

АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ КОНСТРУКЦИЙ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Мазец В.К., Филькин Н.М., Музафаров Р.С.

ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет»

В работе приведены основные проблемы создания легкового автомобиля с гибридной энергосиловой установкой гибридного с представлением методики структурной оптимизации конструкций комбинированных энергосиловых установок. Под структурной оптимизацией будем понимать поиск наиболее простой конструкции, а также синтез конструкции гибридного автомобиля, создаваемого из множества конструктивных и функциональных элементов. Анализ наиболее предпочтительных конструктивных схем легковых автомобилей с гибридной энергосиловой установкой позволил сделать вывод, что при проектировании гибридного автомобиля с точки зрения потерь энергии в гибридной энергосиловой установке более предпочтительна параллельная конструктивная схема.

Ключевые слова: структурная оптимизация, анализ конструктивных схем, потеря энергии.

ANALYSIS STRUCTURAL ARRANGEMENT CONSTRUCTION HYBRID POWER CAR

Mazets V.K., Filkin N.M., Muzafarov R.S.

«Izhevsk State Technical University»

The work describes the fundamental problems of creating a car with hybrid power plant and presents the methods of structural optimization of hybrid power plants design. Structural optimization is understood as the search of the most simple construction and also the design synthesis of hybrid vehicle being created from a variety of structural and functional elements. Analysis of the preferred structural arrangement of passenger cars with hybrid power plant allows to draw the conclusion that the parallel structural arrangement is preferred in terms of energy losses in the hybrid power plant when designing a hybrid car.

Keywords: structural optimization, analysis of structural arrangement, energy losses.

Решение проблемы улучшения топливной экономичности и экологичности легковых автомобилей ведется на основе сочетания двух достаточно новых тенденций мирового автомобилестроения в создании конкурентоспособных транспортных средств. Одним из основных направлений уменьшения выбросов в атмосферу, вместе с отработавшими газами окиси углерода и другими вредными составляющими, а также повышением топливной экономичности, является замена тепловых двигателей, используемых в настоящее время в конструкциях большинства транспортных машин, на ГЭСУ (гибридная энергосиловая установка), состоящих из теплового и электрического двигателей и накопителя электрической энергии.

Одной из основных проблем создания гибридного автомобиля, оборудованного тепловым двигателем (ТД) и электродвигателем (ЭД), является выбор и обоснование его структуры. В данном случае под структурой понимается совокупность:

- типа привода (передне-, задне-, полноприводный) – множество D_1 ;
- типа ТД (бензиновый, дизель, газотурбинный и др.) – множество D_2 ;
- типа ЭД (постоянного тока, один из видов ЭД переменного тока) – множество D_3 ;

- схемы соединения ТД и ЭД в составе гибридной энергетической установки (последовательная, параллельная, смешанная) – множество D_4 ;
- типа трансмиссии (механическая ступенчатая, автоматическая, вариаторная и др.) – множество D_5 ;
- типа накопителя электрической энергии (свинцово-кислотный, железо-никелевый, натриево-серный, литиево-ионный и др.) – множество D_6 ;
- технических средств и алгоритма управления ЭД – множество D_7 .

Под структурной оптимизацией будем понимать:

- 1) процесс поиска наиболее простой конструкции (исключение структурно-избыточной конструкции);
- 2) синтез конструкции гибридного автомобиля, создаваемого из некоторого множества конструктивных (узлы, агрегаты и т.п.) и функциональных (элементы, выполняющие заданные функции) элементов.

Необходимость структурной оптимизации конструкции гибридного автомобиля диктуется наличием сравнительно большой номенклатуры множества конструктивных и функциональных элементов, которые существенно отличаются друг от друга по техническим и функциональным возможностям. В качестве структурной модели гибридного автомобиля можно применить граф, вершиной которого является создаваемый гибридный автомобиль, нижними уровнями графа являются элементы множеств D_1, \dots, D_7 (всего 7 уровней).

Задачей структурной оптимизации, заключающейся в последовательном переборе возможных конструктивных решений, является поиск ветви графа, которая обеспечивает экстремум некоторой целевой функции на основе анализа структурных свойств, т.е. свойств элементов множеств D_1, \dots, D_7 . В процессе структурной оптимизации необходимо осуществлять целенаправленный поиск альтернативных структур, обеспечив анализ всего множества возможных конструктивных решений. Полученное решение будет оптимальным с точки зрения структуры гибридного автомобиля, а не конструктивных параметров и характеристик его агрегатов. При этом общее число возможных конструктивных решений $n = n_1 \times n_2 \times n_3 \times n_4 \times n_5 \times n_6 \times n_7$, где n_1, \dots, n_7 – количество элементов соответственно множеств D_1, \dots, D_7 .

Структурная, как и параметрическая оптимизация, должна базироваться на поиске экстремума некоторой целевой функции (критерия или множества частных критериев оптимальности). На настоящее время в качестве частных критериев структурной оптимизации используются:

- возможность производства гибридного автомобиля – критерий Q_1 ;
- цель создания гибридного автомобиля (повышение топливной экономичности, экологичности, тягово-скоростных свойств и др.) – критерий Q_2 ;
- коэффициент полезного действия (КПД) преобразования всех видов энергий в гибридном автомобиле – критерий Q_3 ;
- стоимость гибридного автомобиля – критерий Q_4 .

Критерии Q_1, Q_2 не являются числовыми, и применяется на начальном этапе оптимизации для исключения невозможных и нежелательных реализаций конструкций гибридных автомобилей из числа возможных конструктивных решений n графа. В качестве ограничений при постановке задачи параметрической оптимизации конструкции автомобиля вводятся ограничения:

- на типы элементов множеств D_1, \dots, D_7 ;
- на значения технических показателей элементов множеств D_1, \dots, D_7 в виде одинарных или двойных неравенств.

В процессе структурной оптимизации из множества возможных конструктивных решений n обосновывается множество альтернативных структур k конструкции гибридного автомобиля $S = (S_1, \dots, S_k)$, из числа которых выбирается в дальнейшем рациональная структура. Для поиска альтернативных структур используется модифицированный метод морфологического анализа.

Задачу структурной оптимизации конструкции гибридного автомобиля в перспективе можно преобразовать в задачу многокритериальной параметрической оптимизации конструктивных параметров и характеристик элементов множеств D_2, D_3, D_5, D_6 и алгоритма управления работой ЭД на основе множества частных критериев оптимальности топливной экономичности и тягово-скоростных свойств разрабатываемого гибридного автомобиля [1,2].

Все разнообразие ГЭСУ можно разбить в зависимости от принципа компоновочных решений ДВС и ЭД на два типа: ГЭСУ последовательной компоновочной схемы и ГЭСУ параллельной компоновочной схемы. Смешанная конструктивная схема является вариантом усовершенствованной параллельной схемы.

Анализ структурных схем по методике, изложенной выше, позволил выявить четыре наиболее перспективные конструктивные схемы, представленные на рисунках 1, 2, 3, 4:

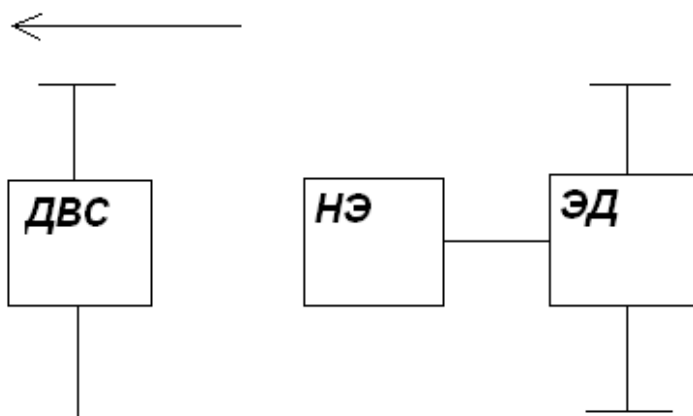


Рис. 1. Гибридный автомобиль с установленным на передней оси ДВС (двигатель внутреннего сгорания), на задней оси ЭД (электродвигатель) и НЭ (накопитель энергии)

Принцип работы: Автомобиль движется за счет ДВС, в это время ЭД работает в режиме генератора, заряжая НЭ (накопитель энергии). После того, как НЭ будет полностью заряжен, происходит отключение ДВС, а в работу вступает ЭД, установленный на заднем мосту автомобиля и работающий за счет энергии, поступающей от НЭ, например, при необходимости уменьшения выбросов вредных веществ с отработавшими газами ДВС (движение в закрытых заводских и других помещениях, на территории лечебных учреждений, в городах с высокими плотностями населения и транспортных потоков и др.). Когда НЭ будет полностью разряжен, ЭД отключится, и в работу вступит ДВС. Если НЭ будет заряжен хотя бы на половину, то при необходимости одновременно могут работать как ДВС, так и ЭД.

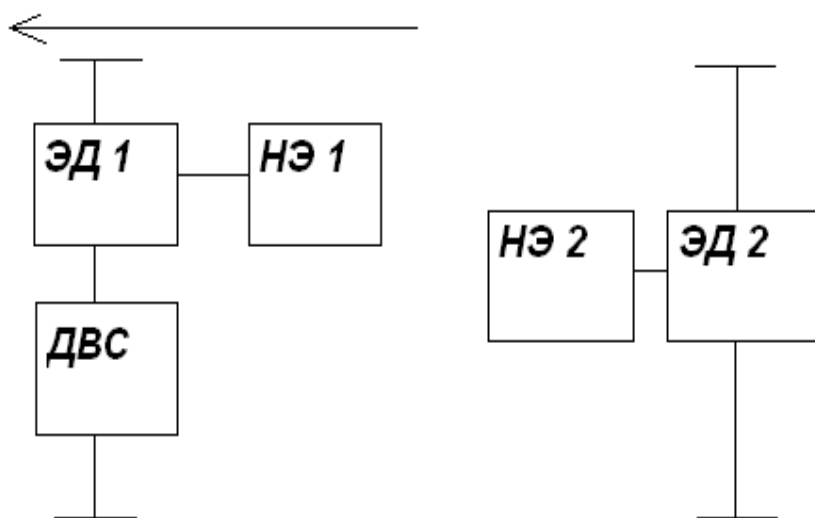


Рис. 2. Полноприводный гибридный автомобиль с установленным на передней оси ДВС и ЭД 1 (электродвигатель) с НЭ (накопитель энергии), на задней оси ЭД 2 (электродвигатель) с НЭ (накопителем энергии)

Принцип работы: Автомобиль движется за счет ДВС, а ЭД 1 и ЭД 2 в это время работают в режиме генератора, заряжая НЭ 1 и НЭ 2, предназначенного для их питания. После того как НЭ 1 и НЭ 2 будут полностью заряжены, происходит отключение ДВС, а в работу вступает ЭД 1 или ЭД 2. Когда НЭ 1 или НЭ 2 будут полностью разряжены, ЭД 1 и ЭД 2 отключатся и в работу вступит ДВС. Возможны различные варианты эксплуатации автомобиля как при помощи только ДВС, так и при помощи ДВС + ЭД 2; ЭД 1+ ЭД 2; только ЭД 1 или только ЭД 2 при необходимости уменьшения выбросов вредных веществ с отработавшими газами ДВС (движение в закрытых заводских и других помещениях, на территории лечебных учреждений, в городах с высокими плотностями населения и транспортных потоков и др.).

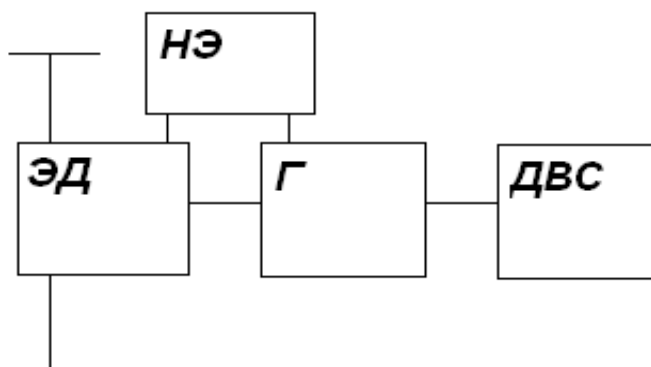


Рис. 3. Последовательная компоновочная схема. ЭД (электродвигатель), НЭ (накопитель энергии), Г (генератор), ДВС (двигатель внутреннего сгорания)

Принцип работы: При движении автомобиля с установившимися скоростями или при разгонах с небольшими ускорениями мощностной поток от ДВС до ведущих колес будет проходить через следующие агрегаты автомобиля: ТД – Г (генератор) – ЭД. Если при этом НЭ находится в разряженном состоянии, то дополнительно энергия поступает в НЭ по цепи ДВС – 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 одновременно с мощностным потоком от ДВС по цепи ДВС – Г – ЭД. Возможно движение автомобиля при отключенном ДВС за счет энергии, поступающей только от НЭ, например, при необходимости уменьшения выбросов вредных

веществ с отработавшими газами ДВС (движение в закрытых заводских и других помещениях, на территории лечебных учреждений, в городах с высокими плотностями населения и транспортных потоков и др.). При торможении и движении накатом за счет перехода ЭД в режим генератора осуществляется рекуперация энергии замедления и торможения в энергию НЭ. К недостаткам схемы можно отнести большие потери энергии, ДВС, Г, НЭ, ЭД расположены в передней части автомобиля, а это приведет плотной компоновке агрегатов, что усложнит проведение технического обслуживания и ремонта.

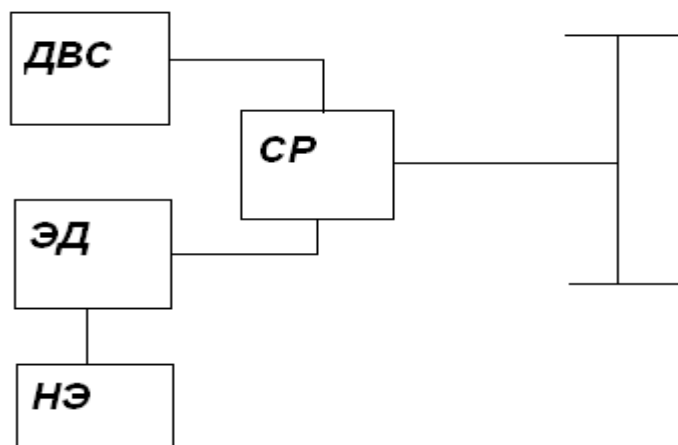


Рис. 4. Параллельная компоновочная схема ДВС (двигатель внутреннего сгорания), ЭД (электродвигатель), НЭ (накопитель энергии), СР (согласующий редуктор)

Принцип работы: Движение автомобиля с постоянными и близкими к ним скоростями в данном случае осуществляется за счет мощности, передаваемой к ведущим колесам по цепи ДВС – СР (согласующий редуктор). Во время динамичного разгона автомобиля к ведущим колесам поступает дополнительная энергия по цепи НЭ – ЭД – СР. При необходимости зарядки НЭ в режиме движения с установившимися скоростями и близкими к ним происходит зарядка НЭ по цепи ДВС – СР – ЭД – НЭ, т.е. ЭД переходит в режим работы генератора. Движение накатом и торможение сопровождаются рекуперацией энергии в энергию НЭ. В качестве СР могут использоваться различные типы редукторов, например, цепной, шестеренчатый, ременный. К недостаткам схемы можно отнести: повышенные потери мощности в трансмиссии ГЭСУ из-за введения в конструкцию СР, согласования работы ТД и ЭД из-за неустановившихся режимов работы ТД в разнообразных дорожных и природно-климатических условиях эксплуатации [3,4].

Также в каждую компоновочную систему можно добавить различные устройства, такие как мотор-колесо, ионисторы, система «стоп-старт» и т.д.

В процессе оптимизации необходимо найти такие технические решения, которые обеспечат выполнение указанных в исходных данных функций, удовлетворение введенным ограничениям и улучшение недостатков. Анализ списка недостатков позволяет выявить причины их возникновения и наметить мероприятия по их устранению. С точки зрения понятия оптимальности конструкции желательно улучшать все частные критерии оптимальности, характеризующие прямо или косвенно качество проектируемого автомобиля. Однако, улучшение одних частных критериев (например, частных критериев топливной экономичности автомобилей с ГЭСУ), к сожалению, может приводить к ухудшению некоторых других частных критериев (например, частных критериев тягово-скоростных свойств) [5].

В соответствии с вышесказанным при проектировании гибридного автомобиля с точки зрения потерь энергии в ГЭСУ более предпочтительна параллельная конструктивная схема, позволяющая в сравнении с автомобилем, оборудованным только ТД, наряду с улучшением показателей экологичной безопасности повысить топливную экономичность автомобиля.

Литература

1. Филькин, Н.М. Методика оптимизации базовых параметров гибридной энергосиловой установки / Н.М. Филькин // Современные проблемы информатизации в технике и технологиях: сборник трудов научной конференции. – Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2005. – С. 209–210.
2. Филькина, А.Н. Методика расчета базовых параметров комбинированной энергосиловой установки легкового автомобиля / А.Н. Филькина // Материалы 53-й Международной научн.-техн. конференции Ассоциации автомобильных инженеров. – Ижевск: ООО Издательский дом «Парацельс», 2006. – С. 207–216.
3. Мазец, В.К. Расчет КПД энергосиловых установок гибридных автомобилей / В.К. Мазец // Материалы 71-й Международной научн.-техн. конференции Ассоциации автомобильных инженеров. – Н.Новгород: ООО «Виртэк НН», 2010. – С. 74–77.
4. Хамидуллин Р.П., Филькин Н.М., Фролов М.М. Создание комбинированной энергосиловой установки для малолитражного легкового автомобиля // Фундаментальные исследования. – 2006. – № 11. – С. 80–82.
5. Филькин Н.М. Совершенствование конструкции комбинированной энергосиловой установки гибридного легкового автомобиля // Сборник материалов V Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы и достижения автотранспортного комплекса». – Екатеринбург: Уральский государственный технический университет. – УПИ, 2007. – С. 170–173.

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, факультет «Машиностроительный», г. Ижевск.