

УДК 629.113

## ОБОСНОВАНИЕ БАЗОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Мазец В. К., Терехов А. С., Филькин Н. М.

*ФГБОУ ВПО "Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова",  
avtotop100@mail.ru*

---

В настоящее время актуальна задача выполнения исследований, направленных на обоснование базовых параметров ГЭСУ (гибридная энергосиловая установка), а именно, мощностных параметров ТД (тепловой двигатель) и ЭД (электродвигатель), передаточных чисел трансмиссии. Все разнообразие ГЭСУ можно разбить в зависимости от принципа компоновочных решений ТД и ЭД на два типа, первый – ГЭСУ последовательной компоновочной схемы (ведущие колеса приводятся в движение от ЭД), второй – ГЭСУ параллельной компоновочной схемы (привод ведущих колес может осуществляться одновременно от ТД и (или) ЭД). Большие потери энергии затрудняют конкуренцию последовательной компоновочной схемы ГЭСУ с энергетическими установками, у которых ТД и ЭД работают параллельно. В соответствии с вышесказанным, при проектировании гибридного автомобиля, с точки зрения потерь энергии, в ГЭСУ более предпочтительна параллельная конструктивная схема. Авторами сделаны выводы, положенные в основу обоснования базовых параметров гибридной энергосиловой установки легкового автомобиля. Выполненные исследования позволили записать в виде методики процесс расчета и обоснования наиболее рациональных параметров и характеристик гибридной энергосиловой установки и управления ею.

---

Ключевые слова: гибридный автомобиль, конструктивные схемы, потеря энергии.

## DETERMINATION OF HYBRID POWER PLANT BASIC PARAMETERS

Mazets V. K., Terehov A. S., Filkin N. M.

*Izhevsk State Technical University M.T. Kalashnikov, avtotop100@mail.ru*

---

Currently exists an urgency of research of hybrid power plant basic parameters determination such as power parameters of ICE (internal combustion engine) and EM (electric motor), transmission gear ratio. All variety of hybrid power plants can be divided according to the principle of ICE and EM layouts into two types. The first one is hybrid power plant with sequential layout scheme (drive wheels are driven by EM). The second type is hybrid power plant with parallel layout scheme (drive wheels can be driven by ICE and EM at the same time). Large energy losses impede the competitiveness the sequential layout scheme of hybrid power plant with the parallel scheme. According to the above said the parallel layout scheme is more preferable for design of hybrid cars in terms of energy losses in power plant. The authors made conclusions which were taken as a base of determination of hybrid power plant basic parameters for passenger cars. This research allows to make the method of calculation and substantiation process of the most rational parameters and characteristics of the hybrid power plant and its management.

---

Key words: hybrid motor vehicle, structural arrangement, energy losses.

В настоящее время многие автомобильные производители находятся на стадии поисковых опытно-конструкторских исследований и при создании автомобилей с ГЭСУ (гибридная энергосиловая установка) используют принцип конвертации, заменяя серийный ТД (тепловой двигатель) разработанной ГЭСУ. В связи с этим актуальна задача выполнения исследований, направленных на обоснование базовых параметров ГЭСУ, а именно, мощностных параметров ТД и ЭД (электродвигатель), передаточных чисел трансмиссии.

Проведенные расчетные исследования [2] и анализ опубликованных работ по

проблемам создания автомобилей с ГЭСУ позволили сделать следующие выводы, положенные в основу обоснования базовых параметров ГЭСУ:

- кардинальное снижение расхода топлива и уменьшение токсичности отработавших газов может быть осуществлено за счет применения в ГЭСУ маломощного ТД, работающего в более благоприятном режиме или совсем отключаемого в некоторых режимах движения. В последнем случае движение автомобиля осуществляется за счет питания электромотора от накопителя электрической энергии;

- в ГЭСУ наиболее рационально реализовать параллельную работу ТД и ЭД, работающего в режиме генератора или двигателя в зависимости от условий движения;

- ТД имеет необходимые мощности на высоких частотах вращения вала для движения с большими скоростями, но обладает плохой динамикой разгона автомобиля. ЭД позволяет компенсировать этот недостаток за счет реализации высоких крутящих моментов на малых частотах вращения выходного вала ГЭСУ. Поэтому необходимую дополнительную энергию при разгоне можно получать от накопителя энергии через ЭД, а продолжать движение с постоянными и близкими к ним скоростями (при малых ускорениях) только на ТД. В этом случае отпадает необходимость многократного преобразования большей части энергии в сравнении с последовательной компоновочной схемой ГЭСУ, и имеется возможность использовать менее мощные и материалоемкие двигатели для получения хорошей динамики разгона у автомобиля.

Для обоснования базовых параметров разрабатываемой ГЭСУ необходимо проводить расчетные исследования показателей тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобиля, анализируя влияние варьируемых основных параметров ГЭСУ на указанные показатели эксплуатационных свойств автомобиля. Для реализации данного подхода разработаны соответствующие математические модели движения автомобиля с ГЭСУ и расчета показателей тягово-скоростных свойств и топливной экономичности для различных режимов эксплуатации [3], которые положены в основу разработанного комплекса программных средств для ПЭВМ [4]. Основой выполняемых расчетов являются требования к тягово-скоростным свойствам и топливной экономичности, заложенные в техническом задании на создаваемый автомобиль с ГЭСУ, а также конструктивные параметры и характеристики автомобиля, на котором будет установлена ГЭСУ. Возможные компоновочные схемы гибридной энергосиловой установки легкового автомобиля приведены на рисунках 1, 2:

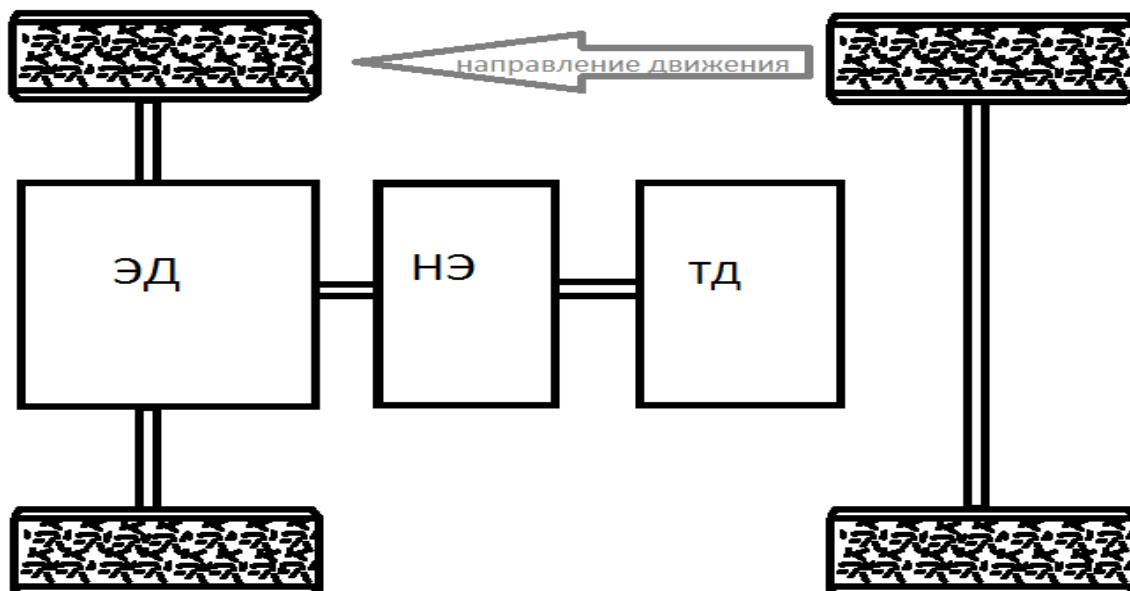


Рис. 1. Последовательная компоновочная схема (ведущие колеса приводятся в движение от электродвигателя). ЭД (электродвигатель), НЭ (накопитель энергии), ТД (тепловой двигатель)

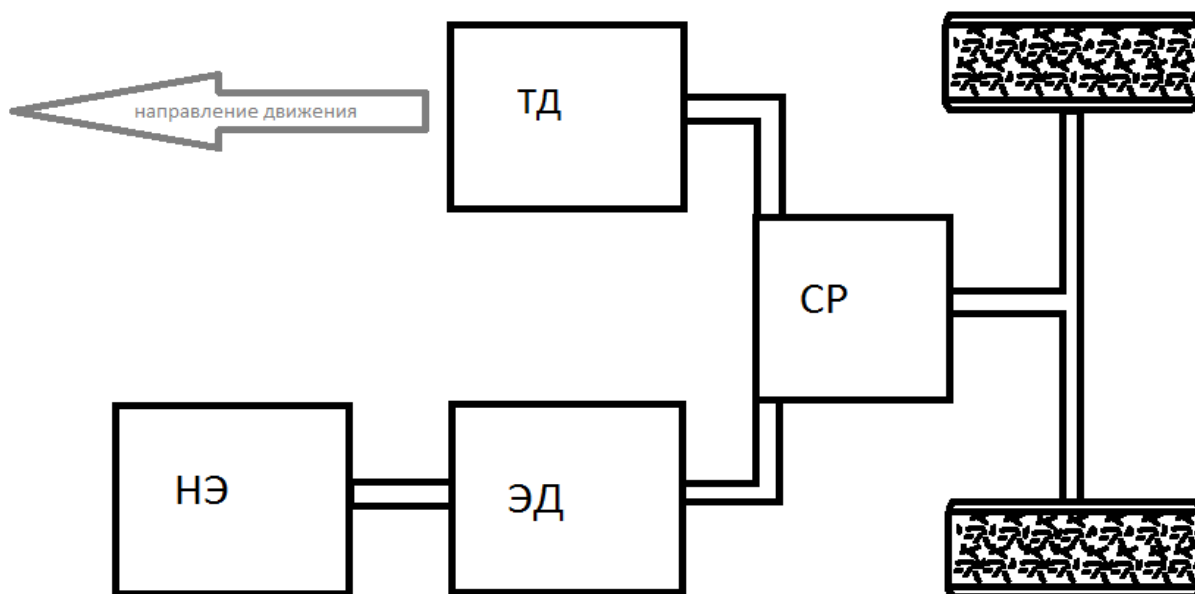


Рис. 2. Параллельная компоновочная схема (привод ведущих колес может осуществляться одновременно от теплого двигателя и (или) электродвигателя). ТД (тепловой двигатель), ЭД (электродвигатель), НЭ (накопитель энергии), СР (согласующий редуктор)

проектирования параметры ТД и ЭД используются для формулирования технического задания на разработку этих двигателей. Отметим, что возможен выбор в соответствии с расчетными исследованиями приемлемых двигателей среди уже разработанных и выпускаемых в настоящее время двигателей.

После выбора или разработки ТД и ЭД экспериментальные исследования позволяют построить семейства скоростных и нагрузочных характеристик для ТД, а расчетно-экспериментальные исследования по управлению ЭД позволяют определить семейство скоростных характеристик для ЭД. Эти расчетно-экспериментальные данные используются для моделирования на ПЭВМ показателей тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобиля гибридного типа с целью продолжения работ по оптимизации параметров трансмиссии и управления работой ЭД и ТД. Расчет оптимальных передаточных чисел трансмиссии при заданных других параметрах и характеристиках автомобиля и ГЭСУ проводится так же, как и для автомобиля, оборудованного только одним ТД, например, по методике, изложенной в [1].

Управлять работой ГЭСУ должна пускорегулирующая аппаратура ЭД и электронный блок работой ЭД. При этом программа управления зависит от требований к показателям экологичности, экономичности и тягово-скоростных свойствам проектируемого автомобиля с ГЭСУ. В общем случае эксплуатации автомобиля система управления должна реализовывать следующие режимы движения:

- автомобиль движется на аккумуляторных батареях, на малых скоростях;
- автомобиль движется на ТД на квазиустановившихся режимах и при разгонах на высоких частотах вращения вала ТД (электрическая часть энергетической установки отключена);
- автомобиль движется на ТД на квазиустановившихся режимах, и параллельно идет зарядка аккумуляторных батарей (ЭД работает в режиме генератора);
- разгон автомобиля на ТД и ЭД;
- рекуперация энергии при торможении и замедлении (ЭД работает в режиме генератора);
- стоянка автомобиля.

Выполненные исследования, основные положения которых представлены выше, позволили процесс расчета и обоснования наиболее рациональных параметров и характеристик ГЭСУ и управления ею формализовать, записав его в виде конечной последовательности необходимых работ для получения научно-обоснованного конструкторского решения, т.е. в виде методики, инвариантной по отношению к типу проектируемого автомобиля с ГЭСУ [5]:

- разработать математическую модель автомобиля, оборудованного ГЭСУ;
- обоснованно выбрать множество частных критериев оптимальности параметров и характеристик ТД, ЭД и трансмиссии;
  - провести анализ априорной информации для обоснования критериальных ограничений и ограничений на оптимизируемые параметры и характеристики;
  - разработать программные средства расчета показателей тягово-скоростных свойств и топливной экономичности (частных критериев) автомобиля с ГЭСУ;
  - реализовать на ПЭВМ многокритериальный метод поиска оптимального решения по множеству частных критериев оптимальности;
  - рассчитать внешнюю скоростную характеристику ТД по требованиям к показателям тягово-скоростных свойств, при работе ГЭСУ на высоких частотах вращения ее выходного вала;
  - рассчитать внешнюю скоростную характеристику ЭД по расчетной внешней характеристике ТД и по требованиям к показателям тягово-скоростных свойств, при работе ГЭСУ на малых и средних частотах вращения ее выходного вала;
  - провести предварительные расчетные исследования по обоснованию логики управления ГЭСУ для реализации ее в электронном блоке;
  - провести предварительный расчет передаточных чисел трансмиссии по множеству частных критериев оптимальности;
  - провести разработку и изготовление ТД и ЭД с учетом расчетных внешних характеристик;
  - провести экспериментальные исследования ТД с целью построения многопараметрового семейства его нагрузочных характеристик;
  - на основе анализа реальной внешней скоростной характеристики разработанного ЭД, требований к показателям тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобиля разработать систему управления ЭД;
  - в соответствии с логикой управления ЭД построить семейство его нагрузочных характеристик;
  - провести окончательный расчет оптимальных параметров трансмиссии для разработанной ГЭСУ и логики управления ею по множеству частных критериев оптимальности.

#### Литература

1. Кондрашкин А. С., Умняшкин В. А., Филькин Н. М. Методика расчета передаточных чисел трансмиссии легкового автомобиля // Автомобильная

промышленность. – 1986. – № 2. – С. 16-17.

2. Разработка методик структурной и параметрической оптимизации комбинированных (гибридных) энергосиловых установок транспортных средств: Заключительный отчет (4-й этап) о научно-исследовательской работе, выполненной в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)». Номер государственной регистрации НИР: ВНТИЦ, 01.2.00 901933/ Ижевский государственный технический университет; Руководитель работы Н. М. Филькин. – Ижевск: ИжГТУ, 2010. – 147 с. – Отв. исполн. В. А. Умняшкин; соисполн.: Р. С. Музафаров, С. А. Шильяев, В. К. Мазец и др.

3. Умняшкин В. А., Филькин Н. М. Динамика комбинированных энергосиловых установок машин // Вестник Уральского межрегионального отделения российской Академии транспорта № 1. – Курган: КГУ, 1998. – С. 4-10.

4. Филькина А. Н., Филькин Н. М. Комплекс программных средств автоматизированного исследования топливной экономичности, тягово-скоростных свойств и оптимизации параметров трансмиссии транспортных машин TRANSMIT // Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Инновации в науке, технике, образовании и социальной сфере». – Казань: Издательство «Экоцентр», 2003. – С. 126.

5. Филькин Н. М. Методика оптимизации базовых параметров гибридной энергосиловой установки // Сборник трудов X Международной открытой научной конференции «Современные проблемы информатизации в технике и технологиях». – Вып. 10. – Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2005. – С. 209-210.

#### Рецензенты:

Умняшкин В. А., д.т.н., профессор. Удмуртский государственный университет, факультет «Дизайн промышленных изделий», г. Ижевск.

Бендерский Б. Я., д.т.н., профессор. Ижевский государственный технический университет им М. Т. Калашникова, факультет «Машиностроительный», г. Ижевск.