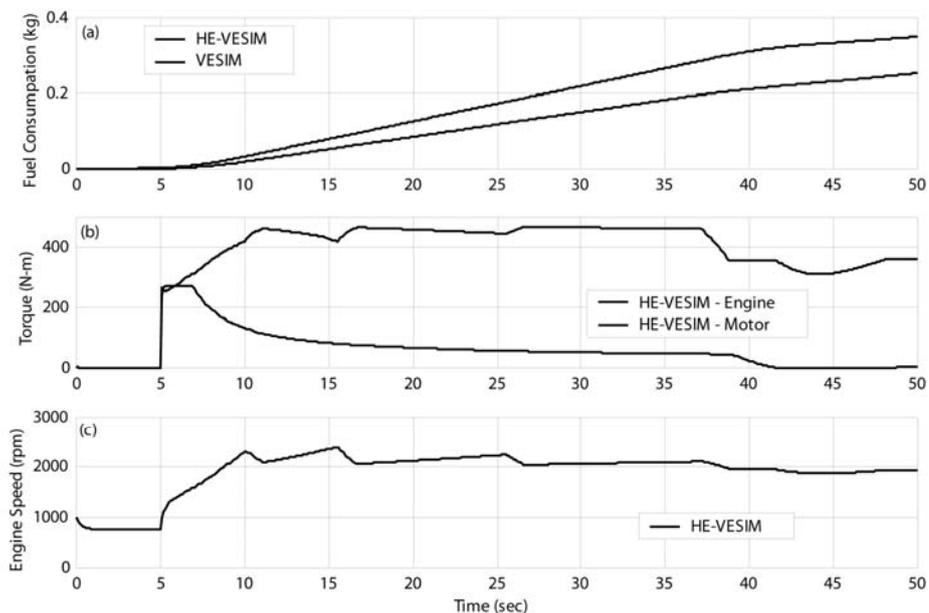


По приведенным диаграммам видно, что автомобиль разгоняется до 73 км/ч за 14 секунд, и затем замедляется до 61 км/ч.

Таким образом, программный комплекс Matlab Simulink позволяет проводить моделирование систем автомобиля в довольно широких пределах, что позволяет максимально приблизить результаты компьютерного анализа к реальным испытаниям (рисунок 5).



**Рисунок 5 – Пример анализа тягово-динамических и топливно-экономических качества автомобиля с гибридной силовой установкой**

#### **Заключение**

Автомобиль с гибридной силовой установкой насыщен сложными и высокотехнологичными системами. Для лучшей согласованности компонентов гибридной трансмиссии и для оптимального управления её модулями при проектировании следует использовать программы для полного математического моделирования систем автомобиля. Такие программы, как Matlab Simulink, позволяют значительно ускорить и упростить процесс испытания и доводки систем, а так же способствуют уменьшению расходов при создании перспективных транспортных средств.

#### **Литература**

1. Bryce Johnson. Engine, battery and vehicle simulation strategies for transmission testing. 2009 Ground Vehicle Systems Engineering and Technology Symposium.
2. Документация по MathWorks Matlab/Simulink.
3. Chan-Chiao Lin, Zoran Filipi, Yongsheng Wang, Loucas Louca, Huei Peng, Dennis Assanis, Jeffrey Stein. Integrated, Feed-Forward Hybrid Electric Vehicle Simulation in SIMULINK and its Use for Power Management Studies. 2001.

#### **Особенности работы управляемых фрикционных муфт в составе энергосиловой установки гибридного автомобиля**

д.т.н. Бахмутов С.В., к.т.н. Круташов А.В., Маликов О.В., Благушко Я.И.  
МГТУ «МАМИ»

(8) 495 223-05-28, [svb@mami.ru](mailto:svb@mami.ru)

*Аннотация.* В работе рассматриваются комбинированные энергетические установки (КЭУ) смешанной схемы для грузовых автомобилей и автобусов. Рассмотрена работа управляемых фрикционных муфт в составе КЭУ и определены основные технические требования к ним.

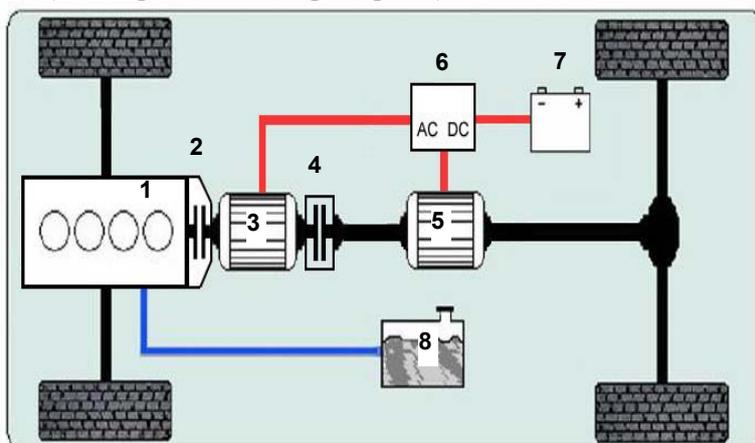
*Ключевые слова:* комбинированные энергетические установки автомобилей, управляемые фрикционные муфты, анализ конструкций, общие требования

В настоящее время создано множество разнообразных конструкций комбинированных энергетических установок (КЭУ) для гибридных автомобилей. Тем не менее, их можно разделить на четыре компоновочные схемы: последовательная (Seriell Hybrid); параллельная (Parallel Hybrid); дифференциальная (Powersplit Hybrid); смешанная (Seriell - Parallel Hybrid).

Три первые схемы известны достаточно давно и реализованы во многих вариантах, находя свои рациональные области применения для тех или иных видов автомобилей. Каждая из них обладает своими достоинствами и недостатками в отношении к.п.д., сложности конструкции, удобства компоновки, стоимости и т.д. Появление смешанных КЭУ связано со стремлением объединить достоинства отдельных схем КЭУ. При этом подразумевается, что (в зависимости от условий и режимов движения автомобиля) существует возможность изменять схему КЭУ для получения наилучших показателей автомобиля по ряду свойств, например, по топливной экономичности и вредным выбросам. Предложен ряд оригинальных решений для смешанных последовательно - параллельных схем КЭУ, защищенных патентами.

В состав последовательно - параллельной КЭУ входят управляемые фрикционные муфты, которые должны обеспечивать переходы от последовательной схемы к параллельной и обратно, причем в процессе движения автомобиля. Специфика работы таких муфт требует всестороннего изучения и выработки технических требований для их проектирования и создания.

На рисунке 1 представлен один из вариантов последовательно-параллельной схема КЭУ для грузового автомобиля и среднего автобуса, предназначенных для эксплуатации в смешанных условиях (как города, так и пригорода).



**Рисунок 1 – Компоновка последовательно-параллельной КЭУ: 1 – ДВС, 2 - первая управляемая фрикционная муфта, 3 - первая обратимая электрическая машина, 4 - вторая управляемая фрикционная муфта, 5 - вторая обратимая электрическая машина, 6 - преобразователь электрической энергии, 7 - накопители электрической энергии, 8 - топливный бак.**

Как видно из рисунка, работа КЭУ определяется состоянием управляемой фрикционной муфты 4, при ее разомкнутом состоянии получаем последовательную схему, а при замкнутом – параллельную.

Трогание автомобиля начинается в электрорежиме и продолжается до достижения определенной скорости  $V_c$ , задаваемой алгоритмом управления КЭУ, после чего запускается ДВС. Очевидно, что в начальной фазе муфта 4 размыкается и тяга осуществляется второй обратимой электрической машиной 5. В тяжелых условиях движения (например, при трогании на уклоне) муфта 4 замыкается и движение обеспечивается двумя электрическими машинами 3 и 5, при этом муфта 2 должна быть разомкнута, чтобы исключить дополнительное сопротивление прокручивания выключенного ДВС. В особо тяжелых условиях движения или при существенной разрядке электрических накопителей алгоритм управления КЭУ допускает дви-

жение на малых скоростях при включенном ДВС, при этом обе муфты должны быть замкнуты.

В «штатном» режиме движения, на второй электромашине 5, при достижении скорости  $V_c$  (на которой ДВС работает устойчиво по характеристике минимальных удельных расходов) включается муфта 2 и с помощью первой электромашины 3 запускается ДВС. При этом муфта 4 замыкается и через нее передается крутящий момент ДВС, а при необходимости дополнительно крутящий момент первой электромашины 3.

При этом следует отметить, что ДВС выводится на режим минимальных удельных расходов, а если его мощность превышает величину, необходимую для движения с выбранной скоростью, то избыток мощности воспринимается второй электромашиной 5 и после преобразования в электрическую энергию направляется в накопитель 7.

При торможении автомобиля в режиме рекуперации энергии последняя воспринимается второй обратимой электромашиной 5, работающей в режиме генератора, а муфта 4 находится в разомкнутом состоянии.

Рассмотрим накопленный в мировом автомобилестроении опыт создания и использования управляемых фрикционных муфт с целью оценки возможности их использования в составе КЭУ.

В практике автомобилестроения фрикционные муфты применяются в управляемых узлах трансмиссии полноприводных автомобилей: в блокируемых дифференциалах, в дифференциалах с управляемым изменением коэффициента блокировки, в узлах подключения привода второго моста.

Изменение по сигналу системы управления момента трения в муфте, встраиваемой в дифференциал, позволяет совместить достоинства «свободного» дифференциала, имеющего минимальное трение, и дифференциала повышенного трения, состояние которого может изменяться. Муфта позволяет управлять изменением коэффициента блокировки в задаваемом диапазоне вплоть до полной блокировки дифференциала.

В автомобилях с подключаемым приводом второго моста управляемые фрикционные муфты обеспечивают управляемую по величине передачу крутящего момента на подключаемый мост – от практически нулевого момента вплоть до получения фактически полного заблокированного привода.

Фрикционные многодисковые муфты, используемые для подключения привода второго моста, могут быть классифицированы на два типа: автоматически блокируемые и с управляемым изменением момента трения. С их введением в узлы трансмиссии возможности подключаемого привода существенно расширились.

Блокирующиеся муфты открывают возможность автоматического подключения второго моста (блокированный привод).

Управляемые фрикционные муфты потенциально позволяют существенно повысить технический уровень подключаемого привода, обеспечивая своевременное, оптимальное по продолжительности и величине передаваемого крутящего момента, подключение привода второго моста. Становится возможным частичное блокирование привода, степень которого определится величиной момента трения муфты.

Необходимая в текущий момент времени величина момента трения в муфте, определяемая степенью сжатия фрикционных дисков, устанавливается по сигналам блока управления на основе информации от датчиков скорости автомобиля, относительной угловой скорости вращения колес, угла поворота рулевого колеса, положения дроссельной заслонки.

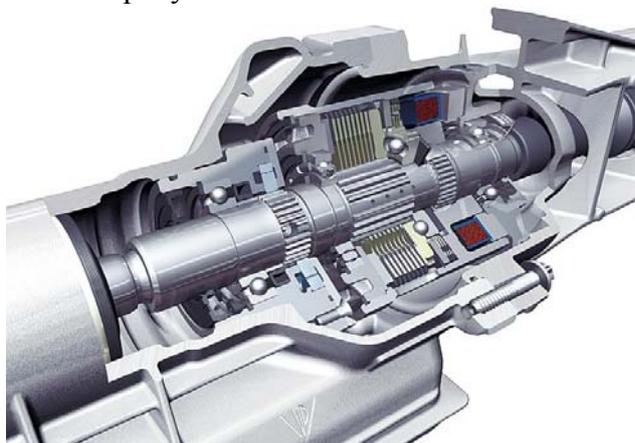
В типовую структуру управляемой фрикционной многодисковой муфты входят: узел главного фрикционного многодискового сцепления; нажимной механизм; управляющий привод нажимного механизма.

Часто используется кулачковый нажимной механизм шарикового или роликового типа – с телом качения между рабочими поверхностями кулачков, обеспечивающий более точное регулирование в сравнении с муфтами, имеющими трение скольжения на рабочих поверхностях клиновых кулачков.

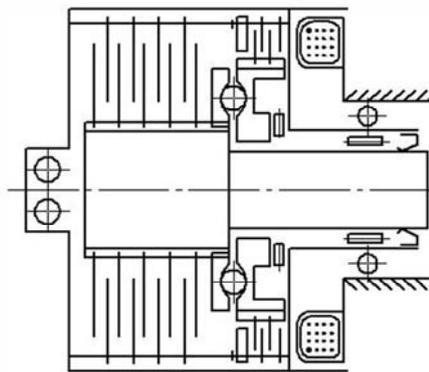
Привод нажимного механизма управляемых муфт выполняется в следующих вариантах: гидравлический; электромеханический (управляющий рычажный механизм с приводом от электродвигателя); электромагнитный.

Рассмотрим встречаемые в практике автостроения варианты применения управляемых фрикционных многодисковых муфт.

На рисунке 2 дано изображение с разрезом многодисковой муфты подключения привода переднего моста автомобиля Porsche. Нажимной механизм - шарикового типа, управляющий механизм – дисковое сцепление с электромагнитным управлением. Схема муфты представлена на рисунке 3.



**Рисунок 2 – Многодисковая муфта**



**Рисунок 3 – Схема муфты**

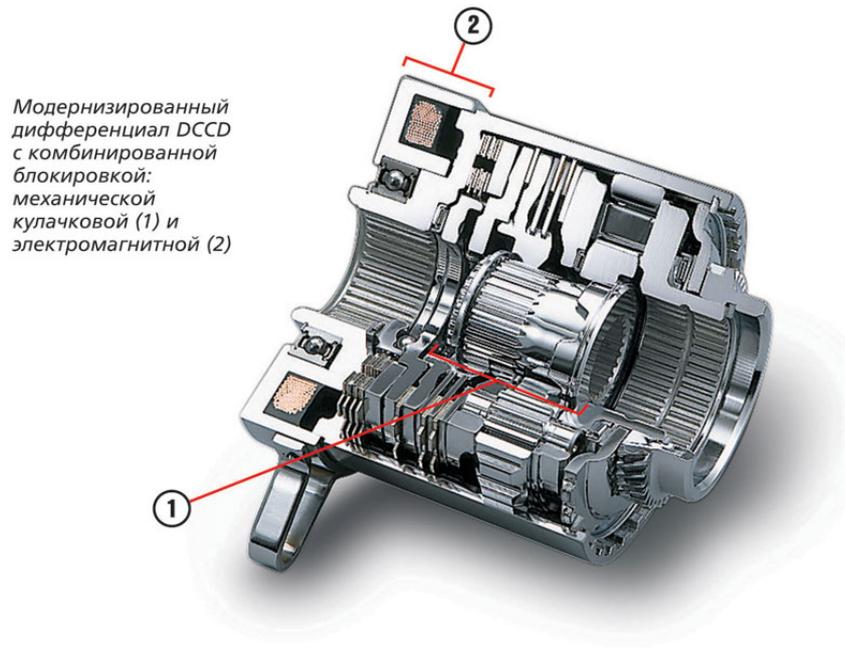
Главная особенность конструкции состоит в том, что одно звено нажимного механизма – диск с канавками под шарики, установлено на шлицах выходного вала, а второе звено – ведущий диск с канавками под шарики и наружными шлицами, связан со шлицевым цилиндром ведущего вала не непосредственно, а через дисковое управляющее сцепление. Сжатие пакета дисков управляющего сцепления осуществляется воздействием электромагнитного поля, создаваемого электромагнитной катушкой по команде системы управления. На ведущий диск нажимного механизма управляющее сцепление передает крутящий момент, равный моменту трения, установленному системой управления. Ведущий диск нажимного механизма своими канавками через шарики воздействует на канавки сопрягаемого диска, создавая осевую силу, сжимающую пакет главного сцепления. Таким образом, сжатие дисков главного сцепления и, соответственно, крутящий момент, который может быть передан муфтой, находятся в пропорциональной зависимости от силы электромагнитного поля, создаваемого по команде системы управления, и с высоким быстродействием следуют за изменениями команд.

Электромагнитный привод наилучшим образом встраивается в конструкцию фрикционной муфты дифференциала - существенно уменьшает габариты муфты и позволяет выполнить конструкцию управляемого дифференциала приемлемой для крупносерийного производства. Межосевой дифференциал DCCD с управляемым изменением коэффициента блокировки автомобиля Subaru Impreza WRX STI представлен на рисунке 4.

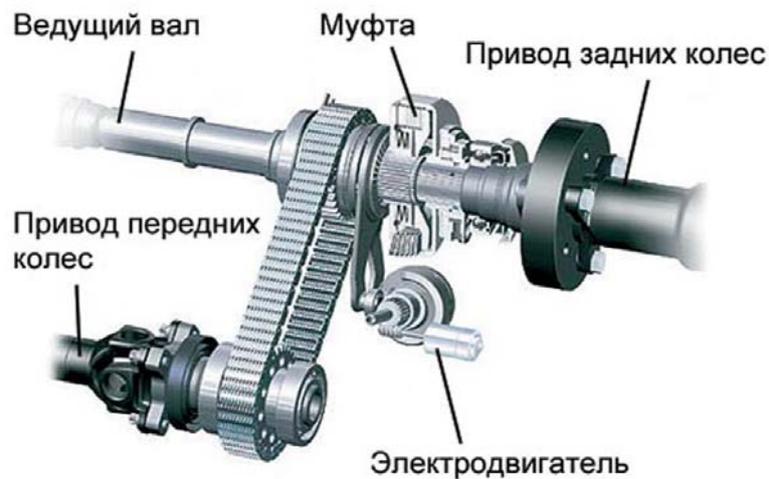
Следует констатировать, что дифференциал с изменяемым коэффициентом блокировки, включающий многодисковую фрикционную муфту и управляемый посредством электронной системы, является в настоящее время стандартной комплектацией для ряда полноприводных автомобилей, концепция которых предусматривает высокий технический уровень распределения мощности по колесам (Subaru Impreza WRX STI, в частности).

На автомобиле Mitsubishi Lancer Evolution VIII с оригинальной системой (Super AYC) управления тягой задних колес, межосевой дифференциал (тип ACD) имеет в составе многодисковую фрикционную муфту блокирования.

Представляет интерес фрикционная муфта с управляющим механизмом, содержащим промежуточный рычаг с приводом от электродвигателя, в составе раздаточной коробки. Муфта обеспечивает подключение привода второго (переднего) моста на автомобилях фир-



**Рисунок 4 – Межосевой дифференциал DCCD с управляемым изменением коэффициента блокировки автомобиля Subaru Impreza WRX STI**



**Рисунок 5 – Фрикционная многодисковая муфта в составе узла подключения привода переднего моста автомобилей BMW с трансмиссией x-Drive**

Одним из достоинств этого варианта является создание нажимного усилия на фрикционные механическим узлом с электроприводом, потребляющим электроэнергию только в момент включения или выключения. Вместе с тем, следует иметь в виду то обстоятельство, что во включенном состоянии муфты осевую нагрузку воспринимает узел торцевых подшипников разжимного устройства, что может лимитировать ресурс всей конструкции.

Известны варианты применения бездифференциального привода ведущих колес с подключением привода каждого колеса оси посредством многодисковой фрикционной муфты с прямым электромагнитным управлением.

Примером может служить автомобиль HONDA Legend с трансмиссией SH – AWD. На рисунке 6 показана схема редуктора ведущего моста, а на рисунке 7 – фрагмент узла с встроенной управляемой фрикционной многодисковой электромагнитной муфтой.

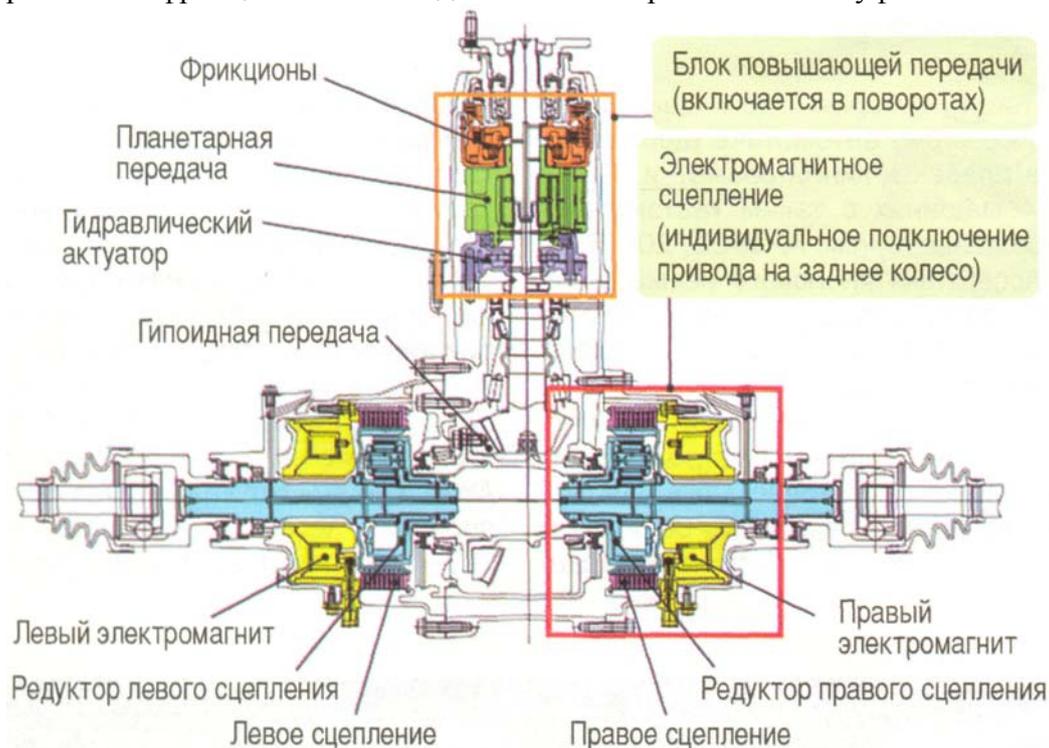


Рисунок 6 – Схема редуктора ведущего моста автомобиля HONDA Legend с трансмиссией SH -AWD

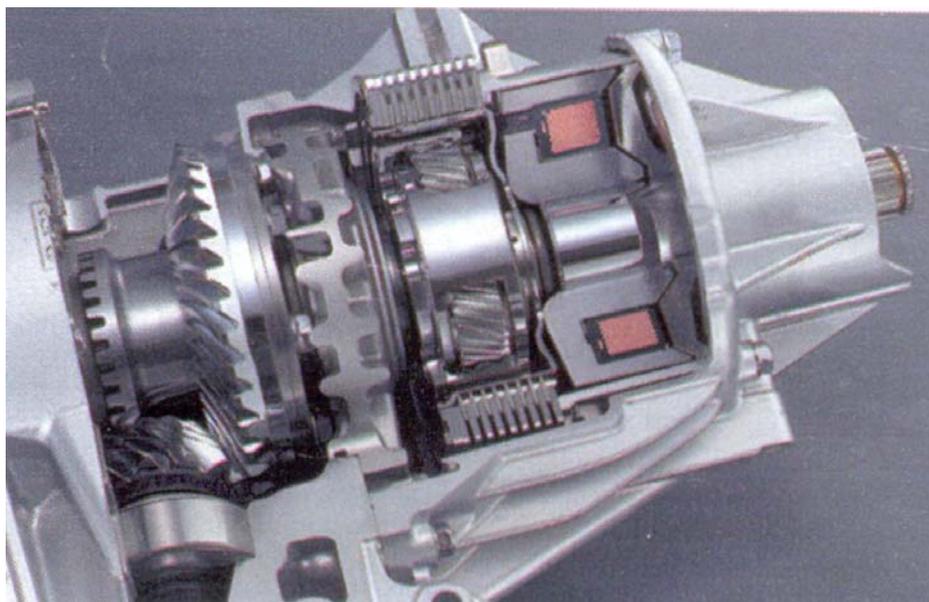


Рисунок 7 – Фрагмент узла с встроенной управляемой фрикционной многодисковой электромагнитной муфтой автомобиля HONDA Legend с трансмиссией SH – AWD

Исходя из изложенного выше, можно предъявить следующие общие требования к управляемой фрикционной муфте, работающей в составе КЭУ:

- максимальный передаваемый муфтой крутящий момент равен максимальному крутящему моменту ДВС и, в особых случаях, сумме максимального крутящего момента ДВС и первой обратимой электрической машины, работающей в режиме тягового электродвигателя;
- максимальная частота вращения муфты не превышает максимальной частоты вращения коленчатого вала ДВС;
- управление муфтой производится исполнительным механизмом, управляемым от бортового компьютера;
- необходимо минимизировать затраты энергии на работу муфты;
- переходные процессы включения и выключения муфты должны задаваться по результатам анализа возникающих динамических процессов в элементах КЭУ и тепловых режимов работы муфты;
- желательно исключить из конструкции муфты управляемые силовые элементы, не обладающие достаточным быстродействием.