

УДК 629.3.01

## РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ — НЕОБХОДИМЫЙ ШАГ В РАЗВИТИИ КОНСТРУКЦИИ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

С.В. Бахмутов, д.т.н., проф. (ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ») / А.В. Круташов, к.т.н. (МГМУ «МАМИ») /  
О.В. Маликов (МГМУ «МАМИ»)

Считается, что одной из характерных тенденций развития автомобилестроения последних лет является быстро растущий рынок гибридных автомобилей, т.е. автомобилей, имеющих комбинированную энергетическую установку (КЭУ), и электромобилей. Практически все ведущие производители выставляют на международных автосалонах концептуальные образцы, демонстрируя свой подход к решению проблем снижения расхода топлива и вредных выбросов. Вместе с тем, наряду с высокими достижениями выявляются и проблемные стороны, сдерживающие динамику рынка экологичных автомобилей. Разнообразие технических решений свидетельствует, с одной стороны, о масштабности исследовательских работ, но также и об отсутствии сформировавшейся, наиболее рациональной, концепции автомобиля, оправдывающей существенно более высокую стоимость экологичного автомобиля.

Достигнутые объёмы производства лидера продаж гибридных автомобилей — Toyota, составившие в совокупности к 2011 году 2,7 млн. автомобилей, обусловлены высокой долей продаж в США, где введено льготное налогообложение для экологичных автомобилей. Но даже в условиях налоговых льгот за девять месяцев 2010 года в США было продано  $\approx 225$  тыс. гибридных автомобилей, что составило лишь  $\approx 2,4\%$  от всего объёма продаж. В целом, вклад гибридных автомобилей и электромобилей в улучшение экологической обстановки остаётся незначительным.

Однако не только высокая стоимость гибридных автомобилей сдерживает спрос. Существенно то, что наибольший эффект в снижении расхода топлива и вредных выбросов достигается лишь при движении в условиях городского цикла, достигая 20% и более. В условиях смешанного цикла эффективность падает, а при длительном движении на магистральных дорогах гибридный привод уже менее эффективен по сравнению с традиционным приводом от двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Следовательно, рынок гибридных автомобилей известных концепций ограничен и распространяется преимущественно на городской транспорт — автобусы и коммерческие автомобили. Необходимы решения, которые сделали бы гибридный автомобиль более универсальным, эффективным в более широком спектре условий эксплуатации, а для этого требуется расширение его функциональных возможностей. Направлени-

ем, которое может обеспечить расширение функций, является использование потенциала электропривода в системе курсовой устойчивости (СКУ) и противобуксовочной системе (ПБС), имеющих уже широкое распространение. Функции СКУ и ПБС при этом могут быть реализованы на более «изящном» техническом уровне, чем в традиционных системах, базирующихся на управляемых механических устройствах. Основой систем ПБС и СКУ является изменение межколёсного распределения тяги (т.е. реализация несимметричной тяги), а при полном приводе — и межосевого. Использование для управляющего воздействия притормаживания одного из колёс, дающего нужную несимметричность тяги колёс оси, является, при строгом подходе, довольно «варварским» методом, поскольку сопровождается растратами энергии и дополнительным износом тормозных механизмов.

Естественно, что имеются и альтернативные решения. Так на автомобиле Subaru Impreza WRX изменение межосевого распределения тяги осуществляется дифференциалом с управляемым изменением коэффициента блокировки. Такой дифференциал в системе ПБС является идеальным и для межколёсного перераспределения тяги, однако он не позволяет обеспечивать коррекцию курса созданием повышенной тяги на внешнем колесе при движении в повороте.

На ряде моделей автомобилей фирмы «Mitsubishi» изменение межколесного распределения крутящих

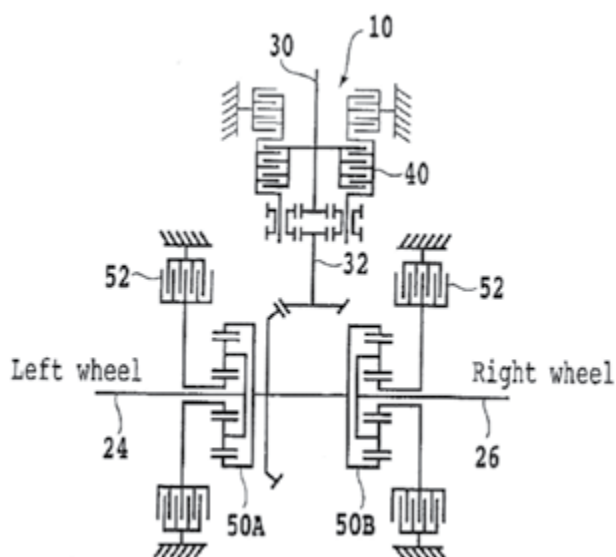


Рисунок 1. Схема раздельного подключаемого привода колёс задней оси фирмы Honda

моментов заднего моста (трансмиссия «АУС») осуществляется управляемым изменением кинематических характеристик межколесного дифференциала, имеющего блок дополнительных промежуточных шестерён. Введение в кинематические цепочки дифференциала промежуточных шестерён изменяет симметричное распределение крутящих моментов между колесами на несимметричное в одну или другую сторону. Изменение межколесного распределения крутящих моментов носит умеренный ступенчатый характер, что может быть приемлемо в части влияния на управляемость автомобиля, но недостаточно эффективно для повышения проходимости автомобиля.

На автомобиле Honda Pilot был реализован подключаемый бездифференциальный раздельный привод колёс задней оси посредством фрикционных муфт с электромагнитным управлением.

На рис. 1 представлена схема редуктора (фрагмент патента US 7,264,077 B2, полученного фирмой «Honda» в 2007 г.). Обеспечивается или привод одного из колёс для коррекции курса (при этом в приводе ведущей шестерни главной передачи включается ускоряющая передача), или заблокированный привод двух колёс оси для повышения проходимости. Для автомобилей с постоянным полным приводом колёс такая схема непригодна.

В гибридном автомобиле (как и в электромобиле) наиболее простое решение по управлению распределением тяги — это подключаемый электропривод одной из осей от электродвигателя через механический редуктор, рис. 2.

В гибридном автомобиле привод основной ведущей оси осуществляется тепловым двигателем. Схема позволяет улучшить проходимость автомобиля и влиять



Рисунок 2. Электромеханические модули привода колёс (электрическая машина, редуктор, дифференциал)

на характеристики управляемости вследствие изменения типа привода. Однако возможности изменения характеристик проходимости и управляемости остаются ограниченными, поскольку при подключении второй оси происходит лишь изменение межосевого распределения мощности. Управляемое изменение крутящего момента между колесами оси не осуществляется.

Раздельный электропривод колёс оси позволяет создавать необходимую в дорожной ситуации межколесную несимметричность тяги.

Фирма «Honda» для концептуального автомобиля FCX Concept сочла целесообразным применить в раздельном приводе колёс задней оси электродвигатели,



*Рисунок 3.*  
Электродвигатель  
(25 кВт) привода  
колеса  
задней оси авто-  
мобиля Honda FCX  
Concept

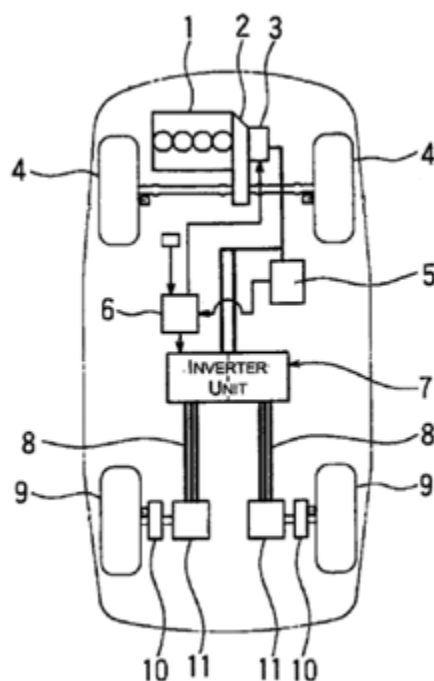
встроенные в пространство колеса рядом с тормозным диском (Рис. 3).

В качестве примера гибридного автомобиля с раздельным электроприводом колёс одной оси (рис. 4) представлена схема по патенту US7195087 B2 (2007 г.) Колеса передней оси приводятся в движение от теплового двигателя, а в приводе второй оси каждый из электродвигателей имеет кинематическую связь лишь с одним колесом

Схема обеспечивает не только изменение межосевого распределения мощности путем изменения типа привода: передний привод от теплового двигателя, задний — от двух электрических машин, полный привод как комбинация двух предыдущих типов, но и изменение межколесного распределения мощности на оси с электроприводом. Следовательно, расширяются функциональные возможности автомобиля в отношении проходимости и управляемости за счет реализации в нужный момент тяги одного, соответствующего ситуации, электродвигателя колеса этой оси. При этом положительным фактором является также возможность исключения карданного вала и межколесного дифференциала второй оси. Подобным решениям, однако, свойственны недостатки, ограничивающие область использования:

1. Тип полного привода — подключаемый. Использование мощности электропривода реально лишь на ограниченное время, обусловленное емкостью аккумуляторных батарей. Если для трогания с места на электротяге, обеспечения курсовой коррекции емкость батарей будет достаточной, то повышение проходимости при полном приводе будет возможно или на ограниченное время, или при условии параллельной подзарядки батарей генератором, т.е. с пониженным, по сравнению с механическим приводом колес, общим КПД автомобиля.

2. Когда по условиям сцепления с опорной поверхностью одно из колес оси с электроприводом не может реализовать высокий крутящий момент, то момент второго электродвигателя, при повышенном сопротивлении движению, может быть недостаточным. На оси с электроприводом в рассматриваемой ситуации используется энергетический потенциал лишь одного электродвигателя.



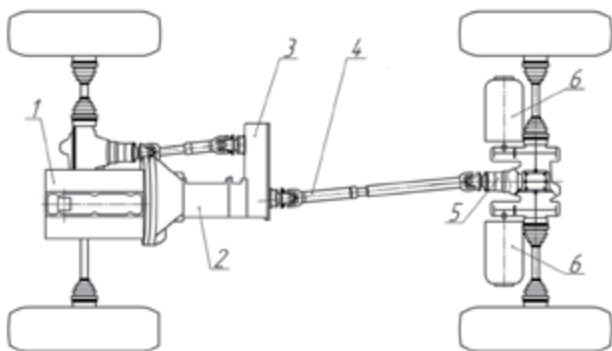
*Рисунок 4.* Схема гибридного автомобиля по патенту US 7,195,087 B2 фирмы «Nissan»: 1 — тепловой двигатель, 2 — трансмиссия, 3 — мотор-генератор, 4 и 9 — колеса, 5 — блок батарей, 6 — модуль управления полным приводом, 7 — инвертор, 8 — силовые кабели, 10 — редукторы, 11 — электродвигатели.

В связи с отмеченными недостатками подобные схемы нецелесообразны для автомобилей, предназначенных для использования не только в городе, но и в сложных дорожных условиях — на заснеженных дорогах, на местности с неровным рельефом, повышенным сопротивлением движению.

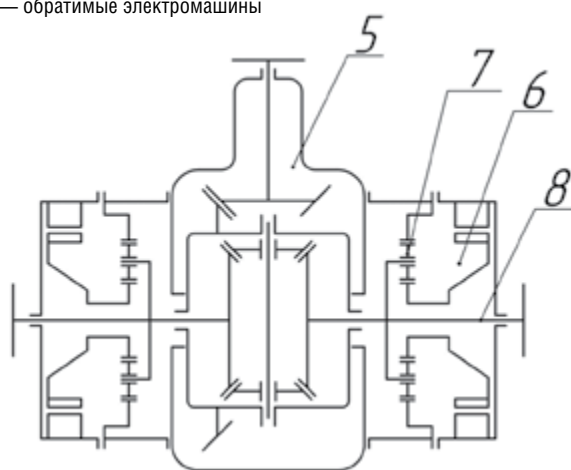
С целью расширения области применения автомобилей с КЭУ, обеспечения универсальности назначения, обусловленной спецификой дорожных и климатических условий России, МГТУ «МАМИ» предложил концепцию гибридного автомобиля расширенных функциональных возможностей. КЭУ автомобиля имеет электрический узел с двумя, по меньшей мере, обратимыми электромашинами (ОЭМ), при этом по меньшей мере одна ведущая ось с главной передачей и дифференциалом имеет индивидуальную кинематическую связь каждой из двух ОЭМ с соответствующим колесом ведущей оси. По заявке № 2011121972/11(032540) получено положительное решение (от 08 августа 2012 г.) о выдаче патента на изобретение.

В качестве примера на рис.5 (а, б, в) представлена часть из предлагаемых вариантов схем автомобиля с КЭУ расширенных функциональных возможностей.

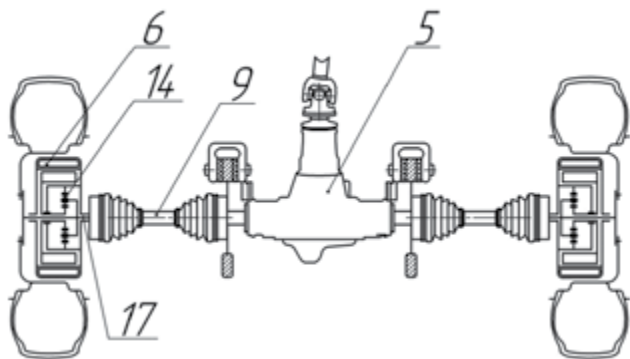
Предлагаемое МГТУ «МАМИ» решение обеспечивает возможность реализации традиционных для гибридных автомобилей положительных свойств — возможность



1-2-3 — силовой агрегат с ДВС (в состав может входить генератор),  
4 — карданная передача привода от ДВС; 5 — редуктор заднего моста,  
6 — обратимые электромшины



5 — редуктор заднего моста; 6 — обратимая электромшина; 7 — планетарная передача ОЭМ; 8 — выходной вал редуктора; 8 — вал привода колеса



5 — редуктор заднего моста; 6 — обратимая электромшина; 9 — шарнирный вал; 14 — планетарная передача ОЭМ; 17 — вал привода колеса

### Рисунок 5.

трогания автомобиля с места с использованием тяги двух ОЭМ в режиме электродвигателей, замедление автомобиля посредством режима рекуперации энергии в двух ОЭМ, использование энергии ДВС при движении автомобиля для выработки электроэнергии в ОЭМ на

режиме генераторов и подзарядки источников питания. Существенные дополнительные преимущества заключаются в следующем:

1. Повышение проходимости автомобиля путем управляемого изменения несимметричности распределения крутящего момента на оси с приводом от ДВС, сопровождаемое исключением нерациональных энергетических затрат, свойственных традиционным противобуксовочным системам на основе притормаживания буксующего колеса. Возможны управляющие воздействия:

- притормаживание буксующего или вывешенного колеса электрической машиной в режиме рекуперации, обеспечивающее перебор соответствующего крутящего момента ДВС на другое колесо посредством межколесного дифференциала силовой передачи, при этом работа притормаживания моментом сопротивления ОЭМ идет не на износ механизма торможения и тепловое рассеивание, как в известных ПБС, а на выработку электроэнергии;

- суммированный подвод крутящих моментов электрической машины и ДВС на колесо, имеющее запас по сцеплению с опорной поверхностью;

- совместное действие привода от ДВС и двух электрических машин, одна из которых работает в режиме притормаживания буксующего колеса, обеспечивая перебор крутящего момента ДВС на другое, отстающее колесо, имеющее запас по сцеплению с опорной поверхностью, а вторая — в режиме подвода к нему (отстающему колесу) дополнительного крутящего момента.

2. Улучшение курсовой устойчивости путем несимметричного распределения мощности в ситуации, когда система управления выявляет отклонения от заданного курса. Возможны управляющие воздействия:

- притормаживание одного колеса электрической машиной в режиме рекуперации и перебор соответствующего крутящего момента ДВС на другое колесо посредством дифференциала;

- дополнительный (к ДВС) подвод крутящего момента электрической машиной к одному колесу;

- совместное воздействие электрических машин, одна из которых работает в режиме рекуперации, притормаживая колесо, а вторая — в режиме подвода дополнительного крутящего момента на другое колесо оси.

Существенный характер дополнительных положительных свойств гибридного автомобиля с расширенными функциональными возможностями по предложенной МГТУ «МАМИ» концепции даёт основание для перевода разработки в стадию ОКР.

Данная статья отражает результаты научно-технической работы МГТУ «МАМИ», выполненной при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ГК № 14.740.11.0108 от 08.09.2010.