтернативной традиционной ведийской религии и идеологии.

Булгаков С.Н. (1871 - 1944) - русский философ и богослов, создатель софиологического учения в контексте христианской теологии божественного триединства.

Васубадху (410 - 490 гг. до н.э.) - индийский мыслитель, теоретик буддизма хинаяны и махаяны, систематизировавший буддийскую доктрину в её умозрительном и морально - практическом измерениях.

Валлерстайн Иммануэль - современный американский социолог и публицист, выступающий в роли теоретика и "пророка" заката и конца современного мира.

Вебер Альфред (1868 - 1958 гг.) - немецкий историкософ и социолог, предвосхитивший (под влиянием О.Шпенглера) современную концепцию "конца истории Ф.Фукуямы".

Гарнак Адольф (1851 - 1930 гг.) - немецкий либеральный теолог, истолковавший происхождение гностицизма как продукт заражения христианства греческим рационализмом.

Гераклит (540 - 480 гг. до н.э.) - древнегреческий философ, толкователь архетипического понятия "единства противоположностей", в котором тождество и различия - есть параллельные измерения одного и того же.

Гегель (1770 - 1831 гг.) - немецкий философ, создатель системы абсолютного идеализма, основанной на принципах логицизма, историзма и диалектики.

Григорий Нисский (IV в.) - христианский богослов, в учении которого о Боге явственно прослеживаются апофатические признаки и интонации платонизма и неоплатонизма.

Дионисий Ареопагит – псевдоним раннехристианского богослова (V - VI вв.), ставившего своей целью переосмыслить неоплатонический мистицизм в духе христианского апофатического богословия.

Декарт (1596 - 1650 гг.) - французский философ и математик, превративший скепсис (сомнение) в универсальную методологическую отправную точку рационально положительного, системного философствования.

Ильин И.А. (1883 - 1954 гг.) - русский религиозный философ и публицист, исследовавший сущность и своеобразие русской духовности в контексте мирового культурогенеза.

Кант И. (1724 - 1804 гг.) - немецкий философ, создатель трансцендентального идеализма, альтернативного традиционной метафизике.

Конфуций (551 - 479 гг. до н.э.) - первый китайский философ, создатель конфуцианства - этико - религиозного учения, доминирующий признак которого - осознанная социально - нормативная направленность и стремление к взаимодействию с государственной властью.

Кьеркегор С. (1813 - 1855 гг.) - датский философ, выступивший против логизированной системы метафизики Гегеля и предвосхитивший философию европейского экзистенциализма.

Климент Александрийский (150 - 211 гг.) - христианский философ и богослов, христианизировавший понятие "гнозис" в качестве "истинного знания" в противоположность ложным еретическим версиям гностицизма.

Лосев А.Ф. (1893 - 1988 гг.) - русский философ, антиковед, в своих исследованиях давший масштабную и убедительную картину синкретизации религиозно - философской мысли эпохи эллинизма.

Лао - Цзы (VI в. до н.э.) - древнекитайский философ, основоположник даосизма - главного течения китайской умозрительной мысли, оппозиционного конфуцианству.

Мэн - Цзы (IV в. до н.э.) - китайский мыслитель и педагог, идеолог конфуцианства, внесший в учение Конфуция экономические компоненты и воспитательно - поведенческие нормативы.

Николай Кузанский (1401 - 1464 гг.) - философ и богослов эпохи Возрождения, синтезирующий в своём мировоззрении традиционную патрестическую тематику с позднеантичным неоплатонизмом.

Ницше (1844 - 1900 гг.) - немецкий философ, предтеча "философии жизни", инициатор переоценки и преодоления всех ценностей европейской культуры, сформировавшихся на основе отреченных идеалов платонизма и христианства.

Ориген (185 - 254 гг.) - христианский богослов, в учении которого троичность христианского Бога истолковывается в духе субординационизма, онтологически родственного концепции божественной эманации (нисхождение) в религиозной философии эллинизма.

Парменид (VI - V вв. до н.э.) - древнегреческий философ, основатель элейской школы, родоначальник европейской традиции метафизического монизма, в системе которого Бытие (Единое) так же отличается от мира становления, как мысль отличается от предмета мысли.

Пифагор (VI в. до н.э.) - античный философ, выступивший против философии ионийского натуралистического монизма и противопоставивший ей умозрительную религиозно - нравственную модель антиномизма мирообразующих начал ("предела" и "беспредельного").

Платон (427 - 347 гг. до н.э.) - греческий философ, в учении которого опыт пифагорейского, элейского и гераклитовского философствования модернизируется с помощью негативной диалектики и трансформируется в концептуально выраженную систему сосуществования и взаимодействия умопостигаемого и чувственновоспринимаемого миров.

Радхакришнан (1888 - 1975 гг.) - индийский философ и культуролог, создатель концептуально развернутой системы "вечной религии", претендующей на статус надэтнического (универсального) мировоззрения.

Рерих Н.К. (1874 - 1947 гг.) - русский религиозный философ, автор и проповедник учения "живой этики", целью которой является универсальный синтез западной и восточной культуры, науки и мировоззрения.

Сократ (469 - 399 гг. до н.э.) - древнегреческий философ, антинатуралистического и нравоучительного (антропологического) направления, переосмысливший досократовский анто - эпистомологический императив "познай самого себя" в духе нормативно - поведенческой, духовно - нравственной ориентации человека.

Сартр Ж.П. (1905 - 1980 гг.) - французский философ и публицист, основатель атеистического экзистенциализма, в учении которого упраздняется Бытие в его метафизической или вещественной

значимости и постулируется Бытие, конститутивным измерением которого является экзистенция, свобода индивидуального самополагания и самовыражения.

Филон Александрийский (1 в. до н.э. - 1 в. н.э.) - иудейский философ эпохи эллинизма, который, используя опыт стоической экзегезы мифопоэтики Гомера, истолковал иудейскую Гору как закодированный источник и прообраз эллинского философствования.

Флоренский П.А. (1882 - 1937 гг.) - русский философ и культуролог, рассматривающий европейский культурогенез как ритмическую смену противоположных типов культуры: органически целостной (средневековье) и хаотически - энтропийной (от Ренессанса до 20в.); следующая стадия культурогенеза - возврат к утраченной духовной целостности, к "новому средневековью".

Ху Ши (1891 - 1962 гг.) - китайский философ антитрадиционалист, сторонник американского прагматизма, лидер "движения за новую культуру", ориентированного на преобразование традиционной китайской духовности по образцам и моделям западно - европейской рациональности.

Хабермас Юрген - современный немецкий философ и культуролог, создатель теории коммуникативного действия, способствующего как сохранению культурной традиции, так и обновлению и совершенствованию культурного потенциала в "жизненном мире" мирового цивилизационного процесса.

Хайдеггер Мартин (1889 - 1976 гг.) - немецкий философ - экзистенциалист, в трактовке Бытия отрицающий концептуальные варианты традиционной (догматической) метафизики и истолковывающий его в качестве рационально - невыразимой ("потаённой") энергийной возможности ("силы"), открытой для экзистирующего вопрошания и прозрения.

Эмпедокл (490 - 430 гг. до н.э.) - древнегреческий философ пророческого типа, синтезировавший натуралистический, поэтико - метафизический и рационально - логический (математический) опыт предшествующего философствования, предопределив последующие интенции философского сознания (в особенности эллинистического) к универсальному мировоззренческому синтезу.

Юнг К.Г. (1875 - 1961 гг.) - швейцарский психоаналитик, теоретик концепции коллективного бессознательного, в своём исследовании синкретизировавший религиозно - философские (включая эзотерические) традиции Востока и Запада в качестве духовной альтернативы современной технической цивилизации.

Ясперс Карл (1883 - 1969 гг.) - немецкий философ, историософ экзистенциального направления, инициатор идеологемы "осевого времени" (1 тыс. до н.э.) как отправной точки "всемирной истории философии", диалогически связывающей духовные традиции Востока и Запада.

Архе (греч. - начало) - термин древнегреческой философии, используемый для обозначения первопричинного обоснования всего сущего. Смысловое содержание понятия "архе" двойственно: с одной стороны архе - есть "начало", отправная точка мирового процесса, т.е. то, из чего все происходит; с другой стороны архе означает "власть", господство, т.е. является некоей разумно - созидательной, "начальствующей" инстанцией, благодаря которой все происходящее обретает смысл и назначение.

Архетип - термин, производный от "архе" и означающий: первообраз, основополагающая структура, исходная модель, т.е. устойчивая, универсальная онтогносеологическая система мировидения, в единстве которой многообразие сущего находит свое место, сущностное измерение и функциональное определение.

Абсолют (лат. Absolutus - законченный) - религиозно - философский термин, используемый для обозначения безусловной, самобытной, честной и беспредпосылочной реальности, являющейся основанием, истоком и предпосылкой сущего во всех его возможных измерениях.

Атман (скр. Atman - дух, дыхание) - ключевое понятие умозрительной философии индуизма, означающее некое всеобъемлющее духовно - жизненное начало, существующее одновременно и в

измерении вселенского самосознающего "я" (бытие Атмана в себе), и в измерении всего сущего, наделённого жизнью и сознанием (присутствие Атмана в другом).

Брахман (скр. *Brahman* - первоначало, священная сила) - понятие индийской философии, содержательно родственному понятию "Атман", но не тождественное ему: в Атмане преобладает его присутственное бытие в мире, в то время как Брахман - есть Абсолют, Бытие как таковое, онтологически и трансцендентное, и имманентное миру вещественного многообразия.

Гностицизм (греч. - знание) – синкретическое мировоззренческое направление мысли эпохи позднего эллинизма (I - III вв. до н.э.), в котором эллинская рациональность и восточная религиозность при соприкосновении и взаимодействии утрачивают свою духовную самобытность, трансформируясь в концептуальный формат мировидения и мироотношения, в своей специфике невыводимой ни из европейской (эллинской), ни из восточной духовной традиции.

Герметизм - религиозно - философское учение поздней античности, которое его последователями приписывается египетскому богу Титу (= греческий Гермес). В этом учении ближневосточная монотеистическая религиозность с её мифологемой божественного откровения органически сливается с эллинской традицией философского монотеизма (прежде всего с платонизмом), порождая феномен синкретичного западно - восточного (надэтнического) мировоззрения.

Глобализация - социокультурный и историософский термин, используемый для обозначения процесса изменения всех сторон общественной и духовной жизни современного человечества в контексте общемировой тенденции к взаимной зависимости, открытости и сближения региональных цивилизационных идентичностей; перспектива глобализации проблематична и зависит от того, будут ли доминировать в глобализующемся мире геополитические интересы или общечеловеческие духовные ценности.

Дискурс (лат. - *discursus* - движение, изложение, выражение мысли) - словесно артикулированная форма объективации содержания сознания в его логической последовательности, смысловой определенности и непротиворечивости; дискурс - рационально - мыслительный путь к сути вещей, альтернативный непосредственному, индивидуально - мистическому созерцанию истины.

Дао - понятие древнекитайской философии, обозначающее вечное, неизменное, беспредпосылочное и совершенное первопричинное основание ("корень", "мать") всех вещей, присутствующее одновременно в чувственновоспринимаемом мире в качестве "пути" просветления, нравственного послушания и совершенствования.

Евроцентризм - аналитическая и оценочная установка концепций общественно - политического и культурного развития, которая отстаивает и теоретически обосновывает преобладающую и господствующую роль Запада (сравнительно с Востоком) в мировом цивилизационном процессе рассматривает европейскую модель культурогенеза в качестве нормативного образца общечеловеческого прогресса.

Идентичность (лат - *identidem* - постоянство, устойчивость) - термин, используемый во всех дисциплинарных исследованиях для обозначения любого предмета или процесса в его смысловом равенстве (тождестве) самому себе при всей его периферийной изменчивости, не нарушающей и не упраздняющей бытийной самобытности; в этом смысле понятие идентичности однородно с понятием индивидуальности, означающим целостную неделимость, самобытную неповторимость единичного человеческого существа.

Компаративистика (лат. - *komparatio* - сравнение) - методологическое направление современной философии, предмет которого - сравнительный анализ философских систем, традиций и направлений, выявление интеркультурных коммуникативных оснований философского диалога разнородных культур с целью раскрытия механизма взаимодействия универсального и уникального (партикулярного) в мировом историко - философском процессе.

Логос (греч. - слово, речь, основание) - понятие древнегреческой философии, обозначающее высшую нормативно - законодательную инстанцию, разумное первопричинное основание всего сущего (в том числе и мир богов), прибывающее в своей извечной и неизменной самотождественности и в то же время излучающее свет нормирующей разумности на мир стихийного вещественного естества.

Метафизика (греч. - metataphysika - то, что после физики) - философское учение о сверхчувственных и сверхопытных (трансцендентных) принципах и первопричинных основаниях бытия, по своим целевым установкам и эпистемологическим притязаниям альтернативное натурфилософии (философии природы), предмет осмысления которой - чувственно воспринимаемый мир. Термин был введен в оборот перипатетиком Андроником Родосским (1в. до н.э.) для обозначения "первой философии" (учения о "первых родах сущего") Аристотеля.

Мультикультурализм (лат - multus - многочисленный; cultura - возделывание, т.е. культура) - современное культурологическое понятие, означающее не столько факт сосуществования многообразия региональных культур, сколько проект актуализации и реализации горизонтальных (ризоматических) межкультурных взаимодействий, в результате которых разнородные культуры сближаются на основе объединяющих их общечеловеческих ценностей, сохраняя при этом свои этнокультурные идентичности. Мультикультурализм - это единство культурного многообразия.

"Осевое время" - историософское понятие, введенное К.Ясперсом для обозначения всемирнозначимой исторической эпохи (эпицентр - середина 1 - го тысячелетия до н.э.), когда, несмотря на региональное своеобразие цивилизационных процессов, формируются родственные духовно - мировоззренческие архетипы Востока и Запада, как основание и предпосылка диалога, взаимопонимания и взаимодействия **внеположных** социо - культурных традиций.

Синкретизм - (греч. - synkretismos - соединение) - культурологическое понятие, обозначающее процесс встречи, коммуникации, взаимодействия и объединения (синтеза) различных и внеположных друг другу этнокультурных традиций Востока и Запада, трансформирующихся в универсальную систему миропонимания и мироотношения надэтнического (общечеловеческого) формата.

Транскультурация - понятие современной культурологической мысли, отражающее и фиксирующее процесс взаимовлияния и взаимопроникновения разнородных культур, активизировавшийся (процесс) в эпоху глобализации вследствие развития и совершенства коммуникативных технологий и расширения возможностей и мотивов массовой этнической миграции.

Парадигма - (греч. - образец) - восходящее к античности понятие, в своем употреблении имеющее бинарное смысловое измерение: онтологическое, когда парадигма рассматривается в качестве неизменного метафизического образца (идея) для изменчивых (несовершенных) вещей материального мира, и гносео - методологическое, когда парадигма понимается как концептуальная модель постановки проблем и их решений в русле последовательских задач.

Ориентализм (лат. orientalis - восточный) - альтернативное европоцентризму направление историофилософской и культурологической мысли, в своём происхождении восходящее к идеологеме позднего эллинизма "свет с Востока", теоретически и фактологически обосновывающее преобладание и доминирование восточных духовных ценностей в мировом культурно- историческом процессе.

Философская вера - понятие, введенное в оборот К.Ясперсом, означающее тип мировоззрения и мироотношения, в котором вера, свободная от какого - либо религиозного культа, и философия, свободная от концептуально - догматических притязаний, объединяются в мысляще - веровательное (экзистенциальное) переживание трансцендентности.

Темы рефератов

- Снижение негативного влияния на экологическое состояние атмосферы в крупных городах применением на транспорте гибридных силовых установок.
- Технические решения, позволяющие автомобилям с гибридными силовыми установками иметь меньшие эксплуатационный расход топлива и выбросы вредных веществ.
- Сравнение экологических и топливно-экономических параметров автомобилей с гибридной и традиционной силовыми установками.
- Особенности режимов работы гибридной силовой установки легкового автомобиля.

- Энергетические потоки и баланс энергии в гибридной силовой установке транспортного средства.
- Методы интегральной оценки токсичности отработавших газов силовых установок транспортных средств.
- История развития электрического привода и гибридных силовых установок на транспорте.
- Современные технологии, нашедшие свое применение в гибридных силовых установках автомобилей.
- Алгоритм управления гибридной силовой установкой транспортного средства.
- Оценка количества сэкономленной энергии при рекуперации в гибридной силовой установке транспортного средства.
- Современные ездовые циклы для испытаний транспортных средств, оборудованных в том числе и гибридными силовыми установками.
- Перспективы развития гибридных силовых установок транспортных средств.

Описание системы контроля знаний.

Текущая аттестация студентов – рубежный контроль производится в плановые часы занятий. Каждый студент индивидуально выполняет письменную работу – тест. Рубежный контроль проводится четыре раза в семестр (в сентябре, октябре, ноябре и декабре осеннего семестра и феврале, марте, апреле и мае весеннего семестра) с проставлением результатов с 20-го по последний день текущего месяца на сайте контроля текущей успеваемости студентов. После наступления нового месяца, проставленные баллы за предыдущий месяц, не могут быть исправлены. Баллы проставляются нарастающим итогом и в конце курса по их количеству определяется дальнейшее действия студента: согласие на автоматическое выставление оценки или участие в экзамене.

Общие правила выполнения контрольных заданий.

Устанавливаются и доводятся до сведения студентов следующие условия начисления баллов по курсу и на рубежной аттестации:

- посещение лекций, практических занятий за 2 часа (пару) – 2 балла (всего максимум 36 ? лекции, 32 – практические дают в сумме 68 б.);
- рубежный контроль, каждый до 8 баллов (всего максимум студент на 4-х аттестациях может получить в сумме 32 балла)

Студент за время обучения в семестре может набрать до 100 баллов.

Шкала оценок, итоговые оценки (методика выставления).

Сумма баллов, набранная студентом на аттестациях, позволяет получить оценку по итогам работы в семестре и не сдавать экзаменов, исходя из следующей шкалы (1-й и 2-й столбцы таблицы 1). Студенты, получившие оценки за экзамены по результатам работы в семестре, но претендующие на получение более высокой оценки, могут участвовать в сдаче экзаменов в сессию (см. 3, 4 и 5 столбцы таблицы 1).

Таблица 1

Сумма баллов, полученная за семестр аттестациях	Автоматическая оценка за работу в семестре	Баллы, полученные за экзамене	Общая сумма баллов за работу в семестре и на экзамене	Итоговая оценка

100	91 –	5	-	100	91 –	5
90	76 –	4	0 - 25	100 боле е 100	76 –	4 5
75	56 –	3	0 – 25	85 100	56 – 86 –	3 4
55	35 –	нет, обязательная экзамена	сдача 0 ? 25	80	60 –	3
е 35	мен	нет	недопу ск	е 35	мене	2

Таблица 2

Сумма баллов, полученная за семестр аттестациях	Автоматическая оценка за работу в семестре	Баллы, полученные на зачете	Общая сумма баллов за работу в семестре и на зачете	Итоговая оценка
> 55	Зачет	-	> 55	Зачет
35 ?	нет, обязательная сдача	0 ? 25	не менее 60	Зачет
менее 35	нет	-	менее 35	Незачет

Зачет можно получить по результатам работы в семестре (см. 1-й и 2-й столбцы таблицы 2) или приняв участие в зачетной сессии (см. 3, 4 и 5 столбцы таблицы 2).

Результаты проставляются в зачетные ведомости и книжки:

- зачеты – в день проведения зачета;
- экзамены – в день проведения экзамена при наличии штампа допуска к сессии.

Лекционный курс имеет трудоемкость 1 кредит. (18 лекций по 2 часа, 1/18 кредита).

Практические занятия и текущий контроль знаний имеют общую трудоемкость 1 кредит (16 практически занятий по 2 часа и 4 рубежных контроля по 1 часу, 1/36 кредита).

Название курса «Гибридные силовые установки на основе ДВС»

Цели и задача курса:

Целью курса «Гибридные силовые установки на основе ДВС», является ознакомление будущих специалистов в области энергомашиностроения с современными идеями создания автотранспортных средств, сочетающих в себе преимущества применения двигателей внутреннего сгорания и электропривода, обладающих по сравнению с классической конструкцией более высокой топливной экономичностью и меньшими выбросами вредных веществ на единицу совершаемой полезной работы.

Задачами курса являются:

- ознакомление с историей развития гибридных силовых установок для транспорта;
- изучение классификации гибридных силовых установок, схем параллельного, последовательного и смешанного соединения двигателя внутреннего сгорания и электропривода;
- изучение современных конструкций и характеристик элементов гибридного привода, накопителей энергии, электродвигателей, генераторов;
- анализ причин снижения топливной экономичности ДВС при эксплуатации и возможностей снижения их влияния при работе двигателя в составе гибридной силовой установки;
- изучение особенностей эксплуатационных режимов работы установок с ДВС;
- анализ совмещенных универсальных характеристик ДВС по топливной экономичности и токсичности отработавших газов с целью выбора рациональных режимов работы ДВС в составе гибридной силовой установки;
- изучение алгоритмов управления гибридной силовой установкой;
- анализ преимуществ применения дизелей в составе гибридных силовых установок;
- рассмотрение конструкций современных силовых установок гибридных автомобилей;
- изучение основ математического моделирования гибридных силовых установок с ДВС;
- анализ перспектив развития гибридных силовых установок;

Область знаний: технические науки, энергомашиностроение, тепловые двигатели, поршневые и комбинированные двигатели внутреннего сгорания.

Курс «Гибридные силовые установки на основе ДВС» предназначен для студентов бакалавриата направления подготовки 651200 «Энергомашиностроение» и может быть интересен студентам, аспирантам, стажерам и, получающим дополнительное образование специалистам, других направлений и специализаций инженерного, аграрного и других факультетов Российского университета дружбы народов.

Курс «Гибридные силовые установки на основе ДВС» **является обязательным для бакалавров** направления подготовки 651200 «Энергомашиностроение» специализации **101200 - Двигатели внутреннего сгорания** и может быть **курсом по выбору** для специалистов специализирующихся по специальности 101201 – «Автомобильные и тракторные двигатели», 101202 – «Судовые, стационарные и тепловозные двигатели», 101203 – «Двигатели летательных аппаратов», 101204 – «Двигатели средств малой механизации и легких транспортных средств», 101205 – «Двигатели с внешним подводом теплоты», 101206 – «Двигатели специального назначения», 101207 – «Эксплуатация и сервисное обслуживание двигателей», 101208 – «Системы и агрегаты двигателей», 101209 – «Испытание двигателей» и др., **аспирантов** специальности 05.04.02 – «Тепловые двигатели», 05.04.12 – «Турбомашины и комбинированные турбоустановки», 05.14.08 – «Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии», 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты» и др.

Курс «Гибридные силовые установки на основе ДВС» **состоит из теоретической** составляющей (лекционных занятий) и **практической составляющей** (практические занятия).

Инновационность курса по содержанию составляют его цели и задачи. Гибридный автомобиль — высокоэкономичный автомобиль, движимый системой «электродвигатель — двигатель внутреннего сгорания», питаемой как топливом, так и зарядом электрического аккумулятора. Главное преимущество гибридного автомобиля — снижение расхода топлива и эмиссии вредных веществ в окружающую среду. Это достигается автоматическим управлением режимами работы системы двигателей с помощью бортового компьютера, начиная от своевременного отключения двигателя внутреннего сгорания во время остановки в транспортном потоке, с возможностью продолжения движения без его запуска, исключительно на энергии аккумуляторной батареи, и заканчивая более сложным механизмом рекуперации — использования электродвигателя как генератора электрического тока для пополнения заряда аккумуляторов.

Первоначально идея организации принципа «электрической коробки перемены передач», то есть замены механической коробки передач на электрический провод, была воплощена в железнодорожном транспорте и большегрузных карьерных самосвалах. Причина применения такой схемы обусловлена сложностями механической передачи крутящего момента на колеса мощного транспортного средства. Суть принципа заключается в том, что двигатель внутреннего сгорания приводит в движение электрогенератор, и через систему управления нужное количество электроэнергии передаётся на электродвигатели, приводя в движение транспортное средство. Суть схемы работы гибридного автомобиля аналогична, но значительно модифицирована, в первую очередь добавлением аккумуляторной батареи, только в отличие от электромобиля менее ёмкой, а следовательно, более лёгкой.

Главной причиной начала производства легковых автомобилей с гибридной силовой установкой был рыночный спрос на экономичные автомобили, вызванный высокими ценами на нефть и постоянным повышением требований к экологическим параметрам автомобилей. При этом совершенствование технологий и налоговые льготы производителям гибридных автомобилей, делает эти автомобили, в некоторых случаях, даже дешевле обычных. Гибридные силовые установки выдерживают конкуренцию электромобилями потому, что последние имеют существенные недостатки: необходимость длительной зарядки аккумуляторов, большую массу аккумуляторов и недостаточную дальность пробега на одной зарядке.

Гибридная силовая установка создается как компромиссный вариант между автомобилем с ДВС и электромобилем, и ее эффективное применение является результатом уравнивания всех технических показателей машины, при сохранении всех полезных параметров обычного автомобиля: его мощности, скорости, способности к быстрому разгону, и множества других, весьма важных характеристик, заложенных в современных автомобилях. Способность накапливать энергию в аккумуляторе на режимах с минимальными выбросами вредных веществ и не терять кинетическую энергию движения во время торможения, а заряжать аккумуляторные батареи, обуславливает высокие топливо-экономические и экологические характеристики автомобилей с гибридными двигателями. Кроме этого гибридная силовая установка имеет ДВС меньшего рабочего объема и мощности, двигатель почти постоянно работает в оптимальном режиме, в гораздо меньшей зависимости от условий езды. До минимума сокращена продолжительность неустановившихся режимов работы для которых характерен повышенный расход топлива и токсичность. Двигатель внутреннего сгорания может быть полностью остановлен, когда это необходимо, с возможностью продолжения движения только на электродвигателях.

Гибридная силовая установка чрезвычайно сложна, поэтому ее практическая реализация в полной мере стала возможна только в современных условиях, с применением сложных алгоритмов работы бортового компьютера. Гибридные силовые установки обладают несомненными преимуществами в крупных городах. Полная остановка работы двигателей в местах скопления автомобилей, и прежде всего в пробках, может сыграть решающую роль в поддержании чистоты окружающей атмосферы на должном уровне. Развитие гибридной технологии на общественном транспорте, и для грузовых автомобилей, ещё больше улучшит экологическую обстановку городов.

На гибридный автомобиль нет необходимости устанавливать ДВС исходя из пиковых нагрузок при эксплуатации. В момент, когда необходимо резкое усиление тяговой нагрузки, в работу включаются одновременно как электро-, так и двигатель внутреннего сгорания, что позволяет сэкономить на установке менее мощного двигателя внутреннего сгорания, работающего основное время в наиболее благоприятном для себя режиме. Существуют различные схемы привода вплоть до комбинированных схем передачи крутящего момента, с прямой передачей механического крутящего момента, непосредственно от двигателя.

В качестве накопителя электрической энергии применяются как аккумуляторы, так и специальные конденсаторы. Уже разработаны технологии, позволяющие заряжать литий-ионные аккумуляторы с электродами из наноматериалов до 80% ёмкости за 5-15 минут.

Актуальность изучения устройства гибридных силовых установок подтверждает то, что например Toyota к 2007 году увеличила объём выпуска гибридных автомобилей до 300 тысяч в год, а к 2012 году вообще перейти исключительно на выпуск гибридных автомобилей. First Automotive Works планирует

произвести 1000 гибридных автобусов к 2010 году для Олимпиады 2008 в Пекине и World Expo 2010 в Шанхае. В Лондон после 2012 года будут закупаться только гибридные автобусы. Будет вводиться в эксплуатацию по 500 гибридных автобусов ежегодно. Эти примеры можно продолжить.

Инновационность курса по методике преподавания составляет широкое применение компьютерных мультимедийных технологий при чтении лекционного курса и самостоятельной работе студента (применение электронного учебника), проведении практических занятий, лабораторных работ, в том числе на виртуальных экспериментальных стендах, и оценке текущих, результирующих и остаточных знаний курса студентов с помощью компьютерных тестов.

Инновационность курса по литературе составляет использование электронного учебника, современных научно-технических публикаций по тематике курса, в том числе, и в электронном виде.

Инновационность курса по организации учебного процесса составляет использование системы зачетных единиц (кредитов) для оценки трудозатрат студентов и преподавателей, осуществляемое по «нелинейной» схеме, дающей большую свободу выбора студентами дисциплин, участие студента в формировании своего индивидуального учебного плана, вовлечение в учебный процесс тьюторов, содействующих выбору изучаемых дисциплин, обеспеченность учебного процесса всеми необходимыми методическими материалами в печатной и электронной формах, использование балльно-рейтинговой системы оценки знаний студентов.

Темы лекций.

Лекция 1 (2 часа, 1/18 кредита). Современные проблемы экономии моторных топлив ископаемого происхождения для двигателей внутреннего сгорания и защиты окружающей среды от вредного действия токсичных компонентов отработавших газов ДВС. Прогнозы на развитие топливной базы ДВС и техногенное воздействие человеческой деятельности на экологическую обстановку в мире. Обзор путей преодоления возникающих проблем.

Лекция 2 (2 часа, 1/18 кредита). История создания и развития гибридных силовых установок для транспорта от «Бензо-электрической тяги системы Вестингауза» до реализации концепции *HSD (HybridSynergyDrive)* - гибридного синергетического привода фирмой *Toyota*. Причины применения электрической трансмиссии на тепловозах, судах, тяжелых карьерных самосвалах, промышленных тракторах и др. Маховики в качестве накопителей механической энергии. Преимущества и недостатки применения различных типов аккумуляторов энергии на транспорте.

Лекция 3 (2 часа, 1/18 кредита). Классификация гибридных силовых установок. Гибридные приводы, использующие комбинацию двигателя внутреннего сгорания и электрического привода. Преимущества и недостатки различных схем параллельного, последовательного и смешанного соединения двигателя внутреннего сгорания и электропривода.

Лекция 4 (2 часа, 1/18 кредита). Современные конструкции и характеристики составляющих элементов гибридного привода: накопителей энергии – аккумуляторов (кислотных, никель – кадмиевых, литий ? ионных, литий – полимерных и др.), преобразователей постоянного напряжения в переменное ? инверторов, тяговых электродвигателей, мотор – генераторов, устройств распределения крутящего момента, систем охлаждения и других вспомогательных механизмов и систем.

Лекция 5 (2 часа, 1/18 кредита). Особенности эксплуатационных режимов работы установок с ДВС. Режимы работы автомобильного транспорта. Режимы работы тепловозов. Особенности эксплуатационных режимов работы водного транспорта. Циклы загрузки тракторов, бульдозеров и других дорожно-строительных машин. Циклы испытаний автомобилей и двигателей для различных типов установок с ДВС. Возможности снижения времени работы на неустановившихся режимах ДВС, входящих в состав гибридной силовой установки.

Лекция 6 (2 часа, 1/18 кредита). Влияние неустановившихся режимов работы ДВС на его мощностные показатели, надежность и долговечность, эксплуатационную топливную экономичность, токсичность и дымность отработавших газов. Влияние неустановившихся режимов работы на переходные

процессы в топливopодaющей аппаратуре, системе воздухоcнабжения двигателя и его теплое состояние. Методы снижения негативного влияния неуcтановившихся режимов работы на показатели ДВС, в том числе и при применении гибридных силовых установок.

Лекция 7 (2 часа, 1/18 кредита). Дополнительные причины снижения топливной экономичности ДВС при эксплуатации и возможностей снижения их влияния при работе двигателя в составе гибридной силовой установки. Влияние работы на частичных нагрузках, снижение рабочего объема двигателя и его массы. Снижение насосных потерь. Снижение механических потерь. Продолженное расширение. Работа без обогащения смеси на максимальных нагрузках. Отключение цилиндров.

Лекция 8 (2 часа, 1/18 кредита). Выбор стратегии работы ДВС в составе гибридной силовой установки. Рациональные режимы работы ДВС с точки зрения достижения максимальной топливной экономичности и минимальной токсичности и дымности отработавших газов. Анализ универсальных характеристик двигателей с искровым зажиганием и дизелей. Подходы к формированию универсального критерия по токсичности и топливной экономичности для решения задач оптимизации. Нормирование выбросов диоксида углерода при одновременном нормировании основных токсичных компонентов NOx, CO, CH и дымности (дисперсных частиц).

Лекция 9 (2 часа, 1/18 кредита). Математическое моделирование движения транспортного средства по стандартизированному ездовому циклу. Численная оценка путевого расхода топлива и выбросов вредных веществ и сажи за цикл испытаний. Методика оптимизации. Сравнение показателей по топливной экономичности и токсичности транспортных средств с классической силовой установкой с ДВС и гибридной силовой установкой.

Лекция 10 (2 часа, 1/18 кредита). Алгоритмы управления гибридной силовой установкой. Запуск двигателя внутреннего сгорания на стоянке, «холодный» и «теплый» запуск. Трогание с места, медленное движение – режим «электромобиль», движение с умеренными скоростями, ускорение и движение на подъеме, замедление и движение по уклону, движение накатом, торможение, движение задним ходом.

Лекция 11 (2 часа, 1/18 кредита). Распределение энергетических потоков в гибридной силовой установке. Баланс энергии. Режимы: отсутствие потоков энергии, зарядка аккумуляторной батареи, использование только электрической энергии для движения, использование для движения ДВС и электродвигателя, движение с помощью ДВС с одновременным зарядом аккумулятора, использование ДВС для генерации энергии которая идет на питание электромотора и зарядку аккумулятора, использование ДВС только для движения, рекуперация энергии торможения.

Лекция 12 (2 часа, 1/18 кредита). Преимущества применения дизелей в составе гибридных силовых установок вместо двигателей с искровым зажиганием. Сопоставление скоростных, нагрузочных и регулировочных характеристик дизелей и двигателей с искровым зажиганием. Обоснование более низких эксплуатационных расходов топлива транспортными средствами, оборудованными дизелями.

Лекция 13 (2 часа, 1/18 кредита). Особенности применения дизелей с турбонаддувом в составе гибридной силовой установки. Проблемы приемистости и токсичности дизелей со свободным турбокомпрессором на переходных режимах работы. Турбоагнетатели с дополнительным соосным мотор – генератором, конструкция, принцип действия. Возможность включения агрегата наддува в общую электрическую схему гибридной силовой установки. Оценка преимуществ гибридной силовой установки с дизелем, оборудованным электро – турбокомпрессором.

Лекция 14 (2 часа, 1/18 кредита). Особенности применения гибридных силовых установок на автобусах. Сравнение характеристик по топливной экономичности и по токсичности отработавших газов различных концептуальных моделей пассажирских автобусов.

Лекция 15 (2 часа, 1/18 кредита). Особенности применения гибридных силовых установок на тяжелых грузовиках. Сравнение характеристик по топливной экономичности и по токсичности отработавших газов различных концептуальных моделей транспортных средств данного типа.

Лекция 16 (2 часа, 1/18 кредита). Перспективы применения гибридных силовых установок на средствах малой механизации и малоразмерном транспорте *Motorized bicycle: Moped, Power-assisted bicycle, Electric bicycle*. Обзор особенностей конструкций.

Лекция 17 (2 часа, 1/18 кредита). Основы математического моделирования гибридных силовых установок с ДВС. Моделирование гибридного привода с помощью программы ADVISOR в среде *MATLAB/Simulink*. Определение для заданного гибридного транспортного средства его рабочие характеристики на примере японских моделей легковых автомобилей *Toyota Prius* и *Honda Insight*.

Лекция 18 (2 часа, 1/18 кредита). Анализ перспектив развития гибридных силовых установок транспортных средств.

Практические занятия.

Практическое занятие 1 (2 часа, 1/16 кредита). Решение практических задач по оценке потребного количества моторного топлива на перспективу с учетом перехода на гибридные силовые установки.

Практическое занятие 2 (2 часа, 1/16 кредита). Решение практических задач по оценке потребного количества моторного топлива на перспективу с учетом перехода на гибридные силовые установки.

Практическое занятие 3 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкций агрегатов и узлов гибридного автомобиля.

Практическое занятие 4 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкций агрегатов и узлов гибридного автомобиля.

Практическое занятие 5 (2 часа, 1/16 кредита). Освоение методики расчета путевого расхода топлива с выбором ездового испытательного цикла и характеристик ДВС.

Практическое занятие 6 (2 часа, 1/16 кредита). Освоение методики расчета путевого расхода топлива с выбором ездового испытательного цикла и характеристик ДВС.

Практическое занятие 7 (2 часа, 1/16 кредита). Подробное изучение конструкции и особенностей эксплуатации силовой установки гибридного автомобиля на примере *Toyota Prius*.

Практическое занятие 8 (2 часа, 1/16 кредита). Подробное изучение конструкции и особенностей эксплуатации силовой установки гибридного автомобиля на примере *Toyota Prius*.

Практическое занятие 9 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкции гибридных легковых автомобилей фирм *Ford: Ford Escape Hybrid, Fusion, Mercury Mariner Hybrid, Mercury Milan Hybrid, Honda: Honda Insight, Honda Civic Hybrid, Honda Accord Hybrid*.

Практическое занятие 10 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкции гибридных легковых автомобилей фирм *General Motors: Chevrolet Silverado/GMC Sierra Hybrid, New Flyer hybrid buses using Allison electric drives system, Tahoe, Malibu, Equinox, Opel Astra Diesel Hybrid*.

Практическое занятие 11 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкции гибридных легковых автомобилей фирм *Mazda: Mazda Demio, Mazda Tribute Hybrid, Renault: Renault Kangoo (France)*.

Практическое занятие 12 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкции гибридных легковых автомобилей фирмы *Toyota and Lexus: Lexus RX 400h, Toyota Highlander, Lexus GS 450h, Toyota Camry Hybrid, Toyota Estima, Volkswagen: Touareg Hybrid*.

Практическое занятие 13 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкции гибридных легковых автомобилей фирм *Nissan: Altima Hybrid, GMC: Yukon Hybrid, Sierra Hybrid, Cadillac: Escalade*.

Практическое занятие 14 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкции гибридных грузовиков: *БелАЗ (Беларусь), Azure Dynamics (США), Nissan совместно с ZF Friedrichshafen AG (Германия), Alcoa совместно с Altair Nanotechnologies (США), Odyne Corporation (США), Peterbilt (США) совместно с Eaton, Oshkosh Truck Corp., Volvo Cars и MAC*.

Практическое занятие 15 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкции гибридных автобусов: *New Flyer* - Канада, *DaimlerChrysler* - автобус *Orion VII* (гибридная схема разработана совместно с *BAE Systems*), *General Motors* – (гибридная схема *GM/Allison* разработана совместно с *DaimlerChrysler* и *BMW*), *Optima Bus Corporation* ? США (гибридная схема разработана совместно *ISE-Siemens*).

Практическое занятие 16 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкции гибридных автобусов: *First Automotive Works (FAW)* , Китай (гибридная схема *Enova*), *Solaris Bus & Coach Company* , Польша (гибридная схема *GM/Allison*), *APTS* , Дания (гибридная схема *GM/Allison*), *Optare Group* , Великобритания (гибридная схема *GM/Allison*), *Nova Bus* , Канада, (гибридная схема *GM/Allison*).

Рубежный контроль 1. (1 час, 1/36 кредита).

Рубежный контроль 2. (1 час, 1/36 кредита).

Рубежный контроль 3. (1 час, 1/16 кредита).

Рубежный контроль 4. (1 час, 1/16 кредита).

Аннотированное содержание курса

В курсе рассматриваются современные проблемы экономии моторных топлив ископаемого происхождения для двигателей внутреннего сгорания и защиты окружающей среды от вредного действия токсичных компонентов отработавших газов ДВС и роль в этом гибридных силовых установок, приводится классификация гибридных силовых установок. Рассматриваются современные конструкции и характеристики составляющих элементов гибридного привода, особенности эксплуатационных режимов работы установок с ДВС, выбор стратегии работы ДВС в составе гибридной силовой установки и алгоритмы управления гибридной силовой установкой, энергетические потоки в гибридной силовой установке, преимущества применения дизелей в составе гибридных силовых установок вместо двигателей с искровым зажиганием, сравнение характеристик по топливной экономичности и по токсичности отработавших газов различных концептуальных моделей транспортных средств данного типа. Анализируются перспективы применения гибридных силовых установок.

Структура курса:

Лекции – 36 / 36 часов (количество часов аудиторных / самостоятельной работы);

практические занятия – 32 / 32 часа;

рубежный контроль – 4 / 4 часа.

Темы лекций.

Лекция 1 (2 часа, 1/18 кредита). Современные проблемы экономии моторных топлив ископаемого происхождения для двигателей внутреннего сгорания и защиты окружающей среды от вредного действия токсичных компонентов отработавших газов ДВС. Прогнозы на развитие топливной базы ДВС и техногенное воздействие человеческой деятельности на экологическую обстановку в мире. Обзор путей преодоления возникающих проблем.

Лекция 2 (2 часа, 1/18 кредита). История создания и развития гибридных силовых установок для транспорта от «Бензо-электрической тяги системы Вестингауза» до реализации концепции *HSD (HybridSynergyDrive)* - гибридного синергетического привода фирмой *Toyota*. Причины применения электрической трансмиссии на тепловозах, судах, тяжелых карьерных самосвалах, промышленных тракторах и др. Маховики в качестве накопителей механической энергии. Преимущества и недостатки применения различных типов аккумуляторов энергии на транспорте.

Лекция 3 (2 часа, 1/18 кредита). Классификация гибридных силовых установок. Гибридные приводы, использующие комбинацию двигателя внутреннего сгорания и электрического привода. Преимущества и недостатки различных схем параллельного, последовательного и смешанного соединения двигателя внутреннего сгорания и электропривода.

Лекция 4 (2 часа, 1/18 кредита). Современные конструкции и характеристики составляющих элементов гибридного привода: накопителей энергии – аккумуляторов (кислотных, никель – кадмиевых, литий ? ионных, литий – полимерных и др.), преобразователей постоянного напряжения в переменное ? инверторов, тяговых электродвигателей, мотор – генераторов, устройств распределения крутящего момента, систем охлаждения и других вспомогательных механизмов и систем.

Лекция 5 (2 часа, 1/18 кредита). Особенности эксплуатационных режимов работы установок с ДВС. Режимы работы автомобильного транспорта. Режимы работы тепловозов. Особенности эксплуатационных режимов работы водного транспорта. Циклы загрузки тракторов, бульдозеров и других дорожно-строительных машин. Циклы испытаний автомобилей и двигателей для различных типов установок с ДВС. Возможности снижения времени работы на неустановившихся режимах ДВС, входящих в состав гибридной силовой установки.

Лекция 6 (2 часа, 1/18 кредита). Влияние неустановившихся режимов работы ДВС на его мощностные показатели, надежность и долговечность, эксплуатационную топливную экономичность, токсичность и дымность отработавших газов. Влияние неустановившихся режимов работы на переходные процессы в топливоподающей аппаратуре, системе воздухообеспечения двигателя и его тепловое состояние. Методы снижения негативного влияния неустановившихся режимов работы на показатели ДВС, в том числе и при применении гибридных силовых установок.

Лекция 7 (2 часа, 1/18 кредита). Дополнительные причины снижения топливной экономичности ДВС при эксплуатации и возможностей снижения их влияния при работе двигателя в составе гибридной силовой установки. Влияние работы на частичных нагрузках, снижение рабочего объема двигателя и его массы. Снижение насосных потерь. Снижение механических потерь. Продолженное расширение. Работа без обогащения смеси на максимальных нагрузках. Отключение цилиндров.

Лекция 8 (2 часа, 1/18 кредита). Выбор стратегии работы ДВС в составе гибридной силовой установки. Рациональные режимы работы ДВС с точки зрения достижения максимальной топливной экономичности и минимальной токсичности и дымности отработавших газов. Анализ универсальных характеристик двигателей с искровым зажиганием и дизелей. Подходы к формированию универсального критерия по токсичности и топливной экономичности для решения задач оптимизации. Нормирование выбросов диоксида углерода при одновременном нормировании основных токсичных компонентов NO_x, CO, CH и дымности (дисперсных частиц).

Лекция 9 (2 часа, 1/18 кредита). Математическое моделирование движения транспортного средства по стандартизированному ездовому циклу. Численная оценка путевого расхода топлива и выбросов вредных веществ и сажи за цикл испытаний. Методика оптимизации. Сравнение показателей по топливной экономичности и токсичности транспортных средств с классической силовой установкой с ДВС и гибридной силовой установкой.

Лекция 10 (2 часа, 1/18 кредита). Алгоритмы управления гибридной силовой установкой. Запуск двигателя внутреннего сгорания на стоянке, «холодный» и «теплый» запуск. Трогание с места, медленное движение – режим «электромобиля», движение с умеренными скоростями, ускорение и движение на подъеме, замедление и движение по уклон, движение накатом, торможение, движение задним ходом.

Лекция 11 (2 часа, 1/18 кредита). Распределение энергетических потоков в гибридной силовой установке. Баланс энергии. Режимы: отсутствие потоков энергии, зарядка аккумуляторной батареи, использование только электрической энергии для движения, использование для движения ДВС и электродвигателя, движение с помощью ДВС с одновременным зарядом аккумулятора, использование ДВС для генерации энергии которая идет на питание электромотора и зарядку аккумулятора, использование ДВС только для движения, рекуперация энергии торможения.

Лекция 12 (2 часа, 1/18 кредита). Преимущества применения дизелей в составе гибридных силовых установок вместо двигателей с искровым зажиганием. Сопоставление скоростных, нагрузочных и

регулируемых характеристик дизелей и двигателей с искровым зажиганием. Обоснование более низких эксплуатационных расходов топлива транспортными средствами, оборудованными дизелями.

Лекция 13 (2 часа, 1/18 кредита). Особенности применения дизелей с турбонаддувом в составе гибридной силовой установки. Проблемы приемистости и токсичности дизелей со свободным турбокомпрессором на переходных режимах работы. Турбонагнетатели с дополнительным соосным мотор – генератором, конструкция, принцип действия. Возможность включения агрегата наддува в общую электрическую схему гибридной силовой установки. Оценка преимуществ гибридной силовой установки с дизелем, оборудованным электро – турбокомпрессором.

Лекция 14 (2 часа, 1/18 кредита). Особенности применения гибридных силовых установок на автобусах. Сравнение характеристик по топливной экономичности и по токсичности отработавших газов различных концептуальных моделей пассажирских автобусов.

Лекция 15 (2 часа, 1/18 кредита). Особенности применения гибридных силовых установок на тяжелых грузовиках. Сравнение характеристик по топливной экономичности и по токсичности отработавших газов различных концептуальных моделей транспортных средств данного типа.

Лекция 16 (2 часа, 1/18 кредита). Перспективы применения гибридных силовых установок на средствах малой механизации и малоразмерном транспорте *Motorized bicycle: Moped, Power-assisted bicycle, Electric bicycle*. Обзор особенностей конструкций.

Лекция 17 (2 часа, 1/18 кредита). Основы математического моделирования гибридных силовых установок с ДВС. Моделирование гибридного привода с помощью программы ADVISOR в среде *MATLAB/Simulink*. Определение для заданного гибридного транспортного средства его рабочие характеристики на примере японских моделей легковых автомобилей *Toyota Prius* и *Honda Insight*.

Лекция 18 (2 часа, 1/18 кредита). Анализ перспектив развития гибридных силовых установок транспортных средств.

Практические занятия.

Практическое занятие 1 (2 часа, 1/16 кредита). Решение практических задач по оценке требуемого количества моторного топлива на перспективу с учетом перехода на гибридные силовые установки.

Практическое занятие 2 (2 часа, 1/16 кредита). Решение практических задач по оценке требуемого количества моторного топлива на перспективу с учетом перехода на гибридные силовые установки.

Практическое занятие 3 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкций агрегатов и узлов гибридного автомобиля.

Практическое занятие 4 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкций агрегатов и узлов гибридного автомобиля.

Практическое занятие 5 (2 часа, 1/16 кредита). Освоение методики расчета путевого расхода топлива с выбором ездового испытательного цикла и характеристик ДВС.

Практическое занятие 6 (2 часа, 1/16 кредита). Освоение методики расчета путевого расхода топлива с выбором ездового испытательного цикла и характеристик ДВС.

Практическое занятие 7 (2 часа, 1/16 кредита). Подробное изучение конструкции и особенностей эксплуатации силовой установки гибридного автомобиля на примере *Toyota Prius*.

Практическое занятие 8 (2 часа, 1/16 кредита). Подробное изучение конструкции и особенностей эксплуатации силовой установки гибридного автомобиля на примере *Toyota Prius*.

Практическое занятие 9 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкции гибридных легковых автомобилей фирм *Ford: Ford Escape Hybrid, Fusion, Mercury Mariner Hybrid, Mercury Milan Hybrid, Honda: Honda Insight, Honda Civic Hybrid, Honda Accord Hybrid*.

Практическое занятие 10 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкции гибридных легковых автомобилей фирм *GeneralMotors: ChevroletSilverado/GMCSierraHybrid, NewFlyerhybridbusesusingAllisonselectricdrivesystem, Tahoe, Malibu, Equinox, OpelAstraDieselHybrid.*

Практическое занятие 11 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкции гибридных легковых автомобилей фирм *Mazda: Mazda Demio, Mazda Tribute Hybrid, Renault: Renault Kangoo (France).*

Практическое занятие 12 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкции гибридных легковых автомобилей фирмы *ToyotaandLexus: Lexus RX 400h, ToyotaHighlander, LexusGS 450h, ToyotaCamryHybrid, ToyotaEstima, Volkswagen: TouaregHybrid.*

Практическое занятие 13 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкции гибридных легковых автомобилей фирм *Nissan: AltimaHybrid, GMC: YukonHybrid, SierraHybrid, Cadillac: Escalade.*

Практическое занятие 14 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкции гибридных грузовиков: *БелАЗ (Беларусь), Azure Dynamics (США), Nissan совместно с ZF Friedrichshafen AG (Германия), Alcoa совместно с Altair Nanotechnologies (США), OdyneCorporation (США), Peterbilt (США) совместно с Eaton, Oshkosh Truck Corp., Volvo Cars и MAC.*

Практическое занятие 15 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкции гибридных автобусов: *New Flyer - Канада, DaimlerChrysler - автобус Orion VII (гибридная схема разработана совместно с BAE Systems), General Motors – (гибридная схема GM/Allison разработана совместно с DaimlerChrysler и BMW), Optima Bus Corporation ? США (гибридная схема разработана совместно ISE-Siemens).*

Практическое занятие 16 (2 часа, 1/16 кредита). Изучение конструкции гибридных автобусов: *First Automotive Works (FAW) , Китай (гибридная схема Enova), Solaris Bus & Coach Company , Польша (гибридная схема GM/Allison), APTS , Дания (гибридная схема GM/Allison), Optare Group , Великобритания (гибридная схема GM/Allison), Nova Bus , Канада, (гибридная схема GM/Allison).*

Рубежный контроль 1. (1 час, 1/36 кредита).

Рубежный контроль 2. (1 час, 1/36 кредита).

Рубежный контроль 3. (1 час, 1/16 кредита).

Рубежный контроль 4. (1 час, 1/16 кредита).

Программа курса УМК. Учебный тематический план курса УМК.

Учебная неделя	Виды занятий	
1	Лекция 1 (2 ч., 1/18 кредита)	-
2	Лекция 2 (2 ч., 1/18 кредита)	Практическое занятие 1 (2 ч., 1/16 кред.)
3	Лекция 3 (2 ч., 1/18 кредита)	Практическое занятие 2 (2 ч., 1/16 кред.)
4	Лекция 4 (2 ч., 1/18 кредита) Рубежный контроль 1. (1 час, 1/32 кредита)	Практическое занятие 3 (2 ч., 1/16 кред.)
5	Лекция 5 (2 ч., 1/18 кредита)	Практическое занятие 4 (2 ч., 1/16 кред.)
6	Лекция 6 (2 ч., 1/18 кредита)	Практическое занятие 5

	кредита)	(2 ч., 1/16 кред.)
7	Лекция 7 (2 ч., 1/18 кредита)	Практическое занятие 6 (2 ч., 1/16 кред.)
8	Лекция 8 (2 ч., 1/18 кредита) Рубежный контроль 2. (1 час, 1/32 кредита)	Практическое занятие 7 (2 ч., 1/16 кред.)
9	Лекция 9 (2 ч., 1/18 кредита)	Практическое занятие 8 (2 ч., 1/16 кред.)
10	Лекция 10 (2 ч., 1/18 кредита)	Практическое занятие 9 (2 ч., 1/16 кред.)
11	Лекция 11 (2 ч., 1/18 кредита)	Практическое занятие 10 (2 ч., 1/16 кред.)
12	Лекция 12 (2 ч., 1/18 кредита) Рубежный контроль 3. (1 час, 1/72 кредита)	Практическое занятие 11 (2 ч., 1/16 кред.)
13	Лекция 13 (2 ч., 1/18 кредита)	Практическое занятие 12 (2 ч., 1/16 кред.)
14	Лекция 14 (2 ч., 1/18 кредита)	Практическое занятие 13 (2 ч., 1/16 кред.)
15	Лекция 15 (2 ч., 1/18 кредита)	Практическое занятие 14 (2 ч., 1/16 кред.)
16	Лекция 16 (2 ч., 1/18 кредита)	Практическое занятие 15 (2 ч., 1/16 кред.)
17	Лекция 17 (2 ч., 1/18 кредита) Рубежный контроль 4. (1 час, 1/32 кредита)	Практическое занятие 16 (2 ч., 1/16 кред.)
18	Лекция 18 (2 ч., 1/18 кредита)	
Зачетная неделя	Зачет	

Сведения об авторе курса:

Гусаков Сергей Валентинович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплотехники и тепловых