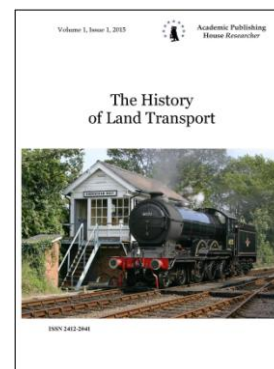


Copyright © 2017 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
The History of Land Transport
Has been issued since 2015.
ISSN: 2412-2041
E-ISSN: 2413-760X
2017, 3(1): 51-58

DOI: 10.13187/hlt.2017.1.51
www.ejournal38.com



The Coordination Modes of the Engine in a Hybrid Power Plant

Vadim A. Naumov ^a, Aleksei N. Terentev ^a

^a Izhevsk state technical university, Russian Federation

Abstract

One of the directions of development of the world automotive industry is the creation of an environmentally friendly, economical, with good driving characteristics and a large margin of the car. From this point of view, the most promising are cars with combined plants operating on two or more sources of energy. The most common "hybrid" is the combination of an internal combustion engine and an electric motor. Coordination of the work of these two propulsions requires careful attention.

Keywords: cars with a hybrid power plant, an internal combustion engine, a minimum specific flow rate, power, torque, a DC motor, layout schemes, job coordination, control mechanism, generator, motor.

1. Введение

Поиск оптимального соотношения динамических и экономических показателей автомобиля – основная задача конструкторов. Являясь основным источником энергии в автомобиле, двигатель внутреннего сгорания (ДВС) отвечает за динамику и экономию топлива автомобиля. Удельный расход топлива неравномерен и зависит от мощности двигателя. Минимальный расход соответствует достаточно узкой области на внешней скоростной характеристике автомобилей и может быть получен при определенном режиме работы. Как правило, минимальный удельный расход находится в зоне, близкой к максимальной мощности (Рис. 1) (Умняшкин и др., 2004).

Более мощный ДВС будет менее экономичен при низких оборотах коленчатого вала. Идеально иметь два двигателя – один маломощный, обеспечивающий движение в городе, а второй, мощнее, для движения в скоростном режиме.

Но можно поступить по-другому: использовать дополнительную нагрузку для двигателя при невысоких мощностях движения. Такой нагрузкой может стать электрический генератор. Коленчатый вал дополнительно соединен с ротором генератора, который будет повышать момент сопротивления, и вырабатывать электроэнергию, которой можно будет обеспечивать необходимые обороты и требуемую мощность гибридной системы (Зорин, Терентьев, 2017).

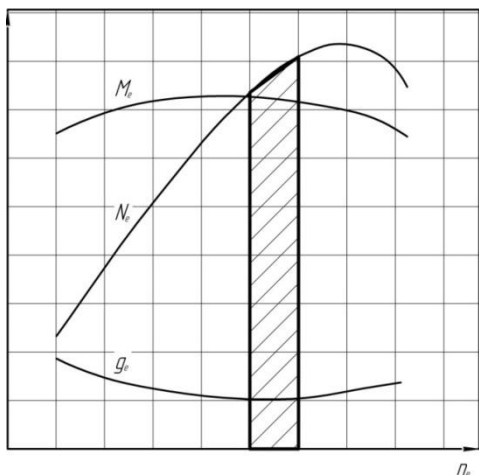


Рис. 1. Наиболее экономичная зона на графике внешней скоростной характеристики ДВС

При разгоне автомобиля крутящий момент сопротивления желательно снизить или отключить, так как ДВС работает на мощностях близких к максимальным.

Таким образом, гибридный привод может обеспечить движение от альтернативного источника энергии (электроэнергии) там, где ДВС работает в неэкономичной зоне. При такой системе движение автомобиля на малых скоростях осуществляется на электродвигателе, а на больших нагрузках – за счет ДВС. При недостаточных мощностях или при торможении момент ДВС повышается за счет работы генератора. Энергия, выработанная генератором и накопленная в аккумуляторе, реализуется электродвигателем при трогании с места и начале движения или при интенсивном разгоне, когда ДВС и электродвигатель работают вместе. Причем практичнее объединить функцию генератора в электродвигателе: при подаче крутящего момента на ротор электродвигателя в обмотке статора будет индуцироваться ЭДС индукции. Индуцированный переменный ток будет проходить через диодный мост (выпрямитель) и, будучи постоянным, будет заряжать аккумулятор (Рис. 2).

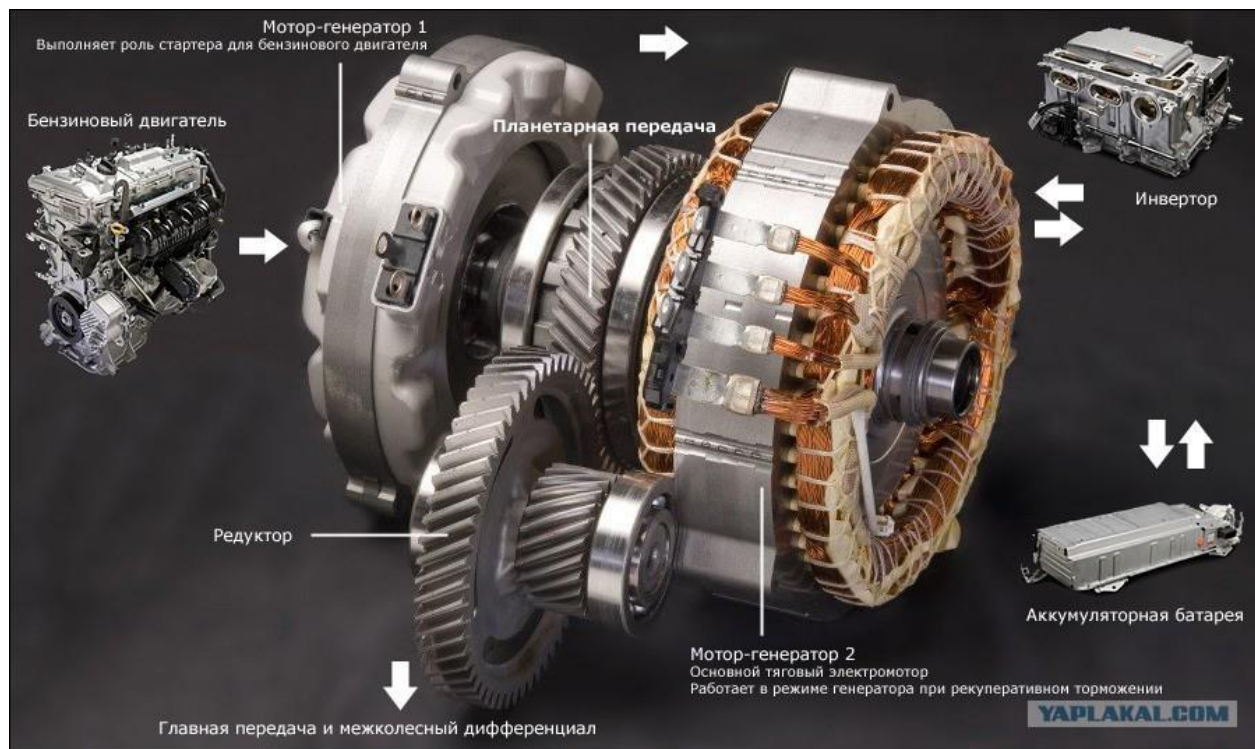


Рис. 2. Основные элементы комбинированной энергосиловой установки

2. Результаты

Схемы компоновки гибридных систем

Существуют три типа гибридных систем: последовательная (Рис. 3), параллельная (Рис. 4) и последовательно-параллельная (Рис. 5).

➤ *Последовательная схема.* Выходным валом является выходной вал ЭД, с которого мощность поступает на ведущие колеса. При движении с установившимися скоростями или при разгонах с небольшими ускорениями крутящий момент передается от ДВС через генератор Г, электродвигатель ЭД, коробку передач КПП к межколесному дифференциалу Д. Если при этом аккумуляторная батарея АБ находится в разряженном состоянии, то дополнительно крутящий момент поступает на нее через генератор. При необходимости дополнительной силы тяги на ведущих колесах (тяжелые дорожные условия, динамичный разгон) энергия поступает от аккумулятора. При торможении и при движении накатом за счет перехода ЭД в режим генератора осуществляется рекуперация энергии замедления и торможения в химическую энергию АБ.

При передаче энергии от ДВС на ведущие колеса происходит ее многократное преобразование, а, следовательно, такое преобразование сопровождается ее значительными потерями (Князев, Терентьев, 2017). Но известно, что токсичность отработавших газов увеличивается при работе ДВС в неустановившихся режимах. Эти режимы можно исключить, используя данную гибридную систему.

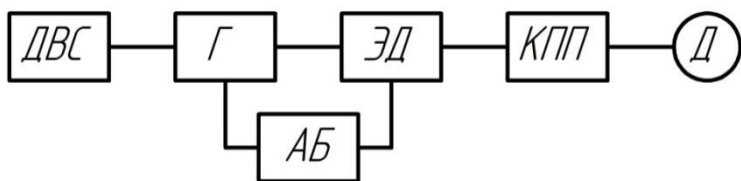


Рис. 3. Последовательная схема

➤ *Параллельная схема.* С точки зрения потерь более предпочтительна параллельная конструктивная схема.

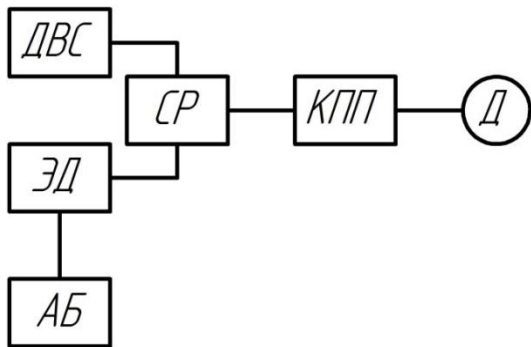


Рис. 4. Параллельная схема

Для согласования частот вращения валов ДВС и ЭД они соединяются между собой через согласующий редуктор СР. Движение с постоянными и близкими к ним скоростями осуществляется за счет мощности, передаваемой к ведущим колесам через цепь ДВС–СР–КПП–Д. Во время динамичного разгона дополнительная энергия поступает от ЭД. При необходимости зарядки аккумулятора ЭД переходит в режим генератора. Движение накатом или торможением сопровождается преобразованием энергии в химическую энергию АБ.

Наряду с низким удельным расходом топлива данная схема имеет недостаток, заключающийся в сложности согласования работы ДВС и ЭД в разнообразных режимах движения.

➤ *Последовательно-параллельная схема.* Более удобна для согласования работы двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя последовательно-параллельная схема. Мощность от ДВС передается к ведущим колесам через делитель мощности ДМ двумя потоками. Замыкание этих потоков происходит в дифференциальном СР. Так как большая часть мощности идет от делителя мощности ДМ с постоянным передаточным отношением, проще согласовать работу электродвигателя и ДМ.

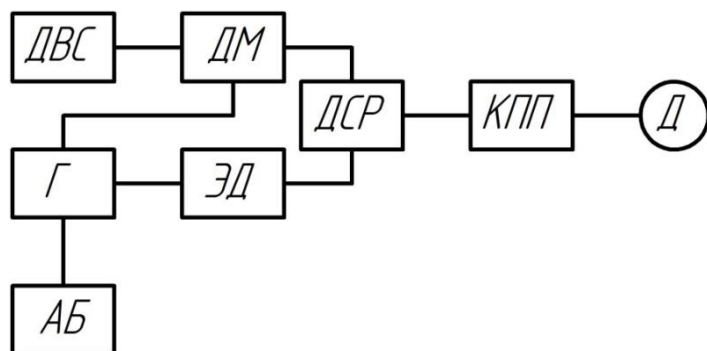


Рис. 5. Последовательно-параллельная схема

При старте возможно движение только за счет энергии аккумулятора. При движении с установившимися и близкими к ним скоростями передача мощности к ведущим колесам осуществляется от ДВС через делитель мощности и дифференциальный согласующий редуктор ДСР, а также от электродвигателя, энергия для работы которого берется от делителя мощности через генератор. Если зарядки аккумулятора не хватает, то в этом режиме аккумулятор берет энергию от генератора. При необходимости реализации высокого крутящего момента возникает третий поток мощности от АБ. При торможении ЭД работает как генератор.

Согласование ДВС и ЭД в гибридной энергосиловой установке

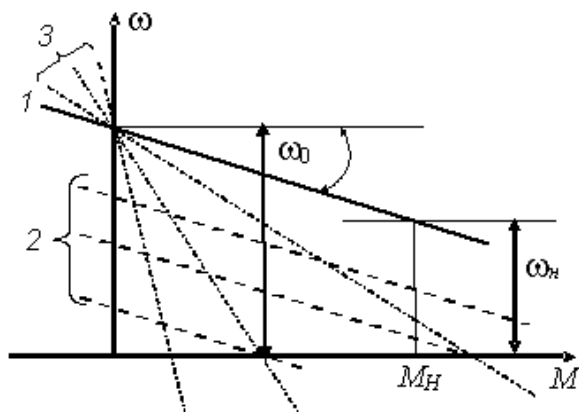
Механизм управления двух силовых установок реализовать непросто. Управление должно обеспечивать определенные режимы работы автомобиля, согласование работы ДВС и ЭД.

Управление работой ДВС осуществляется подачей топлива через дроссельную заслонку, угол открытия которой зависит от степени нажатия водителем педали акселератора. Чем больше угол открытия, тем больше частота оборотов вращения коленчатого вала.

Критериями для управления ЭД являются частота оборотов вращения выходного вала гибридной энергосиловой установки и угол открытия дроссельной заслонки.

Наиболее оптимальным выбором будет являться двигатель постоянного тока с независимым возбуждением, так как его достоинство – это возможность широкой и равномерной (по линейному закону) регулировки частоты вращения (Рис. 6).

Механическая характеристика двигателя при неизменных параметрах U , R и Φ представляется прямой линией 1. На холостом ходу ($M = 0$) двигатель вращается с частотой вращения ω_0 . По мере увеличения момента нагрузки частота вращения снижается. Изменение величины питающего напряжения вызывает пропорциональное уменьшение частот вращения во всех режимах работы. Путем изменения величины питающего напряжения U от нуля до номинального значения (например, при помощи управляемого тиристорного выпрямителя), можно изменять частоту вращения вала в широких пределах.



1 – характеристика электродвигателя при номинальном напряжении,
 2 – характеристики при изменении напряжения на статоре,
 3 – характеристики при изменении сопротивления статора

Рис. 6. Механические характеристики электродвигателя постоянного тока с параллельным возбуждением

Управление ЭД осуществляется путем изменения напряжения и тока в обмотках. Управление крутящим моментом на роторе: $M = K_M I$, где K_M – постоянная момента. Число оборотов за единицу времени регулируется подаваемым напряжением $\varepsilon = K_\varepsilon n$, где K_ε – постоянная ЭДС.

Одним из основных параметров электродвигателя постоянного тока является постоянная электродвигателя K_ε . Постоянная электродвигателя определяет способность электродвигателя преобразовывать электрическую энергию в механическую.

$$K_\varepsilon = \frac{K_M}{\sqrt{R}} = \frac{K_M I}{\sqrt{R} I} = \frac{M}{\sqrt{P_{эл}}}$$

Уравнение баланса напряжений на зажимах двигателя постоянного тока имеет вид:

$$U = \varepsilon - RI.$$

Уравнение, выраженное через момент двигателя и частоту оборотов вращения ротора будет выглядеть следующим образом:

$$U = K_\varepsilon \omega - R \frac{M}{K_M}.$$

Соотношение между моментом и частотой вращения при двух различных напряжениях питания двигателя постоянного тока неизменно. При увеличении частоты вращения создаваемый момент вращения ротора линейно увеличивается. Наклон этой функции постоянный и не зависит от значения напряжения питания и частоты вращения двигателя.

Благодаря таким характеристикам упрощается управление частотой вращения и углом поворота двигателей постоянного тока. Это характерно для коллекторных и вентильных двигателей постоянного тока, что нельзя сказать о двигателях переменного тока и шаговых двигателях.

Упрощенная модель электродвигателя выглядит следующим образом:

$$IU = M\omega + I^2R + IL \frac{dI}{dt} + P_{тр}$$

$$P_{эл} = P_{мех} + P_{теп} + P_{инд} + P_{тр}$$

- $P_{эл}$ – электрическая мощность (подведенная);
- $P_{мех}$ – механическая мощность (полезная);
- $P_{теп}$ – тепловые потери;

- $P_{инд}$ – мощность, затрачиваемая на заряд катушки индуктивности;
- $P_{тр}$ – потери на трение.

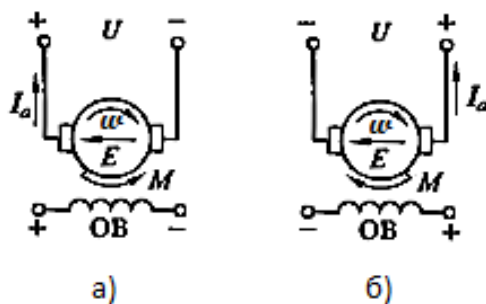
Для задания необходимого крутящего момента и оборотов электродвигателя необходимо учитывать потери. В данном случае удобно понижать ток, уменьшая потери, и увеличивать подаваемое напряжение от генератора или аккумуляторной батареи. Но уменьшение тока скажется на крутящем моменте. Поэтому рекомендуется следующее:

1. При запуске электродвигателю через согласующий редуктор необходимо сообщить крутящий момент для того, чтобы ДВС вышел на холостой ход. Для этого равномерно повышается напряжение при постоянном токе возбуждения. После этого ЭД не создает крутящего момента на выходном валу и не находится в генераторном режиме.

2. Начало движения и разгон осуществляется работой крутящего момента от ДВС и ЭД. Так как угол открытия дроссельной заслонки не будет соответствовать частоте оборотов вращения выходного вала, то дополнительная мощность будет поступать от электродвигателя. По мере разгона ток возбуждения уменьшается, а напряжение увеличивается, так как момент нагрузки становится меньше по мере увеличения скорости.

3. При равномерном движении ЭД может создать нагрузку на выходном валу для зарядки аккумуляторной батареи, если это необходимо.

4. При торможении или малом угле открытия заслонки акселератора для данной частоты вращения выходного вала ЭД также работает в генераторном режиме.

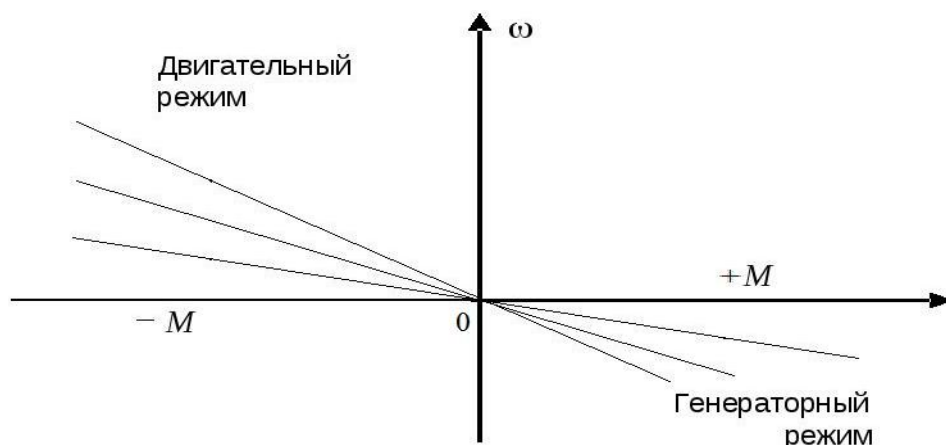


- а) генераторный режим
б) двигательный режим

Рис. 7. Режимы двигателя постоянного тока

При согласовании работы двигателя внутреннего сгорания и ЭД можно использовать момент, действующий на выходном валу гибридной энергосиловой установки (Рис. 8).

Можно отметить, что для каждого выбранного положения педали акселератора соответствует определенная равномерная скорость движения автомобиля. Если скорость автомобиля будет ниже определенной для заданного положения педали акселератора, ЭД работает в тяговом режиме; если скорость автомобиля будет выше определенной для заданного положения педали акселератора, ЭД начинает работать в режиме генератора.



$+M$ – избыток момента на выходном вале гибридной ЭУ при торможении или движении накатом;

M – недостаток момента на выходном вале гибридной ЭУ при разгоне;

0 – соответствует постоянному крутящему моменту при незначительных изменениях скорости автомобиля

Рис. 8. Алгоритм режимов работы ЭД

3. Заключение

В силу имеющихся недостатков современных ДВС и необходимости решения этой проблемы, был проведен обзор схем компоновки гибридных систем и режимов их работы, а также приведена методика согласования работы двух установок – ДВС и ЭД постоянного тока независимого возбуждения. Несмотря на устоявшееся мнение по поводу гибридных энергетических установок, что они являются переходным шагом на пути к полностью электрическим транспортным средствам, рассмотрение алгоритмов работы и возможностей согласования двух двигателей является актуальной задачей, которой необходимо уделять должное внимание на всех этапах разработки и проектирования перспективных транспортных средств.

Литература

[Зорин, Терентьев, 2017](#) – Зорин, А.В., Терентьев, А.Н. Классификация и построение характеристик комбинированного двигателя // *Первый шаг в науку*. 2017. № 2 (26). С. 10-15.

[Князев, Терентьев, 2017](#) – Князев, Е.А., Терентьев, А.Н. Пути повышения эффективности ДВС // *Первый шаг в науку*. 2017. № 1 (25). С. 14-18.

[Схемы электродвигателей...](#) – Схемы электродвигателей и их характеристики. URL: <http://electrono.ru/elektricheskie-mashiny-postoyannogo-toka/34-sxemy-elektrodvigatlej-i-ix-kharakteristiki> (дата обращения: 05.04.2017).

[Умняшкин и др., 2004](#) – Умняшкин, В.А., Филькина, А.Н., Ившин, К.С., Скуба, Д.В. Автомобили особо малого класса (квадроциклы) с гибридной энергосиловой установкой. Под общ. ред. В.А. Умняшкина. Ижевск: НИЦ «Регулировка и хаотическая динамика», 2004. 138 с.

References

[Zorin, Terent'ev, 2017](#) – Zorin, A.V., Terent'ev, A.N. Klassifikatsiya i postroenie kharakteristik kombinirovannogo dvigatelya // *Pervyi shag v nauku*. 2017. № 2 (26). pp. 10-15.

[Knyazev, Terent'ev, 2017](#) – Knyazev, E.A., Terent'ev, A.N. Puti povysheniya effektivnosti DVS // *Pervyi shag v nauku*. 2017. № 1 (25). pp. 14-18.

[Skhemy elektrodvigateli...](#) – Skhemy elektrodvigateli i ikh kharakteristiki. URL: <http://electrono.ru/elektricheskie-mashiny-postoyannogo-toka/34-sxemy-elektrodvigatlej-i-ix-kharakteristiki> (data obrashcheniya: 05.04.2017).

Umnyashkin i dr., 2004 – *Umnyashkin, V.A., Fil'kina, A.N., Ivshin, K.S., Skuba, D.V.* Avtomobili osobo malogo klassa (kvadrotsikly) s gibridnoi energosilovoi ustanovkoi. Pod obshch. red. V.A. Umnyashkina. Izhevsk: NITs «Regulirovka i khaoticheskaya dinamika», 2004. 138 p.

Согласование режимов работы двигателя в гибридной энергосиловой установке

Вадим Алексеевич Наумов ^a, Алексей Николаевич Терентьев ^a

^a Ижевский государственный технический университет, Российская Федерация

Аннотация. Одним из направлений развития мирового автомобилестроения является создание экологически чистого, экономичного, с хорошими ходовыми характеристиками и большим запасом хода автомобиля. С этой точки зрения наиболее перспективными выглядят автомобили с комбинированными установками, работающие на двух и более источниках энергии. Самым распространенным «гибридом» является сочетание двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя. Согласованию работы этих двух движителей требуется уделять пристальное внимание.

Ключевые слова: автомобили с гибридной энергосиловой установкой, двигатель внутреннего сгорания, минимальный удельный расход, мощность, крутящий момент, электродвигатель постоянного тока, схемы компоновки, согласование работы, механизм управления, генераторный, двигательный.