

Создание экспериментального образца гибридного легкового автомобиля

В.А. УМНЯШКИН, д-р техн. наук, профессор, академик Российской академии транспорта

Н.М. ФИЛЬКИН, д-р техн. наук, профессор, академик Российской академии транспорта

Непрерывный технический прогресс в автомобилестроении и повышение требований к эксплуатационным свойствам автомобилей требуют поиска принципиально новых идей и решений при модернизации выпускаемых в настоящее время и проектировании новых моделей автомобилей. Одним из таких направлений повышения качества автомобилей является применение в их конструкциях комбинированных (гибридных) энергосиловых установок (КЭСУ), состоящих из теплового двигателя (ТД), электродвигателя (ЭД) и накопителя энергии (НЭ).

В зависимости от поставленных целей — улучшение экономичности, уменьшение вредности отработавших газов тепловых двигателей, повышение тягово-скоростных свойств и т.д. — предлагаются различные конструкции и составляющие КЭСУ. При этом в качестве ТД предлагаются карбюраторный двигатель внутреннего сгорания, ди-

зель, газотурбинный двигатель и др., в качестве ЭД — различные типы ЭД постоянного и переменного тока, в качестве НЭ — различные типы накопителей, начиная от свинцово-кислотных аккумуляторных батарей и кончая маховичными накопителями кинетической энергии.

Все разнообразие КЭСУ можно разбить, в зависимости от принципа ком-

поновочных решений ТД и ЭД, на два типа. Первый — КЭСУ последовательной компоновочной схемы (ведущие колеса автомобиля приводятся в движение от электродвигателя), второй — КЭСУ параллельной компоновочной схемы (привод ведущих колес может осуществляться одновременно от ТД и/или ЭД).

Структурная схема автомобиля с колесной формулой 4x2, оборудованного КЭСУ с последовательной компоновкой ТД и ЭД, представлена на *рис. 1*, где за ТД расположен генератор (Г) электрической энергии.

Выходным валом КЭСУ в данном случае является выходной вал ЭД, с которого поток мощности поступает на ведущие колеса автомобиля. За выходным

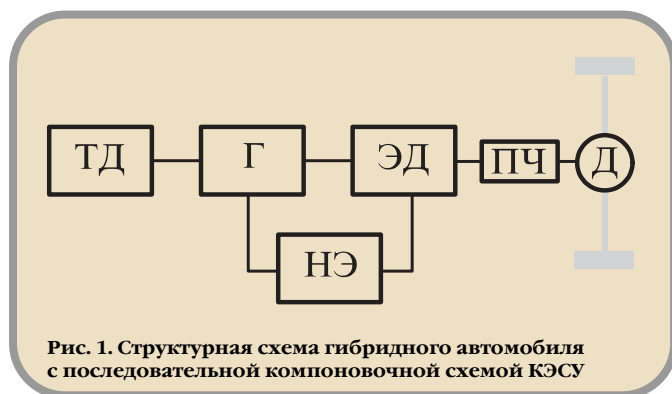


Рис. 1. Структурная схема гибридного автомобиля с последовательной компоновочной схемой КЭСУ

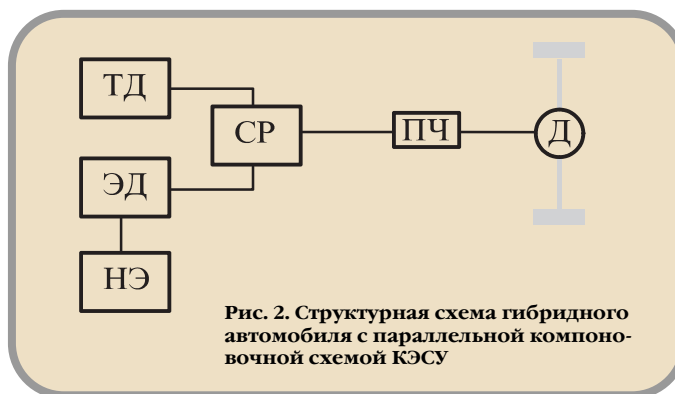


Рис. 2. Структурная схема гибридного автомобиля с параллельной компоновочной схемой КЭСУ

валом ЭД обычно находится муфта сцепления. Для увеличения и изменения передаваемого крутящего момента между выходным валом и ведущими колесами, как правило, ставится коробка передач и редуктор, а далее межколесный дифференциал (Д). Участок от выходного вала КЭСУ до дифференциала условно назовем преобразующей частью (ПЧ). Отметим, что возможна и другая конструкция ПЧ, например, для полноприводного автомобиля возможна раздаточная коробка передач, межосевой дифференциал и т.п. Любая из перечисленных возможных составляющих ПЧ может также отсутствовать в конструкции. В общем случае сложность конструкции ПЧ определяется колесной формулой автомобиля. Обычно чем больше ведущих колес, тем более сложный характер будет иметь ПЧ гибридного автомобиля.

При движении автомобиля с установившимися скоростями или при разгонах с небольшими ускорениями мощностной поток от ТД до ведущих колес будет проходить через следующие агрегаты автомобиля: ТД — Г — ЭД — ПЧ — Д. Если при этом НЭ находится в разряженном состоянии, то дополнительно энергия поступает в НЭ по цепи ТД — Г — НЭ. При необходимости дополнительной силы тяги на ведущих колесах — например, тяжелые дорожные условия, необходимость динамичного разгона, увеличение сопротивления движению при высоких скоростях автомобиля — энергия поступает от НЭ к ведущим колесам по цепи НЭ — ЭД — ПЧ — Д одновременно с мощностным потоком от ТД по цепи ТД — Г — ЭД — ПЧ — Д. Возможно движение автомобиля при отключенном ТД за счет энергии, поступающей только от НЭ, например, при необходимости уменьшения выбросов вредных веществ с отработавшими газами ТД (движение в закрытых заводских и др. помещениях и в городах с высокими плотностями населения и транспортных потоков). При

торможении и при движении накатом за счет перехода ЭД в режим генератора осуществляется рекуперация энергии замедления и торможения в энергию НЭ по цепи Д — ПЧ — ЭД — НЭ.

Конструктивная схема КЭСУ, изображенная на рис. 1, позволяет реализовать функционирование ТД в малом диапазоне его работы в режимах наилучшей топливной экономичности. Однако получить высокие показатели топливной экономичности в данном случае проблематично из-за основного недостатка, рассмотренного в работе [1]. При передаче всей энергии от ТД на ведущие колеса автомобиля происходит как минимум трехкратное преобразование ее. Одна часть тепловой энергии ТД преобразуется в механическую, механическая в Г преобразуется в электрическую энергию, а затем в механическую в ЭД. Вторая часть энергии преобразуется дополнительно из электрической энергии в электрохимическую, а затем вновь в электрическую в ЭД. Очевидно, что каждое преобразование энергии сопровождается ее потерями. Кроме того, надежность этой конструктивной схемы зависит от надежности работы ЭД и Г, т.е. при выходе их из строя продолжать движение на автомобиле невозможно.

Большие потери энергии затрудняют конкуренцию последовательной компоновочной схемы КЭСУ с энергетическими установками, у которых ТД и ЭД работают параллельно. Конструктивную схему, изображенную на рис. 1, можно рекомендовать к применению, когда основным требованием к проектируемому автомобилю является требование уменьшения токсичных выбросов в атмосферу. Известно, что токсичность отработавших газов ТД увеличивается многократно при работе ТД на неуставившихся режимах. Большую часть этих неуставившихся режимов можно исключить за счет применения на автомобиле КЭСУ рассматриваемой конструктивной схемы. Полностью реализовать работу ТД на установившихся режимах невозможно из-за частой необходимости высоких крутящих моментов на ведущих колесах в процессе разгона или при увеличении дорожного сопротивления.

В соответствии с вышесказанным при проектировании гибридного автомобиля более предпочтительна параллельная конструктивная схема КЭСУ, позволяющая наряду с улучшением показателей экологической безопасности повысить топливную экономичность автомобилей на 30–50%. Наиболее

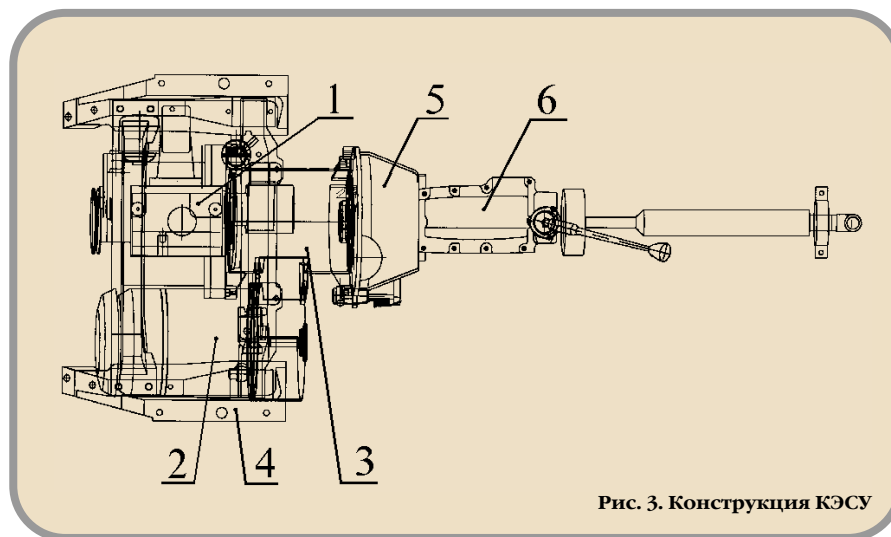


Рис. 3. Конструкция КЭСУ

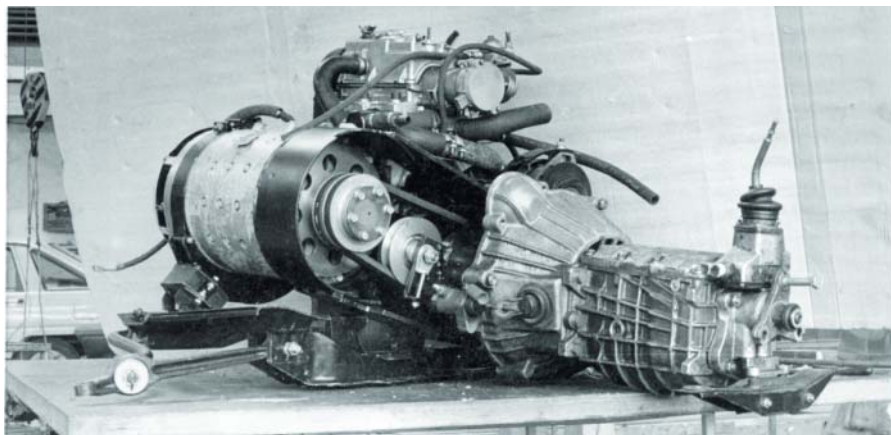


Рис. 4. Вид КЭСУ с ременным СР

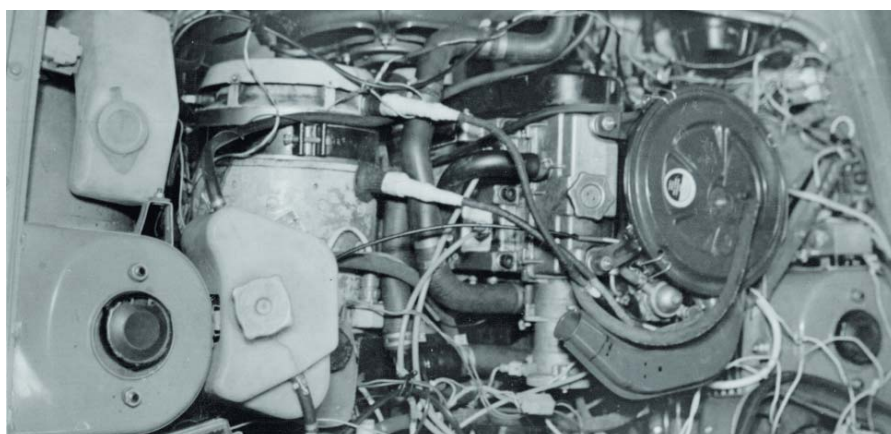


Рис. 5. Вид моторного отсека автомобиля ИЖ-21261 с установленной КЭСУ с ременным СР



Рис. 6. Вид гибридного электромобиля на стенде с беговыми барабанами

распространенная в настоящее время структурная схема автомобиля типа 4x2 с такой КЭСУ представлена на рис.2. Для согласования частот вращения валов ТД и ЭД они соединяются между собой через согласующий редуктор (СР).

Движение автомобиля с постоянными и близкими к ним скоростями в данном случае осуществляется за счет мощности, передаваемой к ведущим колесам по цепи ТД — СР — ПЧ — Д. Во время динамичного разгона автомобиля к ведущим колесам поступает допол-

нительная энергия по цепи НЭ — ЭД — СР — ПЧ — Д. При необходимости зарядки НЭ в режиме движения с установленными скоростями и близкими к ним происходит зарядка НЭ по цепи ТД — СР — ЭД — НЭ, т.е. ЭД переходит в режим работы генератора. Движение накатом и торможение сопровождается рекуперацией энергии в энергию НЭ по цепи Д — ПЧ — СР — ЭД — НЭ.

В качестве СР могут использоваться различные типы редукторов, например цепной, шестеренчатый, ременный. Для этих типов СР проведен ряд теоре-

тических и расчетных исследований. Разработаны экспериментальные образцы гибридных электромобилей на базе легкового автомобиля типа универсал ИЖ-21261 для указанных трех типов СР и проведены лабораторно-дорожные испытания [2, 3, 4, 5].

Комбинированная энергосиловая установка изображена на рис. 3. Обозначения на рис. 3 следующие: 1 — карбюраторный двигатель внутреннего сгорания ВА3-1111 (номинальная мощность 22 кВт, максимальный крутящий момент 44,1 Н*м, рабочий объем двигателя 0,649 л); 2 — ЭД ПТ-125-12 (напряжение питания якоря 120 В при токе якоря не более 120 А, крутящий момент 49 Н*м); 3 — СР; 4 — рама КЭСУ; 5 — муфта сцепления; 6 — коробка переключения передач.

КЭСУ с ременным СР изображена на рис. 4, положение ее в моторном отсеке автомобиля — на рис. 5, а гибридный электромобиль на стенде с беговыми барабанами представлен на рис. 6.

Для проведения полного объема экспериментальных сравнительных исследований были разработаны экспериментальные образцы с различными СР. В первом варианте СР была применена цепная передача. Этот вариант редуктора показал недостаточную надежность и был заменен на шестеренчатый редуктор. Конструктивно редуктор представляет собой четыре пары шестерен, способных не только передавать крутящие моменты от обоих двигателей к ведущим колесам, но и передавать крутящие моменты от одного двигателя к другому. Эти способности редуктора используются для получения процесса рекуперации и использования электродвигателя в качестве стартера.

В третьем варианте для уменьшения потерь энергии в СР передача крутящего момента с ТД в трансмиссию реализована напрямую, а с ЭД — через ременную передачу. Решение использовать ременную передачу принято по ряду причин: большое межосевое расстояние между двигателями; достаточно малый передаваемый крутящий момент; отсутствие жесткой связи между валами; низкий уровень шума.

Результаты дорожных испытаний показали, что автомобили с гибридной силовой установкой, выполненные по параллельной схеме, по тягово-скоростным свойствам сравнимы с обычными автомобилями, оборудованными одним ТД. При этом пробег этих автомобилей ограничен только количеством топлива в баке автомобиля, а топ-

ливную экономичность удастся повысить на 25–30%, в зависимости от режимов движения, практически без изменения конструктивных параметров автомобиля-носителя КЭСУ ИЖ-21261. При этом выброс токсичных веществ уменьшается до 40%.

Наряду с достаточно хорошими результатами были выявлены некоторые недостатки этой конструктивной схемы.

Первый — повышенные потери мощности в трансмиссии из-за введения в конструкцию КЭСУ СР. В соответствии с общей теорией силового потока [6] СР является обобщенной узловой точкой, которая одновременно преобразует силовые и скоростные факторы потоков мощности от ТД и ЭД. Потери в трансмиссии, связанные с циркуляцией мощности, отсутствуют, так как в рассматриваемой конструкции, изображенной на рис. 2, нет замкнутых потоков мощности. Причиной повышенных мощностных потерь являются сложные динамические процессы, происходящие в СР, т.е. имеются большие диссипативные потери, устранить которые конструктивно сложно.

Второй недостаток — сложность согласования работы ТД и ЭД из-за неустановившихся режимов работы ТД в разнообразных условиях эксплуатации автомобиля — в конечном итоге также влияет на потери энергии и повышенные динамические нагрузки в СР. Эта проблема возложена на пускорегулирующую аппаратуру и электронный блок управления, основным показателем совершенства которых и является их способность согласовать работу обоих двигателей КЭСУ при передаче крутящих моментов по заданной программе, моделирующей реальные условия движения автомобиля.

Возможна и другая конструкция КЭСУ параллельной компоновочной схемы, которая более благоприятна с точ-

ки зрения согласования работы ТД и ЭД и позволяет уменьшить динамические нагрузки в СР и снизить диссипативные потери энергии в трансмиссии. Структурная схема гибридного автомобиля с такой КЭСУ представлена на рис. 7.

В этом случае КЭСУ представляет собой замкнутую дифференциальную передачу, позволяющую передавать мощность от ТД к ведущим колесам после делителя мощности (ДМ) двумя потоками. Замыкание мощностных потоков от ТД и ЭД осуществляется за счет введения в конструкцию дифференциального СР (ДСР), что создает дополнительные возможности для автоматизации трансмиссии. Большая часть мощности от ТД на ДСР идет по цепи с постоянным передаточным отношением ТД — ДМ — ДСР. Другая часть мощности поступает на ДСР через ЭД, который работает под управлением электронного блока как вариатор. Таким образом получается автоматическая трансмиссия.

Для гибридного автомобиля, схема которого изображена на рис. 7, возможны следующие потоки мощности. При движении с установившимися и близкими к ним скоростями передача мощности к ведущим колесам осуществляется по цепям ТД — ДМ — ДСР — ПЧ — Д и ТД — ДМ — Г — ЭД — ДСР — ПЧ — Д. Если разряжен НЭ, то в этом режиме движения дополнительно поступает энергия в НЭ по цепи ТД — ДМ — Г — НЭ. При необходимости реализации высоких крутящих моментов на ведущих колесах в КЭУ возникает дополнительно третий поток энергии по цепи НЭ — ЭД — ДСР — ПЧ — Д, т.е. поступает дополнительная энергия от НЭ. При торможении и движении накатом происходит рекуперация энергии по цепи Д — ПЧ — ДСР — ЭД — НЭ и ЭД работает в режиме генератора. При необходимости

движения только на ЭД при отключенном ТД поток энергии к ведущим колесам осуществляется по цепи НЭ — ЭД — ДСР — ПЧ — Д.

В настоящее время проводятся теоретические и расчетные исследования гибридного автомобиля, структурная схема которого представлена на рис. 7, с целью решения вопроса перспективности этой компоновочной схемы КЭСУ и возможности реализации в экспериментальном образце.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашкин А.С., Филькин Н.М., Мезрин В.Г. Комбинированная силовая установка для электроавтомобиля // Автомобильная промышленность. — 1996. — № 4. — С. 9–10.
2. Умняшкин В.А., Филькин Н.М. Динамика комбинированных энергосиловых установок машин // Вестник Уральского межрегионального отделения Академии транспорта. — Курган: КГУ, 1998. — С. 4–10.
3. Экологически чистый городской автомобиль с гибридной силовой установкой (комплексный проект): Отчет о научно-исследовательской работе, выполненной в соответствии с научно-технической программой Минобразования РФ «Научные исследования высшей школы в области транспорта». Код НИР: 05.03.01.31/Ижевский государственный технический университет; Руководитель работы В.А. Умняшкин. — Ижевск: ИжГТУ, 2000. — Отв. исполн. Б.А. Якимович; соисполн.: Н.М. Филькин, Р.М. Галиев.
4. Разработка научных основ создания легкового автомобиля с гибридной энергосиловой установкой: Заключит. отчет о научно-исследовательской работе, выполненной в соответствии с подпрограммой «Транспорт» научно-технической программы Минобразования РФ «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники». Код НИР: ВНИИЦ, 01.200.2.04988/ИжГТУ; Руководитель работы В.А. Умняшкин. — Ижевск: ИжГТУ, 2002. — Отв. исполн. Н.М. Филькин; соисполн.: И.С. Набиев, С.Н. Зыков, Д.В. Матвеев и др.
5. Проведение комплекса теоретических и расчетных научно-исследовательских работ по анализу и синтезу конструкций гибридных энергосиловых установок автомобилей особо малого и малого классов: Заключительный отчет о научно-исследовательской работе, выполненной в рамках договора с Московским государственным техническим университетом МАМИ / Ижевский государственный технический университет; Руководитель работы В.А. Умняшкин. — Ижевск: ИжГТУ, 2005. — Отв. исполн. Н.М. Филькин; соисполн.: М.Н. Стрелков, А.Н. Филькина, К.С. Ившин, С.Н. и др.
6. Антонов А.С. Силовые передачи колесных и гусеничных машин. Теория и расчет. — Л.: Машиностроение, 1975.

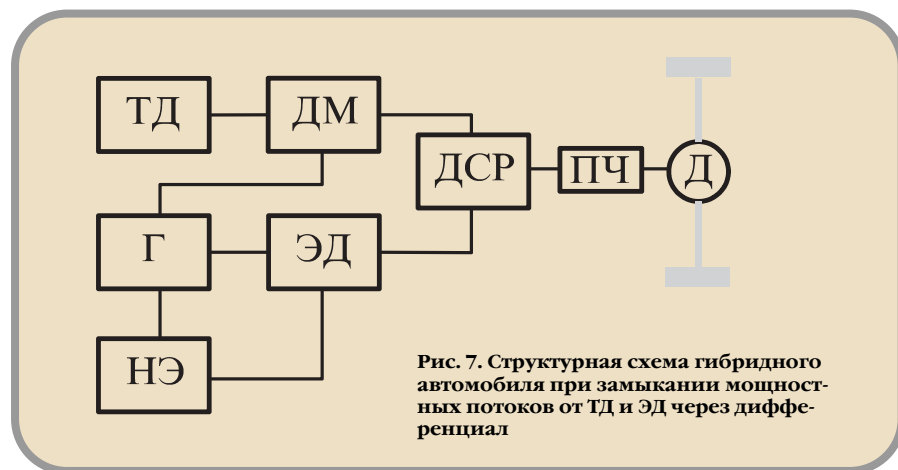


Рис. 7. Структурная схема гибридного автомобиля при замыкании мощностных потоков от ТД и ЭД через дифференциал