

ВЫБОР ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОБОДНО-ПОРШНЕВОГО ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА

Семёнов Б.П., Герасимов Д.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Силовая установка современного автомобиля имеет развитую систему управления процессами смесеобразования, воспламенения рабочей смеси, систему шумоглушения и нейтрализации выхлопных газов, коробку передач (или вариатор). Сложности создания и взаимодействия этих систем определяют, прежде всего, недостатки кривошипно-шатунного механизма машины объёмного вытеснения традиционных ДВС.

При композиции силового агрегата с механической связью, конструкция механизма машины объёмного вытеснения должна обеспечивать экономичную и экологически чистую его работу в широком диапазоне выходных оборотов, что на практике выполняется применением сложных систем управления. Математическое моделирование убедительно доказывает перспективность силовых агрегатов автомобиля с электрическим съёмом мощности с выходного вала и реализацией их в виде генератора электрической энергии.

Требования к силовому агрегату перспективного легкового автомобиля допускают как традиционную механическую, так и электрическую или гидравлическую связь с ведущими колесами. В зависимости от этой связи двигатели силовой установки могут иметь различные принципиальные схемы.

Композицию механизма силового агрегата – генератора электрической энергии рационально проводить для механизмов машин объёмного вытеснения с минимальным числом подвижных звеньев, одновременно создавая и систему управления, обеспечивающую режим запуска и режимы работы при различных нагрузках.

Исходя из вышеперечисленных требований, предъявляемых к конструкции силовой установки, разработана конструкция свободнопоршневого электрогенератора. Свободнопоршневой электрогенератор (СПЭГ) представляет собой линейный двигатель внутреннего сгорания, в котором в результате взаимодействия магнита-поршня с обмоткой катушки, в последней наводится ЭДС индукции. Линейный двигатель отличается существенной простотой конструкции, в нём всего одна движущаяся деталь - поршень и малой удельной массой.

Выбраны два направления экспериментального исследования СПЭГ.

Первое направление совершенствование узла катушка-магнит, с целью максимального использования энергетических возможностей этой системы (тах КПД линейного электрогенератора) - выбор оптимальных геометрических характеристик как магнита, так и катушки. Предполагается, в качестве устранения вредных индукционных токов использование

многосекционной катушки. Рассматривается вопрос об использовании свойств резонанса в цепи и применении его в качестве движущей силы и «раскачки» системы.

Второе направление - совершенствование теплотехнических характеристик двигателя. Отличительная особенность линейного двигателя - это автоматическое изменение степени сжатия, что, наряду с отсутствием боковых нагрузок поршня на цилиндр, ведёт к повышению эффективного КПД двигателя. Предполагается изучение возможностей применения в СПЭГ альтернативных видов топлив.

Принцип получения электрической энергии в ДВС основан на возникновении электромагнитной энергии в результате взаимодействия поступательно движущегося магнита в неподвижной катушке, состоящей из большого числа витков проволоки (рис. 1.).

$$E_i = d\Phi/dt, \text{ иначе } E_i = V \cdot [d\Phi/ds],$$

где E_i - Э.Д.С. индукции;

Φ - магнитный поток, создаваемый постоянным магнитом;

V - скорость движения поршня; s - ход поршня.

При создании высокоэффективного СПЭГ необходимо совершенствовать как электротехническую $d\Phi/ds$, так и теплотехническую (V) часть двигателя и искать их совместный оптимум.

Электрическая составляющая ЭДС является функцией многих переменных. Так $d\Phi/ds = f(\text{диаметра цилиндра, количества витков проволоки, материала и способа намотки проволоки})$.

Электрический КПД СПЭГ аналогичен механическому КПД традиционного двигателя, как по порядку ($\eta_{эл} = 0,7...0,9$), так и по своим свойствам (механический КПД, как и электрический КПД характеризует уменьшение мощности двигателя вследствие потерь). Собственный механический КПД СПЭГ близок к единице ($\eta_m \sim 1,0$) из-за отсутствия боковой силы поршня на цилиндр и потерь в подшипниках (из-за отсутствия подшипников).

Поэтому можно записать, что общий (эффективный) КПД равен:

$$\eta_e = \eta_i \cdot (\eta_{эл} \cdot \eta_m) = \eta_i \cdot \eta_{эл}$$

ЭДС индукции характеризуется скоростью изменения магнитного потока, проходящего сквозь обмотки катушки.

Магнитный поток в любой момент времени:

$$\Phi = \pi \cdot (2 \cdot \int B_s(r) \cdot r \, dr + \int B_s(r) \, dr)$$

где B_s - проекция вектора магнитной индукции на ось катушки,

r - внутренний радиус катушки.

Сила, действующая на магнит со стороны катушки:

$$F_k = m \cdot (dB_s / ds),$$

где m - дипольный момент магнита.

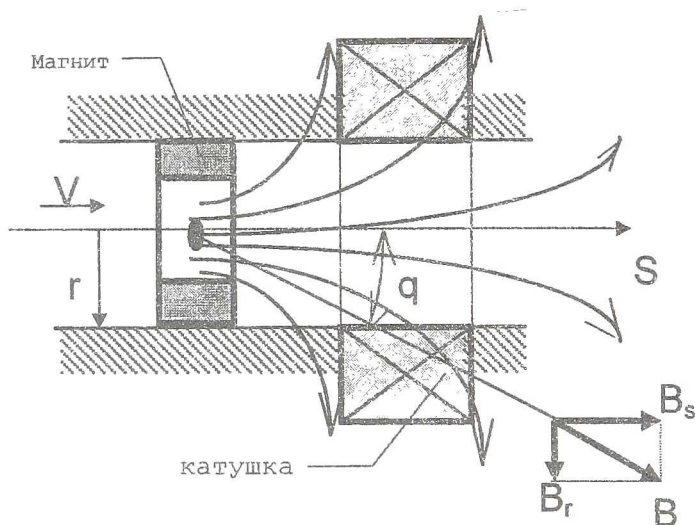


Рисунок 1 – Принципиальная схема возникновения ЭДС в линейном двигателе

Анализ графика изменения магнитного потока для одного витка проволоки катушки (рис. 2.) показывает, что для увеличения КПД линейного генератора необходимо применение многосекционной катушки.

Теплотехническая составляющая СПЭГ также является функцией многих переменных. Так скорость движения поршня $V = f(\text{диаметра цилиндра, хода поршня, параметров продувки цилиндра, массы поршня, и тд.})$

Отличительная особенность свободнопоршневого двигателя заключается в автоматическом изменении степени сжатия в зависимости от частоты движения поршня, что позволяет двигателю работать на оптимальных частотах движения поршня.

Исходя из этого, определены основные кинематические и динамические характеристики для СПЭГ с общим объёмом цилиндров $V_h = 9,2 \text{ см}^3$ в расчётной точке с частотой движения поршня $f = 8020,8$ циклов/мин и геометрической степенью сжатия $\varepsilon = 20$ (рис. 3).

Из уравнения сил $\Sigma F_s = 0$ ($F_p - F_c + F_n = 0$) можно вывести формулу ускорения α_s :

$$\alpha_s = (F_p - F_c) / m_n$$

Скорость поршня ($V_{\max}$) определяет КПД электрической части двигателя и является функцией многих переменных. $V_{\max} = f(f, \varepsilon, s/d, m_n, \text{качества продувки, ...})$.

Магнитный поток и ЭДС индукции для одного витка проволоки катушки ($l_m=450$)

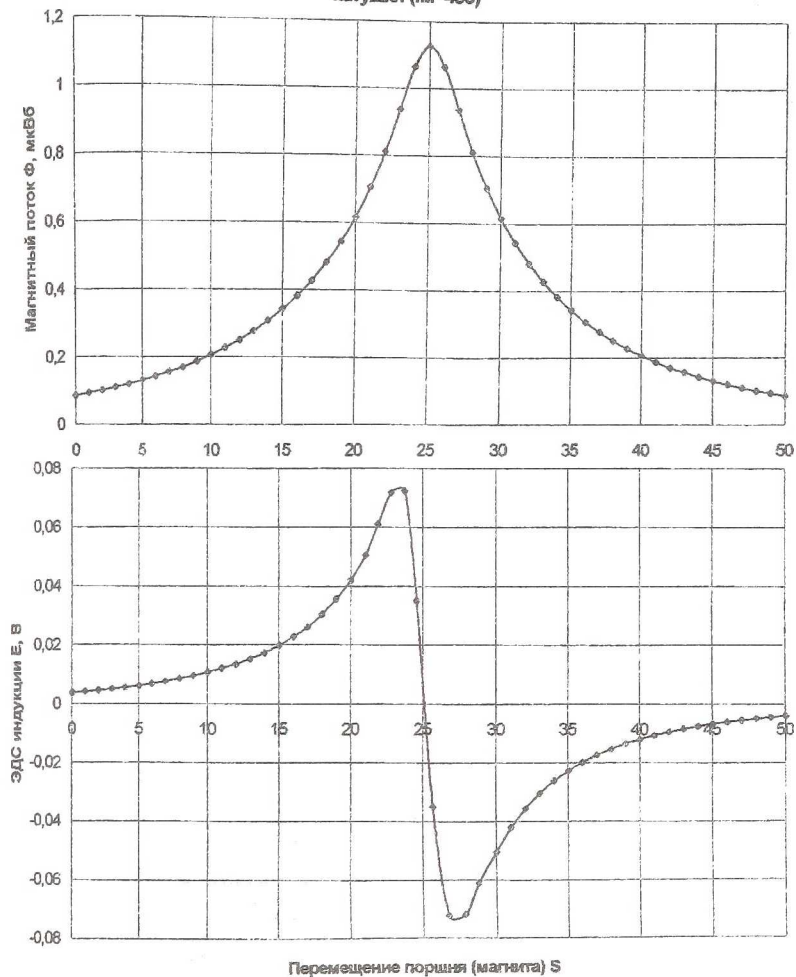


Рисунок 2

$$V = \sqrt{2 \cdot \int a ds}$$

Анализировалось влияние массы поршня и диаметра рабочей камеры (при $V_h = 9,2 \text{ см}^3$) на скорость поршня (рис. 4). Выводы - массу поршня необходимо как можно снижать (без ущерба для прочности конструкции и магнитного потока магнита) для достижения максимальных частот движения поршня параллельно с увеличением диаметра рабо-

чей камеры. Увеличение диаметра ограничивается уменьшением полезной длины катушки (вследствие уменьшения хода поршня), а также ухудшением продувки цилиндра.

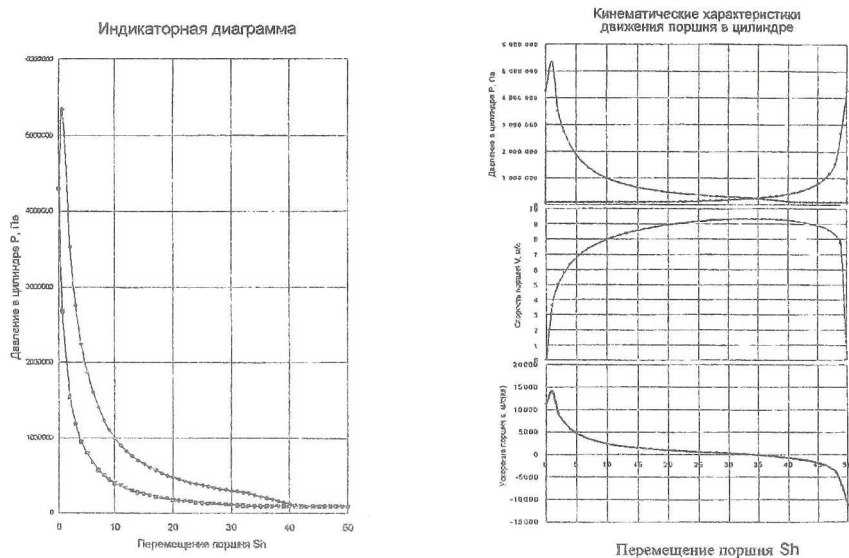


Рисунок 3

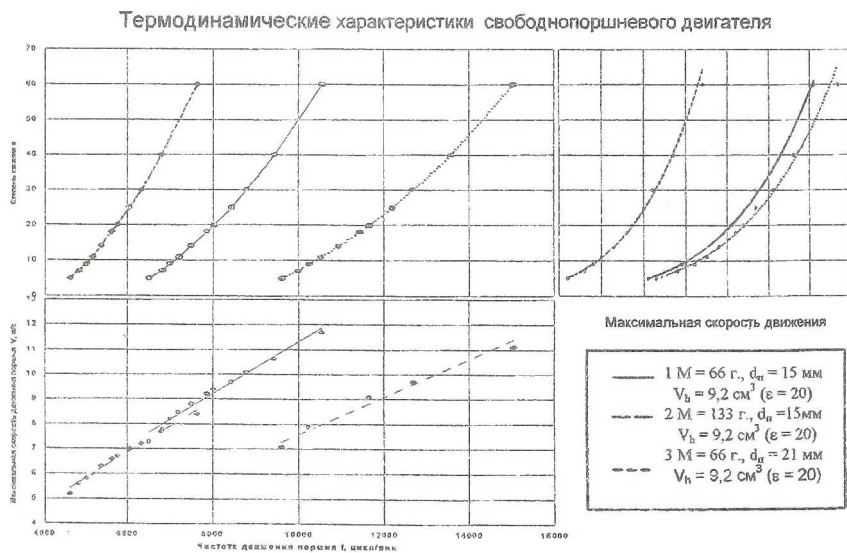


Рисунок 4

Отличительная особенность работы СПЭГ - работа в узком диапазоне рабочих частот движения поршня, так при изменении степени сжатия ϵ с 5 до 20 частоты f лежат в пределах от 6000 до 8000 циклов/мин. Возможность выхода сразу на повышенные частоты приводит к увеличению детонационной стойкости двигателя в целом, а также устраняет некоторые проблемы с уравниванием системы.

Свободнопоршневой генератор (СПГ) преобразует кинетическую энергию поршня, совершающего возвратно-поступательное перемещение, в электрическую энергию. Большинство известных конструкций свободнопоршневых генераторов электроэнергии, поршни которых связаны с магнитами, перемещающимися вдоль оси неподвижных соленоидов, выполнены с механическими системами газораспределения и воспламенения топлива.

Создание микропроцессорной системы управления СПЭГ значительно расширяет его возможности и область практического применения.

Определены четыре основных режима этой системы.

Режим основной. Ведущее звено - поршень, совершающий перемещения за счёт циклически изменяющегося давления в рабочей камере цилиндра; магнит возбуждает в обмотке катушки переменное напряжение (режим электрогенератора).

Режим запуска. Ведущее звено - магнит, совершающий перемещения за счёт подачи напряжения изменяющейся частоты на обмотку катушки; поршень создаёт в рабочей камере цилиндра давление рабочей смеси (режим электродвигателя).

Режим контроля. Если в режиме запуска достигнуто воспламенение смеси в рабочей камере (зажигание), осуществляется переход к режиму электрогенератора.

Если в основном режиме к моменту достижения максимального давления в рабочей камере нет зажигания, осуществляется переход к режиму электродвигателя на частоте основного режима.

Режим регулирования. При изменении нагрузки на электрогенератор по определённой программе осуществляется подача топлива и момент искрообразования, по сигналам датчиков положения поршней или давления в рабочей камере, корректируя работу СПЭГ.

Режимы контроля и регулирования осуществляются автоматически как при запуске, так и при работе электрогенератора.

Помимо всего вышеперечисленного система управления СПЭГ должна включать в себя систему зарядки аккумулятора, которая включает в себя систему выпрямления переменного (несинусоидального) тока, вырабатываемого СПЭГ, систему поддержания постоянства напряжения, поступающего на обмотки аккумулятора и к потребителю.

Система СПЭГ-аккумулятор (СА) предполагает систему как совместной, так и раздельной работы СПЭГ и аккумулятора по отдельности в качестве выработки электроэнергии потребителю. Система управления должна обеспечить оптимальную работу комбинации СА - при разрядке аккумулятора включается в работу СПЭГ, который в свою очередь подзаряжает аккумулятор и вырабатывает электроэнергию потребителю; при увеличении потребностей в электроэнергии осуществляется совместная их работа.