

# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

К.Т.Н. Баулина Е.Е., К.Т.Н. Круташов А.В., К.Т.Н. Серебряков В.В.

Московский политехнический университет

baulina@mami.ru, vvs@mami.ru

*Статья посвящена вопросам разработки и совершенствования автомобилей с комбинированными энергетическими установками (КЭУ), которые являются интенсивно развивающейся технологией экономии топлива и уменьшения загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом. Идеология КЭУ заключается в оптимальном или рациональном выборе режима работы ДВС и эффективном использовании вырабатываемой им энергии. Транспортные средства с КЭУ в случае их массового использования могут стать достаточно эффективным средством сбережения топливных ресурсов, выполнения современных требований по энергоэффективности и по улучшению локальной экологии. Представлено описание конструкции, функциональных возможностей и характеристик двух экспериментальных автомобилей с КЭУ. Описаны инженерные и конструкторские решения, позволяющие расширять функциональные возможности КЭУ и улучшать потребительские качества оснащенных ими автомобилей, одним из которых является предлагаемая авторами схема жидкостной системы охлаждения обратимых электромашин, совмещенная с системой охлаждения ДВС. Так как характеристика мощности некоторых электродвигателей существенно не отличается от характеристики мощности ДВС, для развития автомобильной КЭУ, по мнению авторов, целесообразно разработать конструкции двухступенчатых соединительно-трансформирующих устройств, устанавливаемых в блоке с обратимыми электромашинами, на основе патентного описания по заявке авторов настоящей работы на изобретение. Кроме того, с целью расширения области применения автомобилей с КЭУ, обеспечения универсальности назначения, обусловленной спецификой дорожных и климатических условий России, авторы настоящей статьи предложили концепцию автомобиля с КЭУ расширенных функциональных возможностей, в приводе ведущих колес которого установлены две электромшины, имеющие индивидуальную кинематическую связь с соответствующим колесом ведущей оси. На предложенную концепцию такого автомобиля с КЭУ авторам выдан патент на изобретение.*

**Ключевые слова:** транспортное средство; комбинированная энергетическая установка; расширение функциональных возможностей.

## **Введение**

Автомобильный транспорт является главным источником загрязнения воздушного бассейна крупных городов. Его вклад в общее количество загрязняющих воздух веществ оценивается приблизительно в 90%, что в массовом выражении составляет более 1 млн т ежегодно [1]. Автодороги являются эпицентрами загрязнения воздуха – концентрации вредных веществ в непосредственной близости от них могут быть в разы выше, чем в жилых районах. Участники дорожного движения подвергаются наибольшему воздействию токсичных веществ, поскольку находятся практически в источнике загрязнения. Это воздействие усугубляется в местах с затрудненным движением. Концентрация, например, диоксида азота в салоне движущегося или стоящего в транс-

портной «пробке» автомобиля, может в 10 раз превышать предельно допустимое значение [2]. Еще более неблагоприятная ситуация возникает, если движение затруднено в транспортном тоннеле, где отвод отработавших газов в окружающую среду намного хуже, чем на открытом пространстве.

Все сказанное подчеркивает существование локальных экологических проблем, связанных с большими концентрациями транспорта на относительно малых территориях. Причем локальность имеет ряд уровней – от общегородской экологии до экологии, например, транспортного тоннеля.

С точки зрения конструкции и организации рабочих процессов двигателя внутреннего сгорания (ДВС) уже практически достигли предела своего развития. Улучшение экологи-

ческих показателей большинства транспортных средств происходит только за счет совершенствования систем комплексной очистки отработавших газов. В отсутствие достаточно разработанных для массового производства технологий альтернативной энергетики ДВС будет сохранять свою главенствующую функцию в энергетических установках транспортных средств, в связи с чем весьма актуальными становятся технологии, которые позволяют улучшить экологические свойства автомобилей с ДВС и повысить их энергоэффективность. Наиболее интенсивно развиваются технологии создания на основе ДВС комбинированных энергетических установок. Идеология КЭУ заключается в оптимальном или рациональном выборе режима работы ДВС и эффективном использовании вырабатываемой им энергии. Транспортные средства с КЭУ, в случае их массового использования, могут стать достаточно эффективным средством сбережения топливных ресурсов, выполнения современных требований по энергоэффективности и по улучшению локальной экологии, особенно в крупных городах и закрытых пространствах, например, транспортных тоннелях.

Целью исследования является выдача рекомендаций по перспективам развития комбинированных энергетических установок транспортных средств.

### Основная часть

На первом этапе разработки новой КЭУ для автомобиля обычно решаются две главные задачи: выбор структуры (схемы) установки и выбор компонентов для нее. Принципиальным признаком, отличающим различные схемы КЭУ друг от друга, может быть наличие или отсутствие механической связи ДВС с ведущими колесами автомобиля. В настоящее время известно множество конструкций КЭУ автомобилей, однако все их можно разделить на четыре принципиально отличающиеся схемы передачи энергии: последовательную (Serial Hybrid); параллельную (Parallel Hybrid); дифференциальную (Powersplit Hybrid); последовательно-параллельную [3].

Отличительной особенностью последовательной схемы КЭУ (рис. 1) является отсутствие механической связи ДВС и ведущих колес автомобиля. При такой схеме ДВС постоянно работает на режиме минимальных удельных расходов только для привода генера-

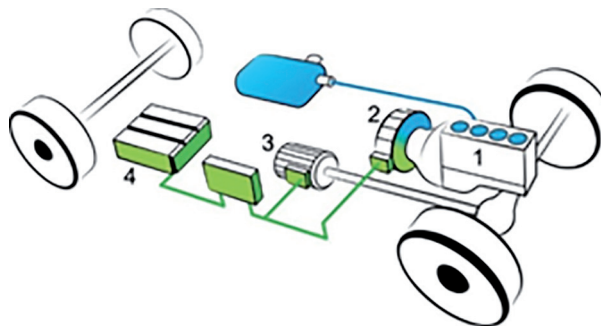


Рис. 1. Последовательная схема передачи энергии в КЭУ: 1 – ДВС; 2 – электромашина 1 (генератор); 3 – электромашина 2 (тяговый электродвигатель); 4 – накопитель электрической энергии

тора. Энергия, вырабатываемая генератором, подается либо в накопитель энергии, а от него на тяговый электродвигатель, который приводит ведущие колеса, либо в оба устройства одновременно.

При параллельной схеме КЭУ (рис. 2) ДВС имеет механическую связь с ведущими колесами. Такая схема позволяет использовать, в отличие от последовательной, только одну электромашину, которая в этом случае должна быть обратимой. ДВС и обратимая электромашина (ОЭМ) могут передавать крутящий момент в трансмиссию автомобиля как раздельно, так и совместно. Параллельная схема КЭУ может быть реализована в двух вариантах. В первом случае ДВС и обратимая электромашина передают крутящий момент на ведущие колеса через один общий вал, во втором – они установлены в приводе разных осей автомобиля и, соответственно, используют для передачи крутящего момента два разных вала.

При дифференциальной схеме КЭУ (рис. 3), которую часто называют английским терми-

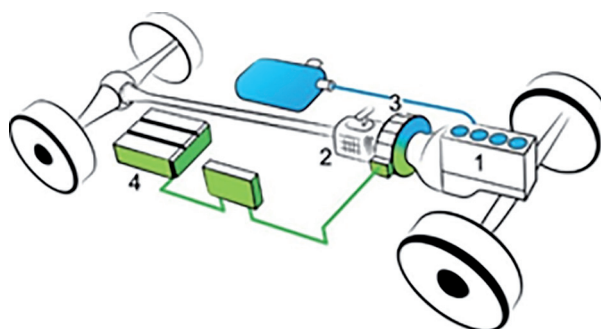
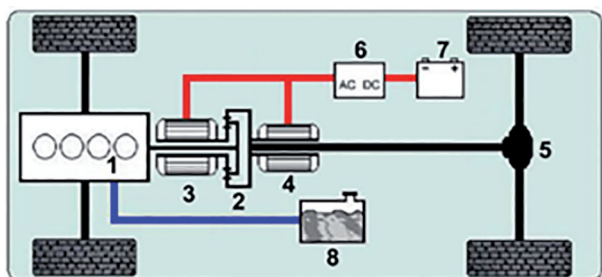
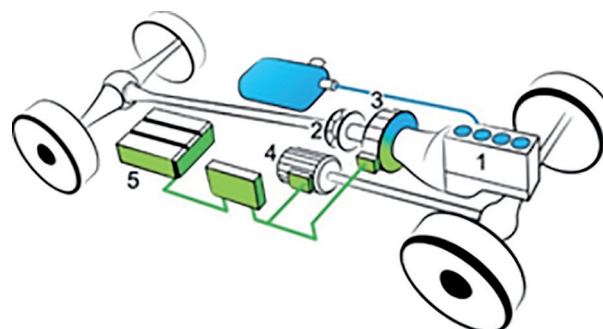


Рис. 2. Параллельная схема передачи энергии в КЭУ: 1 – ДВС; 2 – коробка передач; 3 – обратимая электромашина; 4 – накопитель электрической энергии



**Рис. 3. Дифференциальная схема передачи энергии в КЭУ:** 1 – ДВС; 2 – дифференциальный механизм; 3 – генератор; 4 – обратимая электромашина; 5 – ведущий мост; 6 – преобразователь; 7 – накопитель электрической энергии; 8 – топливный бак



**Рис. 4. Последовательно-параллельная схема передачи энергии в КЭУ:** 1 – ДВС; 2 – электромагнитная муфта; 3 – обратимая электромашина 1 (ОЭМ1); 4 – обратимая электромашина 2 (ОЭМ2); 5 – накопитель электрической энергии

ном «сплит», ДВС, генератор и электродвигатель связаны через планетарную передачу. ДВС постоянно работает на режиме минимальных удельных расходов топлива, а регулирование скорости автомобиля осуществляется за счет изменения частоты вращения вала электродвигателя, при этом необходимо синхронно управлять мощностью генератора.

Специалистами МГТУ «МАМИ» (ныне Московского политехнического университета) найден способ конструктивного объединения в одной КЭУ последовательной и параллельной схем для использования преимуществ каждой из них. Практика показала, что в одних условиях движения выгоднее использовать последовательную схему КЭУ, в других – параллельную. Конструкция, реализующая возможности обеих схем, запатентована специалистами МГТУ «МАМИ» как последовательно-параллельная схема КЭУ. В такой схеме использу-

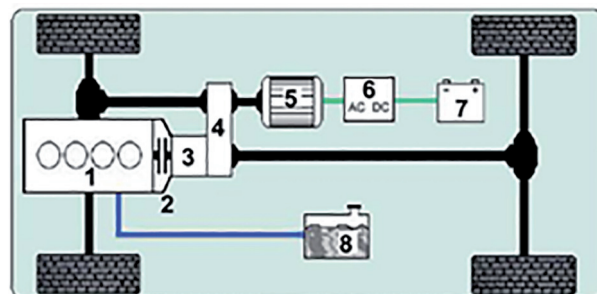
ются две обратимые электрические машины, такие как в последовательной, но для обеспечения управления механической связью ДВС с ведущими колесами предусмотрены фрикционные соединительные муфты, расположенные на валах энергетических машин. В зависимости от состояния фрикционных муфт ДВС может быть либо связан механически с ведущими колесами, либо не связан. Следовательно, схема КЭУ может быть либо параллельной, либо последовательной.

В МАМИ исследования и разработки в области создания КЭУ для автомобилей проводятся на протяжении ряда лет. В результате этих работ созданы опытные образцы автомобилей и испытательных стендов с КЭУ, использующих различные схемы передачи энергии.

Один из экспериментальных образцов, КЭУ которого имеет параллельную схему передачи энергии, создан на агрегатах УАЗ-3153 (рис. 5).



*а*



*б*

**Рис. 5. Экспериментальный автомобиль:** *а* – экспериментальный автомобиль-лаборатория с КЭУ; *б* – схема КЭУ; 1 – ДВ; 2 – сцепление; 3 – коробка передач; 4 – раздаточная коробка; 5 – обратимая электромашина; 6 – преобразователь; 7 – накопитель электрической энергии; 8 – топливный бак



Такая компоновочная схема реализуется с минимальными затратами на производство при изготовлении автомобилей с КЭУ на базе серийно выпускаемых автомобилей. Примененная на опытном образце автомобиля компоновочная схема комбинированной энергетической установки [4] при новой раздаточной коробке [5] обеспечивает возможность варьирования как типом используемой энергетической установки, так и типом привода, что позволяет проводить широкий спектр исследований.

Для КЭУ этого автомобиля разработана система автоматического управления как ДВС, так и обратимой электромашинной, обеспечивающая необходимый заряд накопителей энергии. Кроме того, эта система позволяет управлять сцеплением и при неработающем ДВС работой гидроусилителя рулевого управления и вакуумного усилителя тормозного привода. Подробное описание конструкции, техническая характеристика и методика испытаний изложены в публикациях [6–9]. Результаты испытаний автомобиля в стендовых и дорожных условиях на автополигоне НИЦИАМТ ФГУП НАМИ показали существенную экономию топлива и снижение вредных выбросов (табл. 1).

В период с 2013 по 2015 гг. коллективом кафедры «Автомобили» МАМИ совместно с

ФГУП НАМИ проводились прикладные научные исследования, в результате которых создан опытный образец автомобиля с КЭУ на базе коммерческого грузового городского малотоннажного автомобиля УАЗ-2360 (рис. 6). Схема передачи энергии в КЭУ этого автомобиля последовательно-параллельная.

В составе КЭУ разработанного автомобиля штатный дизельный ДВС ЗМЗ-5143.10, за которым в качестве одной из соединительных муфт установлено штатное сцепление. Обратимые электромашинные – оригинальные асинхронные с короткозамкнутым ротором, специально изготовленные научно-производственным предприятием «Тэмп». Максимальный крутящий момент ОЭМ – 350 Н·м при 0...2500 мин<sup>-1</sup>, максимальная мощность – 92 кВт при 2500 мин<sup>-1</sup>, масса 76 кг, охлаждение – воздушное, принудительное, от отдельного источника. Габаритные размеры, без учета вылета валов (ДЧШЧВ): 240Ч340Ч340 мм. Для подключения к задним ведущим колесам ОЭМ1 или ДВС используется сухая бесконтактная электромагнитная фрикционная муфта - ЭТМ 123С производства предприятия «Златмуфта», номинальный передаваемый крутящий момент которой 400 Н·м, напряжение 24 В, ток 2,9 А, предельная частота вращения 3000 мин<sup>-1</sup>, масса – 14 кг. В

Таблица 1

Результаты испытаний экспериментального автомобиля-лаборатории с КЭУ

Городской цикл	Стендовые испытания		Дорожные испытания	
	Штатная	с КЭУ	Штатная	с КЭУ
Комплектация автомобиля				
Расход топлива, л/100 км	20.1	12.3	20.074	14.8
Экономия топлива, л/100 км		7.8		5.274
Экономия топлива, %		38.8		26.27

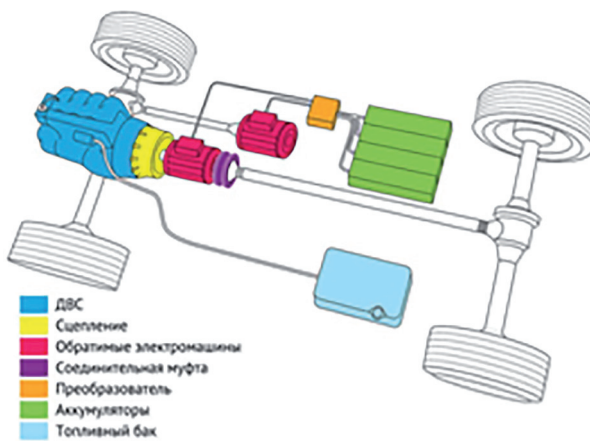


Рис. 6. Опытный образец автомобиля с КЭУ с последовательно-параллельной схемой передачи энергии



*a*



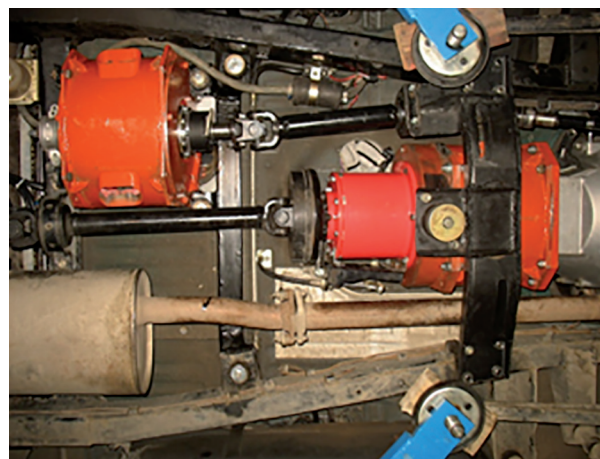
*б*

**Рис. 7. Накопители электрической энергии  
опытного образца автомобиля с КЭУ:**

*a* – аккумуляторный блок; *б* – установка блока аккумуляторных батарей на опытном образце

качестве накопителей электрической энергии используются литий-железофосфатные аккумуляторные элементы ThunderSky LFP40AH (напряжение 2,5 – 4,5 В, габариты ДЧШЧВ: 116Ч46Ч190 мм). Общее количество аккумуляторных элементов в системе составляет 108 шт., при этом каждые 12 объединяются в аккумуляторный блок. Таким образом, накопители электрической энергии образуют 9 последовательно соединенных аккумуляторных блоков (рис. 7), общее напряжение которых достаточно для питания обратимых электромашин.

Управление ДВС и сцеплением осуществляется автоматически с помощью сервоприводов (линейных актуаторов). Конструкция



**Рис. 8. Комбинированная энергетическая установка  
опытного образца транспортного средства**

разработанной и установленной на автомобиле КЭУ представлена на рис. 8.

Разработка системы автоматического управления КЭУ проводилась с использованием теории оптимального управления, которая обеспечила выполнение следующих задач: проведение относительно быстрой оценки максимального (теоретического) потенциала КЭУ с точки зрения энергоэффективности и экологических свойств при отсутствии стратегии управления ею; корректное сравнение максимальных потенциалов разных схем КЭУ с использованием унифицированного, как можно менее зависимого от структуры и компонентного состава установки метода.

В табл. 2 представлены расчетные показатели топливной экономичности базового автомобиля и автомобиля с разработанной КЭУ, полученные в результате математического моделирования для европейского ездового цикла (Правила ООН № 83 и 101).

Опытный образец автомобиля с КЭУ продемонстрировал существенное улучшение экономических показателей. Однако в процессе испытаний выявилась возможность дальнейшего развития и совершенствования конструкции не только его, но и всей концепции автомобильной КЭУ. Некоторые направления работ по со-

Таблица 2

**Показатели топливной экономичности опытного образца автомобиля с КЭУ**

Энергоустановка	Городской цикл		Смешанный цикл	
	$Q_s$ , л/ 100км	$\Delta Q_s$	$Q_s$ , л/ 100км	$\Delta Q_s$
Базовая	11.76	–	11.29	–
КЭУ	6.29	46.5%	9.12	19.2%

вершенствованию и рациональному использованию КЭУ на автомобилях изложены ниже.

1. Установленные на опытном образце автомобиля с КЭУ обратимые электромашины имеют воздушное охлаждение, что требует установки автономных вентиляторов, подвода охлажденного воздуха к ним, что (с учетом их расположения) при компоновочных работах обеспечить очень сложно. Кроме того, на режиме привода автомобиля от электродвигателей неработающий двигатель внутреннего сгорания охлаждается и становится непригодным для полноценной работы в тяговом режиме, когда это необходимо в соответствии с алгоритмом работы КЭУ. В холодное время года это еще связано с невозможностью равномерно и эффективно отапливать салон автомобиля, используя штатный жидкостный отопитель. Проблему можно решить, применив обратимые электромашины с жидкостным охлаждением и соединив их системы охлаждения с системой охлаждения ДВС. В этом случае цель обеспечения стабильности теплового режима ДВС и эффективности системы отопления автомобиля в условиях периодических отключений ДВС будет достигнута путем использования тепловой энергии, выделяемой ОЭМ.

Предлагаемая авторами схема жидкостной системы охлаждения обратимых электромашин, совмещенной с системой охлаждения ДВС, представлена на рис. 9.

2. Расчетные работы и испытания опытного образца показали, что преобразование крутя-

щего момента электродвигателя при передаче его к ведущим колесам с использованием только одного редуктора (главной передачи) в трансмиссии автомобиля недостаточно. Известно, что максимальное значение крутящего момента электродвигателя сохраняется в достаточно широком диапазоне частоты вращения его вала. Считается, что в этом случае дополнительный редуктор для преобразования крутящего момента в трансмиссии автомобиля не требуется. В тоже время характеристика мощности электродвигателя существенно не отличается от характеристики мощности двигателя внутреннего сгорания, так как обычно максимальные значения его мощности также как у ДВС находятся в узком диапазоне частот вращения. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что в приводе автомобиля с электродвигателем должен быть дополнительный редуктор [10].

Система отопления автомобиля использует тепло ДВС и ОЭМ. Вакуумные клапаны с электромагнитным управлением. Подключение дополнительного электронасоса совмещенной системы должно быть увязано с работой штатной системы охлаждения ДВС.

В связи с этим, по мнению авторов, для развития автомобильной КЭУ целесообразно разработать конструкции двухступенчатых соединительно-трансформирующих устройств (СТУ) на основе патентного описания по заявке авторов настоящей работы на изобретение № 2015139944 от 21.09.2015 г. (рис. 10) взамен соединительных электромагнитных

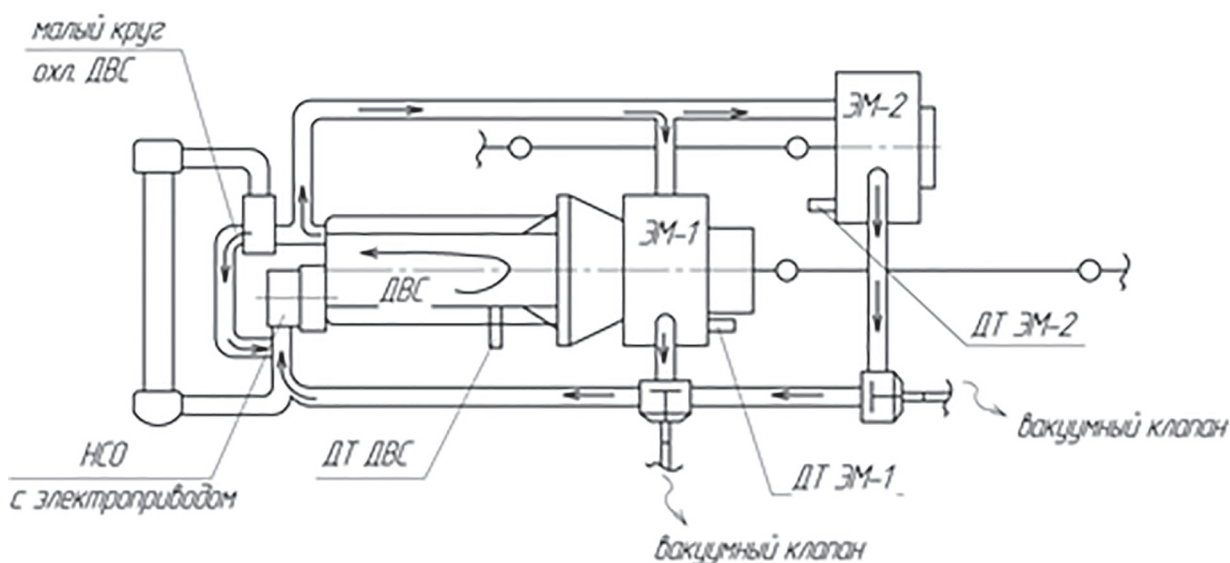
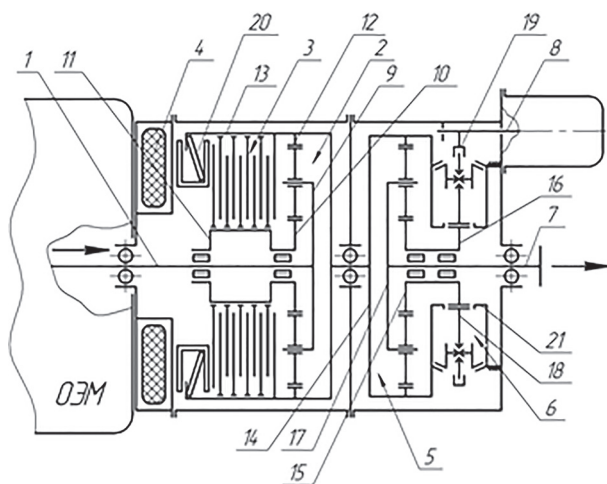


Рис. 9. Схема совмещения системы жидкостного охлаждения ДВС и ОЭМ:

НСО – насос системы охлаждения ДВС, ДТ – датчик температуры охлаждающей жидкости





**Рис. 10. Соединительно-трансформирующее устройство комбинированной энергетической установки транспортного средства**

муфт ЭТМ-123С-3Н, устанавливаемых в блоке с ОЭМ1 и ОЭМ2.

Устройство содержит входной вал 1, дифференциал 2 на основе трехзвенного планетарного механизма. Многодисковую фрикционную муфту 3 постоянно замкнутого типа с электромагнитным приводом 4. Редуктор 5 планетарного типа с механизмом переключения передач, оснащенный синхронизатором 6. Выходной вал 7, связанный с ведомым звеном планетарного механизма редуктора 5, привод 8 механизма переключения передач. Водило 9 дифференциала 2 жестко связано с входным валом 1. Солнечная шестерня 10, формирующая малый поток крутящего момента, связана с внутренней обоймой 11 фрикционной муфты 3, а коронная шестерня 12, формирующая больший поток крутящего момента – с наружной обоймой 13 фрикционной муфты 3, объединяющей потоки крутящего момента. Наружная обойма 13 муфты соединена с ведущим звеном редуктора – коронной шестерней 14. Солнечная шестерня 15 планетарного редуктора 5 соединена со ступицей 16 синхронизатора 6, выполненного по одному из традиционных типов (например, пальцевым или сухарным). Водило 17, ведомое звено планетарного механизма редуктора 5, связано с выходным валом 7 устройства. Подвижная зубчатая муфта 18 синхронизатора 6 находится в контакте с вилкой 19 механизма переключения, для управления которым служит упомянутый ранее привод 8, зубчатый элемент 21 является неподвижным.

Технический результат, получаемый от использования СТУ, заключается в улучшении

динамических и топливно-экономических характеристик транспортного средства с КЭУ, снижении габаритов и массы фрикционной муфты, снижении нагрузок на тормозные механизмы при экстренных торможениях, снижении энергопотребления управляющих электромагнитных устройств установки.

Предлагаемое соединение обоймы ведомых дисков муфты с ведущим звеном редуктора крутящего момента, имеющего переменное передаточное число, расширяет функциональные возможности устройства – дает возможность трансформации крутящего момента электродвигателя или в зависимости от применяемой схемы КЭУ суммированного момента ДВС и электродвигателя.

Вместе с тем наличие в составе устройства соединительной муфты позволяет с использованием синхронизатора выполнять безударное переключение передач в редукторе, поскольку отключение ОЭМ на время переключения создает необходимые для синхронизатора условия – инерционная масса ротора ОЭМ отключается, а остающиеся в кинематической связи синхронизируемые по скорости вращения детали устройства имеют незначительный момент инерции.

3. Считается, что одной из характерных тенденций развития автомобилестроения последних лет является быстро растущий рынок автомобилей с 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 экологических 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.

Однако не только высокая стоимость автомобилей с КЭУ сдерживает спрос. Существенно то, что наибольший эффект в снижении расхода топлива и вредных выбросов достигается лишь при движении в условиях городского цикла, составляя 20% и более. В условиях смешанного цикла эффективность падает, а при длительном движении на магистральных дорогах комби-

нированный привод уже менее эффективен по сравнению с традиционным приводом от двигателя внутреннего сгорания. Следовательно, рынок автомобилей с КЭУ известных концепций ограничен и распространяется преимущественно на городской транспорт – автобусы и коммерческие автомобили. Необходимы решения, которые сделали бы автомобиль с КЭУ более универсальным, эффективным в более широком спектре условий эксплуатации, а для этого требуется расширение его функциональных возможностей. Направлением, которое может обеспечить расширение функций, является использование потенциала электропривода в системе курсовой устойчивости (СКУ) и противобуксовочной системе (ПБС), имеющих уже широкое распространение [11].

В автомобиле с КЭУ (как и в электромобиле) наиболее простое решение по управлению распределением тяги – это подключаемый электропривод одной из осей от электродвигателя через механический редуктор. В автомобиле, оборудованном КЭУ с параллельной схемой передачи энергии, привод основной ведущей оси осуществляется тепловым двигателем. Схема позволяет улучшить проходимость автомобиля и влиять 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 колес оси позволяет создавать необходимую в дорожной ситуации межколесную несимметричность тяги. Фирма «Honda» для концептуального автомобиля FCX Concept сочла целесообразным применить в раздельном приводе колес задней оси электродвигатели, встроенные в пространство колеса рядом с тормозным диском. В качестве примера автомобиля с КЭУ с раздельным электроприводом колес одной оси может быть 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:

- 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 недостаточной, 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;
- 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.

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, специалисты кафедры «Автомобили» Универ-



ситета машиностроения предложили концепцию автомобиля с КЭУ расширенных функциональных возможностей. КЭУ автомобиля имеет электрический узел с двумя по меньшей мере обратимыми электромашинами, при этом хотя бы одна ведущая ось с главной передачей и дифференциалом имеет индивидуальную кинематическую связь каждой из двух ОЭМ с соответствующим колесом ведущей оси. Выдан патент на изобретение [12].

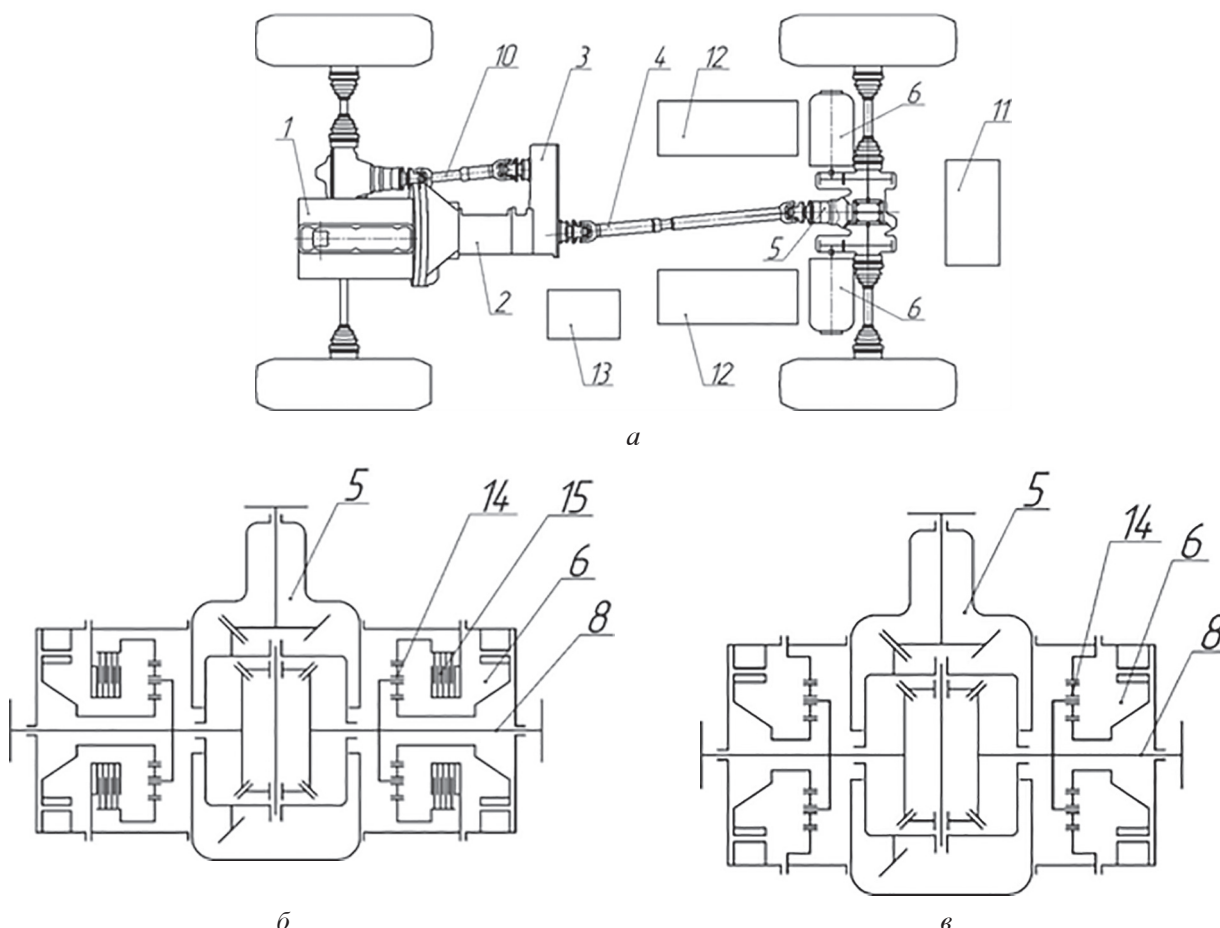
В качестве примера на рис. 11 представлена часть из предлагаемых вариантов схем автомобиля с КЭУ расширенных функциональных возможностей.

Предлагаемое специалистами кафедры «Автомобили» решение обеспечивает возможность реализации традиционных для автомобилей с КЭУ положительных свойств:

- возможность 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 ОЭМ в режиме генераторов и подзарядки источников питания.

Существенные дополнительные преимущества заключаются в следующем:

- 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 буксу-



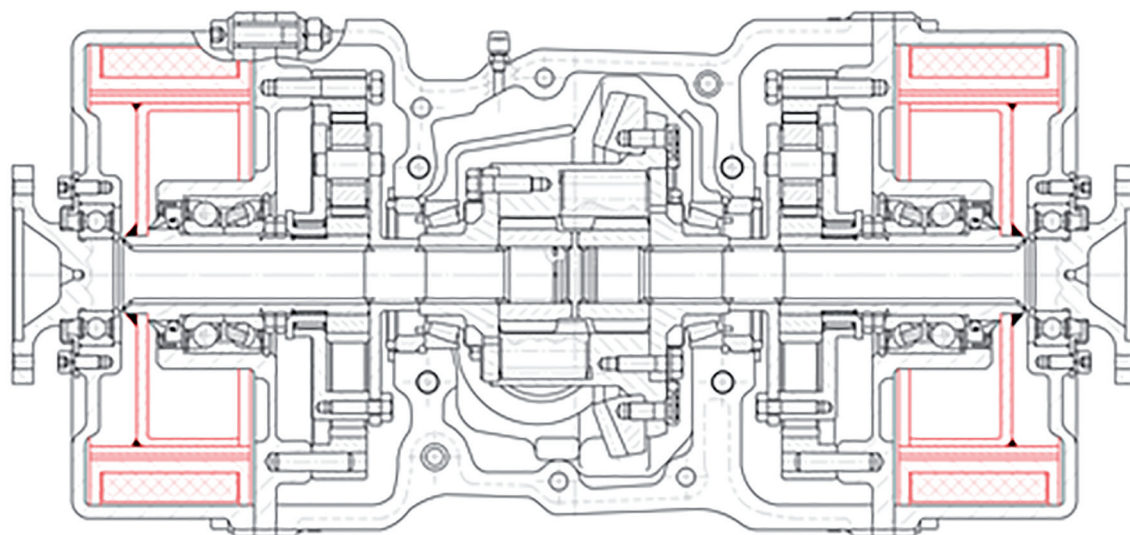
**Рис. 11. Варианты схем автомобиля с КЭУ расширенных функциональных возможностей:**

- 1–3 – силовой агрегат с ДВС (в состав может входить генератор); 4 – карданная передача привода от ДВС; 5 – редуктор заднего моста; 6 – обратимые электромшины; 7 – планетарная передача ОЭМ; 8 – выходной вал редуктора, вал привода колеса; 10 – карданная передача привода переднего моста; 11 – блок преобразования; 12 – блок аккумуляторных батарей; 13 – блок управления КЭУ; 14 – планетарный редуктор; 15 – соединительная муфта

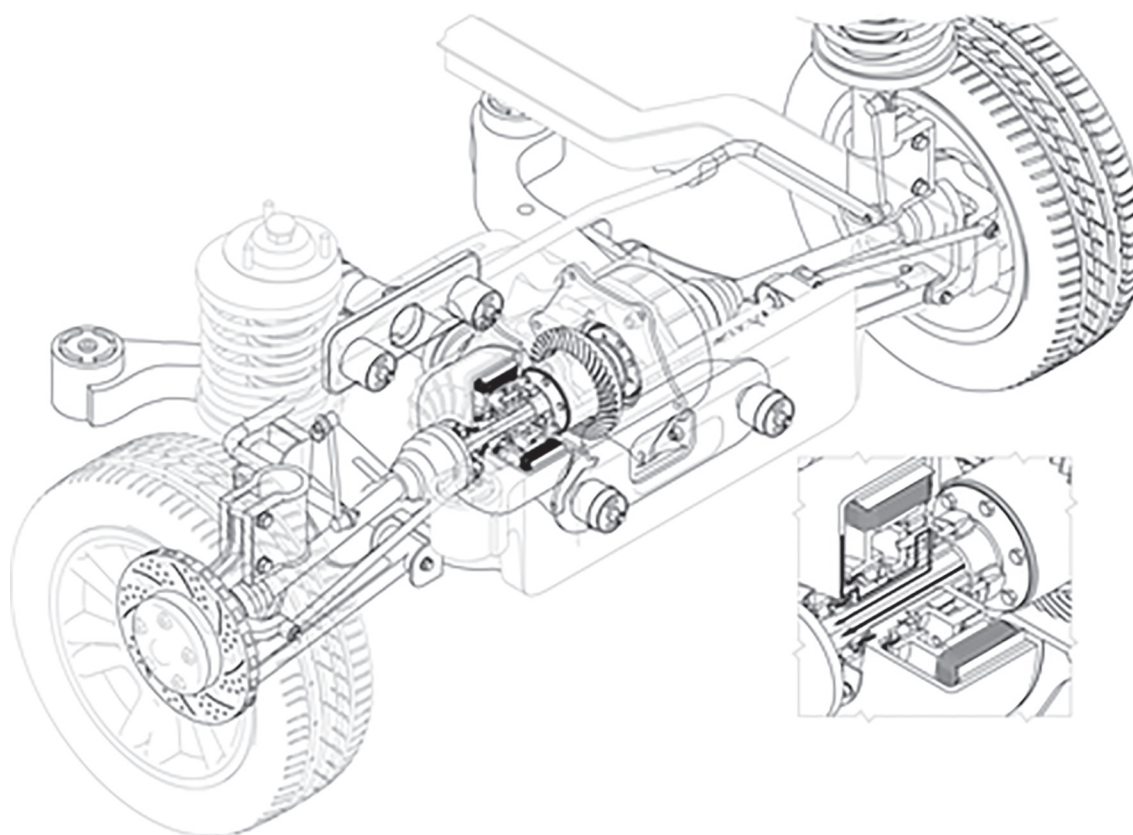
ющего колеса. При этом возможны управляющие воздействия:

- притормаживание буксующего или вывешенного колеса электрической машиной в режиме рекуперации, обеспечивающее перебор соответствующего крутящего момента ДВС на другое колесо по-

средством 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;



*a*



*b*

**Рис. 12. Вариант конструкции КЭУ расширенных функциональных возможностей:**  
*a* – сборочный чертеж; *b* – 3D-модель

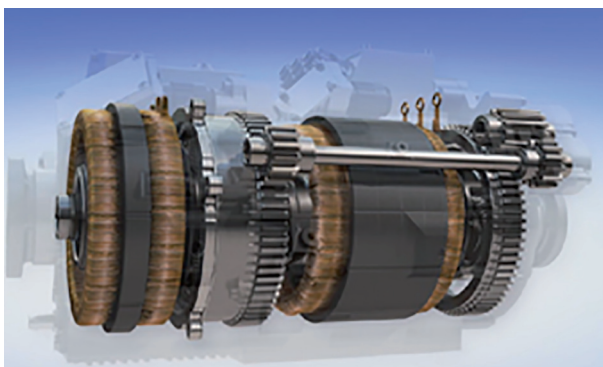


Рис. 13. Модуль электрического привода колес Borg Warner с несимметричной тягой

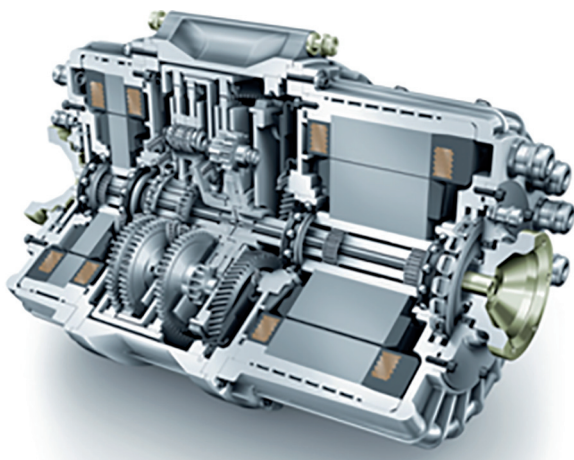


Рис. 14. Электрический привод колес Schaeffler с несимметричной тягой

- 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 переброс 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;
- улучшение курсовой устойчивости путем несимметричного распределения мощности в ситуации, когда система управления выявляет отклонения от заданного курса. При этом возможны управляющие воздействия:
- притормаживание одного колеса электрической машиной в режиме рекуперации и переброс соответствующего крутящего

момента ДВС на другое колесо посредством дифференциала;

- дополнительный (к ДВС) подвод крутящего момента электрической машиной к одному из колес;
- 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 автомобиля с расширенными функциональными возможностями по предложенной НТЦ «Автомобили с КЭУ» концепции дает основание для перевода разработки в стадию ОКР. Вариант конструкции по схеме на рис. 11, б с 3D-моделью представлен на рис. 12.

Примеры аналогичных конструкций зарубежных производителей представлены на рис. 13 и рис. 14.

### Заключение

Подводя итог, можно констатировать следующее. Одной из причин сравнительно медленного распространения автомобилей с КЭУ является ориентация многих разработчиков на решение в первую очередь проблем экологичности автомобильного транспорта в условиях движения в городском цикле. Соответственно в более универсальных условиях эксплуатации автомобиля – при движении на магистральных дорогах с высокими скоростями, при движении на грунтовых дорогах – эффект использования автомобиля с КЭУ уже не оправдывает его более высокой стоимости. Ситуация, однако, может быть изменена, если расширить функции автомобиля с КЭУ в направлениях как повышения курсовой устойчивости на магистралях, так и повышения проходимости при движении в сложных дорожных условиях. Значение этих направлений расширения функций особенно возрастает в связи с характерными для большинства регионов России климатическими условиями: продолжительным зимним периодом, заснеженными дорогами, порой с участками обледенения. Сочетание традиционного привода от ДВС с отдельным приводом колес от ОЭМ, запатентованное сотрудниками кафедры «Автомобили», позволяет решить перечисленные задачи на более высоком техническом уровне, с большей энергетической



эффективностью, чем известные решения ряда ведущих автомобильных производителей, основанные на использовании лишь механических устройств с электронным управлением.

### Литература

1. Загрязнение атмосферного воздуха в Москве в первом квартале 2008 года. Отчет ГПУ «Мосэкомониторинг», 2008.
2. Ревич Б.А. Климат, качество атмосферного воздуха и здоровье москвичей. М.: АдамантЪ, 2006. 246 с.
3. Бахмутов С.В., Павлушков Б.Э., Селифонов В.В., Серебряков В.В., Филонов А.И., Благушко Я.В., Маликов О.В., Баулина Е.Е., Куликов И.А., Карпухин К.Е. Комбинированная энергетическая установка гибридного автомобиля: патент на изобретение № 2457959, Российская Федерация. Опубликовано 10.08.2012. Бюл. № 22.
4. Бахмутов С.В., Круташов А.В., Селифонов В.В., Авруцкий Е.В., Карпухин К.Е., Баулина Е.Е. Комбинированная энергетическая установка полноприводного транспортного средства: патент на изобретение № 2312030, Российская Федерация. Опубликовано 10.12.2007. Бюл. № 34.
5. Круташов А.В., Селифонов В.В., Баулина Е.Е. Приемно-распределительное устройство преимущественно для комбинированных энергетических установок транспортных средств (варианты): патент на изобретение № 55445, Российская Федерация. Опубликовано 10.08.2006. Бюл. № 22.
6. Карунин А.Л., Бахмутов С.В., Селифонов В.В., Круташов А.В., Баулина Е.Е., Авруцкий Е.В., Карпухин К.Е. Экспериментальный многоцелевой гибридный автомобиль // Автомобильная промышленность. 2006. № 7. С. 5–8.
7. Карунин А.Л., Бахмутов С.В., Селифонов В.В., Круташов А.В., Баулина Е.Е., Авруцкий Е.В., Филонов А.И., Карпухин К.Е. Гибридные автомобили – столбовая дорога к экономичному и экологически чистому транспорту // Журнал ассоциации автомобильных инженеров. 2007. № 3. С. 38–45.
8. Карунин А.Л., Бахмутов С.В., Селифонов В.В., Круташов А.В., Баулина Е.Е., Авруцкий Е.В., Филонов А.И., Карпухин К.Е. Гибридные автомобили – столбовая дорога к экономичному и экологически чистому транспорту (продолжение) // Журнал ассоциации автомобильных инженеров. 2007. № 4. С. 52–56.
9. Карунин А.Л., Бахмутов С.В., Селифонов В.В., Вайсблом М.Е., Баулина Е.Е., Карпухин К.Е. Автомобиль с комбинированной силовой установ-

кой. Результаты и методика испытаний // Автомобильная промышленность. 2007. № 7. С. 6–9.

10. Круташов А.В., Баулина Е.Е., Серебряков В.В. Нужна ли коробка передач автомобилю с электроприводом? // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 6. С. 93–104. DOI: 10.7463/0614.0715866.
11. Круташов А.В., Маликов О.В., Бахмутов С.В. Расширение функциональных возможностей – необходимый шаг в развитии конструкции гибридных автомобилей // Журнал ассоциации автомобильных инженеров. 2012. № 6(77). С. 43–46.
12. Круташов А.В., Бахмутов С.В., Баулина Е.Е. Транспортное средство с комбинированной энергетической установкой расширенных функциональных возможностей. Патент на изобретение № 2473432, Российская Федерация. Опубликовано 27.01.2013. Бюл. № 3.

### References

1. *Zagryaznenie atmosfernogo vozdukhа v Moskve v pervom kvartale 2008 godа* [Air pollution in Moscow in the first quarter of 2008]. Otchet GPU “Mosekomonitoring”, 2008.
2. Revich B.A. *Klimat, kachestvo atmosfernogo vozdukhа i zdorov’e moskvichey* [Climate, air quality and health of Moscow residents]. Moscow, Adamant”, 2006. 246 p.
3. Bakhmutov S.V., Pavlushkov B.E., Selifonov V.V., Serebryakov V.V., Filonov A.I., Blagushko Ya.V., Malikov O.V., Baulina E.E., Kulikov I.A., Karpukhin K.E. *Kombinirovannaya energeticheskaya ustanovka gibridnogo avtomobilyа* [Hybrid power plant of vehicle]. Patent RF na izobretenie No 2457959. Opublikovano 10.08.2012. Byul. No 22.
4. Bakhmutov S.V., Krutashov A.V., Selifonov V.V., Avrutskiy E.V., Karpukhin K.E., Baulina E.E. *Kombinirovannaya energeticheskaya ustanovka polnoprivodnogo transportnogo sredstva* [Hybrid power plant of four-wheel drive vehicle]. Patent RF na izobretenie No 2312030. Opublikovano 10.12.2007. Byul. No 34.
5. Krutashov A.V., Selifonov V.V., Baulina E.E. *Priemno-raspredelitel’noe ustroystvo preimushchestvenno dlya kombinirovannykh energeticheskikh ustanovok transportnykh sredstv (varianty)* [Receiving and distribution device for hybrid power plants of vehicles (options)]. Patent RF na izobretenie No 55445. Opublikovano 10.08.2006. Byul. No 22.
6. Karunin A.L., Bakhmutov S.V., Selifonov V.V., Krutashov A.V., Baulina E.E., Avrutskiy E.V.,

- Karpukhin K.E. Pilot multipurpose hybrid vehicle. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2006. No 7, pp. 5–8 (In Russ.).
7. Karunin A.L., Bakhmutov S.V., Selifonov V.V., Krutashov A.V., Baulina E.E., Avrutskiy E.V., Filonov A.I., Karpukhin K.E. Hybrid vehicles - the high road to the economical and environmentally friendly transport. *Zhurnal assotsiatsii avtomobil'nykh inzhenerov*. 2007. No 3, pp. 38–45 (In Russ.).
  8. Karunin A.L., Bakhmutov S.V., Selifonov V.V., Krutashov A.V., Baulina E.E., Avrutskiy E.V., Filonov A.I., Karpukhin K.E. Hybrid vehicles - the high road to the economical and environmentally friendly transport (continuation). *Zhurnal assotsiatsii avtomobil'nykh inzhenerov*. 2007. No 4, pp. 52–56 (In Russ.).
  9. Karunin A.L., Bakhmutov S.V., Selifonov V.V., Vaysblyum M.E., Baulina E.E., Karpukhin K.E. The vehicle with a hybrid power plant. The results and methods of testing. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2007. No 7, pp. 6–9 (In Russ.).
  10. Krutashov A.V., Baulina E.E. Serebryakov V.V. Does manual transmission is needed for vehicle with electric drive? *Nauka i Obrazovanie. MGTU im. N.E. Baumana. Elektron. zhurn.* 2014. No 6, pp. 93–104 (In Russ.). DOI: 10.7463/0614.0715866.
  11. Krutashov A.V., Malikov O.V., Bakhmutov S.V. Extention of functionality - a necessary step in the design development of hybrid vehicle. *Zhurnal assotsiatsii avtomobil'nykh inzhenerov*. 2012. No 6(77), pp. 43–46 (In Russ.).
  12. Krutashov A.V., Bakhmutov S.V., Baulina E.E. *Transportnoe sredstvo s kombinirovannoy energeticheskoy ustanovkoy rasshirenykh funktsional'nykh vozmozhnostey* [Vehicle with hybrid power plant of extended functionality]. Patent RF na izobretenie No 2473432. Opublikovano 27.01.2013. Byul. No 3.

## PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF HYBRID POWER UNITS OF VEHICLES

Ph.D. E. E. Baulina, Ph.D. A.V. Krutashov, Ph.D. V.V. Serebriakov

Moscow Polytechnic University  
 baulina@mami.ru, ws@mami.ru

*The paper is devoted to the issues of design and improvement of vehicles with hybrid power units, which are intensively developing fuel saving and environment pollution reduction technology for automobile transport. The ideology of hybrid power plants lies in optimal or rational choice of engines operating mode and the efficient use of produced energy. Vehicles with hybrid power plants can be quite effective in saving fuel resources, implementation of modern energy efficiency requirements and improvement the local environment in case of their mass use. The description of the design, functionality and characteristics of two experimental vehicles with hybrid power plants are shown. The design and engineering solutions that allow to extend the functionality of hybrid power unit and to improve consumer performance of vehicles are shown. One of design solutions is proposed by the authors circuit liquid cooling system of reversible electrical machines combined with the internal combustion engine cooling system. Since the power characteristic of some electric motors is not significantly different from the power characteristics of the internal combustion engines, authors believe that to develop automobile hybrid power plant it is advisable to design a two-stage connecting - transforming device, installed in the unit with the reversible electric machines on the basis of patent description at the request of the authors of the invention. In addition, to expand the scope of implementation of automobiles with hybrid power plants and to ensure universality of application, due to specific road and climate conditions of Russia, the authors of this article proposed a concept of extended functionality for vehicle with a hybrid power plant, where two electrical machines having individual kinematic connection with the corresponding wheel of drive axle are mounted in drivetrain. For the concept of such a vehicle with a hybrid power plant authors issued a patent for the invention.*

**Keywords:** vehicle, hybrid power plant, extension of functionality.