

**А.Р. Имангулов, Н.М. Филькин**

Ижевский государственный технический университет  
им. М.Т. Калашникова, Ижевск, Россия

## **КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП РАБОТЫ СОЗДАННОГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА ГИБРИДНОГО ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ**

Одним из эффективных направлений повышения топливной экономичности и снижения выбросов токсичных веществ транспортных машин является применение в их конструкциях гибридных энергосиловых установок, состоящих из двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя. В статье рассмотрена конструкция и принцип работы экспериментального гибридного автомобиля, созданного на базе автомобиля ИЖ-2126. Приведена принципиальная электрическая схема системы управления электромеханическим приводом данного автомобиля. Описаны характерные режимы работы гибридного легкового автомобиля.

**Ключевые слова:** гибридный автомобиль, гибридная энергосиловая установка, двигатель внутреннего сгорания, электродвигатель, согласующий редуктор, электромеханический привод, система управления.

**A.R. Imangulov, N.M. Fil'kin**

Kalashnikov Izhevsk State Technical University,  
Izhevsk, Russian Federation

## **CONSTRUCTION AND PRINCIPLE OF OPERATION OF THE DEVELOPED HYBRID CAR TEST MODEL**

One of the effective ways to increase fuel efficiency and reduce emissions of toxic substances of transport machines is use of hybrid energy-power plants consisting of an internal combustion engine and electric motor in structure of these machines. The construction and principle of operation of the test hybrid car developed on the base of car IZH-2126 are examined in the article. The electric circuit of control system of the car electromechanical drive is given. Typical modes of operation of the hybrid car are described.

**Keywords:** hybrid car, hybrid energy-power plant, internal combustion engine, electric motor, matching reducer, electromechanical drive, control system.

Высокая конкуренция в автомобилестроении за рынки сбыта и покупателя, непрерывное повышение нормативных требований к экологическим свойствам автомобилей и большое количество потребляемого минерального топлива автотранспортным комплексом мира ставят перед разработчиками новых моделей автомобилей задачи создания принципиально новых конструкций энергосиловых установок.

Автомобильный транспорт является основным потребителем моторных топлив и загрязнителем окружающей среды. В крупных городах его доля от общего выброса токсичных веществ всей промышленности составляет 70 % и более.

Поиски решения проблем повышения топливной экономичности и экологичности автомобилей ведутся по различным направлениям:

- уменьшение затрат энергии на сопротивление движению автомобиля, что связано с решением задач уменьшения сил аэродинамического сопротивления (разработка форм с наименьшими значениями коэффициента обтекаемости), сопротивления качению колес автомобиля (решение прочностных задач для уменьшения снаряженной массы автомобиля и создание шин с меньшим значением коэффициента сопротивления движению) и потерь в трансмиссии (уменьшение потерь на трение путем совершенствования конструкции трансмиссии и повышения качества смазочного материала);

- совершенствование конструкций двигателей, направленное на наиболее эффективное сжигание топлива (повышение КПД двигателя), и применение устройств очистки отработавших газов;

- разработка новых видов топлив и повышение качества классических топлив;

- проведение мероприятий по повышению качества дорог, что связано с уменьшением затрат энергии на движение автомобиля, а также совершенствование систем управления транспортными потоками для уменьшения работы двигателей на неэкономичных и неэкологичных режимах;

- применение электромеханических приводов (электромобили);

- создание комбинированных (гибридных) энергосиловых установок, в конструкциях которых применяют комбинацию разнотипных двигателей.

Практика показала, что в настоящее время наиболее эффективным направлением повышения топливной экономичности и уменьшения выбросов токсичных веществ является создание автомобилей с комбинированными энергосиловыми установками. Такие типы автомобилей в мире принято называть гибридными, хотя с технической точки зрения это автомобили с комбинированными энергосиловыми установками (КЭСУ).

Отметим, что автомобили с КЭСУ не являются конкурентами чистым электромобилем. Чистый электромобиль не может конкурировать с автомобилем, оборудованным только тепловым двигателем

(бензиновый, дизельный или газовый) по величине пробега на одной заправке, так как в настоящее время нет накопителей энергии для массового производства автомобилей с высокими удельными характеристиками. Экспериментальные электромобили, обеспечивающие достаточно высокие пробеги на одной заправке накопителя электрической энергии, не запускаются в массовое производство из-за большой стоимости накопителей энергии, созданных на основе драгоценных металлов. Гибридный автомобиль не имеет недостатков, свойственных чистому электромобилю.

Считается, что гибридный автомобиль – это переходный этап от автомобилей, оборудованных тепловыми двигателями, к электромобилям (пока не созданы эффективные накопители энергии). По нашему мнению, это ошибочное утверждение. Комбинированные энергосиловые установки будут совершенствоваться, комбинации типов двигателей будут разнообразными, например двигатель, работающий на солнечных батареях. Поэтому автомобили с КЭСУ (гибридные автомобили) – это отдельное направление принципиально новых типов автомобилей.

При использовании в КЭСУ теплового (ТД) и электрического двигателей (ЭД) крутящий момент к ведущим колесам автомобиля конструктивно можно передавать различными способами, например последовательное соединение: ТД – генератор – ЭД – ведущие колеса. В этой схеме применяется накопитель электрической энергии, на который поступает избыток энергии ТД и кинетическая энергия электромобиля при торможении и замедлении, которая также поступает в накопитель. Избыточная энергия ТД, поступающая в накопитель, вырабатывается генератором, вращаемым ТД. Кинетическая энергия автомобиля через ведущие колеса и трансмиссию передается на генератор или электродвигатель, работающий в генераторном режиме, а затем в накопитель (рекуперация энергии торможения и замедления автомобиля). При движении автомобиля в тяжелых режимах, когда нужна дополнительная энергия, она с накопителя поступает на ЭД.

Данная конструктивная схема позволяет получить высокие показатели экологических свойств, так как можно реализовать большее время работы ТД на постоянных, наиболее экономичных режимах. Известно, что выбросы токсичных веществ при работе ТД увеличиваются многократно при его работе на неустановившихся режимах, значительно увеличиваются и расходы топлива. Недостаток этой конструктивной схемы – многократное преобразование энергии. Большая часть

механической энергии от ТД преобразуется в генераторе в электрическую, а затем в ЭД в механическую. Другая часть энергии ТД преобразуется от генератора в электрохимическую энергию накопителя, которая затем преобразуется в ЭД в механическую. Любое преобразование энергии из одного вида в другой – это потери, т.е. уменьшение КПД энергосиловой установки.

Вторая конструктивная схема реализации КЭСУ называется параллельной. Эта схема наиболее распространена в мире и в соответствии с расчетными исследованиями экономически наиболее предпочтительна. При параллельной работе ТД и ЭД, работающего в режиме двигателя или генератора при рекуперации кинетической энергии торможения и замедления автомобиля, эксплуатационные возможности и надежность этой конструктивной схемы выше. При этом возможно движение только при работе ТД, только при работе ЭД (энергия от накопителя электрической энергии), а также при совместной работе ТД и ЭД.

Для параллельной компоновочной схемы в течение 20 лет проведен большой объем поисковых теоретических, расчетных, конструкторских и экспериментальных исследований, направленных на создание комбинированных энергосиловых установок для легковых автомобилей (гибридных автомобилей) [1–4]. Созданные экспериментальные образцы гибридных легковых автомобилей на базе автомобилей – носителей КЭСУ ИЖ-2126 (рис. 1) прошли в достаточно полном объеме экспериментальные, лабораторно-дорожные и доводочные испытания.



Рис. 1. Внешний вид автомобиля ИЖ-2126, оборудованного КЭСУ

Проведенные расчетные исследования показали, что наилучшие характеристики по топливной экономичности и экологичности для легковых автомобилей типа ИЖ-2126 путем применения КЭСУ можно получить, используя в конструкции КЭСУ маломощный ТД мощностью 25–30 кВт и ЭД – 10–15 кВт. Поэтому в качестве теплового и электрического двигателей взяты двигатели ВАЗ-1111 и ЭД ПТ-125-12 с характеристиками, близкими к расчетным. Указанные двигатели в КЭСУ расположены параллельно и соединены между собой клиноременным согласующим редуктором (рис. 2). Вид созданной КЭСУ в составе автомобиля-носителя ИЖ-2126 представлен на рис. 3.

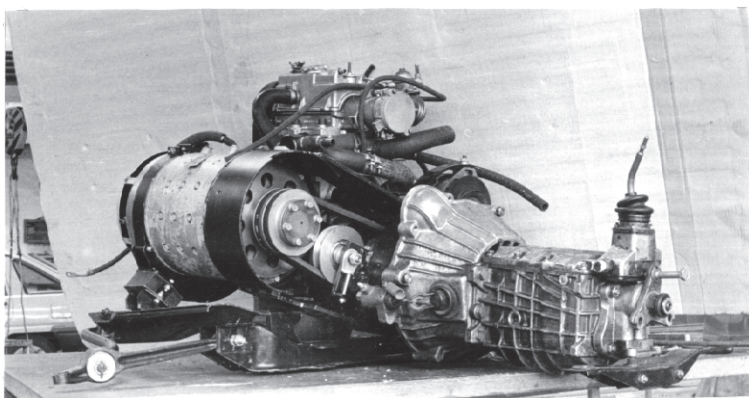


Рис. 2. Гибридная энергосиловая установка



Рис. 3. Внешний вид КЭСУ в подкапотном пространстве автомобиля ИЖ-2126

Накопитель электрической энергии представляет собой два блока свинцово-кислотных аккумуляторных батарей 6СТ-55, по четыре батареи в блоке. Следует отметить, что данный тип накопителя принят только для экспериментальных исследований. При промышленном производстве такого типа автомобилей следует применять наиболее эффективные и экологичные накопители.

Основная трудность создания гибридного автомобиля – это разработка электронной системы управления КЭСУ. Работой КЭСУ управляет пускорегулирующая аппаратура, которая выполняет согласование работы теплового и электрического двигателей КЭСУ при передаче крутящих моментов к ведущим колесам. В основу электронного блока положен разработанный алгоритм, который моделирует реальные условия движения гибридного автомобиля. Принципиальная электрическая схема электронного блока управления работой КЭСУ представлена на рис. 4, а принцип ее работы подробно описан в [4].

В электрическую схему системы управления электромеханическим приводом гибридного автомобиля входят: М – тяговый ЭД с обмоткой возбуждения ОВ; АБ1, ..., АБ8 – тяговые аккумуляторные батареи, сгруппированные в две секции по 48 В, с внутрисекционным соединением через предохранители ПР1, ПР2 для защиты от чрезмерных токов в тяговом режиме; В1 – выключатель, позволяющий полностью отключить аккумуляторные батареи от автомобиля при зарядке от автономного источника электрической энергии или в аварийном режиме; ИП – измерительный прибор, позволяющий контролировать напряжение и ток в аккумуляторных батареях с помощью переключателя В2, резистора R2 и шунта Ш; К481, К482 – контакторы, осуществляющие подключение аккумуляторных батарей к тяговому ЭД через разделительные диоды Д2, Д5 при движении автомобиля на малых скоростях; К96 – контактор для переключения батарей с параллельного соединения на последовательное при движении автомобиля на больших скоростях; БУ – блок управления возбуждением; ЛБ – логический блок, который управляет работой ЭД в зависимости от угла открытия положения дроссельной заслонки и скорости движения гибридного автомобиля; ДО – датчик, определяющий частоту вращения ЭД; ДД – датчик, определяющий угол открытия дроссельной заслонки; РС – реле скорости, отключающее ЭД от тягового режима на малых скоростях при торможении автомобиля; ДС – датчик, выдающий импульсный

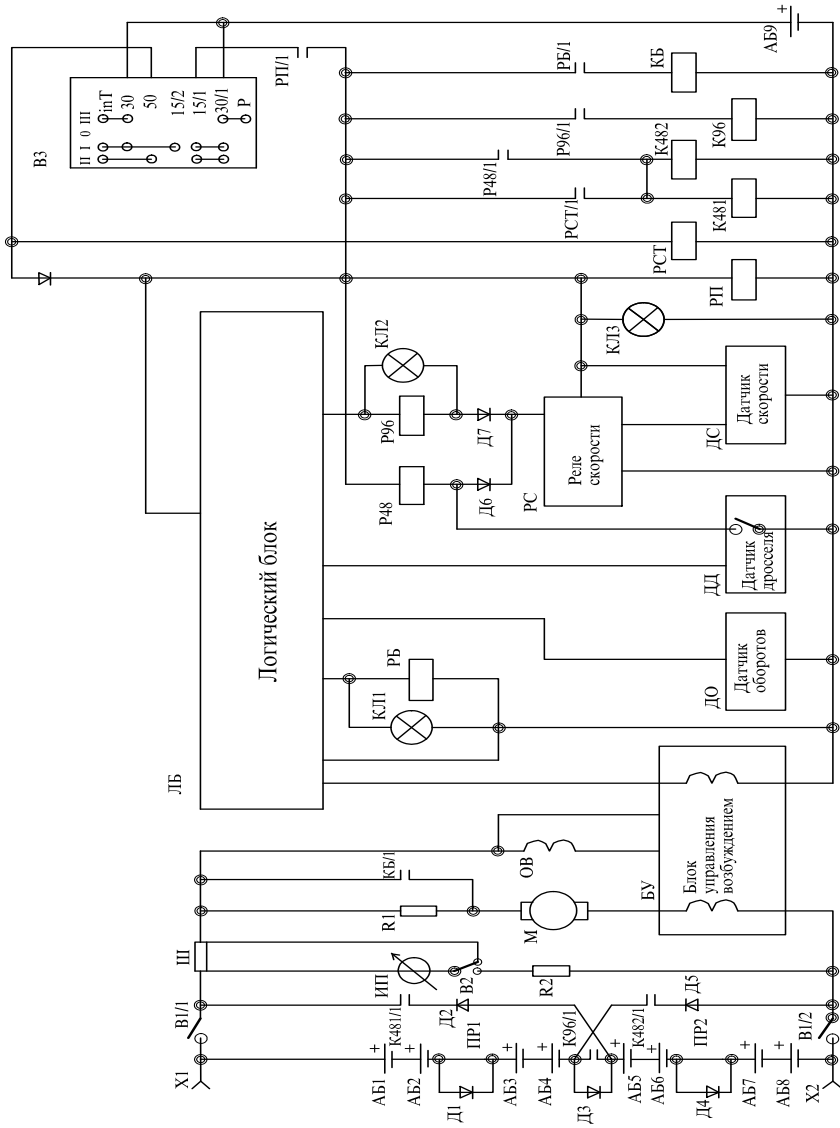


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема системы управления электромеханическим приводом гибридного легкового автомобиля

сигнал с частотой, пропорциональной скорости движения гибридного автомобиля; КЛ1, КЛ2, КЛ3 – контрольные лампы режимов работы ЭД; ВЗ – замок зажигания; АБ9 – бортовая аккумуляторная батарея.

У гибридного легкового автомобиля реализованы следующие режимы работы:

– пуск ТД и работа на холостом ходу: при включении замка зажигания (при запуске) ЭД разгоняется и через согласующий редуктор запускает ТД. Запустившийся ТД будет работать на частотах вращения холостого хода, устанавливаемых на уровне 900–1000 об/мин. В этом состоянии электрический и тепловой тяговые двигатели расходуют энергию аккумуляторных батарей или энергию ТД только на собственных потери, а частоты вращения валов ТД и ЭД согласованы;

– трогание с места и разгон: работают в тяговом режиме оба двигателя. Суммарный крутящий момент ТД и ЭД разгоняет гибридный автомобиль до скорости, соответствующей углу открытия водителем дроссельной заслонки. Соответствие между углом открытия дроссельной заслонки и максимальной скоростью движения автомобиля заложено программно в электронный блок на основе проведенных расчетно-экспериментальных исследований. После достижения требуемой максимальной скорости движения ЭД отключается, движение с установившейся скоростью продолжается только при работе ТД;

– движение с постоянной скоростью: в тяговом режиме работает только ТД. ЭД переходит работать в генераторный режим для подзарядки накопителей электрической энергии;

– движение при дополнительной силе сопротивления движения (подъем, встречный ветер и др.): для заданного угла открытия дроссельной заслонки автомобиль не достигнет максимальной скорости движения, заложенной в электронный блок. Поэтому ТД и ЭД будут работать в тяговом режиме;

– движение при меньшей силе сопротивления движения; например, на спуске или при попутном ветре скорость автомобиля будет выше заложенной в электронном блоке. ЭД переходит работать в генераторный режим для подзарядки накопителя энергии;

– движение накатом: ЭД переходит в генераторный режим работы, происходит рекуперация кинетической энергии автомобиля.

Лабораторно-дорожные испытания макетных образцов гибридных автомобилей подтвердили перспективность этих разработок и целесообразность продолжения совершенствования конструкции в этом, безуслов-



но, перспективном направлении. В сравнении с автомобилем ИЖ-2126, оборудованным штатным двигателем, в зависимости от режимов движения разработанного гибридного автомобиля топливная экономичность повышается на 25–31 %, а выбросы токсичных веществ уменьшаются на 30–40 %. Интерес к таким автомобилям и объем продаж автомобилей с КЭСУ при постановке его на производство в основном будут зависеть от вводимых в обязательном порядке норм выброса вредных веществ. Введение жестких ограничений токсичности отработавших газов Евро уже в ближайшие годы будет способствовать вытеснению с рынка обычных легковых автомобилей и постановке на производство автомобилей с гибридными энергоустановками, поэтому интерес к ним резко возрастет. Потребители продукции будут те же – юридические и физические лица, приобретающие легковые автомобили в настоящее время.

### Список литературы

1. Кондрашкин А.С., Филькин Н.М., Мезрин В.Г. Комбинированная силовая установка для электромобиля // Автомобильная промышленность. – 1996. – № 4. – С. 9–10.

2. Легковой автомобиль с гибридной силовой установкой. Результаты экспериментов / А.С. Кондрашкин, Н.М. Филькин, В.Г. Мезрин, В.Ю. Сальников // Автомобильная промышленность. – 2001. – № 11. – С. 9–10.

3. Хамидуллин Р.П., Филькин Н.М., Фролов М.М. Создание комбинированной энергосиловой установки для малолитражного легкового автомобиля // Фундаментальные исследования. – 2006. – № 11. – С. 80–82.

4. Филькин Н.М. Оптимизация параметров конструкции энергосиловой установки транспортной машины: дис. ... д-ра техн. наук. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2001. – 430 с.

### References

1. Kondrashkin A.S., Fil'kin N.M., Mezrin V.G. Kombinirovannai silovaia ustanovka dlia elektromobil'ia [Combined power plant for electric car]. *Avtomobil'naia promyshlennost'*, 1996, no. 4, pp. 9-10.

2. Kondrashkin A.S., Fil'kin N.M., Mezrin V.G., Sal'nikov V.Iu. Legkovoii avtomobil' s gibridnoi silovoi ustanovkoi. Rezul'taty eksperimentov [Car with hybrid power plant. Results of tests]. *Avtomobil'naia promyshlennost'*, 2001, no. 11, pp. 9-10.

3. Khamidullin R.P., Fil'kin N.M., Frolov M.M. Sozdanie kombinirovannoi energosilovoi ustanovki dlia malolitrazhnogo legkovogo avtomobilia [Development of combined energy-power plant for an economy car]. *Fundamental'nye issledovaniia*, 2006, no. 11, pp. 80-82.

4. Fil'kin N.M. Optimizatsiia parametrov konstruksii energosilovoi ustanovki transportnoi mashiny [Optimization of design parameters power plants transport machines]. Thesis of Doctor's degree dissertation, Izhevsk, 2001, 430 p.

Получено 13.11.2014

### Об авторах

**Имангулов Айдар Равилевич** (Ижевск, Россия) – аспирант, старший преподаватель кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование» Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова (426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7, e-mail: rocky1990@mail.ru).

**Филькин Николай Михайлович** (Ижевск, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование» Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова, заслуженный деятель науки Удмуртской Республики, академик Академии транспорта России, член-корреспондент Академии естествознания России, действительный член УО Российской инженерной академии (426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7, e-mail: fnm@istu.ru).

### About the authors

**Imangulov Aidar Ravilevich** (Izhevsk, Russian Federation) – Postgraduate Student, Senior Lecturer, Department of Automobiles and Metal Working Machinery, Kalashnikov Izhevsk State Technical University (7, Studencheskaia st., Izhevsk, Udmurt Republic, 426069, Russian Federation, e-mail: rocky1990@mail.ru).

**Fil'kin Nikolai Mikhailovich** (Izhevsk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Automobiles and Metal Working Machinery, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Academician of the Russian Academy of Transport, Corresponding member of the Russian Academy of Natural Sciences, Member of the Russian Engineering Academy (7, Studencheskaia st., Izhevsk, Udmurt Republic, 426069, Russian Federation, e-mail: fnm@istu.ru).