

В. А. Умняшкин, доктор технических наук, профессор;

В. М. Пономарев, соискатель

Ижевский государственный технический университет

КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ ДВУХДВИГАТЕЛЬНЫХ СИЛОВЫХ ПРИВОДОВ

Рассмотрены двухдвигательные схемы, отмечается повышенный интерес к таким передачам в связи с появлением комбинированных силовых установок, приводятся их перспективные направления конструирования.

Ключевые слова: двухдвигательный силовой агрегат

Перспективное направление развития силового привода транспортных машин к настоящему времени формируется на создании двухдвигательных схем. При наличии в силовой установке автомобиля двух двигателей возможны два способа их связи с ведущими колесами: по независимой схеме (рис. 1, а и б) или схеме с суммирующим редуктором (рис. 1, в).

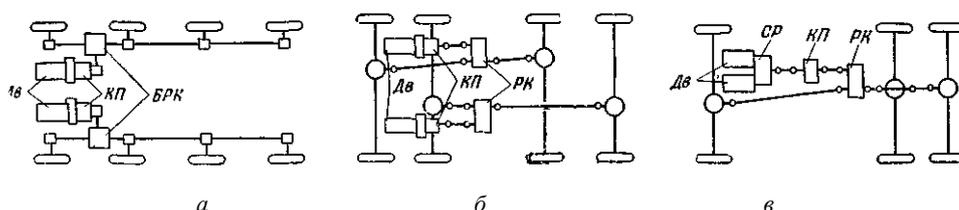


Рис. 1. Двухдвигательный силовой привод:

а – бортовая схема; б – мостовая схема; в – с суммирующим редуктором

В независимой схеме каждый двигатель (Дв) питает энергией свою группу ведущих колес. Причем используются два варианта, когда каждый двигатель питает энергией ведущие колеса одного борта (рис. 1, а) или когда один двигатель присоединен через агрегаты силовой передачи – коробку передач (КП), раздаточную коробку (РК) к одной группе мостов, а второй – к другой группе (рис. 1, б). При этом бортовая схема силовой передачи значительно упрощается из-за отсутствия межбортовой раздаточной коробки (БРК) и межбортового дифференциала.

В схеме с суммирующим редуктором (рис. 1, в) оба двигателя присоединяются к одному редуктору (СР), от которого суммарный силовой поток распределяется по ведущим колесам так же, как и при наличии одного двигателя в силовой установке автомобиля. В качестве суммирующего редуктора возможно применение зубчатых, фрикционных, цепных и ременных передач. Конструктивная простота исполнения дифференциала как механизма с двумя степенями свободы предопределяет перспективность его использования в качестве суммирующего редуктора двухдвигательных передач.

Применение двухдвигательных передач в силовом приводе транспортной машины диктуется ужесточением требований к разрабатываемой конструкции, из всего многообразия которых можно выделить три направления.

1. Улучшение показателей эксплуатационных свойств (грузоподъемности, тягово-скоростных характеристик, топливной экономичности, проходимости, управляемости и др.).

2. Соблюдение положений унификации при создании на унифицированных агрегатах различных по типоразмерным параметрам транспортных машин.

3. Создание автоматических силовых приводов.

В зависимости от сформулированных требований к топливной экономичности, экологичности, тягово-скоростным свойствам, компоновке и т. д. можно применить в конструкции колесной машины различные агрегаты и конструктивные схемы двухдвигательных передач. Для разрешения противоречий в вопросах унификации и удовлетворения потребности в различной номенклатуре ДВС, имеет место тенденция создания двухдвигательных схем, при которых принимается два ДВС, при мощности каждого примерно в два раза ниже расчетной.

В специализированных типах колесной техники широкое распространение получили схемы, предполагающие соединение потоков мощности двух тепловых машин, как правило ДВС, а также ДВС либо электрической, либо гидравлической машин. Например, для двухдвигательных передач с тепловой и электрической машинами в качестве тепловой машины (ТД) можно использовать различные типы ДВС; в качестве электрической машины – генераторы и двигатели (ЭД) постоянного и переменного тока; в качестве накопителя энергии (НЭ) – от свинцово-кислотных аккумуляторных батарей до маховичных накопителей кинетической энергии. В настоящее время наиболее распространены накопители электрической энергии. Такие двухдвигательные схемы обобщаются в понятие комбинированной энергетической установки (КЭУ) гибридного автомобиля.

Все разнообразие КЭУ можно разбить в зависимости от принципа компоновочных решений на два типа [1, 2]: первый – КЭУ последовательной схемы (ведущие колеса машины приводятся в движение от ЭД) и второй – КЭУ параллельной схемы (привод ведущих колес может осуществляться от ЭД и (или) ТД одновременно). Вместе с тем известны три схемы комбинированных энергетических установок: последовательная (рис. 2, а), параллельная (рис. 2, б) и параллельно-последовательная (рис. 2, в).

В последовательной схеме ДВС работает только на генератор, при этом выбирается тяговый режим работы ДВС при минимальном расходе топлива. Энергия, вырабатываемая генератором, подается либо на тяговый электродвигатель, либо в накопитель энергии и на тяговый электродвигатель, либо только в накопитель энергии. Тяговый электродвигатель обеспечивает весь необходимый силовой и скоростной диапазоны транспортного средства и при его замедлении работает в режиме генератора, обеспечивая рекуперацию энергии торможения.

Достоинствами последовательной схемы являются: возможность работы первичного двигателя (ДВС) в постоянном режиме минимального расхода топлива, простота управления силовой установкой, отсутствие специальных узлов трансмиссии. К недостаткам следует отнести слишком малый КПД системы превращения энергии от двигателя внутреннего сгорания до приводных колес.

В параллельной схеме тяговый электродвигатель, питаемый от аккумуляторной батареи, и ДВС связаны с ведущими колесами через суммирующий редуктор. В настоящее время в КЭУ параллельной схемы наиболее распространены шестеренчатые суммирующие редукторы. Применяются также ременные и цепные редукторы, т. е. передачи с гибкой связью. Возможно применение комбинированных типов

редукторов, муфт сцепления и даже дифференциалов. Все это приводит к усложнению математических моделей, описывающих режимы движения ТМ.

В ОАО «ИжАвто» разработана двухдвигательная передача по параллельной схеме с зубчатым суммирующим редуктором. Для данной конструктивной схемы возможно движение ТМ при следующих режимах работы КЭУ: во-первых, только при работе ДВС; во-вторых, только при работе мотор-генератора в двигательном режиме на энергии от аккумуляторной батареи; в-третьих, при совместной работе ДВС и мотор-генератора.

В этой конструктивной схеме можно использовать преимущества каждого из типов двигателей КЭУ для компенсации недостатков другого. Особенно сильно это преимущество проявляется при использовании КЭУ данной конструктивной схемы на высокоскоростных машинах. ДВС имеет необходимые мощности на высоких частотах вращения вала ДВС для движения с большими скоростями, но обладает плохой динамикой разгона машины.

Электрическая машина (ЭД) позволяет компенсировать этот недостаток за счет реализации высоких вращающих моментов на малых частотах вращения вала. Поэтому необходимую дополнительную энергию при разгоне можно получать от аккумуляторной батареи через ЭД, а продолжать движение с установившимися и близкими к ним скоростями только на ДВС.

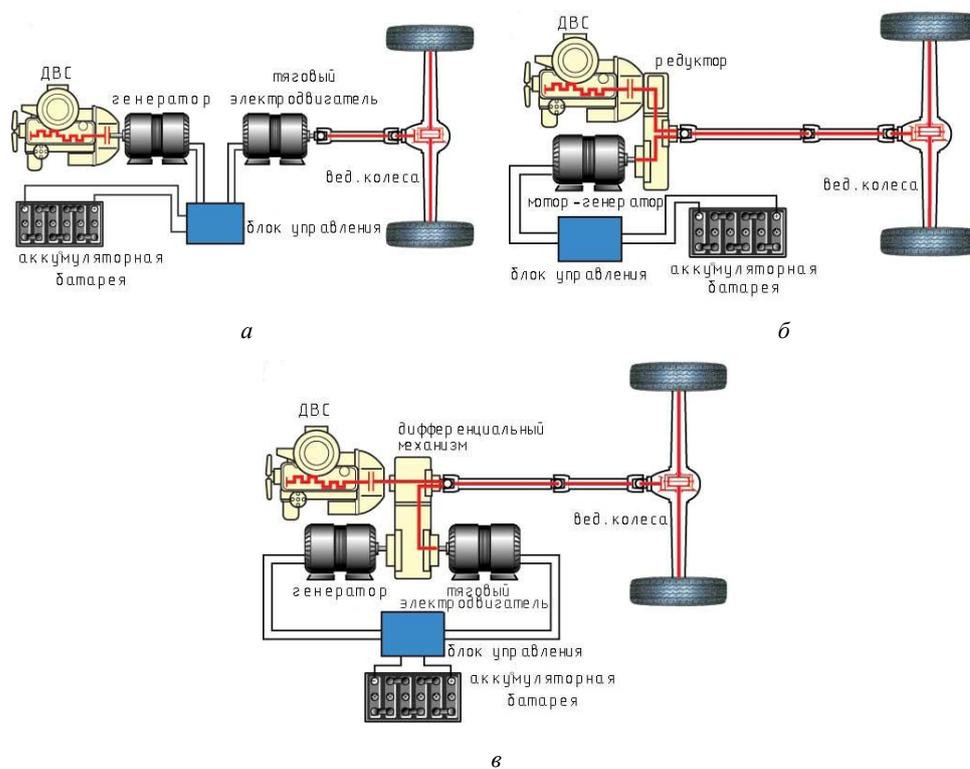


Рис. 2. Компонировочные схемы силового привода с КЭУ:
а – последовательная; б – параллельная; в – параллельно-последовательная

В этом случае отпадает необходимость многократного преобразования большей части энергии, и для получения хорошей динамики разгона машины предоставляется возможность использовать более экономичные и менее мощные и материалоемкие ДВС, ЭД, преобразователи и накопители электрической энергии.

Преимуществом параллельной схемы является более высокий КПД передачи энергии от первичного двигателя к ведущим колесам, в сравнении с последовательной схемой, и возможность применения одной электромашины вместо двух. Недостаток – обязательное усложнение трансмиссии для обеспечения отбора (подвода) мощности электрической машины, отход первичного двигателя от режима минимального расхода топлива при регулировании скорости движения транспортной машины и определенное усложнение системы управления трансмиссией.

Параллельная схема с планетарным суммирующим редуктором (рис. 3) является более эффективной с точки зрения согласования работы двух двигателей, позволяет уменьшить динамические нагрузки в суммирующем редукторе и снизить диссипативные потери энергии в трансмиссии.

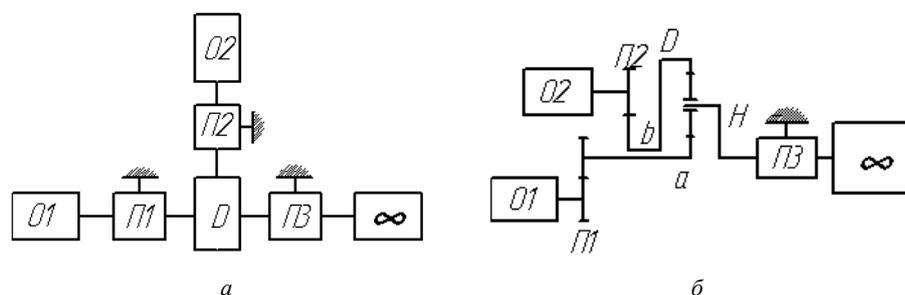


Рис. 3. Обобщенные схемы КЭУ параллельной схемы с планетарным дифференциальным согласующим редуктором: а – структурная; б – кинематическая

В такой схеме двигатели 01 и 02 соединены через редукторы П1 и П2 с двумя звеньями а и b дифференциального редуктора D, третье звено Н которого через редуктор П3 соединено с передающей частью трансмиссии ∞.

За счет введения в конструкцию дифференциального СР рассматриваемая КЭУ представляет собой замкнутую дифференциальную передачу, в которой осуществляется замыкание мощных потоков ДВС и ЭД, позволяющее передавать к ведущим колесам мощность от ДВС и от ЭД как по отдельности, так и совместно, при этом создаются возможности для автоматизации ЭМП.

Возможен вариант параллельной схемы, при которой обратимая электромашина устанавливается в приводе другого ведущего моста, чем ведущий мост трансмиссии первичного ДВС. Например, на переднеприводной Honda Civic Hybrid обратимый электрический мотор устанавливается в приводе заднего моста. Достоинством такого варианта следует считать определенное упрощение трансмиссии первичного двигателя, недостатком – использование колесного движителя в качестве элемента системы превращения энергии.

В течение ряда лет в Московском государственном техническом университете «МАМИ» ведутся научные и конструкторские проработки вариантов автомобилей с КЭУ для города и многоцелевого назначения. В частности, проведена поисковая конструкторско-расчетная работа по разработке проекта автомобиля с КЭУ парал-

лельного типа и приводом мостов от разных двигателей. В качестве объекта исследования выбран городской развозной автомобиль на базе пикапа «Москвич-2331» полной массой 17 550 кг. Ранее проведенные исследования показали, что для нулевого баланса энергии при движении в интенсивном городском цикле для машины такого класса при любой схеме КЭУ достаточна мощность ДВС 7,5 кВт. Минимальный расход топлива при движении в выбранном городском цикле достигается при мощности двигателя 13,5 кВт.

Ввиду того, что ДВС должен работать в режиме минимального удельного расхода топлива, максимальная мощность реального двигателя будет существенно выше. Например, силовой агрегат ВАЗ-1111 работает с минимально возможным удельным расходом топлива на частоте 3 500 об/мин с 80-процентной загрузкой, развивая 13,5 кВт, при этом максимальной мощности в 30 кВт. При выборе мощности электродвигателя в основу положен принцип равенства динамики разгона автомобиля с КЭУ и серийного пикапа «Москвич-2331» с двигателем ВАЗ-2106. Полученное из этих соображений уравнение позволило определить необходимую мощность ТЭД, в качестве которого был принят электродвигатель постоянного тока ПТ-125-12.

В качестве накопителя энергии приняты специальные аккумуляторные батареи: никель-металлогидридные или никель-водородные. Суммарная емкость батарей должна обеспечить проезд автомобиля с КЭУ в режиме электромобиля со скоростью 30...40 км/ч не менее 30 км.

Расход топлива машины с ДВС и ступенчатой коробкой передач велся по удельному цикловому расходу (метод И. М. Ленина). Аналогично велся расчет расхода топлива у автомобиля с КЭУ, однако в этом случае ДВС работает в постоянном режиме минимального удельного расхода, а по разработанной методике определяется время работы ДВС при движении в режиме городского цикла. Результаты расчетов показали более чем двукратную экономию топлива при оборудовании автомобиля КЭУ.

Итогом расчетных и компоновочных работ явилось создание опытных образцов полноприводных автомобилей с КЭУ. Один из вариантов – созданный на кафедре «Автомобили» МГТУ «МАМИ» грузопассажирский полноприводный автомобиль с использованием элементов конструкции автомобилей УАЗ. Проект ориентирован на серийно выпускающийся грузопассажирский полноприводный автомобиль УАЗ-3153, позволяющий реализовать автомобиль двойного назначения в гибридном варианте. Компоновочная схема автомобиля представлена на рис. 4.

С одной стороны к раздаточной коробке автомобиля подводится вращающий момент от ДВС, с другой – от обратимой электрической машины, работающей как в режиме тягового электродвигателя, так и в режиме генератора. Для накопления энергии при торможении автомобиля генератор заряжает предусмотренный электрический накопитель энергии.

При этом на опытном образце появилась возможность реализации двух основных вариантов параллельных схем:

- а) привод мостов от разных двигателей (переднего – от тягового электродвигателя и заднего – от ДВС через стандартную трансмиссию);
- б) привод всей трансмиссии параллельно от двух двигателей – ДВС со стандартной трансмиссией и тягового электродвигателя с подачей мощности на выходной вал раздаточной коробки.

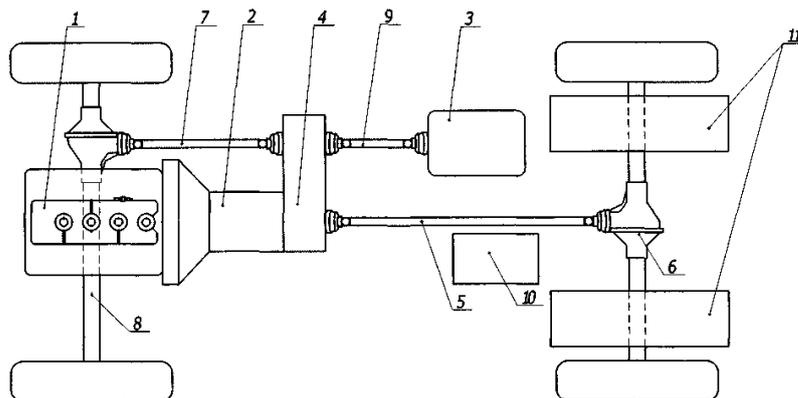


Рис. 4. Компонентная схема силового привода полноприводного многоцелевого автомобиля с КЭУ параллельной схемы: 1 – ДВС; 2 – коробка передач; 3 – обратимая электрическая машина; 4 – раздаточная коробка; 5 – привод заднего моста; 6 – задний мост; 7 – привод переднего моста; 8 – передний мост; 9 – привод обратимой электрической машины; 10 – система управления тяговым электрооборудованием; 11 – электрические накопители энергии

В данной схеме реализуется дифференциальный и блокированный межосевой привод. Режим разблокированного полного привода колес может длительно использоваться на дорогах с высоким коэффициентом сцепления, т. е. фактически является постоянным полным приводом. При этом не требуется введение в конструкцию трансмиссии механического межосевого дифференциала, что позволяет обеспечить возможность выбора следующих дополнительных режимов работы автомобиля:

- 1) движение с приводом на задний мост (только от ДВС, только от тягового электродвигателя, совместно от ДВС и тягового электродвигателя);
- 2) движение с приводом на передний мост от тягового электродвигателя.

Данная компонентная схема КЭУ обеспечивает возможность варьирования как типом используемой энергетической установки (ДВС, электродвигатель или их комбинация), так и типом привода (полноприводный блокированный, полный привод мостов от разных источников энергии, привод на один из ведущих мостов от разных источников энергии). При этом не требуется использование промежуточных агрегатов при передаче мощности, что повышает КПД, не требуется применение межосевого дифференциала, обеспечивается возможность движения с полным приводом при выключенном ДВС, с минимальными тепловыми и звуковыми излучениями. В совокупности упрощается конструкция, снижается масса транспортного средства и затраты на производство.

Последовательно-параллельная схема представляет собой комбинацию последовательной и параллельной схемы и сочетает в себе преимущества обеих схем за счет разделения силового потока двигателя в планетарном делителе мощности так, что соотношение мощности, поступающей непосредственно на колеса и идущей на генератор, может плавно изменяться. Для достижения высокого уровня эффективности системы блок управления в зависимости от условий движения задействует или только ДВС или ДВС совместно с электромотором. Когда необходимо, система приводит в движение колеса, одновременно вырабатывая электричество, задейст-

вовав генератор. Поскольку электродвигатель может работать на вырабатываемой электроэнергии, то он используется больше, чем при параллельной схеме.

Последовательно-параллельная схема используется в переднеприводном автомобиле Toyota Estima Hybrid, в полноприводном Lexus RX400h и получила название Toyota Hybrid System (THS), в настоящее время в переднеприводном автомобиле Toyota Prius применяется система второго поколения – THS II.

Энергетическая установка системы THS II состоит из двух источников движущей силы (рис. 5, а): высокоэкономичного ДВС, работающего по циклу Аткинсона, синхронного электродвигателя переменного тока на постоянных магнитах, через планетарный редуктор соединенные с генератором.

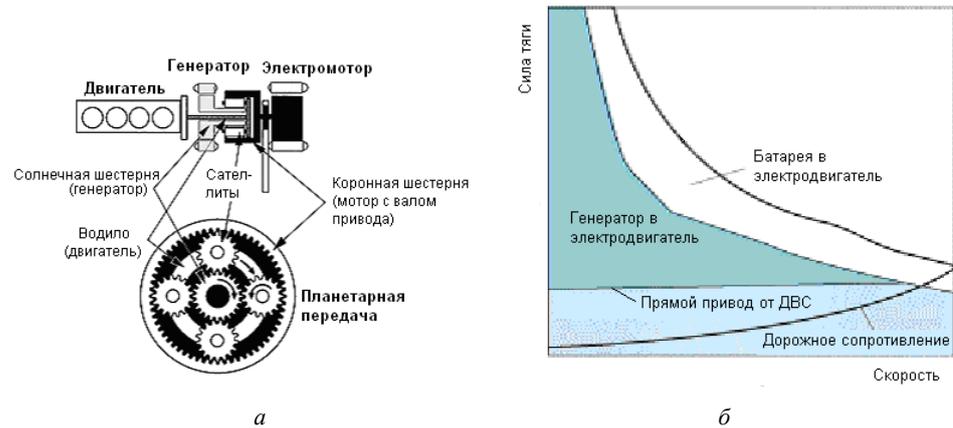


Рис. 5. КЭУ параллельно-последовательной схемы THS II:
а – структурная схема; б – тяговая характеристика

Чем ниже скорость автомобиля, тем больше задействовано движущей силы от электродвигателя. Увеличение максимальной частоты вращения генератора позволило использовать максимум эффективной мощности ДВС на меньших скоростях, чем это было возможно в системе THS предыдущего поколения. Сила тяги автомобиля с системой THS II выражается соотношением непосредственной силы тяги от двигателя и мощности электромотора (рис. 5, б).

Основными узлами трансмиссии являются: ДВС генератор, тяговый электродвигатель, понижающая передача и планетарный механизм делителя мощности, в котором происходит распределение и суммирование мощностей ДВС, ЭД и генератора. Двигатель внутреннего сгорания (1 496 см³, 79 кВт при 4 000 об/мин) и тяговый электромотор (30 кВт при 940...2 000 об/мин) работают в паре, компьютер, в зависимости от условий движения, определяет степень участия каждого из них. Совместно или каждый в отдельности через редуктор вращают передние ведущие колеса.

Поток мощности ДВС, связанный с водилом планетарного механизма, разделяется на два потока, так как с коронной шестерней связан тяговый электромотор, а с солнечной шестерней – генератор, при этом система сохраняет действие вариаторной трансмиссии, когда возможно изменение скорости движения при произвольном варьировании оборотами двигателя, генератора и электромотора (в зависимости от скорости автомобиля). При необходимости каждое звено может быть

или неподвижным (остановлено по команде компьютера ленточным тормозом) или ведущим. Таким образом, открываются широкие возможности для комбинаций самых разнообразных кинематических вариантов.

При торможении электромотор действует в режиме генератора и через преобразователь пополняет запас энергии в батарее. При пуске двигателя внутреннего сгорания генератор играет роль стартера. От генератора через преобразователь заряжается аккумулятор, от которого при необходимости в тяговый электромотор (также через преобразователь) поступает энергия. Все эти узлы, работающие с разными числами оборотов, согласуются компьютером, по командам которого затормаживаются различные звенья планетарного механизма и включается преобразователь.

Блок энергетического управления контролирует работу всех компонентов на высоких скоростях, обеспечивая эффективность их совместной работы, и представляет собой конвертер переменного-постоянного тока для согласования переменного тока от мотора и генератора с постоянным током никель-металлогидридной (Ni-MH) батареи. Также блок содержит высоковольтный преобразователь для повышения напряжения, идущего от аккумулятора к электромотору и генератору, работающим при напряжении в 500 вольт.

Поскольку за двигателем нет трансмиссии и используется прямой привод в сочетании с силой тяги от электромотора, то это дает возможность постоянно контролировать силу тяги на колесах, без рывков обеспечивая характеристики требуемого движения во всех диапазонах: от высоких скоростей до низких и от равномерного экономичного режима до резкого ускорения.

Таким образом, улучшение входных и выходных показателей эффективности реализовало стремление к достижению лучшей в мире топливной экономичности. Планируется прохождение TNS II под правила ATPZEV (Прогрессивная Технология Транспортного Средства Практически Нулевого Выброса) в Калифорнии, США, которые введены в 2005 г., удовлетворение Уровня Крайне Низких Выбросов (ULEV) в Японии, а также правил «Евро-4», вступивших в силу в 2004 г.

Список литературы

1. Основы методики расчета и обоснования базовых параметров гибридной энергосиловой установки легкового автомобиля / В. А. Умняшкин, Н. М. Филькин, Д. А. Копотев и др. // Интеллектуал. системы в пр-ве. – 2008. - № 1. – С. 164–176.
2. Филькин Н. М. Методики оптимизации параметров конструкции энергосиловой установки транспортной машины. – Ижевск : ИжГТУ, 2001. – 79 с.

* * *

V. A. Umnyashkin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

V. M. Ponomarev, Candidate for a Degree, Izhevsk State Technical University

Structural Arrangement of Twin-Engined Power Drive

The twin-engined arrangements are considered as an intense interest in this type of gear is shown as a result of the hybrid power unit advent. The upcoming design trend is presented.

Keywords: parallel-twin engine

Получено 26.04.10