

А.Е. БОЖКО, д.т.н., проф., член-кор. НАН Украины, З.А. Иванова, с.н.с., к.т.н., доц., (ИПМаш им. А.Н. Подгорного НАН Украины), Е.М. Иванов, к.т.н., доц., (ХНАДУ «ХАДИ»), г. Харьков, Украина

## V - образный электромагнитный поршневой двигатель

*Представлены особенности функционирования V - образного электромагнитного поршневого двигателя, содержащего поршни со штоками, размещенные в цилиндрах. Рабочий ход поршневого механизма реализован с помощью однотипных электромагнитных элементов, что снижает энергозатраты, исключает возникновение разномоментных тяговых усилий с нарушением плавности вращения коленчатого вала и разбалансировке хода поршней.*

**Ключевые слова:** V - образный двигатель, поршень, цилиндр, соленоид, коленчатый вал, батарея конденсаторов, система управления.

*Наведено особливості функціонування V - образного електромагнітного поршневого двигуна, що містить поршни зі штоками, розміщені в циліндрах. Робочий хід поршневого механізму реалізований за допомогою однотипних електромагнітних елементів, що знижує енерговитрати, виключає виникнення різномоментних тягових зусиль з порушенням плавності обертання колінчастого валу і розбалансування ходу поршнів.*

**Ключові слова:** V - образний двигун, поршень, циліндр, соленоїд, колінчастий вал, батарея конденсаторів, система управління.

*The paper presents the features of functioning of a V - shaped electromagnet piston engine, containing pistons with rods placed in the cylinders. Working stroke of the piston mechanism is implemented using the same type of electromagnetic elements that reduces energy costs, eliminates the diversity of torque traction efforts with violation of smoothness of rotation of the crankshaft and imbalances pistons travel.*

**Keywords:** V - shaped engine, piston, cylinder, solenoid, crankshaft, the battery of capacitors, the system of management.

Мощность и равномерность работы двигателя зависят, в основном, от количества цилиндров. Увеличивая число цилиндров, увеличивают длину двигателя. Для уменьшения длины цилиндры располагают в два ряда (парно), установив в наклонном положении (по два шатуна на одной шатунной шейке).

В работе рассмотрены особенности функционирования двигателя с наклонным (V - образным) расположением цилиндров, выполненного по принципу соленоида. В двигателе имеются шатуны и коленчатый вал, вращающийся в подшипниках скольжения [1].

При разработке V - образного двигателя была поставлена задача переоснащения электрической системы двигателя конструктивными элементами, которые могли бы работать на низковольтных нагрузках, а рабочие хода в цикле поршневого механизма были бы реализованы с помощью однотипных электромагнитных элементов, что повышает плавность вращения коленчатого вала. За счет этого достигается снижение энергопотребления на единицу мощности двигателя, улучшение равномерности хода поршня и повышение частоты вращения коленчатого вала.

Решение задачи достигается тем, что в V - образном электромагнитном поршневом двигателе в цилиндрах, оснащенных установленными в нижних

мёртвых точках соленоидами, в верхних мёртвых точках устанавливаются другие соленоиды, связанные с последовательно соединёнными блоками автоматического управления. Поршни в верхней части жёстко связываются со штоками, установленными с возможностью выхода из цилиндра на длину хода поршня, что уравнивает силовой момент и повышает равномерность хода поршня.

Введение в каждую пару поршень-цилиндр дополнительного соленоида в верхней мёртвой точке позволяет уменьшить энергопотребление на единицу мощности электродвигателя, уравновесив суммарные моменты количества движения с идентичными тяговыми усилиями, что приводит до равномерного хода поршня и частоты вращения коленчатого вала, упрощая конструктивное исполнение изделия в целом.

Поршни цилиндров (с шатунами) со стороны, прилегающей к коленчатому валу, жёстко связаны со штоками, что уравнивает силовой момент. Штоки выполнены из ферромагнитного материала с целью увеличения магнитной проводимости в соленоиде, снижения энергопотребления двигателя и увеличения равномерного хода поршня.

Верхние обмотки соленоидов каждого из непарных поршней и нижние обмотки соленоидов каждого из парных поршней через коммутатор связаны с

разноименными полюсами конденсаторной батареи, что позволяет выравнивать моменты на противоположных направлениях движения поршней и суммировать тяговые усилия моментов движения с целью увеличения мощности двигателя. Для дальнейшего увеличения мощности двигателя можно разместить несколько пар цилиндров с поршнями, связанными через кривошипно-шатунные механизмы с коленчатым валом. А наклонное расположение цилиндров на двигателе позволяет компактно разместить все внешние детали его оборудования.

Структурно-механическая схема V - образного двигателя представлена на рисунке. Здесь изображена схема двигателя с двумя парами поршней и цилиндров с соленоидами. Элементы, входящие в общую схему двигателя, следующие: 1, 2 – цилиндры с установленными в нижней мёртвой точке первыми соленоидами (3, 4) и верхней мёртвой точке другими соленоидами (5, 6). В цилиндрах 1, 2 установлены поршни 7, 8 со штоками 9, 10 и шатунами 11, 12 из ферромагнитного материала, которые соединены с коленчатым валом 13. Электромагнитный двигатель включает в свою схему генератор постоянного тока 14, выход которого соединён с аккумуляторной батареей 17. Генератор механически соединён с коленчатым валом 13. Выход батарей 17 соединён с блоком питания автоматической системы управления (блок 18) и преобразователем постоянного тока в переменный - (мультивибратор с трансформаторной связью) (блок 18). Выход мультивибратора Ройера [2] подключён через выпрямитель (блок 18) к входу конденсаторной батареи 16, а выход системы управления (блок 18) подключён к входу коммутатора 15. В схеме двигателя также имеется понижающий трансформатор (блок 19), первичной обмоткой подключаемый к источнику сетевого напряжения, а вторичной обмоткой – к аккумуляторной батарее через выпрямитель (блок 19). Конденсаторная батарея включает в себя  $2N$  высокочастотных конденсаторов большой ёмкости, где  $N$  – число цилиндров.

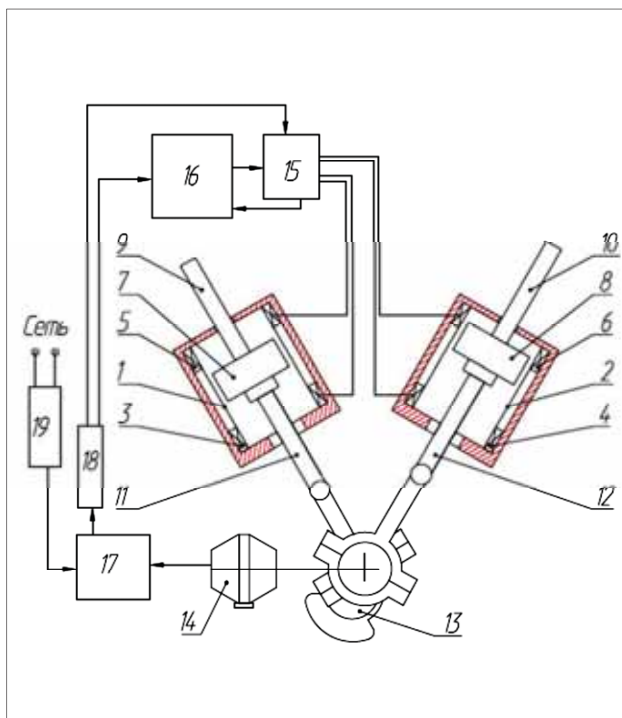
Работа V – образного двигателя следующая. В момент пуска двигателя от батареи 17 (аккумуляторная батарея заряжена до необходимого напряжения  $U_0$ ) поршень 7 находится в верхней мёртвой точке цилиндра 1. При команде автоматической системы управления (блок 18) от генератора через коммутатор 15 на обмотку соленоида 5 поршня 7 подаётся импульс напряжения  $U_{c11}$ . По обмотке 5 протекает ток  $i_{11}$ , который наводит в магнитопроводе и поршне 7 (со штоком) магнитный поток  $\Phi_{11}$ . Этот магнитный поток создаёт тяговое усилие  $F_{11}$ , действующее на поршень 7 таким образом, чтобы поршень 7 мог перемещаться. Поршень 7, отталкиваясь от соленоида 5, движется вниз по цилиндру 1 и через кривошипно-шатунный механизм 11 вращает коленчатый вал 13. С подачей импульса напряжения  $U_{c11}$  на обмотку соленоида 5 подаётся импульс напряжения  $U_{c21}$  на обмотку соленоида 4 с задержкой, зависящей

от рабочих ходов в цикле, вызывая в ней ток  $i_{21}$  и, соответственно, в поршне 8 наводится магнитный поток  $\Phi_{21}$ . Этот поток  $\Phi_{21}$  создаёт тяговое усилие  $F_{21}$ , которое направлено вверх цилиндра 2 и поршень 8 под действием этого тягового усилия  $F_{21}$  движется вверх. Этим обеспечивается увеличение момента вращения коленчатого вала 13.

Далее импульсы напряжений  $U_c$  с предварительно заряженных конденсаторов 16 подаются соответственно на обмотки соленоидов 3, 6 и поршни 7, 8 через свои кривошипно-шатунные механизмы 11, 12 и коленчатый вал 13 разгоняет двигатель до необходимых оборотов.

Скорость вращения коленчатого вала регулируется величиной амплитуды импульсов  $U_c$ , идущих с заряженных конденсаторов 16, то - есть величинами токов, которые протекают по обмоткам соленоидов 3, 4, 5, 6. Автоматическая система (блок 18) совместно с коммутатором 15 управляет зарядкой и разрядкой конденсаторной батареи 16 на соответствующие обмотки соленоидов 3, 4, 5, 6 и управлением преобразователя (блок 18) с целью подзарядки от него через выпрямитель (блок 18) конденсаторной батареи 16. Аккумуляторная батарея 17 заряжается от сети через трансформатор (блок 19) и выпрямитель (блок 19) во время вращения коленчатого вала 13 от генератора 14.

В предлагаемом двигателе уменьшено энергопотребление на единицу мощности в результате взаимодействия магнитного поля соленоидов и ферромагнитных поршней. При подаче импульсов тока создаётся уравновешенное синхронное движение



**Рисунок. Схема V – образного электромагнитного поршневого двигателя**

поршней с плавным вращением коленчатого вала двигателя. Кинетическая энергия поршня преобразовывается в кинетическую энергию маховика, передаётся на трансмиссию и генератор 14 для подзарядки аккумуляторной батареи 17. Функции распределительного механизма двигателя выполняет коммутатор. Он включает в себя механические контакты, расположенные в мёртвых точках каждого цилиндра, системы управления тиристорами, включённых последовательно в цепи разряда конденсаторов батареи 16.

Рассмотрим основные аспекты теории этого двигателя.

При разряде конденсатора на обмотку соленоида ток в электрической цепи записывается выражением [3]

$$i(t) = \frac{U_{co}}{(p_1 - p_2)L} (-e^{tp_1} + e^{tp_2}), \quad (1)$$

где  $U_{co}$  – начальное напряжение на конденсаторе,  $t$  – время,  $L$  – индуктивность обмотки соленоида,

$$p_{1,2} = -\frac{r}{2L} \pm \sqrt{\frac{r^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}},$$

$r$  – активное сопротивление обмотки соленоида,  $C$  – ёмкость конденсатора,

$$L = w^2G, \quad G = \mu_0 \frac{S}{2\delta}, \quad (2)$$

где  $w$  – число витков обмотки соленоида,  $G$  – магнитная проводимость в цилиндре с поршнем,  $\mu_0$  – магнитная проницаемость воздуха в зазоре  $\delta$  (цилиндр – поршень),  $S$  – площадь поперечного сечения магнитопровода возле зазора  $\delta$ ,  $S = 2\pi Rh$ , где  $R$  – радиус окружности магнитопровода,  $h$  – толщина магнитопровода возле зазора.

Согласно закону полного тока [4], ток  $i(t)$  вызывает в магнитопроводе магнитный поток  $\Phi = iwG$ . Этот магнитный поток создает тяговое усилие  $F$ , которое, действуя на поршень, перемещает его в цилиндре. Поршень своим движением через кривошипно-шатунный механизм вращает коленчатый вал. Величина тягового усилия определяется формулой [5]

$$F = \mu_0 S \left( \frac{iw}{2\delta} \right)^2. \quad (3)$$

Подставляя выражение (3) в (1) с учетом выражения (2), получим общую формулу тягового усилия, возникающего в двигателе в виде

$$F(t) = \frac{1}{\mu_0 S} \left( \frac{U_{co}}{(p_1 - p_2)2w\delta G} (-e^{tp_1} + e^{tp_2}) \right)^2. \quad (4)$$

Из выражения (4) видно, что тяговое усилие прямо пропорционально квадрату начального напряжения на конденсаторе.

Для определения скорости движения поршня в цилиндре запишем уравнение

$$m \frac{dv}{dt} + \frac{v^2}{2} \frac{dm_u}{da} = F_i - F_c, \quad (5)$$

где  $m$  – масса поршня совместно с кривошипно-шатунным механизмом,  $v$  – скорость движения поршня,  $a$  – перемещение поршня,  $m_u$  – приведенная масса, как функция от  $a$ ,  $F_c$  – сила трения.

Из уравнения (5) [6] с учетом выражения (4) получаем величину скорости перемещения поршня в цилиндре в зависимости от параметров соленоида

$$V_i = \left( \frac{2}{m} \int_{a_0}^{a_i} \left\{ \frac{1}{\mu_0 S} \left( \frac{U_{co}}{(p_1 - p_2)w} (e^{tp_2} - e^{-tp_1}) \right)^2 - F_c \right\} da + \frac{m_u}{m} v_0^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

Как видно из выражения (6), скорость  $V_i$  в каждой  $i$  – й точке  $S_i$  при движении поршня пропорциональна величине  $U_{co}$ , то есть, величине начального напряжения на конденсаторе. А это значит, что величину скорости можно регулировать с помощью величины  $U_{co}$ , которая может в свою очередь регулироваться системой управления (блок 18). Понятно, что и скорость вращения коленчатого вала двигателя также будет пропорциональна величине  $U_{co}$  и зависеть от числа поршней.

### Выводы

Представленная конструкция V – образного электромагнитного поршневого двигателя позволяет уменьшить энергопотребление на единицу мощности, стабилизировать равномерность хода поршня и частоты вращения коленчатого вала, а также уменьшить габариты двигателя без потери мощности.

### Список литературы:

1. Божко О.Е., Личкатий Є.О., Белих В.І., Иванов Є.М. Электромагнітний поршневий двигун. Патент України № 61108, Бюл. № 13 від 11.07.2011 р.
2. Божко А.Е. Принцип регулювання частоти генеруємого сигналу в мултивібраторе Ройера // Доповіді НАНУ, 2008. - № 1. - С. 83-86.
3. Гинзбург С.Г. Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях. - М.: Сов. радио, 1959. - 404 с.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. - М.: Высш. Школа, 1978. - 528 с.
5. Божко А.Е. Теория электромагнитных возбудителей / Божко А.Е., Бельх В.И., Иванов Е.М., Мяжко-леб К.Б. - Харьков: ХНАДУ, 2008. - 436 с.
6. Артоблевский И.И. Теория механизмов и машин. - М.: Наука. 1988. - 640 с.